

---

**COMMENTAIRES ET PROPOSITIONS  
POUR LES ACTIVITÉS  
D'ÉVEIL AUX SCIENCES ET AUX TECHNIQUES  
DANS L'ENSEIGNEMENT FONDAMENTAL**

---

Pasquale NARDONE et Serge PAHAUT

Faculté des Sciences  
Université Libre de Bruxelles

Adresse de contact :

Pasquale Nardone  
Université Libre de Bruxelles (CP 231)  
Boulevard du Triomphe (Campus Plaine)  
B-1050 Bruxelles

Téléphone : +32 -(0)2- 650 5515  
Téléfax : +32 -(0)2- 650 5767  
Email : PASQUALE.NARDONE@ULB.AC.BE

Le présent document, daté du 30 août 1999, constitue le rapport final d'une recherche menée pour l'Administration générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique (AGERS), Service général des Affaires générales, de la Recherche en éducation et du Pilotage interréseaux (référence 28/97).

On peut consulter l'ensemble des documents produits dans le cadre de ce programme à l'adresse suivante :

<http://homepages.ulb.ac.be/~pnardon/>

L'AGERS publie les rapports de synthèse des recherches menées en éducation. On trouvera les résultats généraux du présent programme dans le périodique *Le point sur la recherche en éducation* publié et diffusé par l'AGERS, en particulier le n° 8 (1998) et le n° 13 (1999), ainsi que sur le site de la Communauté française de Belgique à l'adresse suivante :

<http://www.agers.cfwb.be/PEDAG/rech/rech.asp>

On y trouvera en particulier une version plus vivante du présent document (*Sciences et technique à l'école primaire*, sous la rubrique « outils pédagogiques conçus dans le cadre de recherches ».)

# INTRODUCTION

## Rappel des intentions du projet

Le programme de travail que nous présentons ici veut rencontrer de manière responsable le prescrit du décret voté le 24 juillet 1997 par le Conseil de la Communauté Wallonie-Bruxelles, définissant les missions prioritaires de l'enseignement fondamental et de l'enseignement secondaire<sup>1</sup>.

Ce décret donne aux communautés éducatives des libertés très étendues, dont il importe de tirer parti.

Nous tenterons de voir ce qu'il en est pour l'introduction, dans le parcours d'apprentissage offert aux enfants du cycle fondamental, d'une culture scientifique et technique vivante, nourrie des acquis de la pratique des communautés de scientifiques et de techniciens.

Nous tenons à insister sur l'importance d'un « Éveil aux sciences » dès les premières années de l'Enseignement fondamental.

Il semble en effet décisif que les démarches typiques de la pratique scientifique et technique soient présentes dès le début de la formation scolaire. Disons tout de suite pourquoi.

## La culture scientifique et technique existe

Il convient de souligner ici ce qui devrait devenir une évidence : les activités scientifiques et techniques ne sont pas de simples applications des divers savoir-faire liés à la pratique de la langue maternelle et du calcul : leur apport est irremplaçable.

On comprendra mieux cet énoncé un peu vague si l'on observe que la conduite d'un travail scientifique ou technique confronte chacun à des rapports bien spécifiques à la nature et à autrui : elle impose un mode spécifique d'analyse des situations ; et elle induit un mode tout aussi spécifique de communication.

Par là même, elle introduit dans la vie culturelle des groupes d'élèves des références nouvelles, introuvables dans la pratique d'autres disciplines, et susceptibles donc d'enrichir les références éducatives de l'école.

---

1. Ce décret a reçu depuis une confirmation et des annexes qui reprennent et développent les explorations de ces dernières années sur les socles de compétence, cf. *Moniteur belge* du 27.08.1999, Éd.2, pp. 31811- 31866, en particulier les douze pages de l'Annexe III (pp. 31829-31840), consacrées aux activités d'éveil et d'initiation scientifique, et les trois pages de l'Annexe VI, (pp. 31847-31849), consacrées à l'éducation par la technologie.

### **Cette culture peut s'apprendre**

Le rapport intérimaire qui concluait notre première année de travail a tenté d'analyser le contexte social et institutionnel de l'expression « éveil aux sciences et aux techniques » et de formuler quelques remarques sur les relations entre cet apprentissage et celui des outils de base que constituent la langue maternelle et le calcul.

Ces analyses ont permis de formuler des observations que nous croyons robustes sur les mesures et les conclusions de l'enquête TIMSS<sup>2</sup>.

Les premiers résultats chiffrés de TIMSS et leur allure catastrophiste ont retenu un moment l'attention des journaux.

Le bagage des connaissances n'est pourtant pas en cause : et l'on a justement fait observer combien il serait peu justifié de regretter que les petits francophones de la Communauté Wallonie-Bruxelles ignorent ce qu'on ne leur a pas appris.

En revanche, il serait infidèle aux intentions — et aux résultats — des promoteurs de l'étude de négliger les observations fines menées sur les caractéristiques de diverses traditions d'enseignement.

Ainsi, on a fort peu parlé de la plus prometteuse des activités menées dans le cadre de TIMSS : l'observation directe, menée à l'aide de caméras placées dans les classes, de l'enseignement des mathématiques en Allemagne, au Japon et aux États-Unis.

Cette étude a permis de montrer l'importance du temps de liberté qu'il est possible — ainsi qu'on le fait davantage au Japon — de laisser aux enfants pour un examen attentif des problèmes mathématiques, et pour la discussion de leur solution. Elle a permis de mettre en question des pédagogies qui se veulent actives, mais qui ont montré leurs limites. Ainsi, il a été possible de montrer que de nombreux enseignants américains interviennent de manière intempestive, et proposent des méthodes de solution (souvent excellentes en elles-mêmes) avant de laisser aux enfants le temps d'évaluer les divers aspects du problème.

### **Importance des réflexes professionnels**

Il convient, pour parcourir les pistes dégagées par ces analyses comparatives, de se rappeler combien sont larges les libertés définies par le décret de juillet 1997.

L'insistance de ce texte sur les idées de compétence et de savoir-faire ne relève pas seulement d'une mode interne aux milieux pédagogiques. De nombreux esprits ont déjà observé qu'elle modifie la liberté pratique des communautés éducatives. Mais il reste à explorer par la pratique ce qu'elle permet.

---

2. Troisième étude internationale sur l'enseignement des mathématiques et des sciences, menée dans le cadre de l'IEA (International Association for the Evaluation of Educational Achievement)

Elle appellera mieux que des correctifs lorsque les commissions de programmes, puis les enseignants, chercheront où recaser les matières d'enseignement dites positives.

En effet, une tension féconde demeurera entre deux dimensions de l'acte d'apprentissage :

- le temps de réflexion pour découvrir les problèmes ;
- le bénéfice que procure le fait de recevoir des solutions bien mises au point.

N'hésitons pas à le rappeler : l'éducation fait plus que demander aux enfants de réfléchir par eux-mêmes ; elle leur permet de bénéficier des expériences de leurs prédécesseurs. C'est bien pourquoi les réflexes professionnels de différents métiers doivent être respectés et présentés à tous sans déformation.

Dans ce contexte, nous avons trouvé tout naturel de tenter de soumettre l'approche scientifique et technique à la curiosité des maîtres et des maîtresses de l'enseignement fondamental.

La volonté du législateur représente donc pour nous un appel à ne plus négliger le dialogue entre les diverses communautés professionnelles des sciences et des techniques et les communautés scolaires.

Le présent travail ne contiendra guère de références aux discussions sur la didactique des sciences, pour lesquelles nous renvoyons le lecteur à notre premier rapport.

Il propose un ensemble d'exemples et d'analyses susceptibles de permettre au lecteur intéressé de voir comment la relation au monde et à autrui évoquée ci-dessus peut s'instaurer par la pratique<sup>3</sup>.

### **Contexte et perspectives**

Nous avons au cours de ces deux années eu l'occasion de prendre la mesure des difficultés de l'entreprise.

Les commentateurs du prochain siècle verront mieux que nous sans doute pourquoi les apports des sciences et des techniques, qui informent pour une large part la diversité des filières de l'enseignement secondaire, sont si remarquablement absents de l'enseignement fondamental.

Chacun sait aujourd'hui que si l'on oublie — mais comment les oublier ? — les initiatives heureuses de nombreux enthousiastes, les sciences et les techniques sont en gros absentes à ce niveau, aussi bien dans la pratique de l'enseignement que dans la formation des maîtres.

Nous sommes heureux de remercier ici l'Administration générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique, et en particulier la

---

3. Nous renvoyons donc le lecteur aux analyses de notre rapport de fin de 1<sup>re</sup> année (Nardone P. et Pahaut S., 1998a, ci-dessous EST), en particulier les pages 25 sqq. et 54 sqq. ; pour une présentation synthétique, voir Nardone P. et Pahaut S., 1998b. On trouvera un résumé de nos conclusions dans le paragraphe "Quelques points de méthode".

Direction de la Recherche en Éducation et du Pilotage interréseaux, qui ont accepté d'inscrire notre travail dans le cadre de leurs efforts pour le développement de *l'Éveil aux sciences*.

Nous avons choisi de travailler sous un ensemble d'hypothèses optimistes. C'est pourquoi nous demandons au lecteur plus que la bienveillance ou l'indulgence qu'il est usuel d'évoquer en pareille situation : une complicité active.

En effet, à défaut d'une conspiration résolue des personnes éveillées à cette problématique, il y a tout lieu de craindre qu'une génération encore demeure profondément étrangère aux démarches et aux réflexes des scientifiques et des techniciens.

Il est pourtant permis d'espérer qu'après quatre siècles d'hésitations les sociétés contemporaines acceptent de se doter d'un projet éducatif qui ne fasse plus référence aux multiples variantes et contre-variantes de projets éducatifs hérités du XVI<sup>e</sup> siècle<sup>4</sup>.

Cette perspective peut sembler générale à l'excès ; elle ne fait que formuler en termes simples le défi que nous avons accepté de rencontrer.

### **L'importance des connaissances est toute relative**

Le but des activités que nous présentons ici n'est pas d'abord de transmettre un bagage fondamental de connaissances sur le monde. Il n'est pas non plus de donner une introduction globale ou intuitive aux connaissances générales de la science sur le monde.

Certes, de nombreuses connaissances sont dignes d'intérêt, et peuvent mériter de figurer dans un programme scolaire.

Par exemple, la durée du mois lunaire a constitué pour l'ensemble des personnes éduquées une information très importante en même temps que mal connue. Elle a longtemps suscité des investissements intellectuels et techniques considérables. Elle relève désormais de quelques métiers particuliers, ou de curiosités astrologiques.

Mesurer la taille d'un atome ou le diamètre de la terre peut aussi — dans certaines circonstances — constituer une information intéressante. L'expérience éducative montre que dans l'ensemble les élèves de l'enseignement fondamental et secondaire ne possèdent pas les cadres de références nécessaires pour que leur imagination reçoive avec fruit des informations sur les ordres de grandeurs qui relèvent de phénomènes pour eux disparates.

C'est pourquoi nous avons conclu l'an dernier sur la perspective d'un *moratoire*, qui donne aux personnes responsables l'occasion de réfléchir aux questions que posent la quantité et la qualité des informations scientifiques et techniques proposées à l'école.

---

4. Nous donnons un bref commentaire sur ce point dans notre paragraphe "Quelques points de méthode"

Après évaluation et comparaison de quelques dizaines d'ouvrages de présentation de « science pour enfants », nous avons cru pouvoir montrer deux choses :

- Les énoncés informatifs relèvent souvent d'un esprit d'encyclopédie. Les informations sont données sans raison ; le plus souvent elles sont choisies en fonction de leur caractère merveilleux, « surprenant ».
- De nombreux énoncés présentés comme expérimentaux proviennent en fait de traditions livresques étrangères à l'expérimentation réelle, et relèvent dans le meilleur des cas du bricolage ingénieux.

Force est de conclure que l'on ne dispose pas aujourd'hui de la liste des informations « très importantes », qui pourraient constituer la « science de base » que les écoles devraient enseigner aux élèves.

En fait, la plupart des informations que l'on estime importantes aujourd'hui sont souvent très récentes ; nombre d'entre elles perdront sans doute leur importance d'ici quelques années, tandis que d'autres gagneront peut-être en importance.

En de nombreux domaines, il est essentiel de bien voir que l'importance que l'on apporte à une information dépend des circonstances. Ce devrait être un truisme inutile ; c'est pour l'apprentissage des sciences et des techniques un principe à relire et à rediscuter.

Comme le lecteur pourra le constater, nous avons pourtant choisi nos exemples dans la gamme des phénomènes de science élémentaire. C'est bien pourquoi nous tenons à insister : il s'agit de situations d'exploration choisies pour leur intérêt, et non pas du contenu d'une matière à imposer.



# VOYAGES AU PAYS DES SYSTÈMES

## Les connaissances et les pratiques font système entre elles

Ainsi que l'a dit l'introduction, ce que nous souhaitons ici, c'est permettre au lecteur (enseignant, auteur de manuels, pédagogue, fonctionnaire...) de se familiariser avec la pratique du travail scientifique et technique.

En chemin nous espérons obtenir un résultat complémentaire : dissoudre les éléments imaginaires qui ont contribué à donner à ce travail la réputation parfois un peu mystifiante que nous constatons aujourd'hui encore.

Car il s'agit d'un travail qui s'apprend, comme tous les autres. Examiner un système physique, chimique, biologique, etc. ce n'est une activité plus mystérieuse que celles qui consistent à multiplier deux nombres ou à analyser une phrase pour la réécrire au mode conditionnel ou à l'interrogatif.

À l'occasion de cette entreprise, le lecteur apprendra sans doute quelques éléments de mécanique, d'optique, de chimie... et c'est très bien ainsi. Mais notre projet est de montrer comment s'effectue le travail sur des systèmes de connaissances et de pratiques scientifiques et techniques, et comment une méthode justement dite « systématique » (nous verrons pourquoi) peut ainsi se mettre en place. Lorsque nous parlons de système, nous visons un fait très simple : *Les connaissances et les pratiques ne vivent pas à l'état isolé : de façon générale, elles « fonctionnent » ou dysfonctionnent en compagnie d'autres connaissances et d'autres pratiques.* À ces systèmes de connaissances et de procédures correspondent dans la nature des systèmes d'objets ou de processus. Nous allons donner quelques indications sur la géographie de ce pays des systèmes.

## Le cycle des activités scientifiques et techniques

Prise en gros, la description du travail scientifique et technique recourt à trois verbes : observer, modifier et conclure sur une description « scientifique », laquelle peut elle-même être rédigée sous la forme d'une explication, d'un modèle, d'un récit...

Trois activités correspondent à ces trois verbes : on prend un système en considération ; on tente de voir ce qui se passe quand se produisent des modifications notables ; on tente d'énoncer des conclusions. Ces activités se suivent, nous aurons l'occasion d'y revenir, dans l'ordre et dans le désordre.

Aussi bien, quand on les écoute, les hommes et les femmes actifs dans les divers domaines des sciences et des techniques, que nous appellerons ci-dessous « scientifiques » ou « techniciens » ont souvent

l'air insaisissables. Ce qu'ils disent a sans doute sa raison, mais on ne la voit pas. Autrement dit, on ne suit pas leurs raisonnements, même et surtout lorsqu'ils présentent leur démarche. Comme un cuisinier ou un garagiste, ils n'expliquent jamais tout.

Cette passivité de l'auditeur est peut-être due en partie à la présentation trop didactique, à la fois sommaire et trop explicite, des activités scientifiques et techniques. On résume et on montre. Or l'activité scientifique et technique demande du temps. Et souvent elle est amenée à deviner. Les les explicitations mises en forme ne s'élaborent que plus tard ; elles aident à bien comprendre, mais elles ne font pas comprendre.

L'enseignement écarte souvent chez l'élève tout ce qui est tâtonnements, hésitations, progrès par essais et erreurs, intuitions, etc. Il ne montre le plus souvent que le produit final de l'exploration, mis au net.

Si cette mise au net épargne aux élèves le temps perdu en fausses routes, il arrive souvent qu'elle aboutisse à faire croire qu'il n'existe qu'une seule route, et que l'on connaît la méthode, c'est-à-dire le moyen le plus efficace pour découvrir cette route et la parcourir.

*Le problème que nous posons ici ne relève pas de la pédagogie, mais du paysage intellectuel que la pédagogie doit aider les étudiants à parcourir.*

Que font les scientifiques et les techniciens ? Qu'observent-ils ? Que modifient-ils ? Que concluent-ils ? Par où passent-ils ? Comment font-ils ? Raisonnent-ils comme tout le monde ? Nous verrons plus loin ce qu'il en est.

Mais il ne s'agit pas seulement de démystifier. La difficulté ne s'évapore pas par l'effet d'une baguette magique une fois que l'on a compris comment font les scientifiques. Il faut du temps pour assimiler les diverses démarches que nous allons présenter ici.

L'École doit s'adapter aux pratiques des sciences et des techniques. Il est aujourd'hui impossible de prédire comment cette adaptation se fera.

Si un effort sérieux est consenti pour donner un temps raisonnable aux activités d'observation et de bricolage, et si ces activités permettent aux enfants d'assimiler des modes de raisonnements inspirés de ceux que pratiquent les scientifiques, on aura peut-être le loisir de s'apercevoir d'un fait souvent méconnu, à savoir que *les sciences et les techniques accordent moins d'importance qu'on ne croit à la lecture de texte, à la mémorisation et au calcul*, qui constituent pourtant aujourd'hui des obstacles redoutables lors de l'interrogation de sciences.

L'élève qui ne sait pas déchiffrer les questions écrites — dans un style souvent péremptoire, voire opaque — commence un examen avec un sérieux handicap. S'ensuit-il que les modalités de cet examen ne peuvent évoluer ?

Or, les scientifiques et les techniciens utilisent d'autres modes de communication et d'évaluation : expérimentation, production d'objets et d'instruments, dessin, discussion...

Nous allons proposer ici quelques remarques sur ces questions. Nous avons en effet constaté que ces remarques, pour générales qu'elles soient, gagnent à être formulées explicitement.

Les explications proposées au profane lors d'un exercice peuvent sembler très arbitraires. Cette impression d'arbitraire disparaît lorsque chacun comprend la nature de la liberté du chercheur, qui pose les choix et prend les décisions. Voyons comment cela se passe en pratique.

Le scientifique ne regarde pas les objets avec les mêmes yeux que tout le monde. Comme l'avocat flaire un « bon » ou un « mauvais » dossier dans un fait divers ou dans une catastrophe, le scientifique confronte d'entrée de jeu ce dont il entend parler avec ce qu'il sait, pour essayer d'en apprendre plus. Le « regard » du scientifique ou du technicien est donc actif ; il met en jeu, comme nous le verrons, le filtrage et le détournement d'informations, l'imagination, l'intervention, le raisonnement, et bien d'autres choses encore.

### Description des trois moments de ce cycle

Nous donnons ici quelques remarques sur les trois activités du cycle d'un travail scientifique ou technique. On verra que la définition des objets évolue avec le travail de description.

- Observer un système : on délimite un domaine sous étude, à l'intérieur duquel il est possible de repérer certaines interactions. C'est un travail, comme on le verra plus loin. Des choix sont pris ; d'autres sont écartés ; mais l'observation se veut objective, en ce sens qu'on essaie de savoir si et comment un autre observateur placé dans les mêmes circonstances et prenant les mêmes choix de description observerait les mêmes choses.

- Essayer de faire changer le système : on repère des propriétés qui sont faciles à modifier ; et l'on espère qu'en retour les interactions à l'œuvre dans le système modifieront d'autres propriétés sur lesquelles on n'a pas — et on n'espère pas avoir — de prise directe. Cette approche est donc indirecte : elle résume les détours par lesquels les scientifiques et les techniciens doivent passer pour parvenir à leurs fins.

—Les propriétés qui sont faciles à modifier sans détour complexe constituent nos « moyens de pression » sur le système ; on les appelle souvent *paramètres de contrôle*, ou plus simplement *paramètres*.

—Les propriétés dont la variation correspond à celle que nous imposons aux paramètres sont souvent appelés *variables dépendantes* ou simplement *variables*. Ces mots ne sont pas plus compliqués que les mots « complément indirect » ou « adverbe ». Ils ne sont du reste pas

vraiment indispensables au travail scientifique ; mais ils sont très commodes, et donc d'usage très courant.

- Discuter les conclusions auxquelles l'on parvient à cette occasion. Si ces conclusions sont simples et correctement décrites, les scientifiques et les techniciens leur donnent volontiers le nom de « loi ». Nous n'essaierons pas de développer ici une discussion générale sur le statut de ces lois. Il suffit d'observer que nombre de ces « lois » ont reçu le nom d'« effet ». Quand le contexte scientifique ou technique est très stable, on parle volontiers de loi ; s'il est en évolution rapide, on parle plutôt d'effet, et on lui donne plutôt un nom qu'il est facile d'isoler de ce contexte, par exemple le nom de la personne qui a fait connaître l'effet.

### **Caractère historique du travail scientifique**

Au cours de la conduite d'un projet scientifique ou technique, ces trois étapes sont parcourues dans l'ordre ou dans le désordre, et ce à de nombreuses reprises.

On espère ainsi cerner de plus en plus près l'effet que l'on veut contrôler : qu'est-ce qui varie, dans quelles circonstances et sous quelles conditions ?

Il est normal qu'observation, expérimentation et discussion soient inextricablement emmêlées tout au long du travail. C'est petit à petit, à la faveur de hasards plus ou moins heureux, que se dégagent les systèmes « intéressants », des relations « contrôlables » et des conclusions « généralisables ».

Enfin, il arrive que les conclusions soient tournées sous la forme d'un récit, et pas sous une forme générale. L'histoire de l'évolution des êtres vivants, l'histoire de l'univers contiennent de nombreux énoncés peu généralisables. Nous ne savons souvent seulement qu'une chose : les événements se sont déroulés de telle et de telle manière. Ce sont des « histoires comme ça ».

Pour mener à bien un projet scientifique ou technique, il faut être prêt à se dépenser sans trop compter en manœuvres d'approche, en procédures de déchiffrement et de relecture, et en discussions passionnées. Insistons un instant sur le caractère historique et quelquefois dramatique de ce travail.

- Les systèmes que l'on est à même de décrire ne sont pas figés : ils sont choisis selon les opportunités du moment.
- Les relations que l'on utilise ou que l'on étudie ne sont pas éternelles : elles varient elles aussi avec l'approche retenue.
- Les conclusions que l'on tente de dégager sont tournées en forme de loi ; mais les formulations que nous leur donnons ne sont pas forcément universelles « en général » : elles portent la trace d'un contexte donné.

## Les systèmes et les textes

Apprendre à mener des observations ou à construire un outillage, c'est tout comme apprendre à lire et à écrire : on effectue sur des objets un peu mystérieux (des textes, des systèmes, des machines...) des opérations assez simples en général, quelquefois assez compliquées, et qui peuvent se simplifier plus tard, à la faveur d'une relecture heureuse. Pour ce faire, on s'explique et on discute à l'aide de mots choisis pour en fonction de leur commodité.

Pour apprendre à lire et à écrire, on parle de « phrase », de « mot », de « texte », d'« analyse »... On se décide à isoler les phrases dans les textes ; on s'efforce d'analyser les phrases, on essaie de découper les mots en morceaux plus ou moins intéressants.

À l'occasion de ce travail, on lit et on relit des textes de toutes sortes : des textes qui racontent ; qui expliquent ; qui disent ce qu'on va faire ou ce qu'on doit faire ; qui discutent comment on évalue le caractère possible, certain ou impossible de certains énoncés ; qui jouent sur ce que suggèrent certains jeux avec les mots ou les sens.

Il existe pour la science des occasions favorables. On dit donc que ces occasions sont favorables au travail scientifique, c'est-à-dire au travail qui produit de la science (c'est le sens normal du mot « scientifique »).

C'est un ensemble de situations de ce type que nous présentons ici. Elles fourniront quelques informations sur des systèmes naturels plus ou moins simplifiés ; elles permettront au lecteur de reconnaître les démarches que l'on pratique dans les communautés scientifiques et techniques : simplifier des observations pour les rendre lisibles, relire les résultats d'autres observations, simplifier ces relectures, les formuler autrement, etc.

Ce travail ne s'effectue pas en un jour. Il emprunte toujours ses données à un travail préalable de chiffrage, qui a consisté à coder une situation pour la rendre lisible : c'est lors de la relecture que se produisent des effets de déchiffrement intéressants.

Simplifier ou coder des observations, c'est choisir des mots (au besoin, on en crée de nouveaux), et les mettre dans des expressions qui permettent quelquefois de mieux voir ce que l'on a écrit. Récapitulons :

- Pour savoir de quoi l'on parle, **on se construit un vocabulaire** : la liste des mots de ce vocabulaire parcourt l'ensemble des éléments du système sous étude. Pour ce faire, **on isole ou on construit un système matériel** : ce sont les objets qui serviront à tester le modèle que l'on se donne à propos du système.
- Pour préciser ce que l'on dit, **on place les mots de ce vocabulaire dans des phrases qui ont un sens** : on construit des relations significatives entre les éléments du système. Parallèlement, **on observe les**

**relations entre propriétés**, et spécifiquement entre celles qu'il est facile de modifier (les paramètres) et celles qui, en réponse, changent « à l'intérieur du système » (les variables).

- Pour comprendre ce que l'on conclut, **on met ces phrases dans un certain ordre, et donc dans un texte qui fait sens**. Et corrélativement, on parle de « lois naturelles » ou on raconte une « histoire naturelle ».

Qu'est-ce qui peut s'appeler système ? Un ensemble quelconque de choses. Ces choses sont, si l'on veut, des sous-systèmes. Le travail scientifique et l'étude technique consisteront à étudier les interactions de ces sous-systèmes entre eux. Récits, explications, analyses, constructions de modèles réduits, classifications... nombreux sont les genres de textes que l'observation des systèmes permet de produire<sup>5</sup>.

## Deux exemples

On examine ici le problème de la définition d'un système.

- Prenons le cas d'un système difficile à isoler, l'arc-en-ciel. Que va-t-on prendre comme élément du système, et quelles relations va-t-on retenir entre ces éléments ? Répondre à ces questions c'est déjà tout un travail en soi. Affirmer qu'il sera possible d'isoler des parties qui font sens dans un tout qui pour nous n'en a pas encore est une des clés de la démarche scientifique.

Pour aborder un tel système, on écarte donc de la scène d'observation ce qui ne fera pas sens dans le cadre d'un projet donné.

Quel est le critère ? On ne prend pas un paramètre en compte si rien ne varie dans les variables internes du système étudié lorsqu'on modifie la valeur de ce paramètre.

Ce type de choix jouera aussi, mais autrement, dans le travail de mise en récit. Ce travail restreint l'environnement dont on choisit de tenir compte, jusqu'à ce que l'on ait délimité la scène intéressante, qui définit le système sous étude.

- De petits objets durs (cailloux, graines) dans une callebasse : c'est un hochet. Quand on secoue le hochet de plusieurs manières différentes, on entend des bruits différents. Si c'est la production de ce son qui qui intéresse, on prendra en considération cet ensemble de petits objets, la boîte et la main, qui « font système » entre eux : si l'on supprime l'un des trois, le phénomène « hochet » disparaît. On a donc isolé le plus petit ensemble possible, puisque l'on ne peut plus rien ôter sans supprimer le phénomène. On peut alors jouer avec ce système, et voir comment il réagit quand on le fait bouger plus ou moins vite, plus ou moins brusquement, plus ou moins fort. La main pourra faire partie

5. Rappelons ici que les auteurs du rapport *Apprendre à lire au cycle des apprentissages fondamentaux*, publié récemment par l'Observatoire national français de la lecture (Morais et Robillart 1998, pp. 125 sqq.), insistent sur l'utilité d'une pratique souvent négligée : la lecture en classe de textes d'inspiration scientifique. Cette bonne pratique est recommandée dès les premières années de la scolarité obligatoire.

du système pour certaines observations ; et d'autres fois elle n'en fera pas partie : cela dépend de ce à quoi on s'intéresse.

### **Une action indirecte sur un modèle réduit**

On vient de parcourir les grandes étapes qui caractérisent la conduite d'un projet scientifique ou technique. Redisons en une phrase en quoi ce projet consiste :

On prend en observation un certain nombre d'objets, et on essaye ensuite de voir comment certains de ces objets évoluent lorsque nous modifions certains autres objets. S'il existe de telles relations, il y a système.

Cette phrase est un peu comme une formule magique : on ne la comprend pas avant de la pratiquer. Elle met en jeu des réflexes d'analyse et de mise en rapport entre paramètres, variables et système. Ces réflexes se développent par la pratique du travail.

On préfère souvent, pour savoir plus facilement de quoi on parle et à quoi on pense, que les objets dont se compose le système ne soient pas trop nombreux ; mais si on regarde bien, il arrive souvent que certains sous-systèmes soient eux-mêmes composés d'objets très nombreux : par exemple un tas de sable, une chute d'eau.

Un château de sable attaqué par l'eau des vagues, ou un morceau de sucre qui fond dans un verre, c'est un système qui peut être intéressant à observer.

Une chute d'eau qui fait tourner la roue d'un moulin, ou deux enfants sur une balançoire, c'est aussi un système qui peut être intéressant à observer.

À la différence de l'arc-en-ciel, ces petits systèmes donnent l'impression de donner prise à nos tentatives pour isoler des sous-systèmes ou pour intervenir.

Pourquoi les systèmes sont-ils eux-même variables ? Parce qu'ils dépendent du projet scientifique ou technique en cours.

On ne définit jamais un système de manière explicite avant de commencer un travail, puisque l'on ne dispose pas au départ d'une liste complète des objets isolables.

C'est donc le travail d'observation et d'expérimentation qui permettra de simplifier en vue de déchiffrer.

### **L'observation est une relecture**

Le système est comme un texte. Il peut être plus ou moins grand. Il est composé de plusieurs morceaux. Une phrase isolée n'est souvent pas très intéressante. Une fois mise en histoire, cette phrase prend un sens. Les proverbes, qui sont des textes très courts, ne prennent en général un sens que dans un contexte qu'il faut raconter. Sinon, ce sont des énigmes indéchiffrables. Il faut bien connaître un milieu humain pour

être capable de comprendre les proverbes ou — plus difficile encore — les plaisanteries. Ces « formes brèves » jouent sur les abréviations de contextes. Ils spéculent sur des effets de raccourci, de relecture plus ou moins biaisée.

Les énoncés scientifiques et techniques sont souvent aussi difficiles à lire, parce que le contexte est ailleurs : dans la culture de conventions et de souvenirs mise en jeu, dans les machines ou les appareils associés, dans les comportements particuliers des nombres et des formules de calcul, dans tels ou tels domaines de valeurs. Les élèves de l'école primaire n'ont pas ce passé d'expériences, ni cette habitude acquise de l'observation expérimentale ; il faut donc tenter de stimuler chez eux les conditions de développement de cette culture.

En quelques siècles, les sciences et les techniques ont accumulé un trésor d'énigmes. Il ne suffit pas de se baisser pour les ramasser et les rejeter après les avoir examinées un instant. Il faut « aller au charbon » : chipoter avec les objets évoqués par les formules.

### **La science ne travaille pas de son mieux**

Il est temps de dire plus clairement pourquoi on parle de système et pas seulement d'objets sous étude.

Ce qui nous intéresse quand nous faisons de la science expérimentale ou quand nous essayons de contrôler une machine, ce n'est pas de nous battre avec un objet, une chose prise à part des autres, pour obliger cette chose à faire ce que nous voulons.

Autrement dit, si une opération est difficile à effectuer dans un cadre expérimental, si une propriété est difficile à ajuster, le scientifique et le technicien renoncent à essayer de « faire de leur mieux » : la science n'est pas un art ni un sport. Au contraire, ils cherchent un truc pour tenter de bloquer cette propriété dans un état donné, pour cesser de se « donner du mal pour rien ». Ce qui les intéresse, ce n'est pas d'avoir le résultat le plus élégant ou le plus précis possible, mais de voir « comment les choses s'arrangent entre elles ».

Le geste du scientifique ne consiste donc pas à faire le mieux possible, mais à se faciliter la vie en bloquant la variation de certaines choses pour mieux observer la variation de certaines autres choses.

Et pour comprendre comment les choses s'arrangent entre elles, il faut savoir un peu « comment elles sont ». Par exemple, elles sont plus ou moins lourdes, plus ou moins grosses, plus ou moins chaudes, plus ou moins mouillées...

### **Une observation imprécise : le gros sac et les poings**

Quelqu'un tape à coups de poings sur un gros sac de sable, le sac ne va pas bouger beaucoup. Cette personne peut bien sûr essayer de taper plus fort. Mais on peut aussi essayer de comprendre ce qui se passe entre ses poings et le sac de sable. Si on prend un autre sac, à peu près

aussi lourd que le premier, et qu'on les bouscule l'un contre l'autre, il va se passer quelque chose : les sacs vont bouger.

On prend note, on recommence, et on tente de tirer l'une ou l'autre conclusion. Que s'est-il passé ? Quelles sont les caractéristiques en cause dans ce qui s'est passé entre ces objets ?

Le système à l'étude est ici composé du sac très lourd et d'une autre masse, pas assez lourds : les poings ne sont pas des objets efficaces pour cette manipulation : taper plus ou moins fort ne change rien à l'affaire. Il a fallu un objet plus massif, c'est-à-dire qui « faisait le poids » avec le sac.

C'est donc ici le caractère plus ou moins lourd des objets qui « fait la différence ».

### **Une observation plus précise : les billes**

Une fois simplifié le problème du gros sac que l'on essaie de faire bouger, il est permis de prendre en considération un système plus simple, composé d'objets dont le comportement est plus facile à observer.

Cet enfant joue aux billes. Les chocs entre billes sont des événements. À l'occasion de ces événements, certaines billes changent de place et de vitesse.

Certaines billes ont au départ une vitesse nulle (elles sont immobiles), et d'autres ont au départ une vitesse plus ou moins grande, et orientée dans tel ou tel sens. Si une petite bille arrive tout droit au beau milieu d'une grosse bille, on voit la petite bille repartir en arrière, tandis que la grosse bouge à peine.

Question : comment cet événement varie-t-il si les masses sont différentes ? Par exemple, une grosse bille contre une petite bille ? Le recours à l'expérimentation et la discussion théorique ont permis de reformuler les bonnes relations et de calculer les bonnes réponses.

### **Le travail de simplification impose des contraintes**

Pour mener à bien ces observations, nous avons choisi de travailler sur un matériel plus homogène, et dont le mouvement est simple : des billes.

Nous avons choisi des billes plus ou moins grosses : il est facile de faire varier la masse des billes. Nous pouvons alors constater que certains chocs ont un résultat « plus parfait » que d'autres : lorsqu'une bille frappe une autre au beau milieu, en la cognant tout droit, l'autre bille part dans la même direction.

Dans d'autres cas, le choc est moins « propre », la seconde bille part en tournoyant de manière compliquée, et l'on ne sait plus trop quoi penser. Ce type d'événement est très bon pour rêver, mais peu utile pour expérimenter.

Pour conduire une expérience sans compliquer inutilement le travail, l'expérimentateur renoncera le plus souvent à s'efforcer de viser très juste pour envoyer une bille de plein fouet sur une autre.

Au contraire, il « bloquera » les variations du jet de la première bille sur la seconde, en contraignant cette première bille à rouler sur un chemin forcé ; par exemple, il la fera rouler à l'intérieur d'une petite rigole en plastique ; ou le long d'un mur, etc.

On contraint ainsi la direction des billes ; il ne reste donc à contrôler que leur masse, le sens de leur mouvement et leur vitesse ; c'est déjà beaucoup.

### Séries d'événements et comparaisons

Une fois le système ainsi épuré, il est plus facile de comparer des cas qui diffèrent sur peu de choses, « toutes choses égales par ailleurs ».

Une petite bille vient heurter une grosse bille immobile : la grosse bille ne bouge pas, et la petite recule.

À l'inverse, si une grosse bille vient rouler contre une petite bille immobile, deux conséquences différentes se produisent. La grosse bille ne repart pas en arrière ; elle continue sur son chemin à peu près aussi vite qu'avant le choc. Quant à la petite bille, elle est projetée à toute allure en avant de la grosse, qu'elle distancie rapidement : elle part avec une vitesse plus grande.

On peut alors concevoir un troisième cas, qui se produit à la limite entre les deux autres, et envisager par *l'imagination* et le *raisonnement* ce qui *devrait* se passer alors.

Cette troisième expérience ressemble aux deux autres : une bille vient rouler contre une bille immobile. Elle diffère sur un point : les billes ont ici la même grosseur.

Nous avons vu dans le premier cas la petite bille « assaillante » repartir en arrière, et la grosse bille « assaillie » rester sur place.

Nous avons vu dans le second cas la grosse bille « assaillante » continuer son chemin et la petite bille « assaillie » filer en avant à plus grande vitesse.

Il est *imaginable* que dans le troisième cas, où les causes ont des valeurs intermédiaires (la bille assaillante est ni plus ni moins grosse que la bille assaillie), les valeurs des effets seront elles aussi intermédiaires. La bille assaillante ne recule pas et ne poursuit pas son chemin, elle s'arrête sur place et demeure immobile ; la bille assaillie part dans le même sens que la première et à la même vitesse.

L'expérimentation permet de conjecturer que ce modèle est bon.

Il y aura bien toujours l'un ou l'autre défaut dans les valeurs observées. Mais nous sommes partis cette fois d'une idée, d'un modèle du système ; et ce fait nous incite à conclure que le modèle est bon même si les valeurs observées dans l'expérience ne sont pas parfaites.

Le cas idéal envisagé suppose deux billes parfaitement du même poids qui se cognent juste au beau milieu, etc. ce n'est jamais tout-à-fait ainsi dans la pratique.

Le travail de modélisation permet de reconnaître le caractère approximatif de l'expérience pratique, et conduit à privilégier le caractère dogmatique de la loi énoncée. C'est dans ce privilège que se construit la théorie physique.

Les ingénieurs et les savants chipotent, discutent et se trompent souvent. Il faut des séances nombreuses, où le travail souvent relève du bricolage, pour isoler les divers aspects de ce qui est en jeu dans l'interaction sous étude: poids? densité? vitesse? dureté? et pour apprendre à modifier de façon claire les valeurs de la propriété que l'on veut modifier.

### **Dernier exemple: le repérage des propriétés favorables**

On prend un petit piquet ou un très gros clou en main, et on essaie de l'enfoncer dans un sol plus ou moins dur. On peut bien sûr essayer de pousser plus fort avec les doigts, ou la paume de la main, ou peut-être taper du poing sur la tête du piquet. On peut aussi taper dessus avec un bâton. On peut enfin placer une planchette sur la tête du piquet, et taper sur la planchette.

Cela fera moins mal, mais le résultat ne sera pas bien meilleur si le sol résiste trop bien. On peut se demander ce qui se passe si le bâton est plus lourd; on peut aussi essayer de voir où l'on a intérêt à « mettre le paquet »; comment répartir les masses du système qui va frapper; si l'on continue ce travail d'expérimentation pendant quelques séances, on a quelques chances de réinventer le marteau et le maillet; et de repérer les avantages de ces deux outils pour taper sur des objets différents.

Le système à l'étude est au départ composé du sol et du piquet; l'imagination et les comparaisons permettent d'introduire dans ce système des objets dont les effets sur le clou sont plus ou moins marqués. Repérer les propriétés intéressantes (le poids, la place et la trajectoire des objets quand ils se rencontrent...) c'est mener à bien un projet scientifique ou technique. Décrire les étapes par lesquelles passe ce travail, c'est pratiquer l'analyse scientifique des systèmes.

### **Traditions, relectures et expérimentations**

Quand ils découpent un système, les scientifiques et les techniciens s'appuient sur un trésor d'expériences et de raisonnements, et sur les bonnes idées qui leur viennent moyennant d'anciens récits d'observations, d'expérimentations et de conclusions qu'ils ont eu la chance de rencontrer.

Mais les occasions nouvelles d'observer, d'expérimenter et de conclure sont elles aussi un trésor, qui nous vient du futur. La science

et la technique ne s'appuient donc pas seulement sur le passé du savoir ; elle en profite — et quelquefois il les encombre. Trop savoir, c'est parfois devenir incapable de regarder ce que l'on a sous les yeux. Et chacun sait qu'une seule observation négative peut suffire à détruire tout un ensemble de conclusions chèrement acquises. Relire de vieilles expressions, c'est quelquefois trouver une nouvelle manière de les mettre en contexte entre elles ou avec l'expérimentation.

Résumons-nous. Les scientifiques et les techniciens tentent d'isoler des systèmes où il est facile d'identifier les interactions importantes : elles déterminent la variation de certaines propriétés internes en réponse à une modification introduite de l'extérieur.

L'énoncé de ces variations ne survient qu'après de nombreuses observations, heureuses ou malheureuses, concertées ou accidentelles.

Les récits d'observation sont donc toujours des relectures ; il passent en revue ce que l'on a déjà cru voir. Ils relisent les anciens récits de voyages au pays des systèmes, comme Télémaque reprend le récit du voyage de son père Ulysse.

Chemin faisant, ils permettent d'imaginer des situations différentes, de réécrire et de transformer les conditions expérimentales, et de rédiger de nouvelles conclusions, qui permettent de nouvelles observations. Nous allons voir sur quelques exemples comment ce travail s'effectue.

# DU BON USAGE DES SYSTÈMES

## Les relations internes d'un système sont des atouts

Les choses s'arrangent entre elles selon les relations qu'elles sont capables d'entretenir.

Ces relations peuvent être mécaniques et simples : les choses se poussent entre elles. Elles peuvent être un peu plus compliquées : elles se pénètrent et se découpent, ou se frottent en glissant plus ou moins aisément les unes sur les autres.

Elles peuvent mettre en jeu des réactions chimiques ou des interactions électriques, magnétiques ou autres.

Nous l'avons dit dans notre premier rapport<sup>6</sup> : la science ne s'apprend pas à coup de situations étonnantes ; elle n'est pas faite de « découvertes » ou de « stupeur », même si elle passe souvent par un moment d'étonnement ; elle s'acquiert en contrôlant un effet. Le bon usage des systèmes, c'est une activité pratique qui familiarise l'enfant avec le découpage (l'analyse) d'une situation selon les éléments décrits ci-dessus : un petit nombre d'éléments, une propriété que l'on veut voir changer, et un procédé, (un « truc »), le plus simple possible, qui permette de contrôler la variation de cette propriété.

Les relations internes à un système peuvent permettre un travail (la chute progressive du poids d'une vieille horloge assure le balancement du pendule ; mais alors il faudra de temps en temps remonter le poids pour faire marcher le pendule) ; elles peuvent aussi simplement déployer une force : un aimant attire.

Il existe une distinction entre le travail qui peut être produit quand l'on a convenablement préparé un système (par exemple : remonter la pendule) et une force qui agit « toute seule » comme la pesanteur sur terre ou l'attraction d'un aimant. Cette distinction passe par l'écriture de relations mathématiques qu'il a fallu des siècles pour isoler et simplifier ; mais elle peut être montrée aux yeux : l'aimant ne doit pas « être remonté » pour attirer les aiguilles.

On montre ici sur quelques exemples en quoi consiste dans de nombreuses situations différentes, le contrôle indirect d'une propriété moyennant la variation plus ou moins contrôlée d'une autre propriété.

L'enseignement fondamental peut donner aux enfants l'occasion de rencontrer de nombreux trucs de bricolage que les apprentis engagés dans la pratique d'un métier ne rencontrent souvent que dans des situations de tension extrême, qui leur donnent l'impression d'être considérés comme profondément incapables de réfléchir.

---

6. Nardone P. et Pahaut S., 1998a, 51 sqq.

Le plus souvent, l'école primaire ne peut pas pousser les élèves à mesurer ces effets ni à construire des relations mathématiques entre les valeurs des mesures. Il s'agit là d'opérations typiques de l'apprentissage de la notion de fonction, qui se met en place au cours des études secondaires.

Mais à l'inverse, il est quelquefois possible de rencontrer une « mathématique en acte ». Ces situations sont bien connues en didactique ; aussi n'en dirons-nous que quelques mots.

### Approche motivée d'une procédure

Soit un problème où l'on demande de diviser 3,5 par  $1/2$ . On peut le traiter comme la division d'un nombre par un autre, sous la contrainte supplémentaire que les deux nombres sont écrits sous la forme de fractions. On sait que l'application de la règle de calcul adéquate égare beaucoup d'élèves. L'école, fort sagement, proposait naguère de voir combien de fois une demi-tarte figure dans sept demi-tartes. Cette présentation n'exclut pas le travail de formalisation ; mais elle permet de donner une première formulation, qui permet de donner la raison de la procédure proposée. À défaut, l'apprentissage s'enlise dans une situation paradoxale bien connue, où c'est la procédure de solution qui constitue un problème incompréhensible.

Nous tenterons donc de présenter les choses sous leur aspect le plus simple, c'est-à-dire le plus proche de procédures élémentaires de dénombrement, de comparaison ou d'approximation d'un but.

Nous citons au hasard quelques situations d'apprentissage sur lesquelles il conviendrait que l'école fasse revenir les enfants à de nombreuses reprises, si l'on veut qu'ils les comprennent pratiquement.

### Quelques exemples

- Cet homme veut frapper sur un clou qu'il tient entre les doigts. Il peut essayer de viser juste sur la tête du clou. S'il rate un coup de marteau, le coup frappera sur ses doigts. C'est de bonne guerre.

Il peut aussi essayer de faire de la position du clou une variable interne à un petit système contrôlé indirectement de l'extérieur. En d'autres termes, il peut ficher au préalable le clou au travers d'une languette de carton fort. En pilotant le clou avec cette languette, on tient les doigts à distance du clou et celui-ci en bonne place.

Cet exercice de travail contrôlé est en même temps une approximation concrète de la notion de point. En effet, repérer un point où l'on veut ficher une mèche, planter un clou ou fixer une vis, c'est d'abord le **pointer**.

- On peut tenter de retrouver le résultat d'une opération de pointage. La procédure la plus simple consiste à chercher une marque que l'on a posée. Sinon, il faut d'une manière ou d'une autre refaire le chemin qui

a conduit à cette marque ; par exemple, ce point était au croisement de ces deux lignes.

- Enfin, il arrive que l'on doive retrouver un point sur une nouvelle surface, privée de marques et de chemins. Par exemple, on veut retrouver sur un papier peint le lieu qui correspond au trou pratiqué dans un mur pour y enfoncer une vis. Un marquage efficace consiste à planter dans le trou, avant de poser le papier peint, une petite pointe facile à placer et à enlever, par exemple un petit cure-dents en bois ; cette pointe percera discrètement le papier peint au moment de la pose.

Des activités de ce type permettent de rencontrer des contraintes exigeantes en confiant la précision demandée aux bons soins du système que l'on a sous les yeux : la surface du mur « maintient » le cure-dents, et attend la mise en correspondance avec la surface du papier. Ici encore, la science et la technique ne sont pas un art ni un sport : elles tentent de contrôler une chose pour agir sur une autre, en suivant une voie facile.

- Si l'on veut *ne pas marquer* un point sur une surface fragile pendant un travail, il est souvent possible de « répartir » la marque sur une surface assez grande pour que la pression soit plus faible. Ainsi, pour empêcher une échelle de marquer un tapis, on peut mettre sous les pieds de l'échelle des fonds de boîte de conserve ou de petites planches.

On conçoit que l'observation précoce et répétée de ces situations peut faire plus pour l'apprentissage de l'idée de pression que des exercices de physique mathématiques administrés à temps et à contretemps.

D'autres observations simples peuvent familiariser avec la pratique de disciplines de l'art de l'ingénieur, comme par exemple celle qui tente de contrôler les effets de frottement :

- Enrouler un élastique autour du manche d'un marteau ou d'une hache avant de le fixer dans le fer. La surface de l'élastique empêchera le fer de glisser. Autre truc de métier riche d'enseignements : Pour ôter des traces de colle, il ne suffit pas toujours d'appliquer un savon ; quelquefois il faut « jouer le jeu » du frottement : déposer un peu de farine, et frotter avec le doigt jusqu'à la formation de petits grumeaux qu'il est plus facile de faire partir.

### **Où les choses nous tendent la main**

L'expérience des artisans, des professeurs, des savants... n'est pas indispensable à l'école ; mais elle est irremplaçable. Elle permet, nous l'avons assez dit, de repérer quelques abords par lesquels une propriété qui nous intéresse se laisse approcher : lorsque quelque chose semble inaccessible, il existe parfois — pas toujours — une autre chose qui permet de négocier une transformation favorable.

Si un autre homme — quelquefois un autre être vivant ou une chose — balise un tel chemin indirect, pourquoi ne pas en profiter ?

La présence de plantes atteste qu'il y a de l'eau ; celle d'un groupe de lions suggère qu'il y a des gazelles, ou quelques tonnes d'équivalents-gazelles. Connaître les systèmes qui rassemblent entre eux les êtres et les choses, c'est devenir capable de saisir les mains-courantes que nous tend la nature.

C'est dans cet esprit que nous présentons des schémas d'expériences choisis, susceptibles de servir de support à des projets pédagogiques divers. Ces projets peuvent être, selon les programmes adoptés dans les diverses écoles et selon les choix des personnes responsables, plus ou moins didactiques ou plus ou moins heuristiques.

L'insistance du législateur sur les compétences nous a encouragés à maintenir le cap durant notre travail.

Le point central de la philosophie du Décret sur les Missions de l'École incite à mettre les élèves en face de situations-problèmes, et les inviter à chercher des indices susceptibles de leur donner la clef de l'un des chemins qu'on souhaite les voir parcourir.

Nous ne croyons pas trahir les intentions du législateur en voyant ici une indication pour une « mise en mouvement » des signes utilisés dans la communication en classe<sup>7</sup>.

Les trois pages de l'annexe VI du décret mentionné en note 1 ci-dessus (éducation par la technologie) contiennent d'excellentes indications sur les situations-problèmes, le repérage d'éléments significatifs et leur mise en correspondance selon des critères divers : classification, dépendance fonctionnelle, etc. Ces pages donneront tout leur potentiel de mobilisation culturelle lorsque la demande de science et de technologie formulée dans les écoles sera confrontée au discours simple, souvent parcellaire, toujours efficace, des hommes et des femmes de métier.

Les diverses modalités du dialogue critique sur la place des sciences et des techniques dans la société contemporaine ont déjà été étudiées dans le cadre des travaux de la Direction de la Recherche en Éducation et du Pilotage interréseaux, et nous n'avons pas à y revenir ici ; qu'il suffise de dire que cette discussion mérite d'être conduite de manière

7. Les *indices*, on le sait, ne donnent pas toute la réponse, mais ils *mettent sur une piste* en raison de leur connexité avec celle-ci. Ce marquage aveugle d'une famille de directions caractérise leur intervention dans le système de décision et de communication que constitue une enquête.

D'autres types de signes évoquent par analogie une situation de départ déjà connue dont les tenants et les aboutissants sont plus familiers : les *images* plus ou moins confuses qu'ils nous permettent de réactiver sont plus stimulantes, et souvent plus trompeuses, que les indices.

Enfin, des règles de maniement correctement définies permettent parfois de mener un calcul à l'aide de notations plus ou moins adaptées, et d'évaluer par avance le résultat de telle ou telle exploration. Ces *symboles* dépendent en pratique d'un univers de conventions librement souscrites, et quelquefois sanctionnées par la cohérence des résultats.

La pratique de ces trois classes de signes (*images*, *indices*, *symboles*), reconnues voici un siècle par Ch. S. Peirce, permet aux personnes engagées dans un parcours d'apprentissage de reconnaître, de baliser et de parcourir efficacement les étapes rencontrées ; voir à ce sujet Nardone P. et Pahaut S., 1998a, pp. 56 sqq. ; Chemla K. et Pahaut S., 1989.

approfondie, si l'on veut éviter de voir se développer en classe des réactions d'hostilité au travail scientifique et aux pratiques techniques dont il ne suffira pas toujours de dire qu'elles étaient imprévues.

Le contact des élèves avec les sciences n'est pas toujours facile. La situation de leurs maîtres n'est guère plus confortable. Nous avons déjà évoqué les distances qui séparent les diverses communautés professionnelles concernées.

On sait que les enfants sont aujourd'hui volontiers mobilisés, et invités à défendre la nature contre les assauts dominateurs des sciences et des techniques. Il est temps d'aborder une réflexion de fond sur la problématique que structure ce pavement de bonnes intentions. Qu'il soit permis de rappeler que cette nature est la même que celle que rencontrent dans leurs travaux les scientifiques et les techniciens<sup>8</sup>.

---

8. En ce sens, s'il est vrai que chaque milieu construit ses représentations de la nature, il reste que la discussion est et reste ouverte. Derrière l'idéologie de la « critique citoyenne » se dissimule quelquefois une défiance active à l'endroit de la pratique et des résultats de la science moderne.

Celle-ci mérite mieux : son horizon de travail ne suppose pas une nature inerte et manipulable à volonté. Les travaux contemporains de philosophie de la nature ont montré que les systèmes physico-chimiques sont capables d'une riche palette de comportements, qui évoquent par exemple des propriétés de « mémoire » ou de « sensibilité aux conditions extérieures » que l'on avait longtemps cru réservées aux systèmes vivants. Cette vision d'une nature plus riche que la nature-automate du XVII<sup>e</sup> siècle devrait être mieux connue ; mais pour juger de son intérêt il faut un minimum de culture scientifique et technique.

Ce travail de réconciliation des visions du monde de diverses communautés professionnelles correspond à une entreprise de longue haleine, que nous ne pouvons que mentionner ici (voir Prigogine I. et Stengers I. 1979) ; nous ne pouvons que renvoyer aux analyses de notre précédent rapport : Nardone P. et Pahaut S., 1998a, pp. 25 sqq.



## QUELQUES POINTS DE MÉTHODE

### Principes généraux

On rappelle ici en quelques mots les critères en fonction desquels les activités proposées ont été sélectionnées.

- Il s'agit d'activités *expérimentales* : elles permettent de rencontrer un processus naturel.
- Les constatations obtenues doivent permettre aux enfants de formuler des *conclusions* construites sur le modèle des lois scientifiques.
- Il s'agit d'activités *pratiques*, comparables à ce titre à celles qui permettent l'apprentissage des routines qui facilitent le calcul ou la lecture.
- On propose à chaque enfant un travail *personnel* (Les matériaux proposés sont simples et peu coûteux).
- Nous souhaitons que chaque élève puisse emporter « à la maison » les matériaux utilisés.
- On verra que certains travaux demandent une collaboration de petits groupes d'enfants.

### Contraintes générales

Ces choix, qui définissent le programme présenté, introduisent en fait des limitations sévères sur les types d'expériences présentables.

- En particulier, nous avons éliminé des expériences qui font appel à des énergies, à des températures, à des outils ou à des matériaux dangereux ou difficiles à contrôler.
- En outre, nous avons privilégié des effets qui permettent des conclusions d'observation immédiate. Les activités proposées doivent avoir fait l'objet d'une expérience préalable. Par exemple, si l'on prend un « savon » du commerce sans vérification, il se peut fort bien que ce ne soit pas du savon, et que ce soit un nettoyant acide ; ce n'est pas très grave pour les expériences proposées, mais l'effet peut être désastreux du point de vue psychologique.
- Enfin, nous avons retenu des phénomènes d'intérêt assez général, pour permettre aux enseignants de jeter des passerelles avec d'autres éléments d'information scientifique ou technique rencontrés au cours des diverses activités scolaires ou extra-scolaires.

### Contexte d'utilisation

Il convient d'insister sur la démarche délibérément « restrictive » du présent document : plusieurs dimensions de l'éveil aux sciences et aux techniques échappent à l'approche présentée ici.

Dans le cadre concret de la classe, les enseignants ont en effet à leur disposition des modèles d'activité différents : écoute d'histoires, discussions, visites, exploration de milieu, travail de recherche de documentation, présentation par un enseignant ou un animateur d'expériences scientifiques plus complexes ou plus délicates...

Les exemples présentés ici n'épuisent donc pas l'ensemble des types d'activités utiles durant les premières années d'enseignement.

La mise en œuvre pratique et l'insertion dans le contexte des activités scolaires relèvent donc des choix pédagogiques adoptés par les personnes responsables de l'enseignement.

Il convient cependant d'insister sur le fait que les raisonnements élémentaires dans le domaine des sciences et des techniques ne sont pas assimilables « en une fois », à la faveur d'une visite d'exposition ou d'une intervention de spécialistes.

Ces raisonnements élémentaires correspondent à des aptitudes qui doivent être développées par un exercice **répété**, comme dans tous les autres domaines de l'apprentissage.

*Les sciences et les techniques ne relèvent pas de la seule découverte : elles relèvent d'une pratique et d'un travail. C'est là une vérité d'expérience quotidienne pour les enseignants du secondaire et du supérieur.*

Il est permis d'espérer que cette vérité sera bientôt familière et bienvenue aux yeux des parents, des enfants et des enseignants du niveau fondamental.

### Statut des exemples présentés ici

Lors de la discussion de notre premier rapport annuel, nous nous sommes engagés à rédiger des documents susceptibles de faciliter le travail d'évaluation et de mise au point prévu lors de la réunion d'évaluation de mars 1999. Nous avons promis de montrer à cette fin quelques exemples d'activités où soient explicités sous forme concrète, et ainsi plus accessibles à la discussion, des choix que nous avons alors présenté sur un mode plus argumentatif.

Nous avons déjà présenté les objectifs choisis pour le travail en cours ; ils sont repris dans l'introduction du rapport que nous venons de présenter. Nous tenons à rappeler ici que les activités proposées ne relèvent pas d'un enseignement sur la *réalité* telle qu'elle est supposée connue par les savants et les ingénieurs, mais du développement d'une compétence spécifique, qui consiste à savoir mener une *expérimentation*, dans le sens que nous avons donné à ce mot, et sur lequel nous revenons ci-dessous pour dissiper tout malentendu. Ce qui manque à nos élèves,

ce n'est pas de connaître *plus* de sciences et de techniques, c'est d'en pratiquer *un peu*.

### **La discussion critique se pratique et s'apprend**

Ainsi que nous l'avons expliqué dans les documents soumis à la discussion l'an dernier, il ne s'agit donc pas ici de transmission de *connaissances* sur le monde, mais du *maniement contrôlé* de petits systèmes matériels, qui doit permettre à chaque élève d'aboutir, moyennant une discussion critique et sanctionnée par l'expérimentation, à des *conclusions* formulées dans le style de ce que l'on appelle lois scientifiques.

Cette compétence, et nous sommes convaincus de traduire le souci de toutes les personnes engagées activement dans les sciences et les techniques, il faut qu'il soit possible de la reconnaître comme telle et d'évaluer ses modalités d'insertion dans la formation des élèves.

Elle est en un sens présente dans les familles, à travers certaines dimensions des métiers des parents, et à travers certaines pratiques domestiques (cuisine, bricolage, travaux ménagers). Nous avons montré le paradoxe qui fait que les sciences et les techniques ne sont pas pratiquées là où les enfants sont tous ensemble : à l'école primaire. Et nous savons tous combien à partir du secondaire les sciences et les techniques divisent aujourd'hui encore les sexes et les couches sociales. L'École fondamentale a ici un rôle prophétique et constructif à jouer, qu'il faut définir et vouloir avec clarté.

Notre responsabilité est de présenter clairement la contribution propre que les sciences et les techniques peuvent apporter à l'éducation : introduire les enfants à un mode d'interaction particulier entre les êtres humains, qui s'appuie sur la *discussion critique*, le recours à la *preuve* et à l'*expérimentation*.

Nos écoles se trouveront certainement mieux de posséder un accès aux outils de calcul et de communication modernes ; mais l'humanisme scientifique et technique ne devrait pas y être plus longtemps inconnu. Nous avons en tout cas constaté que les enseignants sont très bien disposés à cette mutation.

La pratique expérimentale des sciences permet un apport de compétences spécifiques à peu de frais, en même temps qu'une formation à vivre ensemble un certain mode de vie égalitaire sur le bien-fondé duquel nous n'aurons aucune gêne à insister, et que l'expérimentation est seule à permettre : un enfant qui sait avoir vu quelque chose sait qu'il doit pouvoir être entendu — cette « démocratie scolaire » est plus simple et plus directe encore que celle que fonde l'art de la preuve ou du calcul bien fait.

## Deux autres réformes en cours

C'est pour préciser ces objectifs et le terrain complexe où ils figurent que nous avons évoqué dans le rapport de l'an dernier deux autres réformes scolaires qui cherchent leur voie depuis plusieurs dizaines d'années : l'apparition des structures algébriques dans l'apprentissage des mathématiques, et la prise de conscience, plus progressive, des mécanismes phonétiques peu intuitifs qui sous-tendent l'apprentissage de la lecture.

Dans ces deux domaines, la rencontre entre enseignants et spécialistes relève en gros du hasard, tant sont grandes les distances institutionnelles entre ces groupes de professionnels. Il nous appartient de tenter de rendre ce type de hasard moins improbable<sup>9</sup>.

Nous l'avons dit, la recherche en pédagogie des sciences ne peut certes pas prétendre disposer dès aujourd'hui de résultats aussi élaborés que ceux des mathématiques modernes ou de la psychologie cognitive de la lecture.

Mais nous trouvons quelque encouragement à méditer les difficultés rencontrées et en partie résolues dans ces deux entreprises majeures de rénovation de la pratique de l'enseignement.

## Remarque historique

À la différence de notre premier rapport, le présent travail ne formule pas d'analyse historique ou sociale, même sommaire. Nous n'aurons donc guère l'occasion de baliser les endroits sur lesquels un projet éducatif lié à la pratique des sciences et des techniques est amené à se démarquer des divers programmes éducatifs de la Réforme protestante et de la Contre-Réforme catholique, dont le poids sur ce qui est depuis devenu un ensemble de traditions est aujourd'hui encore considérable<sup>10</sup>.

9. Il n'est pas nécessaire de revenir ici sur ces points, qui ont été développés ailleurs. Nous renvoyons à Nardone P. et Pahaut S., 1998a, pp. 42-50; on trouvera un résumé dans Nardone P. et Pahaut S., 1998b, paragraphe "Types de contenus et modèles d'apprentissage". Nous nous permettons de rappeler ici qu'il est temps de recourir de manière plus ouverte aux ordinateurs et à la communication. De nombreuses tentatives sont aujourd'hui en cours de développement, et c'est très bien ainsi. Il suffira d'insister ici sur le fait qu'avant le multimédia audio-visuel, c'est le fait de pouvoir communiquer des textes qui modifiera dans les prochaines années la situation d'isolement que nous avons laissé se développer autour des écoles. Les nouveaux standards de communication en matière de texte (XML), qui entreront bientôt en usage, faciliteront en pratique l'intervention des membres des communautés éducatives dans la mise au point de matériel pédagogique. En effet, ces procédés permettent de donner à chaque acteur (enseignant, secrétaire, documentaliste, etc.) le moyens d'intervenir dans la préparation d'un document sans préjuger de sa présentation typographique finale, mais en marquant les divers segments du texte en fonction de conventions qui se rapportent à sa structure documentaire : exemples, titre, note, etc.

10. Nous nous contentons de renvoyer le lecteur à la troisième partie de notre premier rapport (EST p. 51 sqq.). Nous avons depuis relu avec intérêt un document qui a joué dans l'imaginaire éducatif de notre pays, non moins que dans la pratique institutionnelle, un rôle que l'on se gardera de sous-estimer, la *Ratio Studiorum* des Jésuites, récemment republiée (Paris, Belin 1997). On y trouve plus d'un trait des idéaux mal équilibrés dont l'école souffre aujourd'hui : recours superlatif à la tradition rhétorique et à la discussion des auteurs; recherche gratuite de l'excellence dans la formulation des opinions; application impavide de techniques logiques particulières dans des matières où elles n'ont que faire; tactiques

Si nous insistons aussi nettement sur ce point, ce n'est pas pour renouer avec des polémiques qui sont aujourd'hui loin de nous, mais parce que la présentation des intentions du présent projet de travail, il est vrai délibérément « scientifique », a plus d'une fois soulevé des questions sur notre ignorance présumée d'un contexte social et historique que nous n'avions pas à traiter, mais dont il convenait dès lors de dire quelques mots.

---

d'intimidation des adversaires peu familiers d'Euclide et d'Aristote, place en définitive mineure assignée aux sciences et aux techniques.

Les procès intentés jadis et naguère — à l'intérieur comme à l'extérieur de l'Ordre — contre cette éducation brillante et naïve ne doivent plus être instruits à nouveaux frais. Mais il est aujourd'hui permis de passer outre, et de construire un nouvel univers de référence pour l'école. Les sciences et les techniques peuvent y contribuer.



# 1 POIDS ET RESSORTS

## 1.1 Présentation

Plus on tire sur un élastique, plus il s'allonge. Cette constatation pousse à ranger l'élastique dans la catégorie des ressorts.

On examine ici quelques-unes des propriétés qui peuvent être explorées dans ce contexte.

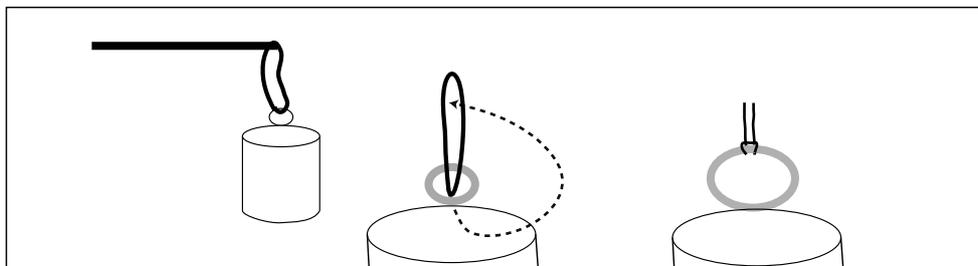
Les ressorts répondent d'une certaine manière quand on les soumet à un effort. Leur comportement est particulièrement simple à modéliser.

## 1.2 Matériel

Élastiques de bureau (on essaiera de disposer d'une série d'élastiques semblables pour pouvoir comparer leur comportement), petits objets pesants, de l'ordre de quelques centaines de grammes chacun (canettes de limonade, livres, tasses, etc.)

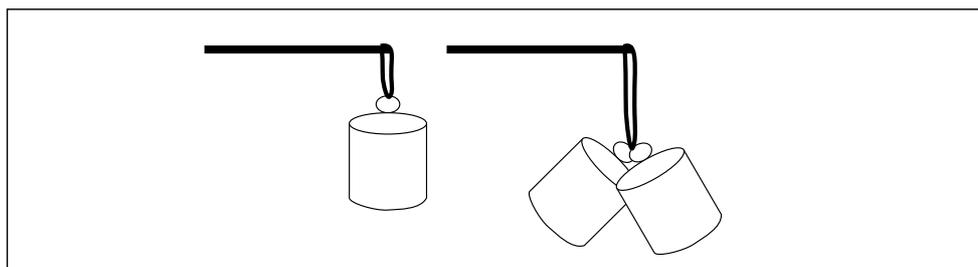
## 1.3 Expérience 1

1) On attache un objet pesant à un élastique. On observe la longueur de l'élastique lorsqu'il est déjà tendu (presque « en charge »), mais ne porte pas encore le poids de l'objet. On mesure ensuite sa longueur quand il porte le poids de l'objet.



**Figure 1.1** Procédé de suspension. On passe un élastique dans la bague d'une canette, et on repasse un des bouts de l'élastique dans l'autre. On obtient ainsi un noeud facile à défaire.

2) on refait la même expérience en attachant cette fois deux ou trois objets pesants à l'élastique. On mesure l'allongement obtenu.



**Figure 1.1a** Suspension. On suspend un ou plusieurs objets à un élastique : l'allongement est de plus en plus grand.

#### 1.4 Conclusion 1

L'allongement de l'élastique est d'autant plus grand qu'il « porte » plus d'objets.

#### 1.5 Expérience 2

On noue deux élastiques semblables bout à bout, (c'est-à-dire **l'un après l'autre** ou « en série ») pour former un élastique « long ».

On suspend un objet à un élastique de la même qualité, puis à l'élastique « long ».

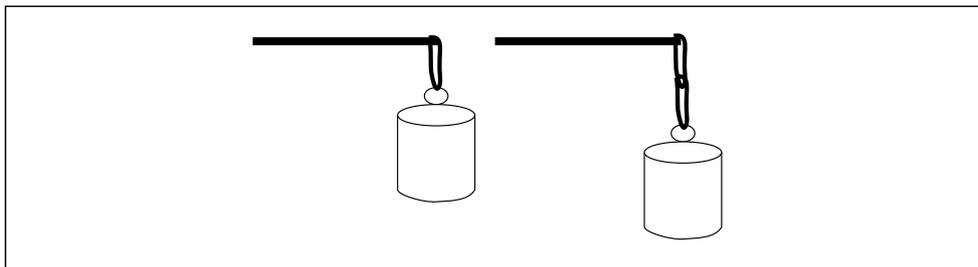


Figure 1.2 Suspension. Deux élastiques accrochés l'un à l'autre « en série ».

#### 1.6 Conclusion 2

L'élastique « long » (celui qui a été construit) s'allonge davantage qu'un élastique « simple » pour porter le même objet.

#### 1.7 Expérience 3

On noue deux élastiques « ensemble », (c'est-à-dire **l'un à côté de l'autre** ou « en parallèle ») pour former un « gros » élastique.

On suspend au même support un objet à un élastique, puis à un « gros » élastique.

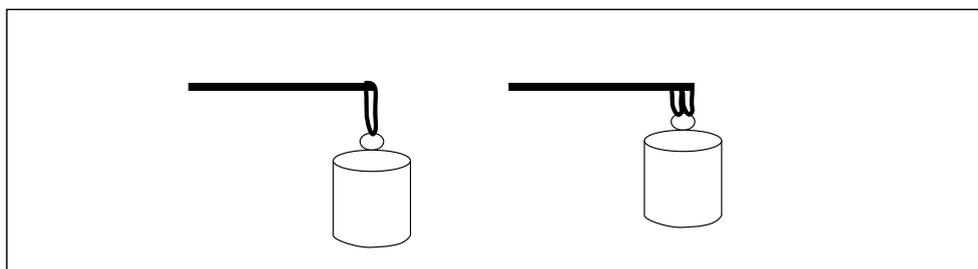


Figure 1.3 Suspension. Deux élastiques accrochés « en parallèle ».

#### 1.8 Conclusion 3

Le « gros » élastique s'allonge moins qu'un élastique simple.

#### 1.9 Remarques

On note dans un cahier les allongements des élastiques dans les trois cas de figure.

## 1.10 Commentaires et bifurcations

### 1.11 Sur l'expérience 1

Un élastique est composé de molécules « compliquées » qui peuvent « s'étirer », changer de forme, s'ouvrir quand on « tire » dessus.

Ici ce que l'on veut montrer c'est la « proportionnalité » entre la force et l'allongement. Plus la force est grande plus l'allongement est grand.

### 1.12 Sur l'expérience 2

L'élastique du dessous porte le poids de la canette, et s'allonge d'autant qu'il doit pour ce faire; c'est-à-dire, tout simplement, autant que l'élastique de l'expérience 1.

L'élastique du dessus porte aussi le poids de la canette (sans oublier le poids de l'élastique du dessous...); il s'allonge donc en gros d'autant.

L'allongement total est donc plus grand que celui provoqué par cet objet porté par un seul élastique.

### 1.13 Sur l'expérience 3

Ici chaque élastique « aide » l'autre à porter la canette : Chacun ne doit donc porter qu'une partie du poids, disons la moitié. Il s'allonge donc moins qu'il ne le ferait s'il devait porter la canette seul.

### 1.14 Marquages et allongements

- Il s'agit ici d'une expérience particulièrement simple, ce qui ne veut pas dire simpliste. Par exemple, c'est suivant ces principes que l'on fabrique les câbles en réunissant des cordes, et les cordes en réunissant des brins de ficelle.

- Le raisonnement « déductif » ou « constructif » peut s'exercer surtout dans les expériences 2 et 3, puisque l'on peut construire des phrases avec des **alors**, et des **donc**.

- On peut, si on le désire, « quantifier » ces expériences. On mesurera alors la longueur des élastiques dans les différentes situations et la valeur du (ou des) poids.

- Il est aussi important de ne pas oublier le fait qu'il faut sur l'élastique **deux** forces : une qui *tient* l'élastique et une qui *tire* sur l'élastique.

- On peut encore écrire son prénom sur l'élastique au repos. Puis tendre l'élastique par une masse et regarder son prénom s'étirer. On voit que chaque lettre s'étire; le ressort ne s'allonge pas seulement à une de ses extrémités : il s'allonge sur toute sa longueur.

- (Cette activité demande une maîtrise de la latte et une connaissance de base de la mesure de longueur). On peut aussi délimiter, sur l'élastique au repos, des plages de longueurs différentes : une plage d'un centimètre, une de deux centimètres et une de quatre centimètres.

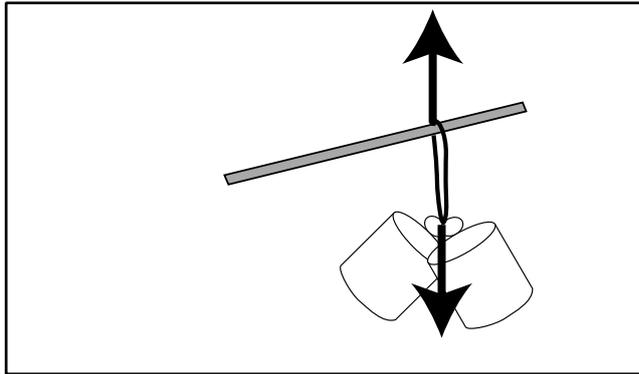


Figure 1.4 Suspension. deux forces sont en présence.

Tendre l'élastique et mesurer à nouveau la longueur des plages. On arrive ainsi à la conclusion que l'allongement « en charge » est proportionnel à la longueur de la partie au repos. Cette constatation permet, par le raisonnement, d'arriver à la conclusion que chaque petite plage de l'élastique se déforme en fait très peu.

- Si au lieu de délimiter des plages on trace des traits espacés d'un centimètre, on peut évaluer cette élongation proportionnelle.

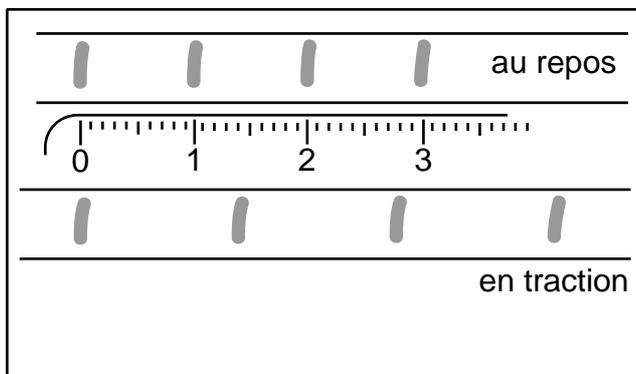


Figure 1.5 les traits se « déplacent » proportionnellement

- Puisque l'élastique s'allonge, on peut demander aux enfants de préciser si quelque chose d'autre va changer aussi (sa largeur, son épaisseur, son poids, son volume). Cela peut se faire en proposant une expérience (une mesure relative de la largeur de l'élastique par exemple); ou en proposant un raisonnement qui fera intervenir la notion (complexe) d'invariance. Par exemple: « le volume ne peut pas changer, et donc l'élastique doit se rétrécir... » ou « la quantité de matière doit être la même donc... ».

### 1.15 Perspectives

- L'élasticité des corps résulte d'interactions complexes entre les molécules et la structure moléculaire du matériau.
- On peut tester cette propriété en laissant des élastiques à la lumière du jour et à la chaleur. La structure « interne » du matériau dont sont

faits les élastiques en sera modifiée, et ils deviendront « cassants » : ils perdront, en partie ou totalement, leur propriété d'élasticité.

- La loi qui pose que l'allongement est proportionnel à la force qui s'exerce sur un objet est vraie approximativement pour tous les objets solides, de l'acier au verre.

- Mais cette propriété a des limites. Un trombone réagit de manière *élastique* dans un certain régime de fonctionnement lorsque nous pinçons des feuilles de papier (il revient à son état de base « normal »), mais réagit de manière *plastique* (il se déforme) lorsque nous tentons de le déplier : il ne revient pas alors spontanément à son état premier.

- Enfin, si on écarte de sa position de repos (vers le bas) la masse pesante suspendue à l'élastique et si on la « laisse aller » ensuite, cette masse oscillera autour de sa position de repos. Elle va retourner au repos après un certain nombre d'oscillation. Cette propriété d'osciller est liée aux propriétés élastiques. Chaque fois que l'on constate une déformation élastique, il y a une possibilité d'oscillation que l'on qualifiera d'élastique.

- Il existe un modèle général qui correspond au comportement idéal de réponse que nous venons d'étudier, à savoir un allongement directement proportionnel à la force exercée. C'est le modèle que les physiciens et les ingénieurs appellent : *oscillateur harmonique*. Ce modèle est très important tant par sa « simplicité théorique » (sa mise en équation est particulièrement simple) que par sa généralité expérimentale.

\*\*\*

La loi physique visée ici, qui s'énonce « l'allongement d'un ressort est proportionnel à la force exercée », relève de capacités de calcul et de raisonnement qui mettent des années à se développer. Il s'agit en fait d'une « idéalisation » expérimentale nécessaire : la modélisation théorique du ressort.

Sans forcer les élèves à sauter des étapes, cette observation, convenablement répétée, permet aux activités d'éveil aux sciences d'accompagner un parcours personnel qui prépare à comprendre la loi physique, une fois qu'elle sera formulée, parce qu'elle a auparavant fait l'objet de « travaux pratiques ».



## 2 (DÉS)ÉQUILIBRES ET (IN)STABILITÉS

### 2.1 Présentation

Disons d'abord les choses en gros, en évoquant une activité qui fascine de nombreux enfants : quand on pousse un objet vers le bord d'une table, il finit par tomber.

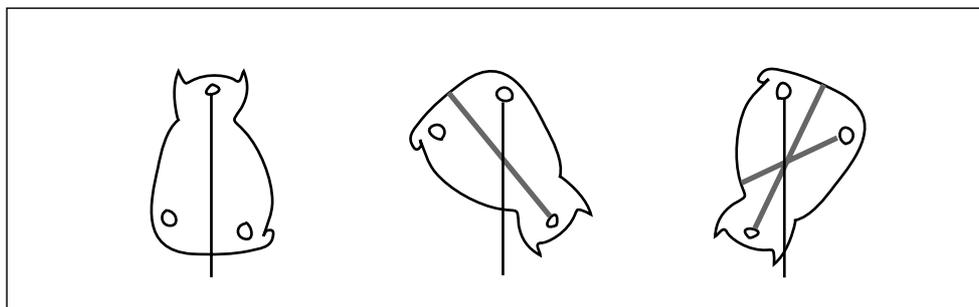
Il ne suffit pas de le pousser *près du bord* pour qu'il tombe : il faut encore que l'objet déborde assez par-dessus bord. Il faut qu'une partie raisonnable — décisive — *dépasse* le bord et arrive au-dessus du vide. Par exemple, si je pousse un crayon par un bout vers le bord de la table, il basculera dès qu'il dépassera son *point d'équilibre*.

Tout les objets ont un *centre de masse*. C'est le centre autour duquel on les voit parfois hésiter avant de tomber d'un côté ou d'un autre.

Le but ici est de construire un repérage de ce « centre »

### 2.2 Matériel

Feuilles de carton fort, paires de ciseaux, épingles, perforatrices, ficelles, petites baguettes (1 ou 2 mm de largeur, 10 à 20 cm de longueur).



**Figure 2.1** Figure découpée. Les trois cercles représentent des trous par lesquels on peut suspendre la figure.

### 2.3 Expérience 1

1) On découpe une figure pas trop petite (une dizaine de cm suffit) et plus ou moins compliquée : un rond, un carré, un canard, un chat...

2) On perce quelques trous (3 ou plus) à divers endroits près des bords de la figure.

3) On suspend la figure à l'un des trous avec une épingle fichée dans un support vertical quelconque (tableau d'affichage, planchette de liège, etc.), et on la regarde balancer librement.

4) On trace sur la figure la ligne verticale qui passe par le trou de suspension et qui descend *tout droit vers le sol* : c'est la verticale.

5) On répète les opérations (3) et (4) autant de fois qu'il y a de trous.

6) On observe le point de rencontre des lignes tracées : c'est toujours le même.

On dessine ou on décalque une copie de la figure dans le cahier, et on retrace les lignes de chute et leur croisement.

#### 2.4 Conclusion 1

Les lignes verticales qui descendent des points de suspension vers le sol passent toutes par le même point, qu'on appelle *centre de masse*.

#### 2.5 Expérience 2

On pose la même figure à plat près d'un bord de table, en sorte qu'un des gros trous soit à cheval sur le bord. On pousse ensuite la figure vers le bord, en sorte que la ligne qui descendait de ce trou vers le sol soit presque au-dessus du bord.

#### 2.6 Conclusion 2

Les lignes tracées sont aussi les lignes qui divisent l'objet en deux parties dont les poids se contrebalancent.

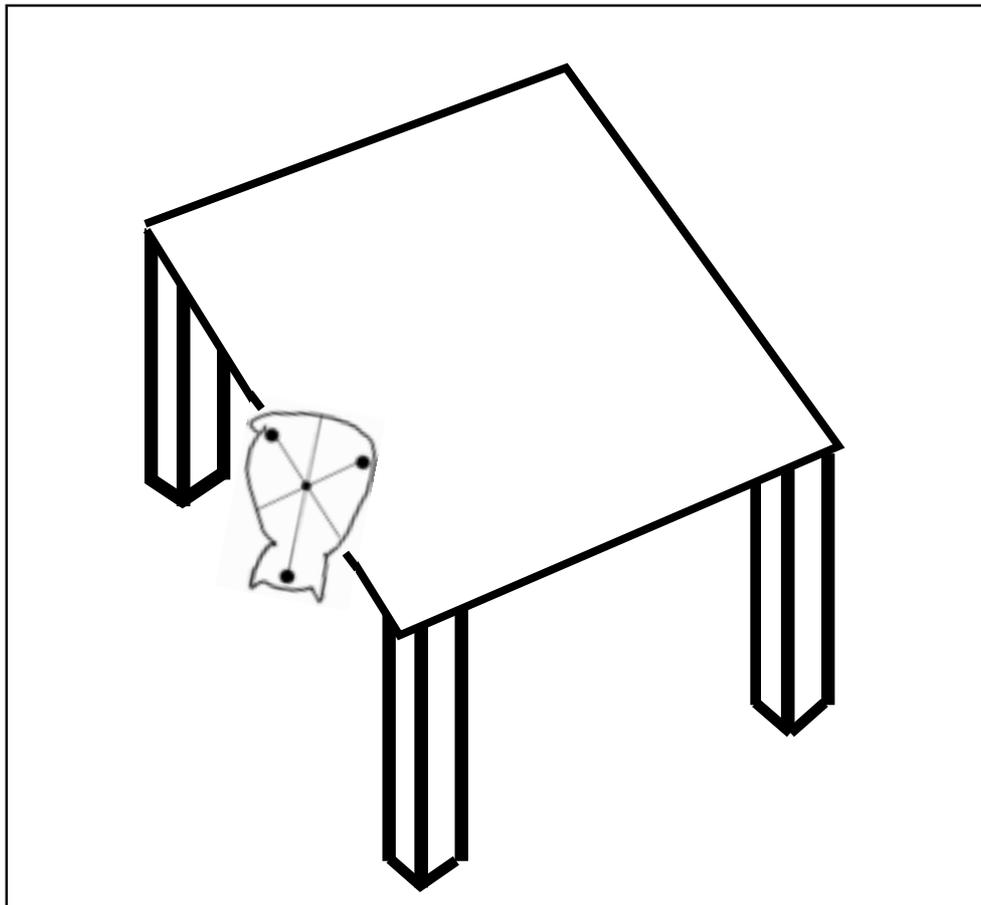


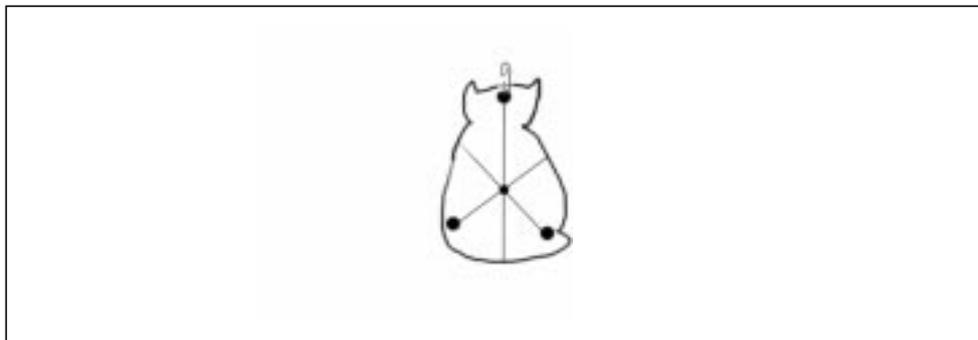
Figure 2.2 Expérience 2. La figure est divisée en deux parties qui se contrebalancent.

#### 2.7 Expérience 3

On prend entre le pouce et l'index un des gros trous situés près des bords, ou encore, on déplie un trombone que l'on passe dans un des trous.

1) On laisse l'objet balancer autour de l'axe ainsi mis en place. Le centre de masse se met à la verticale du point de suspension.

2) Si on fait tourner la figure pour mettre le centre de masse à la verticale au-dessus du point fixe, il ne tient pas dans cette position et il rebasculera dans la position atteinte en (1).



**Figure 2.3** Une figure suspendue par un trombone en un point situé au-dessus de son centre de masse est stable : quand on la fait bouger, elle revient à sa position d'équilibre.

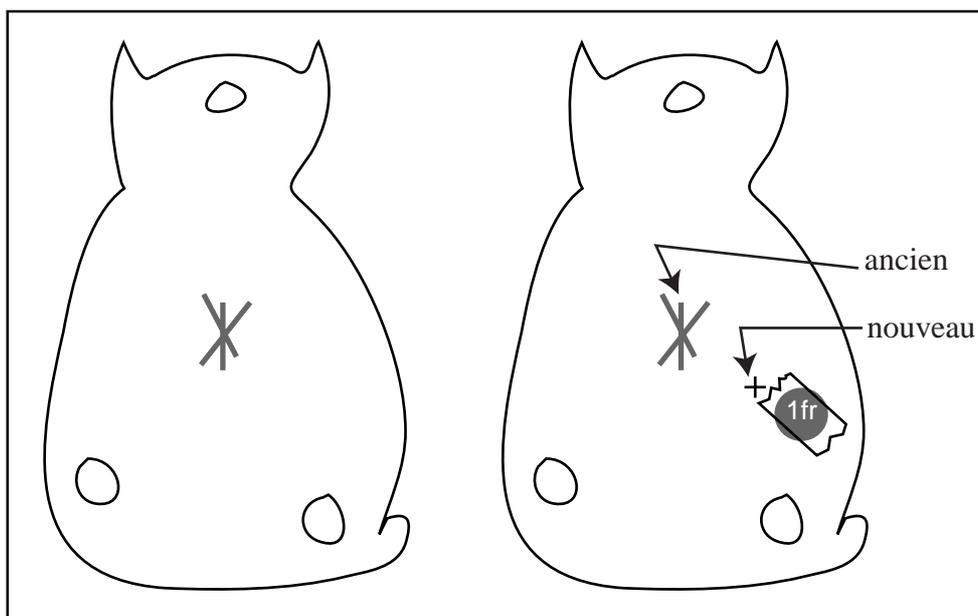
## 2.8 Conclusion 3

Le centre de masse vient toujours se mettre en-dessous du point de suspension ; l'état d'équilibre ainsi atteint est « stable ».

## 2.9 Expérience 4

On prend la figure découpée et on y colle avec un papier collant une pièce d'un franc.

On recommence la détermination du centre de masse comme dans l'expérience 1. On constate que le centre de masse s'est déplacé.



**Figure 2.4** Expérience 4. À gauche : la figure sans la pièce et avec son centre de masse, À droite : la figure avec la pièce et le nouveau centre de masse

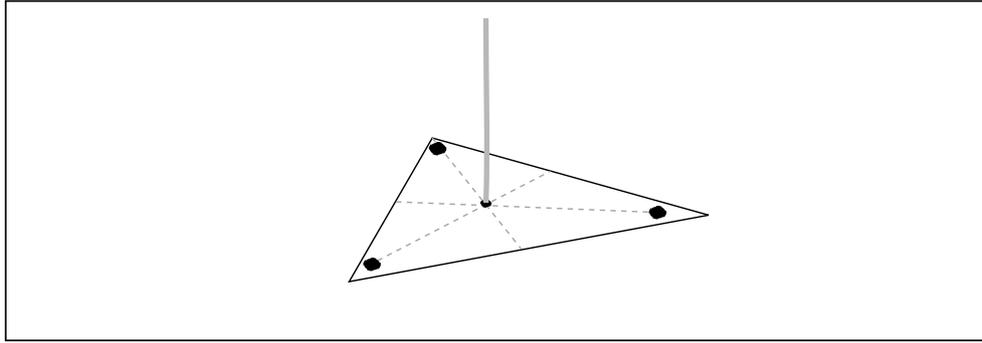


Figure 2.5 Une figure suspendue par son centre de masse.

#### 2.10 Conclusion 4

Le centre de masse se déplace vers la pièce que l'on vient d'ajouter.

#### 2.11 Expérience 5

On perce un petit trou au point de rencontre des lignes c'est-à-dire au centre de masse ; on fait passer par ce point une ficelle, au bout de laquelle on fait un noeud trop gros pour passer par le trou. On suspend l'objet par ce point.

#### 2.12 Conclusion 5

L'objet reste en équilibre.

#### 2.13 Commentaires et bifurcations

Cette description met en jeu trois forces : l'attraction de la Terre qui exerce une force verticale vers le bas ; la force des supports qui portent l'objet ; et les forces de « cohésion » qui ont pour effet que les objets sont « indéformables » (les objets que nous utilisons ici ne sont pas élastiques).

Il faut insister sur cette indéformabilité car c'est essentiellement elle qui rend tous ces équilibres possibles.

On voit les intuitions que ces expériences visent à développer. L'équilibre correspond à l'idée spontanée de « ne pas aller trop loin ».

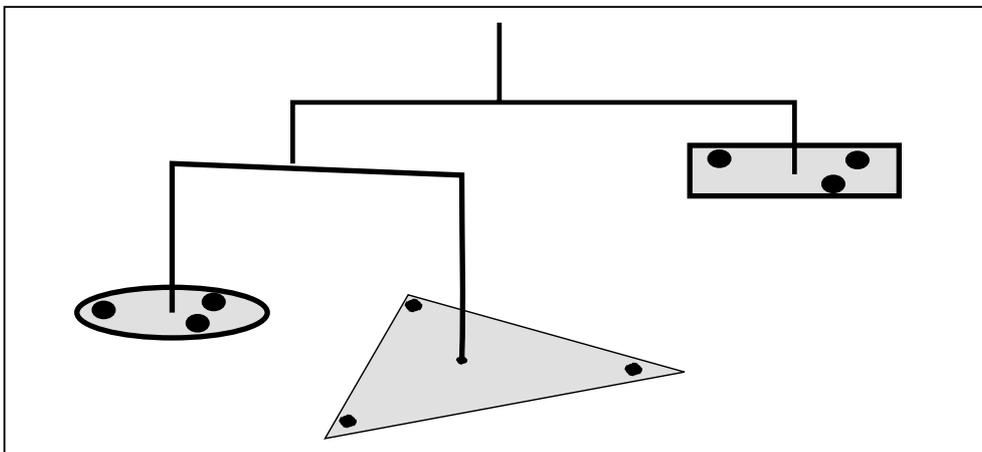


Figure 2.6 Un mobile : assemblage équilibré d'objets équilibrés.

### 2.14 Activités diverses et perspectives

- Exemple de travail collectif : les principes explorés ci-dessus (ainsi que les compétences développées dans l'expérience des balances et des leviers) permettent de construire un « mobile » suspendu (figure 2.6).

- Chaque enfant peut aussi découvrir « son » centre de gravité en cherchant à partir de quel déplacement son corps risque de basculer.

- On peut aussi mesurer, en découpant la figure en deux parties, en suivant la ligne et en pesant ces deux morceaux sur une balance (assez sensible, par exemple un pèse-lettres).

- On peut aussi recourir à un jeu connu : tenter de stabiliser une situation d'instabilité. Ce jeu s'appelle jonglerie.

- Essayons de faire tenir un objet debout sur le doigt. On peut distinguer plusieurs séries d'objets, longs (un manche à balai, la règle d'un mètre...) et courts (la latte de 30 centimètres, un crayon...). Nous pouvons constater deux choses.

- Premièrement, pour maintenir l'équilibre, la main doit bouger. Elle doit rattrapper la chute. Elle bouge sans relâche pour replacer le centre de gravité au-dessus du doigt, c'est à dire pour ramener l'objet en « déséquilibre ».

Ceux qui ne croient pas que la main bouge — car il s'agit en général de très petits mouvements réflexes — sont invités à essayer de faire tenir divers objets (le manche à balai, la latte, le crayon) tout seuls à la verticale sur une table. C'est en général impossible, ou très difficile.

- Deuxièmement, plus l'objet est long, plus il est facile de le maintenir vertical.

C'est paradoxal puisque plus l'objet est long, plus son centre de gravité est éloigné du doigt, et donc plus il est en péril quand il n'est pas exactement à la verticale du doigt.

- Pourtant le contrôle de la stabilité par la main « fonctionne » ; ce qui compte ici c'est la *dynamique*, c'est à dire le temps nécessaire à la réaction de la main et donc le temps de « réflexe ». En fait, plus le centre de masse est haut, plus il faudra de temps pour qu'il s'éloigne de la verticale, et donc plus je disposerai de temps pour réagir.

### 2.15 Retour sur les définitions

- On parlera d'équilibre si l'objet est immobile. Mais on précisera : si un écart à cette situation d'équilibre provoque un mouvement qui ramène l'objet vers sa position d'équilibre alors on parlera d'équilibre *stable*. Par contre si un écart à cette situation d'équilibre provoque un mouvement qui éloigne l'objet de sa position d'équilibre alors on parlera d'équilibre *instable*.

Par abus de langage on parle souvent d'« équilibre » pour évoquer l'idée d'équilibre stable et de « déséquilibre » pour l'idée d'équilibre instable.

Enfin, la description de cette situation peut devenir très confuse si l'on compare sans les bien distinguer deux situations différentes.

- Le manche à balai sur la table est bien physiquement en équilibre instable.
- La situation concrète du manche à balai sur le doigt en mouvement oscillant n'est pas celle d'un équilibre instable, puisque le jongleur arrive à le maintenir dans cette situation. On voit ici combien il est important de bien délimiter le système et les interactions en jeu.
- On comprend mieux à présent un autre paradoxe apparent : si l'on rajoute une masse au sommet du manche à balai, il tombe moins souvent. En fait, il est alors plus facile à contrôler, puisqu'on a encore élevé le centre de masse.

# 3 LEVIERS ET BALANCES

## 3.1 Présentation

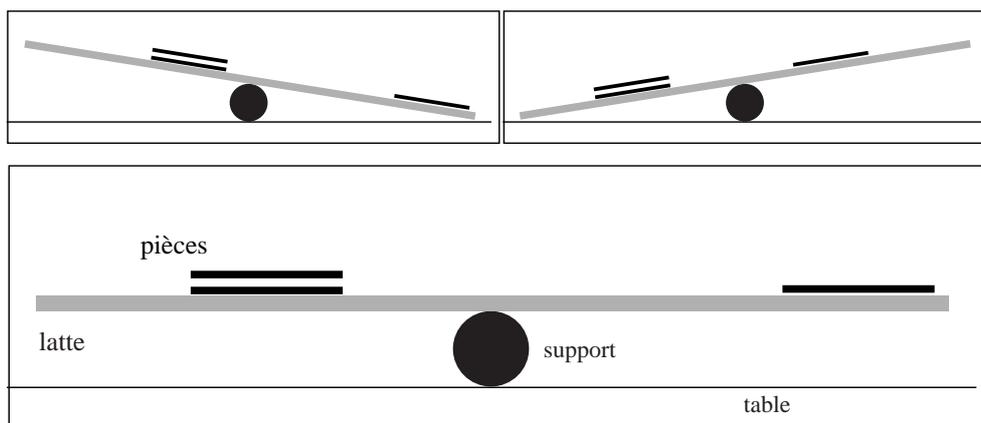
À force d'expérimenter sur des objets en équilibre ou en déséquilibre, il a été possible de mettre au point des machines simples, comme le levier et la balance, qui sont fabriquées avec des objets « bien construits » : baguettes bien droites et supports bien stables.

On montre ici quelques comportements classiques de ces machines simples.

## 3.2 Matériel

Une latte de dessin comme support. De petits objets de poids comparables, par exemple une demi-douzaine de pièces de monnaie assez « lourdes » (5FB ou 20 FB).

Un support pour l'axe de la balance : règle, crayon, petit bout de bois, gomme... (quelques mm de largeur, 1 cm ou plus en hauteur, quelques cm de longueur).



**Figure 3.1** Balance : une latte repose en son milieu sur un support. On a posé 2 pièces de monnaie l'une sur l'autre à gauche du support, et 1 pièce de monnaie à droite du support. On ajuste la distance des pièces au point d'appui jusqu'à ce que le système soit en équilibre.

## 3.3 Expérience 1

On pose le milieu de la latte sur un support qui lui permet de balancer librement, soit de telle manière qu'elle reste horizontale.

On dépose 2 pièces de monnaie l'une sur l'autre à gauche du point d'équilibre, et 1 pièce de monnaie à droite du support. On cherche l'endroit où il faut mettre la pièce de droite pour que la latte revienne à l'horizontale.

## 3.4 Conclusion 1

On équilibre la latte en plaçant la pièce unique plus loin du point d'appui que les deux pièces.

### 3.5 Remarque 1

On peut ici, parce qu'il est facile de mesurer, quantifier l'expérience et formuler la conclusion quantitative :

Dans une situation mise en équilibre on multiplie les *distances* au support par les nombres de pièces ou par les *poids*, on obtient toujours le même nombre. Par exemple, si 2 pièces à 3 cm et 1 pièce à 6 cm se font contrepoids, on a un produit constant  $2 \cdot 3 = 1 \cdot 6$ .

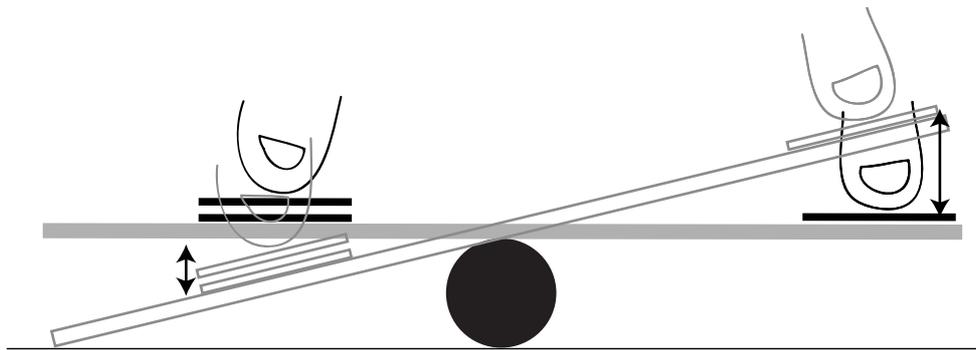


Figure 3.2 Relation de l'amplitude des mouvements avec la distance au point d'appui.

### 3.6 Expérience 2

On pose à nouveau 2 pièces de monnaie l'une sur l'autre, à gauche du point d'équilibre, et 1 pièce de monnaie à droite du point d'équilibre.

On pose un doigt de la main droite sur les pièces de droite, et un doigt de la main gauche sur les pièces de gauche. On fait balancer doucement le système autour du point d'appui. On observe la hauteur des doigts pendant les balancements. On dessine dans un cahier les deux positions extrêmes de la balance.

### 3.7 Conclusion 2

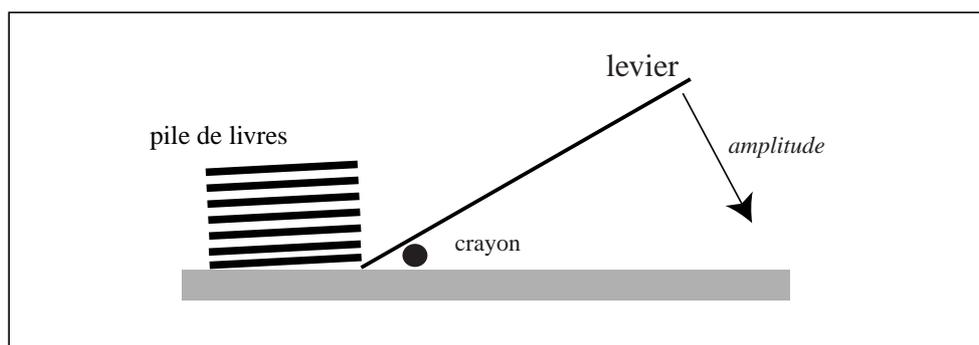
L'amplitude des mouvements verticaux est *plus grande* là où l'on pousse *plus loin* du point d'appui.

### 3.8 Expérience 3

On pose un crayon près d'une grosse pile de livres. Une latte s'appuie sur le crayon et se glisse sous la pile de livres. On fait bouger la latte en la poussant vers le bas. La latte soulève la pile de livres.

On dessine dans le cahier le système « pile de livres, point d'appui, latte », et on note la réponse à une question : où faut-il pousser plus fort pour soulever la pile : près du point d'appui ou loin du point d'appui ?

On dessine ensuite deux points d'application des efforts : l'un près du point d'appui et l'autre loin du point d'appui. On note à côté de



**Figure 3.3** Levier : une latte s'appuie sur un support (par exemple un crayon), et se glisse sous une pile de livres. On soulève les livres *vers le haut* en poussant le bout opposé du levier *vers le bas*.

chaque point la réponse à une question : la force qu'il faut appliquer pour soulever la pile dans chacun de ces cas est-elle plus faible ou plus forte ?

### 3.9 Conclusion 3

Il suffit d'un petit effort appliqué à une grande distance du point d'appui pour produire le même résultat qu'un grand effort à une petite distance du point d'appui.

### 3.10 Commentaires et bifurcations

La balance donne la *raison* du levier : une petite force appliquée plus loin du point d'équilibre est multipliée d'autant de l'autre côté. Le levier profite de ce rapport de forces pour produire à distance des résultats puissants avec des forces faibles.

La brouette est un levier d'un autre type, où le point d'appui (la roue) est situé *derrière* la charge à soulever. Ici aussi, on met en jeu trois « objets » : l'attraction de la Terre qui exerce une force verticale vers le bas, la force des supports qui portent l'objet, et enfin les forces de « cohésion » dans les leviers qui ont pour effet que les leviers soient « indéformables ».

Il convient d'insister sur cette indéformabilité de certains corps : c'est elle qui rend tous ces équilibres possibles. Il faut donc expressément réessayer les propriétés d'équilibre en prenant des structures souples comme une bandelette découpée dans une fine feuille de papier. Elle ne pourra pas servir de levier. L'ingénieur comme le paysan choisissent certains matériaux en raison de leurs propriétés mécaniques.

Répétée avec constance sur plusieurs années, ce type d'expérience permet d'accompagner la prise de conscience de la structure de la machine que constitue le levier. Les élèves de fin du cycle fondamental seront à même de manier les fractions et les égalités qui permettent de comprendre de manière symbolique et abstraite la structure formelle des lois mécaniques concernées. Entretemps, l'expérience pratique aura permis à chacun d'en acquérir une compréhension concrète.



# 4 LE SEL ET L'OSMOSE

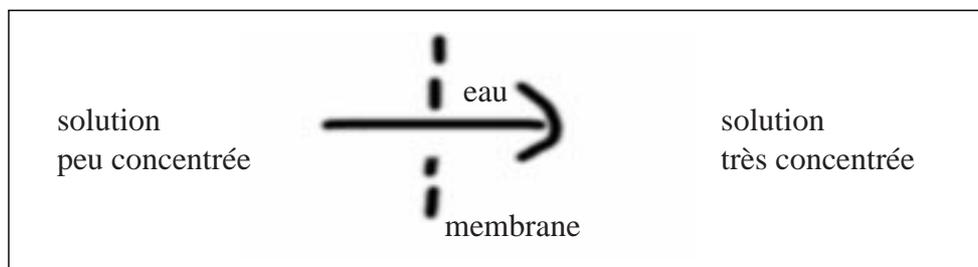
## 4.1 Présentation

On connaît deux grands types de processus de transport de matière dans un milieu liquide.

Le premier est bien connu de tous : c'est la *diffusion*. On présente ici un autre processus, qui constitue en un sens l'inverse du premier : c'est l'*osmose*.

Dans la diffusion, des produits sont transportés depuis une région où ils sont très concentrés vers une région où ils sont peu concentrés. Par exemple, une goutte d'encre jetée dans un verre d'eau tombe d'abord vers le fond. Petit à petit, on peut voir la goutte se diluer. On dit que l'encre *diffuse* vers la région à faible concentration.

Dans l'osmose, c'est l'inverse qui se produit : c'est le solvant (par exemple l'eau) qui passe vers la région où le produit dissout (l'encre, le sel...) se trouve en abondance. Prenons par exemple le fonctionnement d'une racine plongée dans la terre. La racine est gorgée d'une eau relativement riche en sel. On dit que l'eau présente dans la terre *passse par osmose* au travers d'une membrane (la peau de la racine) : l'eau va ainsi d'une région à faible concentration en sel : le sol ambiant, vers une région à forte concentration en sel : l'intérieur de la racine.



**Figure 4.1** Exemple d'osmose. L'eau va d'une solution peu concentrée (l'extérieur du radis) vers une solution très concentrée (l'intérieur du radis); elle passe à travers une membrane (la peau du radis).

## 4.2 Matériel

Sel, légumes « buveurs d'eau » (radis, concombre, céleris...), eau, serviettes en papier ou essuie de cuisine, gobelets de plastique...

## 4.3 Expérience

Quelques petits légumes gonflés d'eau (radis, céleri...) sont laissés dans une atmosphère chaude et sèche durant un jour ou deux.

Les radis desséchés sont faciles à reconnaître. Leur peau est plus molle, elle est ridée et ratatinée : ils ont rétréci en perdant une partie de leur eau. De même, le céleri desséché est devenu mou.

On prend des morceaux de concombre ou de céleris « ramollis », ou des radis desséchés.

On les fait tremper dans un gobelet d'eau claire. Au bout de quelques heures, ils reprennent leur volume original et leur apparence rebondie. On dessine dans le cahier les légumes avant et après le processus de transfert d'eau par osmose.

#### 4.4 Conclusion

L'eau passe de la région où la solution est peu concentrée vers la région où la solution est très concentrée.

#### 4.5 Commentaires et bifurcations

Le sel, concentré dans les racines des légumes, constitue un déséquilibre : il y en a beaucoup plus dans la racine que dans l'eau du sol ambiant.

Nous observons un effet de ce déséquilibre sous la forme d'un flux d'eau qui va de l'extérieur vers l'intérieur du légume. La conséquence en est que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur diminue.

L'osmose peut produire des effets inverses : on peut forcer l'eau à sortir d'un légume ou d'un morceau de légume. Il suffit de frotter abondamment ce morceau dans du sel humide (il faut en « mettre une bonne couche » : le légume doit être presque blanchi par le grand nombre de grains de sel). On peut aussi le plonger dans de l'eau très salée. Ici aussi l'eau va vers la région « plus salée » ; mais ici cette région est située à l'extérieur du morceau de légume.

On peut effectuer ces expériences sous une forme plus quantitative. Ainsi, de fines tranches de pomme de terre (moins de 4 mm d'épaisseur) pesant quelques grammes (quelques cm de longueur et de largeur) augmenteront en poids si on les trempe dans de l'eau pure ; elles diminueront en poids si on les trempe dans de l'eau très salée (à 1/3 de sel pour 2/3 d'eau). Dans les conditions expérimentales usuelles (sous une température d'environ 15°C), cette variation de poids sera de l'ordre de 10%. Ces deux processus se déroulent en une heure environ.

L'osmose est un mécanisme physique très répandu dans les processus naturels. Elle assure certains mécanismes d'échanges à l'intérieur des êtres vivants, ou entre ceux-ci et le monde extérieur.

- L'osmose participe elle aussi d'un principe « d'équilibre » qui se rencontre chez tous les êtres vivants comme chez les autres. Comme les balances qui « cherchent l'horizontalité » où tout s'équilibre et où il n'y a plus de mouvement possible, le corps de manière générale va chercher à rejoindre un état d'« équilibre ».

La transpiration permet au corps de garder sa température constante : de transférer de la chaleur vers le monde extérieur quand cela est nécessaire. La composition du sang et celle des fluides corporels leur

permet de maintenir une acidité constante quelque soit les aliments pris : il existe des sous-systèmes dans le sang qui jouent le rôle de tampon chimique.

On peut ainsi faire prendre conscience de la « perpétuelle » recherche de l'équilibre.

- Cette expérience fournit l'occasion de baliser le vocabulaire des élèves à propos de procédés simples qu'ils rencontrent tous les jours : solvants, solutions, sirops, etc. Un sirop très concentré est un sirop qui a plus de goût...



# 5 BOUGIES, CHALEUR ET MOUVEMENT

## 5.1 Présentation

Le feu est une réaction chimique, qui exerce un effet sur les objets.

On parle de « réaction chimique » pour dire que des « réactifs » ont réagi entre eux pour former des « produits ». C'est à dire que les atomes qui figurent dans les molécules de départ, les réactifs, changent de place pour former de nouvelles molécules : les produits.

On tente ici de repérer quelques-uns de ces effets et de les mettre en correspondance.

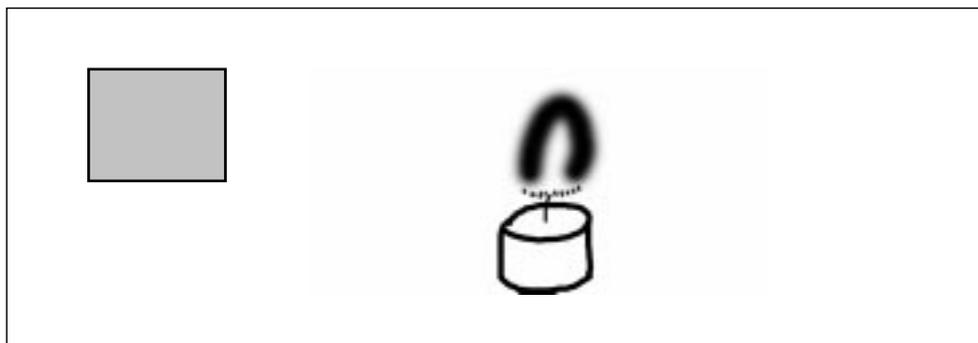
## 5.2 Précautions

Il convient de mettre les enfants en garde contre les brûlures (mains, cheveux, vêtements...) et de montrer comment manipuler le papier s'il s'enflamme (le jeter à terre et l'écraser du pied).

Dans les groupes d'enfants très jeunes, il peut être prudent de faire travailler un seul petit groupe à la fois.

## 5.3 Matériel

- Des bougies. On peut prendre des bougies d'anniversaire (elles sont colorées et donc attrayantes, mais elles fondent vite). On trouve aussi des bougies larges plates (1.5 cm de hauteur et 4 cm de diamètre) moulées dans un petit pot de métal léger, et vendues en vrac dans certains magasins. Ces dernières donnent de petites flammes et sont de longue durée (quelques dizaines de minutes).
- Des fiches de carton fort (carte de visite, bristol ; le papier ordinaire s'enflamme trop vite).
- Des crayons de couleurs.
- Des gobelets de plastique transparent d'une dizaine de cm de hauteur.
- De petits supports (de la taille d'un dé à jouer ou d'une gomme : environ 1 cm).



**Figure 5.1** La flamme d'une bougie présente plusieurs zones. On représente ici en hachuré la zone inférieure, de couleur bleue, où les températures sont les plus élevées. Le petit carton doit être plongé quelques secondes dans la flamme.

#### 5.4 Expérience 1

Il s'agit

- d'allumer la bougie ;
- de plonger dans la flamme la fiche de carton et de la retirer avant qu'elle brûle ; de recommencer plusieurs fois ;
- de découper dans la fiche la plus « jolie », la mieux réussie des traces ainsi obtenues, et de la coller dans un cahier ;
- de dessiner, sur la même page du cahier, la flamme de la bougie avec ses couleurs.
- d'observer la correspondance entre la série des couleurs (du bleu au jaune) et la série des degrés des effets (du plus brûlé au moins brûlé).

#### 5.5 Conclusion 1

Le *bleu* brûle plus fort que le *jaune*.

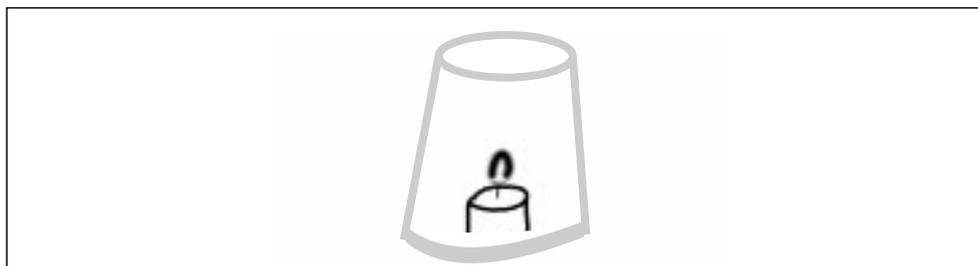
#### 5.6 Expérience 2

Il s'agit

- d'allumer la bougie ;
- de déposer un gobelet de plastique retourné sur la table, pour enfermer la bougie dans un espace fermé ;
- d'observer ce qui se produit alors : la flamme s'éteint ; on voit ensuite parfois un petit point rouge sur la mèche ; ce point noircit très vite.
- on peut compter le nombre secondes (en prononçant les mots « un crocodile », « deux crocodiles », etc. pour marquer le temps), pour compter à peu près le nombre de secondes.

#### 5.7 Conclusion 2

La flamme étouffe en quelques secondes quand elle est enfermée.



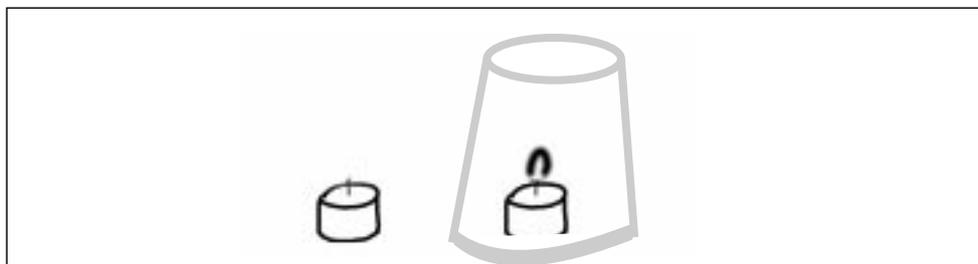
**Figure 5.2** Expérience 2 : on enferme une bougie sous un gobelet, et la flamme est étouffée en quelques secondes.

#### 5.8 Expérience 3

Il s'agit pour les enfants de travailler en équipe de deux.

- On allume les deux bougies ;
- Le premier enfant reproduit l'expérience 2 : il éteint une bougie en étouffant la flamme sous un gobelet.

- Lorsque la première bougie est éteinte, le second enfant prend le gobelet et le transporte doucement vers la seconde bougie ; il enferme alors la seconde bougie sous le gobelet, comme dans l'expérience 2.
- On observe le temps que la flamme des deux bougies met à mourir.



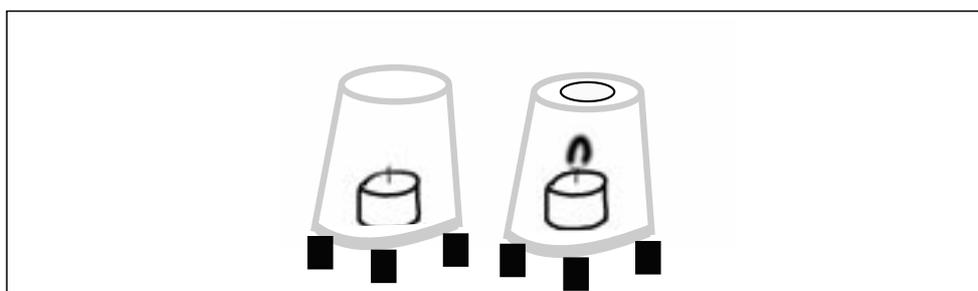
**Figure 5.3** Expérience 3 : on déplace doucement vers une deuxième bougie le gobelet qui a éteint la flamme de la première bougie : la flamme de la seconde bougie est éteinte beaucoup plus vite que celle de la première bougie. Ce procédé d'« empoisonnement » de la flamme est très efficace.

### 5.9 Conclusion 3

La flamme étouffe beaucoup plus vite (en 1 seconde environ) quand elle est enfermée dans l'air où une première bougie s'est éteinte.

### 5.10 Expérience 4

- On peut recommencer l'expérience 2 dans des conditions légèrement différentes, pour « donner une chance » à la flamme privée d'air.
- On dépose toujours le gobelet au-dessus la bougie, mais pas immédiatement sur la table : la bougie ne sera pas tout-à-fait enfermée. Pour ce faire, on laisse un peu de place sous le bord du gobelet, en déposant celui-ci sur de petits supports (environ 1 cm de hauteur) placés autour de la bougie.
- On observe que la flamme s'éteint pratiquement aussi vite que dans l'expérience 2. Mais cette variante ne laisse pas guère entrer plus d'air par-dessous. La flamme s'éteindra presque aussi vite.
- On peut reprendre cette expérience après avoir percé un trou (de quelques cm de diamètre) dans le fond du gobelet : on crée ainsi une cheminée, qui permet la « circulation » de l'air : la bougie n'éteint plus.



**Figure 5.4** Expérience 4. À gauche : on dépose un gobelet sur de petits supports placés autour de la bougie. La flamme étouffe presque aussi vite que dans l'expérience 2. À droite : Si l'on perce le fond du gobelet, l'air circule et la bougie ne s'éteint pas.

### 5.11 Conclusion 4

Il ne suffit pas qu'il existe un chemin entre l'air extérieur et la bougie. Il faut donner un parcours efficace à ce chemin, par exemple en construisant une cheminée, ou en soufflant sur le feu.

### 5.12 Expérience 5

Les enfants travaillent ici par groupes de 3.

- Il s'agit ici de poser 3 gobelets en même temps sur 3 bougies, et d'observer le temps qu'elles mettent à s'éteindre.

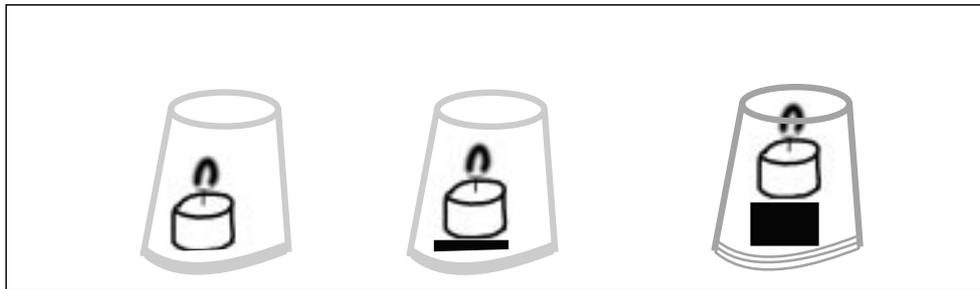
Ce qui « fait la différence » entre ces 3 bougies, c'est la hauteur à laquelle elles sont placées :

- la première est posée sur la table (comme dans l'expérience 2) ;
- la deuxième est surélevée par un petit support (environ 1 cm de haut) ;
- la troisième est posée sur un support plus haut (environ 2 cm).

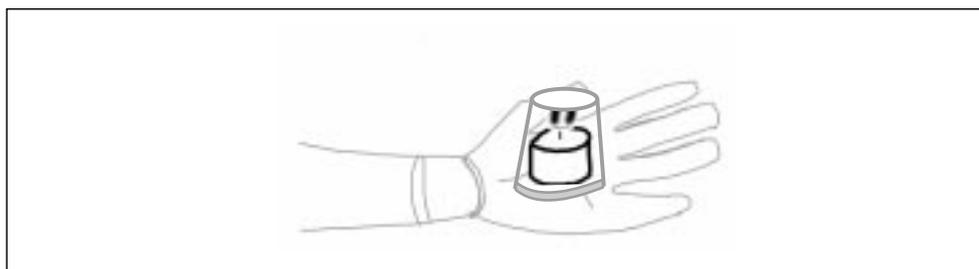
Les enfants échangent entre eux les informations utiles pour conclure dans quel ordre temporel les bougies s'éteignent en général.

### 5.13 Conclusion 5

L'air « s'empoisonne » d'abord en haut.



**Figure 5.5** Expérience 5 : Trois gobelets étouffent trois bougies, placées de plus en plus haut (de gauche à droite). La bougie de droite s'éteint la première.



**Figure 5.6** Expérience 6 : On place une bougie allumée dans la paume d'une main. On dépose un gobelet par-dessus la bougie, comme dans l'expérience 2.

#### 5.14 Expérience 6

- On place une bougie allumée dans la paume d'une main.
  - On dépose un gobelet par-dessus la bougie, comme dans l'expérience 2.
    - On observe ce qui se passe pendant que la bougie étouffe.
    - Lorsque la bougie est éteinte, on constate que le gobelet est « collé » à la peau de la main comme une ventouse. La bougie a aspiré de l'air.

#### 5.15 Conclusion 6

Pendant la combustion, de l'air est aspiré vers l'intérieur du gobelet.

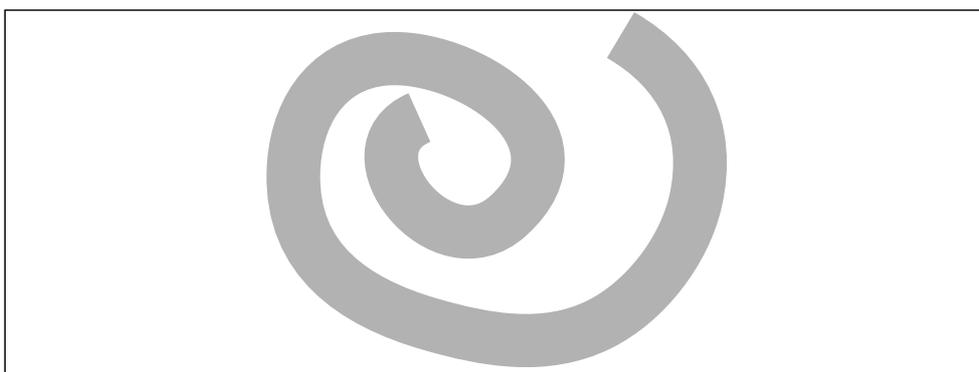
#### 5.16 Expérience 7

On découpe une spirale de papier, que l'on suspend par son milieu au-dessus d'une flamme de bougie.

La spirale entre en mouvement, poussée par l'air chaud.

#### 5.17 Conclusion 7

L'air chaud monte.



**Figure 5.7** Spirale de papier.

#### 5.18 Commentaires et bifurcations

- L'air contient un corps gazeux, l'oxygène, qui entre avec le carbone de la bougie dans une réaction chimique ; Cette réaction libère de l'énergie : elle produit de la chaleur, assez pour former une flamme.

- En revanche, cette relation consomme l'oxygène présent dans l'air. La bougie ne suffit donc pas à nourrir le feu.

- On comprend que la flamme brûle *dans quelque chose* : l'air. L'action de ce « quelque chose » devient plus « visible » si on déplace doucement le même gobelet (une fois la bougie éteinte) pour recouvrir une autre bougie, qui s'éteint très vite. La première bougie a déjà consommé tout l'oxygène disponible.

- Tout se passe comme si quelque chose que le gobelet a transporté avec lui « tuait » la flamme : celle-ci n'a plus de nourriture. La réaction s'arrête quand il n'y a plus assez d'oxygène disponible pour entretenir la flamme.

- la circulation de l'air est un processus complexe, qui demande une architecture élaborée. On peut évoquer ici les cheminées, les courants d'air, le rôle du vent dans les incendies, les soufflets que l'on emploie pour faire démarrer un feu...

- Les bougies sont généralement composées de paraffine, qui est un mélange d'hydrocarbure solide à la température ambiante. Un hydrocarbure est une molécule constituée d'atomes de carbone et d'atomes d'hydrogène.

- Dans chaque molécule ces atomes sont liés entre eux par « la force électrique », par des « échanges » et des « partages » d'électrons. Ces liaisons emmagasinent de l'énergie.

- Une réaction chimique s'accompagne d'une libération d'énergie si les liaisons dans les produits « coûtent » moins, en termes d'énergie, que celles des réactifs. Au contraire, la réaction a besoin d'une énergie supplémentaire (fournie par la chaleur par exemple) si c'est le cas inverse.

- Les flammes correspondent à des réactions d'oxydation. L'oxygène de l'air vient former une nouvelle molécule : le dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$  avec le carbone présent dans les réactifs (ici la paraffine).

- Lorsque la réaction produit assez d'énergie pour qu'un échauffement significatif apparaisse, on dira qu'il y a *combustion*. Si la réaction de combustion est très rapide, on parle d'*explosion*.

On voit que les mots gagnent de nouveaux sens en cours de travail ; en même temps, de nouveaux qualificatifs apparaissent.

- La combustion va en plus libérer de la vapeur d'eau  $\text{H}_2\text{O}$  nouvelle molécule formée elle aussi à partir de l'oxygène de l'air  $\text{O}_2$  et l'hydrogène H présent dans la paraffine.

- Le siège de la combustion est localisé dans la partie bleue de la flamme. Souffler sur cette région (avec une paille) permet d'éteindre facilement la flamme.

- On peut distinguer les corps qui émettent de la lumière et ceux qui n'en n'émettent pas. En fait la grande majorité des corps ne sont visibles que parce qu'ils renvoient la lumière qu'ils ont reçue. Peu nombreux

sont les corps qui sont des sources de lumière. Le Soleil, les appareils d'éclairage, le feu, les flammes, sont capables d'émettre de la lumière.

- Ces phénomènes d'émission de lumière sont généralement réalisés par échauffement d'un corps. Le Soleil est une masse gigantesque d'hydrogène dont le coeur est en fusion thermonucléaire à une température de quelques millions de degrés. Sa surface est, quant à elle, « froide » : quelques milliers de degré seulement!

Dans une ampoule classique, c'est un filament métallique qui est chauffé par le passage d'un courant électrique.

Les tubes au néon utilisent un système « froid ». On provoque une décharge électrique qui s'accompagne de l'émission d'un rayonnement ultra-violet invisible à l'oeil. Le tube est recouvert à l'intérieur d'une couche de matière qui, lorsqu'elle est frappée par ce rayonnement ultra-violet, le convertit en lumière visible. On peut faire toucher par l'enfant (sous surveillance) un néon pour lui montrer qu'il n'est pas chaud. Les écrans de télévision et ceux des ordinateurs utilisent à peu près le même processus de lumière froide.

- Les couleurs des étoiles sont aussi liées à la température externe de celles-ci.

- La partie de la flamme qui est visible à nos yeux correspond à une montée de gaz chauds en cours de refroidissement. Nous voyons comme lumineuses certaines plages des températures émises par un gaz qui a brûlé en bas dans la zone bleue, et qui est en train de monter en se refroidissant.

Certaines zones chaudes sont invisibles à nos yeux, mais laissent une trace sur le papier. Le papier lui aussi est attaqué par la réaction.

- Le mouvement de la flamme vers le haut (expérience 6) montre que la chaleur met l'air en mouvement.

De nombreuses expériences sont proposées dans les manuels pour observer l'effet de la chaleur sur le mouvement de l'air. Par exemple, on prend une petite bouteille à température ordinaire, et on la ferme une petite bouteille avec un ballon à gonfler. On la plonge dans l'eau chaude (60 degrés suffisent; c'est déjà une température délicate à contrôler dans une classe) et on voit le ballon se gonfler parce que l'air contenu dans la bouteille se dilate.

- On peut aussi comprendre les mécanismes liés aux incendies comme : se coucher par terre pour pouvoir respirer, éviter les courants d'air qui attisent le feu en lui apportant de l'oxygène.

- On peut explorer en conversation diverses bifurcations sur les rapports entre la chaleur et le mouvement. Par exemple, c'est le frottement des allumettes sur le côté de la boîte qui produit la chaleur suffisante pour lancer la réaction de combustion des allumettes. De même, dans les temps anciens, le choc du fer à briquet sur la pierre à

feu produit l'étincelle qui allume l'amadou ; ou la pression de la pompe à vélo qui dégage de la chaleur.

# 6 INDICATEURS CHIMIQUES

## 6.1 Présentation

Les réactions chimiques sont des chaînes complexes d'événements au cours desquels se font et se défont des liaisons à l'échelle interatomique.

Ces liaisons s'appuient sur des forces électriques très puissantes. Leur modification suppose des bousculades violentes entre atomes ou entre molécules. Ces chocs violents se produisent le plus souvent lorsque ceux-ci sont en suspension dans un milieu fluide qui leur permet de se déplacer plus ou moins vite ; de plus, de nombreux milieux facilitent les réactions en « dépliant » les molécules de réactifs : c'est la dissociation.

C'est pourquoi les alchimistes disaient : *Corpora non agunt nisi soluta*, les corps n'agissent que quand ils sont dissous [dans un solvant].

La température est en fait une mesure du mouvement des particules.

Les *réactions* chimiques se déroulent donc souvent plus vite dans un *réacteur* plus chaud.

Par exemple, le vinaigre chaud attaque plus énergiquement la craie, parce qu'on augmente le nombre de collisions ; plus il y a de rencontres, plus il y a d'échanges.

Ce qui se passe dans un réacteur chimique a lieu à des échelles beaucoup plus petites que celles que nous savons observer (en gros de  $10^{23}$  plus petites). Nous sommes en général incapables de mesurer ces choses.

Les chercheurs des siècles précédents étaient encore plus dépourvus que nous. Pour savoir ce qui se passe dans ce milieu inconnu et quelquefois dangereux, ils ont eu recours à des *indicateurs*.

Les indicateurs « savent » une partie de ce qui se passe dans le milieu. Ils changent d'état (par exemple : de couleur) de manière assez spectaculaire pour que nous décidions de les choisir pour nous renseigner sur les variations auxquelles ils sont sensibles.

Par exemple, si nous versons du jus de citron dans une solution de bicarbonate de soude, celui-ci nous informe de l'arrivée d'un acide : il bouillonne de bulles de  $\text{CO}_2$ .

On fabrique des comprimés effervescents en mettant en poudre un peu d'acide faible et du bicarbonate de soude. Il n'y a pas de réaction à sec dans le tube ; mais sitôt jeté dans l'eau, les composants, dissociés dans le milieu solvant que constitue l'eau, réagissent et produisent des bulles de  $\text{CO}_2$ .

## 6.2 Matériel

- Une collection de petits pots résistants aux réactions acide-base. Le verre est idéal parce qu'il est transparent, et qu'il faudra souvent observer la couleur du contenu.
  - Un chou rouge frais. On évitera le chou rouge surgelé ou en boîte, qui contient souvent un anti-acidifiant.
  - De l'eau claire, de préférence du robinet.
  - Une série de petits pots contenant des solutions (une cuiller à café pour un petit verre) de savon de machine à laver la vaisselle ; de bicarbonate de soude ; de savon de lessive douce pour la soie ; d'eau gazeuse ; de limonade ; de vinaigre ; de jus de citron...

## 6.3 Précautions

Plusieurs des réactifs proposés ici sont dangereux. Il ne faut pas laisser les enfants les manipuler à l'état concentré, ni leur permettre de trop y toucher (tremper les doigts, boire, etc...).

## 6.4 Préparation

Il s'agit simplement de cuire le chou. Cela peut se faire la veille au soir ; ou à l'école, si l'on dispose de l'installation nécessaire. L'eau de cuisson (environ 1 litre pour un chou de 200g) présente une belle couleur entre le bleu et le violet. Cette teinture de chou nous servira d'indicateur.

## 6.5 Expérience 1

On peut pour commencer

- laver très proprement un verre à l'eau claire ;
- y verser une cuiller à soupe de la solution de teinture de chou ;
- y verser ensuite un peu de jus de citron.
- observer le changement de couleur : l'indicateur vire au rouge.

## 6.6 Conclusion 1

L'indicateur *teinture de chou* vire au rouge en présence de *jus de citron*.

## 6.7 Expérience 2

On peut ensuite

- laver très proprement un verre à l'eau claire ;
- y verser une cuiller à soupe de la solution de teinture de chou ;
- y verser ensuite un peu de bicarbonate de soude.
- observer le changement de couleur : l'indicateur vire au bleu plus ou moins soutenu.

## 6.8 Conclusion 2

L'indicateur *teinture de chou* vire au bleu en présence de *bicarbonate de soude*.

### 6.9 Expérience 3

On peut ensuite

- laver très proprement un verre à l'eau claire ;
- y verser une cuiller à soupe de la solution de teinture de choux ;
- y verser ensuite une solution plus ou moins concentrée de jus de citron, et observer si la couleur change de manière plus ou moins franche.
- observer le changement de couleur : l'indicateur vire vers un rouge plus ou moins vif.

### 6.10 Conclusion 3

L'indicateur *teinture de choux* vire au *rouge vif* en présence de *jus de citron non dilué*.

### 6.11 Expérience 4

On peut ensuite

- laver très proprement quelques verres à l'eau claire ;
- verser dans chaque verre une cuiller à soupe de la solution de teinture de choux ;
- verser ensuite dans chaque verre une solution de l'un des réactifs.
- observer la série des couleurs.

### 6.12 Conclusion 4

L'indicateur *teinture de choux* vire au *du jaune au rouge en passant par le vert, le bleu et le violet* en présence de *savon, bicarbonate de soude, eau gazeuse, jus de citron*.

### 6.13 Commentaires et bifurcations

- On appelle acides les substances qui font virer la teinture de choux au rouge ; et on appelle bases les substances qui font virer la teinture de choux vers le bleu-vert et le jaune.

Il est important de bien comprendre qu'il n'y a pas de « raison » à cette terminologie. En fait, on ne parle d'acides et de bases qu'à partir de cette expérience. Cette expérience est ici non pas « explicative », elle ne va pas non plus constituer un modèle, elle va seulement faire oeuvre de classement. Elle va répartir les éléments en deux groupes que l'on aurait d'ailleurs pu appeler autrement.

- La coloration par l'utilisation de substance naturelle est un phénomène complexe. La seule évidence est physique : le colorant prend la lumière d'une source externe (le Soleil) et ré-émet cette lumière. L'énergie lumineuse totale reçue doit être intégralement restituée (sinon le corps chaufferait sans fin ce qui est absurde) Ce qui est modifié c'est le « spectre » (l'ensemble de fréquences) caractéristique de la lumière reçue.

- La lumière est un phénomène de « vibration » électromagnétique comme les ondes radios. Ce phénomène est caractérisé par sa fréquence : le nombre de vibrations complètes exécutées en une seconde.

Les fréquences associées aux ondes lumineuses sont très élevées : quelques millions de milliards de vibration par seconde. Les ondes radios utilisées en FM sont de l'ordre de quelques millions de vibrations par seconde. Pour la lumière visible, la fréquence élevée correspond au violet et la fréquence basse au rouge.

- L'arc en ciel est une décomposition naturelle du rayonnement solaire en son spectre du violet au rouge. C'est un fin « tissu » de gouttellettes d'eau après la pluie qui permet cette décomposition.

On peut observer ce type de phénomène dans les fontaines ou dans les miroirs biseautés.

La perception de la couleur fait aussi intervenir l'oeil et le cerveau. C'est donc un phénomène très complexe.

- La chimie des colorants permet de construire des molécules qui ont des propriétés optiques précises et donc des « couleurs » précises. Aujourd'hui encore l'exploration artisanale est nécessaire dans la recherche de colorants pour la peinture.

- Outre la coloration, la « décoloration » fournit des observations intéressantes ; par exemple, l'eau de Javel décolore les objets (tissus, papiers, etc.) moyennant une action chimique sur les molécules colorantes.

- Parallèlement à la chimie de la couleur, la chimie « aromatique » essaie de comprendre l'odeur des molécules.

- La substance colorante variable qui est présente dans le chou est aussi active dans les feuilles de certains arbres, qui prennent de belles teintes jaunes et rouges en automne pour un ensemble de raisons compliquées.

- Les chimistes sont aujourd'hui capables de mesurer très finement la force des acides et des bases ; mais les indicateurs colorés sont encore utiles, parce qu'ils sont très faciles à manier.

- D'autres expériences sont possibles avec du bicarbonate de soude et de l'acide. Par exemple, on peut fabriquer de petites bombes chimiques en mettant dans un sachet de plastique étanche ou dans une bouteille bouchée un peu d'acide (vinaigre ou jus de citron) et un sachet en papier à plusieurs couches contenant quelques cuillers de du bicarbonate de soude. Il faudra plusieurs secondes avant que ces couches de papier soient toutes mouillées ; on met ce temps à profit pour fermer le sachet ou la bouteille ; le dégagement de gaz ( $\text{CO}_2$ ) fera sauter le bouchon ou déchirera le sachet.

- Il existe de nombreuses réactions utiles qui mettent en jeu des dégagement de gaz. Par exemple, Les trous du fromage de gruyère sont le résultat de l'activité d'une bactérie qui produit du gaz pendant

qu'elle se développe. Pendant les premières semaines après la « mise en forme » (mise en boîte qui lui donne sa forme) du fromage, ces bactéries déforment la pâte, qui est encore déformable à ce moment.

- De même, pour donner de l'air à la pâte à pain ou à la pâte à crêpes, on y introduit l'un des deux ingrédients que nous venons de rencontrer : mélange de bicarbonate de soude et acide ; ou être vivant capable de produire du gaz en se développant (levure).



# 7 COMMENT CUIVRER DU FER

## 7.1 Présentation

Les métaux sont des produits chimiques comme les autres.

Ils sont différents pour un certain nombre de propriétés physiques faciles à observer : ils sont volontiers brillants, ils sont lourds ou très lourds, ils sont plus élastiques que cassants, etc.

Mais ce sont des produits chimiques : ils peuvent entrer dans des réactions chimiques.

La chimie du nettoyage s'en occupe tous les jours ; l'industrie s'en occupe aussi ; les propriétés chimiques des métaux sont très importantes.

Dans les expériences que nous présentons ici, la propriété qui change ne sera pas la position ou la vitesse. On dira que les réactions affectent la « nature » chimique d'une substance.

Comme dans l'expérience des indicateurs chimiques, la réaction a lieu « en solution ». Nous verrons que le bain dans lequel le métal est plongé joue un rôle actif dans cette réaction.

## 7.2 Matériel

- Une poignée de cents américains, de pièces de 50 centimes belges... en bref, des piécettes de monnaie contenant beaucoup de cuivre pas trop bien protégé contre la corrosion. Conditions supplémentaires : il faut trouver de *vieilles* pièces, dont la surface soit assez *sale*.

- un petit bac d'eau claire , ou un robinet d'eau courante.
- des serviettes en papier.
- Une petite quantité de vinaigre blanc.
- Une cuiller à soupe de sel.
- Quelques clous de fer. Il est difficile de trouver des clous de fer pur ; les clous du commerce sont souvent traités d'une manière ou de l'autre. Les clous les plus ordinaires se prêtent en général bien à l'expérience qu'on va décrire.

- Une pince à linge en bois ou en plastique ; il ne faut pas utiliser une pince à épiler ou une autre pince en métal, qui pourrait souffrir au contact des divers réactifs présents dans la réaction.

- Un récipient dont la matière sera *insensible* aux réactions en cours : un bol en céramique, une tasse en porcelaine, un plat ou un verre en verre (ce qu'il ne faut *pas* utiliser : une casserole en métal ou une boîte de conserve).

## 7.3 Précautions

Le bain dans lequel ont lieu les diverses réactions n'est pas bon à boire, surtout après les réactions. Il faut se laver les mains avec soin après manipulation des pièces et du liquide.

#### 7.4 Préparation

On verse dans le réacteur le vinaigre et le sel, et on les mélange.

Ce récipient sera le « réacteur » : le lieu de la réaction. Le vinaigre, le sel le cuivre et le fer seront les « réactifs ».

#### 7.5 Expérience 1

- On plonge une pièce à moitié dans le bain, en la tenant avec une petite pince.
- on attend dix ou vingt secondes.
- On observe et on compare les deux moitiés de la pièce. Le cuivre plongé dans le bain est de couleur *jaune-rouge lumineux* : il est « décapé ».

#### 7.6 Conclusion 1

Le mélange *vinaigre et sel* nettoie le cuivre.

#### 7.7 Expérience 2

- On plonge dans le bain toutes les pièces de cuivre.
  - Au bout de 30 secondes, les pièces sont nettoyées, comme dans l'expérience 1. On laisse les pièces dans le bain
  - On attend beaucoup plus longtemps : 5 ou 10 minutes. pendant ce temps, on observe les pièces en transparence à travers le vinaigre : on ne voit plus rien de nouveau.
  - On sort du bain un premier groupe de pièces. On les rince *très soigneusement* à l'eau claire, et on essuie ensuite vigoureusement avec des serviettes en papier qu'on jette aussitôt (elles ne sont plus utilisables). On les dépose sur une serviette en papier.
  - On sort du bain le second groupe de pièces. On ne les rince *pas*, et on les dépose sur une serviette en papier.
  - On attend une heure. On compare les deux groupes de pièces. Les pièces du groupe qu'on n'a pas rincé sont dans l'ensemble attaquées par la corrosion : elles montrent des régions de couleur verte.
  - les pièces rincées ne sont pas quittes de l'aventure : elles risquent de verdir en quelques jours ; mais elles sont beaucoup moins vite sensibles à la corrosion que les pièces qui sont restées « dans leur jus ». sur la serviette de papier.

#### 7.8 Conclusion 2

Le cuivre attaqué par le *vinaigre et le sel* produit rapidement une rouille verte au contact de l'air.

#### 7.9 Expérience 3

- On plonge pour une heure environ les clous de fer dans le bain qui a servi à nettoyer les pièces. Un des clous peut être plongé à moitié dans le bain au moyen d'une pince.
  - On constate que les clous ont pris une couleur cuivrée.

### 7.10 Conclusion 3

Le cuivre pris dans le bain de *vinaigre et de sel* se redépose sur le fer.

### 7.11 Commentaires et bifurcations

- Avant l'expérience 1, les pièces sont vraisemblablement couvertes d'oxyde de cuivre et de saletés diverses. Par suite de l'action du vinaigre salé, une partie de la couche d'oxyde de cuivre s'est dissoute dans le bain. Les saletés sont parties en même temps. Voilà pourquoi en quelques secondes les pièces de cuivres ont l'air « toutes neuves ».

- Pendant l'expérience 2, le cuivre décapé, « tout neuf », a été exposé à l'action de l'air en présence de vinaigre et de sel. il a ainsi pu produire un composé vert.

- Pendant l'expérience 3, des atomes de cuivre sont partis dans le bain de vinaigre salé.

Une fois les clous de fer plongés dans le bain, le même procédé s'est répété ; des atomes de fer ont quitté les clous et sont partis dans le bain ; on constate qu'ils sont remplacés par les atomes de cuivre.

- Il existe de nombreuses expériences de chimie ou de physique qui transportent la matière de manière spectaculaire.

Par exemple, la cristallisation réorganise les atomes d'un corps en solution ; les bouillonnements et les courants déplacent l'eau chauffée ; certaines réactions divisent le réacteur chimique en plusieurs régions contrastées.

- La corrosion, où un agent extérieur attaque les métaux à leur surface, peut avoir plusieurs résultats très différents.

Certains métaux profitent de la corrosion pour se protéger ; la première couche qui a subi l'attaque, et qui est désormais « oxydée », recouvre le métal d'un vernis protecteur parfaitement étanche. Par conséquent, le « noyau » du métal reste à l'abri de l'air. C'est par exemple le cas de l'aluminium.

- D'autres métaux subissent de manière plus dramatique les assauts des agents corrosifs. La première surface attaquée présente un paysage très accidenté (très spectaculaire si on regarde avec une bonne loupe) : elle est « pleine » de trous aux bords violemment déchirés. On constate que cette surface est « poreuse » aux attaques de la corrosion ; autrement dit, le fer sera attaqué dans ses profondeurs si on ne fait rien pour le protéger.

- Les bains de produits utilisés par les photographes ont aussi pour effet de modifier le comportement de métaux. La photographie du XIX<sup>e</sup> siècle est dite « argentique » parce qu'elle utilise des produits dérivés de l'argent-métal. La réaction qui fait noircir les sels d'argent est connue depuis de nombreux siècles ; elle est très sensible à la lumière. Sur le cliché enfermé dans la « boîte noire » de l'appareil photo, les sels d'argent situés dans des zones qui reçoivent beaucoup de lumière

noircissent, ceux qui reçoivent peu de lumière ne réagissent pas et sont ensuite éliminés. On dit que le premier cliché est négatif parce que la réaction a transformé le blanc en noir. En 1839, l'État français, sous l'impulsion de François Arago, fait don du procédé de la photographie à l'humanité.

# 8 MASSES, VITESSES ET CHOCS

## 8.1 Présentation

On se donne plusieurs collection d'objets qui roulent: boîtes à conserves remplies de substances diverses; billes, pièces de monnaie, petites roues de jouets, etc.

On procède à des essais pour sélectionner une classe d'objets dont le déplacement semble assez régulier pour que l'on puisse tirer des conclusions simples sur les résultats des collisions qu'on tentera de provoquer.

Les scientifiques ont discuté des siècles durant pour tenter de définir ce qui se transmet entre deux corps en mouvement quand ils se rencontrent. On ne s'étonnera donc pas de se poser de nombreuses questions, souvent pas très claires et très souvent sans réponse.

## 8.2 Matériel

- Des boîtes à conserve diverses (cassoulet, haricots, soupe), des boîtes de boisson; des billes; des pièces de monnaie; des roues de petits jouets.
- Une table ou un plancher bien lisse et bien horizontale, qui donne un espace de plusieurs dizaines de cm.

## 8.3 Expérience 1

- On fait rouler les objets, en essayant de les lancer tous dans le même sens et avec la même force.
- On observe les résultats et on les note pour pouvoir les comparer.

## 8.4 Conclusion 1

Les billes roulent plus loin que les boîtes; et les boîtes dont le contenu est très homogène (liquide, pleine ou presque pleine) roulent plus loin que celles dont le contenu est moins homogène.

## 8.5 Expérience 2

On jette une bille contre une autre. On observe de près ce qui se passe.

- La seconde bille part « plus ou moins droit»: certaines fois elle roule dans le prolongement de la première, et d'autres fois non. On peut observer que la distance qu'elle parcourt après le choc est plus grande quand elle part tout droit.

## 8.6 Conclusion 2

La transmission du mouvement est plus « normale » quand une bille en rencontre une moyennant un choc frontal.

### 8.7 Expérience 3

On cherche un moyen quelconque d'obtenir régulièrement des chocs frontaux.

- On peut s'entraîner à lancer la première bille tout droit vers la seconde bille.
- On peut faire rouler la première bille dans une petite rigole de plastique, qui la conduit vers la seconde bille.
- On peut déposer la seconde bille au pied d'une paroi verticale (livre déposé sur la tranche) et lancer la première en oblique vers cette paroi, qui la conduira ensuite tout droit sur la seconde.
- On peut laisser rouler la première bille le long d'une pente, et la lâcher sur un chemin qui descend tout droit vers la seconde bille.

Cette dernière solution a un avantage. Elle permet de contrôler la vitesse avec laquelle la première bille heurte la seconde, et donc de répéter l'expérience dans de bonnes conditions.

- Nous avons retenu comme solution un grand cahier très mince ou une feuille de carton fort surélevé à un bout, sur lequel on a déposé une grande feuille de papier, qui « fait la soudure » à l'endroit où le bord du cahier rejoint la surface de la table sur laquelle la première bille doit rouler pour atteindre l'autre.

On distingue ensuite deux situations.

- (A) Une petite bille roule vers une grosse bille.
- B) Une petite bille roule vers une grosse bille.

Dans le cas (A), on constate que la petite bille repart en arrière, tandis que la grosse bouge à peine.

Dans le cas (B), on constate que la grosse bille continue en avant, tandis que la petite bille part en avant à toute allure.

On observe donc deux conséquences différentes dans le cas (B). La grosse bille ne repart pas en arrière ; elle continue sur son chemin « à peu près aussi vite » qu'avant le choc. Quant à la petite bille, elle est projetée à grande vitesse en avant de la grosse, qu'elle distancie rapidement.

### 8.8 Conclusion 3

Les grosses billes changent à peine de vitesse lors d'un choc avec une petite bille ; la vitesse des petites billes change très fort lors d'un choc avec une grosse bille.

### 8.9 Expérience 4

Il s'agit ici d'une expérience d'un type tout différent. Elle ne procède pas par observation, ni par simple relecture ; elle imagine un cas qui doit pouvoir exister, et tente de conjecturer ce qui doit se passer alors. On parle alors d'*expérience imaginée*.

On peut concevoir par l'imagination une troisième situation (C), qui constitue la limite entre les deux autres. Il faut alors tenter d'envisager par l'*imagination* et le *raisonnement* ce qui *devrait* se passer alors.

Cette troisième situation (C) ressemble aux deux autres : une bille vient rouler contre une bille immobile. Ce qui change, c'est qu'ici les deux billes ont la même grosseur.

- Il est *imaginable* que dans le troisième cas, où les causes ont des valeurs intermédiaires (la bille assaillante est ni plus ni moins grosse que la bille assaillie), les valeurs des effets seront elles aussi intermédiaires. La bille assaillante ne reculera pas et ne poursuivra pas son chemin, elle s'arrêtera sur place et demeurera immobile ; la bille assaillie partira dans le même sens que la première, et à la même vitesse.

### 8.10 Expérience 5

On colle sur les deux extrémités d'une canette de boisson deux petites tiges légères de quelque 50 cm de longueur.

On fait rouler cette machine sur un plan incliné (par exemple deux manches à balai posés parallèlement).

On fixe sur les petites tiges des boules de plasticine.

Si on fixe ces boules loin de l'axe de la boîte, le mouvement est très fortement ralenti.

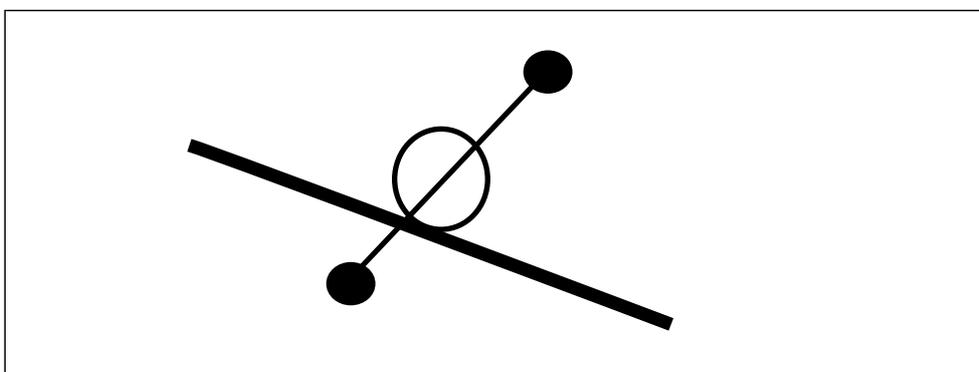


Figure 8.1 Une boîte circulaire munie d'un volant d'inertie roule sur un plan incliné.

### 8.11 Conclusion 5

La force de pesanteur rencontre une inertie plus grande au bout d'un bras de levier.

On peut ensuite voir comment cette machine se conduit en cas de choc avec d'autres boîtes. Elle transmet « plus de force » quand les boules sont plus loin de l'axe de rotation.

### 8.12 Commentaires et bifurcations

La définition d'un cas-limite, difficile à isoler, mais facile à imaginer et à définir par opposition aux autres cas, correspond à une démarche souvent utilisée par les scientifiques.

- Cette description utilise les mêmes paramètres et les mêmes variables que les autres; elle n'est donc pas plus abstraite dans son langage, mais bien dans sa démarche, puisqu'elle isole au sein d'une série de situations possibles une situation qui a certainement le droit d'exister, mais qu'il est difficile de réaliser dans la pratique.

# 9 COMPARER ET CLASSER

## 9.1 Présentation

Les chercheurs de sciences naturelles, comme la géologie ou la biologie recourent depuis longtemps à la modélisation, tout comme la chimie et la physique. Par exemple, Claude Bernard expérimente directement sur les mécanismes du vivant.

Mais les sciences naturelles ont aussi à prendre en charge un autre mode de description : la classification et la comparaison.

Les classifications systématiques se sont développées de façon critique et accélérée à partir du XVII<sup>e</sup> siècle en Europe.

Cette entreprise de mise en ordre de la nature a été l'aventure d'une poignée de naturalistes. Leurs méthodes sont intéressantes, autant et plus que les conclusions inévitablement provisoires qu'elles ont permis de formuler.

## 9.2 Matériel

Comme pour l'activité « Masses, vitesses et chocs », une partie importante du travail consiste à repérer un matériel favorable.

Les élèves sont invités à amener des objets ou des images d'objets, ou des informations sur des objets, appartenant à des familles de divers univers :

- légumes ;
- cailloux ;
- livres ;
- animaux ;
- êtres humains ;
- cartons découpés et colorés ;

## 9.3 Expérience 1

- On rassemble les objets qui se ressemblent.
- On cherche plusieurs manières de les regrouper et de les classer en grandes familles.
- On essaie de lister les propriétés inutiles pour « faire la différence ».

## 9.4 Expérience 2

On discute pour voir dans quelles conditions un objet peut se transformer plus ou moins naturellement en un autre objet :

- à l'intérieur d'une famille ;
- d'une famille à l'autre.

### 9.5 Tactiques de classement

On attire l'attention des enfants sur la définition, la pratique et les dangers de diverses tactiques de classement.

- On peut prendre un individu « centre de référence », et le comparer avec chacun des autres. Ceux qui sont trop « éloignés » de ce « type de référence » n'appartiennent pas au groupe.
- On peut prendre un critère d'appartenance plus ou moins bien satisfait, par exemple « juteux » pour les oignons, ou « grand » pour les girafes, et choisir un seuil pour trancher sur l'appartenance.
- On peut chercher une frontière plus tranchée, définie par une question « oui ou non », et pas par une question « un peu plus ou un peu moins ».

### 9.6 Commentaires et bifurcations

À la différence des activités d'herbier, le but du travail proposé ici n'est pas de chercher un ensemble de plantes ou de reproductions d'animaux ; il est de repérer ce que l'on sait des différences.

Beaucoup de distances entre les familles et espèces sont encore mal connues ; on insistera donc sur les limites de l'activité de classement.

Les erreurs des naturalistes sont les mêmes que celles des enfants : telle caractéristique a pu un temps sembler pertinente pour distinguer deux groupes de fleurs ou de mammifères ; plus tard, on apprend que cette caractéristique peut être partagée par des individus appartenant aux deux groupes, tandis qu'une autre caractéristique moins facile à observer divise plus efficacement les deux groupes. On dit alors qu'elle « fait la différence ».

Pour prendre un exemple simpliste : la forme générale du dauphin en fait un excellent cousin du requin ; mais il faut peu d'informations sur la structure des organes internes d'un dauphin pour conclure à son appartenance aux mammifères.

# 10 ALIGNER, TENIR À DISTANCE, PLIER

## 10.1 Présentation

De nombreux objets « savent » comment ils peuvent se plier, et parfois où ils peuvent plier. Cela dépend de la manière dont ils sont fabriqués. Ils « résistent » si on veut les plier autrement.

On dira qu'ils ne peuvent pas prendre n'importe quelle forme ; leur structure s'y oppose.

Nous allons parcourir ici dans les deux sens le chemin qui relie deux gestions différentes des objets matériels.

- Premier sens : il s'agit d'objets définis par leur forme. Cette tige de bois bien longue ne demande qu'à fonctionner comme un levier ; cette feuille de papier ne demande qu'à se plier en ligne droite ; la tour de Pise ne demande qu'à tomber à terre.

- Second sens : il s'agit d'assemblages de parties dont la cohésion n'est pas très bien connue, et qui « hésitent » avant d'adopter tel ou tel comportement. La tige de bois qu'on emploie comme un levier peut casser ; sait-elle où elle va casser ? Une feuille de papier peut se déchirer ; sait-elle où ? La tour de Pise peut se briser en deux ou plusieurs morceaux, qui ne demandent à leur tour qu'à tomber à terre – à moins que leur cohésion interne souffre, et qu'ils se brisent avant d'arriver à terre.

## 10.2 Matériel

- feuilles de papier, baguettes, boulettes de plasticine.
- Des crayons.

## 10.3 Expérience 1

- On construit de petits parallélogrammes dont les sommets sont les boulettes et dont les côtés sont les tiges. On essaie de les « faire bouger », de les déformer.

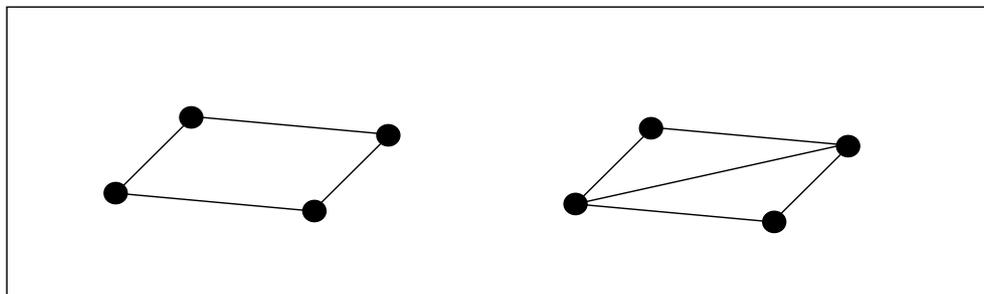


Figure 10.1a Figures déformables et indéformables.

- On ajoute des diagonales aux petits parallélogrammes construits dans l'expérience précédente. On essaie de les « faire bouger ».

## 10.4 Commentaires

Il faut observer les rapports entre la déformation possible des angles et l'impossibilité de déformation des côtés, dont la longueur est fixe.

Les parallélogrammes de la première étape sont déformables, parce qu'aucune longueur de côté ne souffre quand on déforme l'ensemble.

Les parallélogrammes dans lesquels on a « rigidifié » une diagonale sont devenus indéformables : il faudrait modifier la longueur d'une diagonale pour déformer les angles.

## 10.5 Expérience 2

On plie une feuille de papier à plusieurs reprises.

- La première fois, on prend une feuille où deux points ont été dessinés. On plie en rabattant le premier point sur le second.

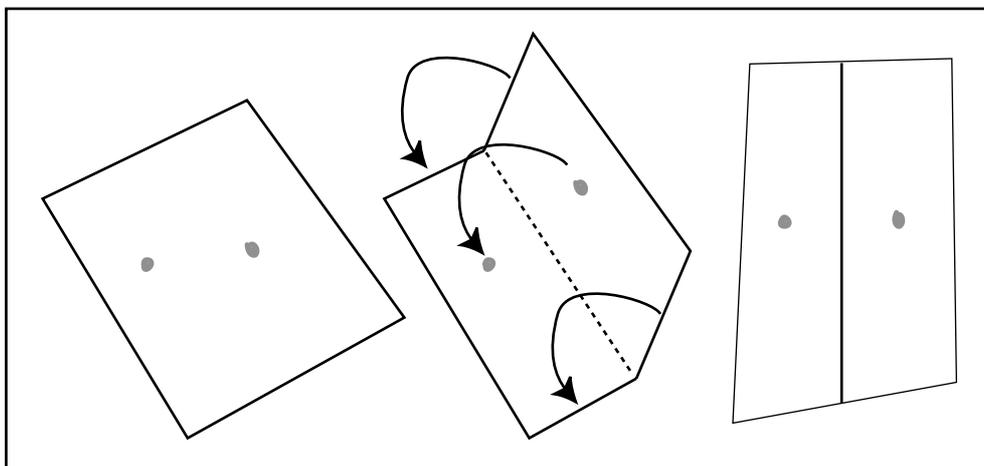


Figure 10.2a Rabattement point sur point.

On voit apparaître une ligne, le pli, qui « partage », qui répartit, qui met en correspondance les deux points. C'est la *médiatrice* des deux points.

- On prend une autre feuille et on la plie. On la déplie et on la replie pour rabattre le premier pli sur lui-même.

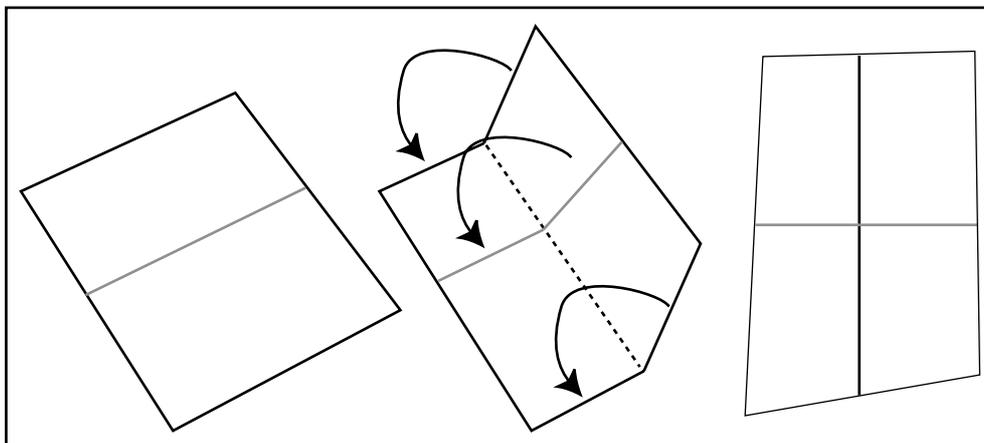


Figure 10.2b Rabattement ligne sur ligne

On voit apparaître une deuxième ligne, perpendiculaire à la première.

- Si nous faisons les deux opérations à la suite on obtiendrait un théorème : *la médiatrice des deux points est perpendiculaire à la droite qui relie les deux points.*

Cette expérience peut être menée en pratique ou être imaginée. Cette diversité de techniques d'exploration fait appel à différents modes de « pensée » : déductive ou manuelle. On fait ainsi appel à différentes ressources chez les enfants, ce qui permet d'obtenir un « impact » plus diversifié, et donc plus profond.

- On trace deux plis sur une feuille. On essaye de rabattre la feuille pour mettre en correspondance les deux plis l'un sur l'autre.

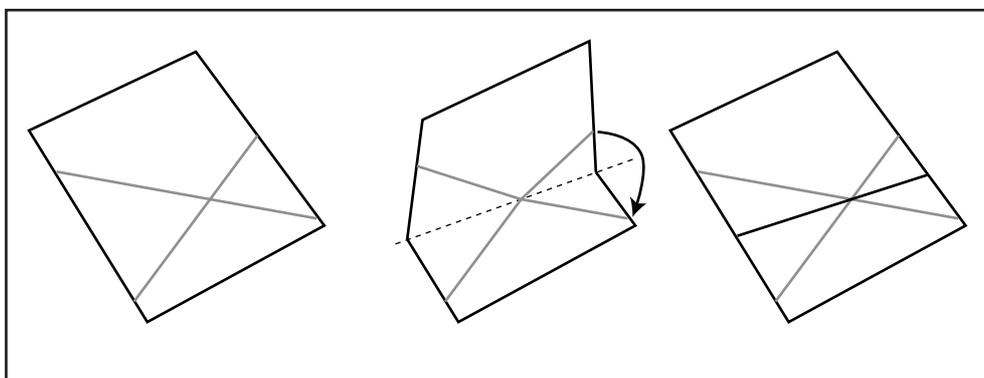


Figure 10.3 Rabattement ligne sur ligne.

Ici plusieurs perspectives s'offrent.

Peut-on généraliser ce que l'on a obtenu lors du rabattement point sur point à un rabattement ligne sur ligne ? Comment généraliser l'effet « médatrice » pour ces lignes ? la réponse est : la bissectrice.

Il peut arriver que certains enfants fassent le rapprochement, mais ce n'est pas nécessaire pour l'exploration. On peut nommer les choses pendant le parcours exploratoire, et laisser à plus tard les tentatives d'unification formelle.

\*\*\*

On peut ensuite jouer librement aux plis et figures, et construire ainsi quelques théorèmes fameux de géométrie plane, qui ici appartiennent à l'expérimentation plutôt qu'au raisonnement formel. par exemple :

- Les trois médiatrices d'un triangle se coupent en un seul point.
- Les trois bissectrices des côtés d'un triangle se coupent en un seul point.
- Les trois hauteurs d'un triangle se coupent en un seul point.

- On peut laisser découvrir le procédé de construction qui permet de construire une perpendiculaire à une droite donnée et passant par un point donné.

## 10.6 Commentaires

La feuille de papier, quand elle est pliée à plat, « connaît » des propriétés comme celles des lignes droites, des milieux et des perpendiculaires.

il existe des propriétés plus générales, comme le fait d'être du même côté d'une feuille de papier.

## 10.7 Expérience 3

On marque les bords d'une feuille de papier : N pour nord, E pour Est, S pour Sud, O pour Ouest ; on marque de même les coins : NE, SE, SO, NO.

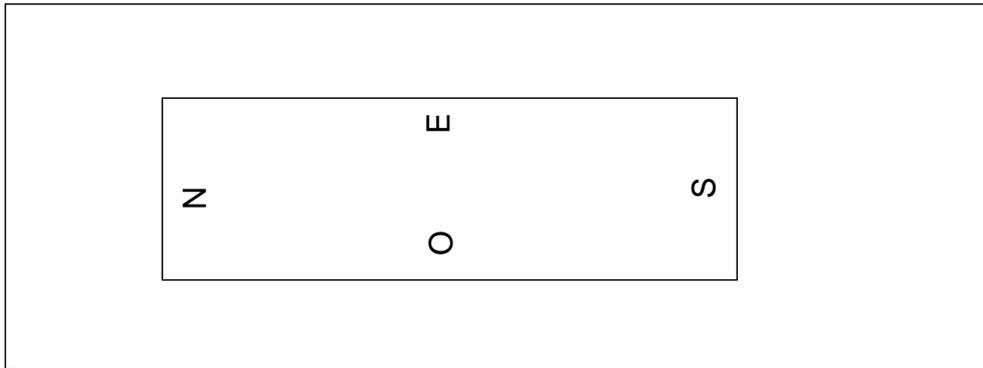


Figure 10.4 Balisage d'une surface pour recollement

On compte les bords (4), les coins (4) et les faces (2) de la feuille.

Si l'on recolle l'un sur l'autre les bouts N-S de la feuille en rabattant les uns sur les autres les coins E et O (SE-NE, SO-NO), on construit un cylindre.

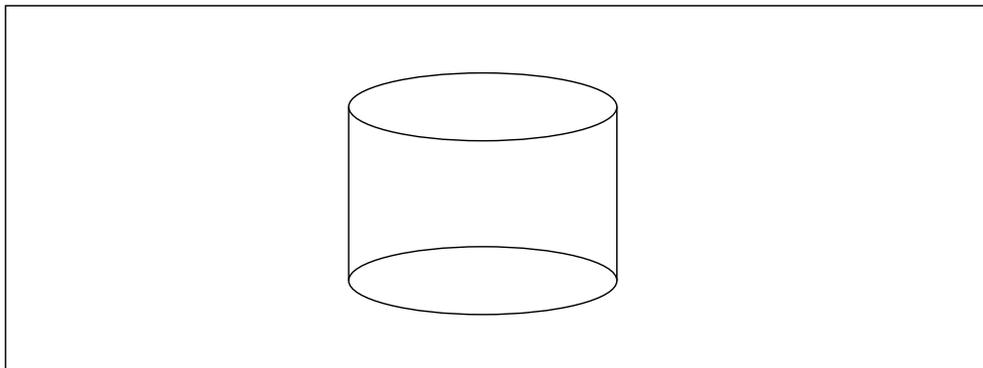
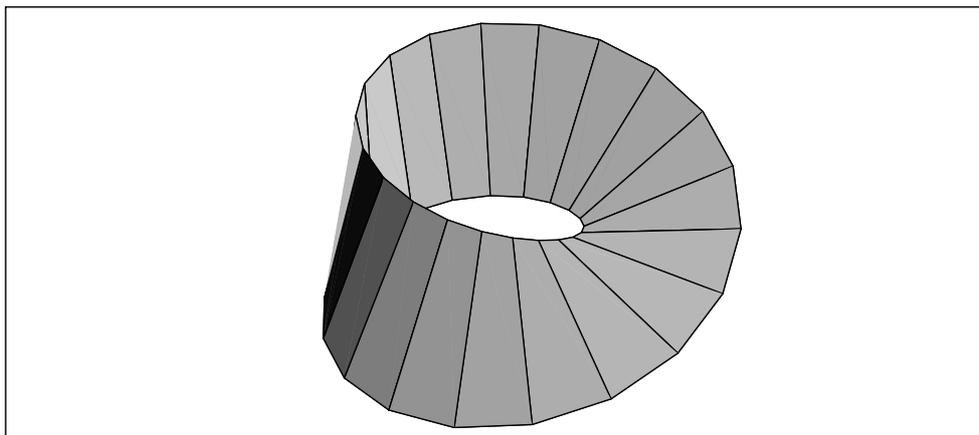


Figure 10.5a Recollement droit : le cylindre.

La structure du cylindre peut être définie en reprenant le comptage : il reste 2 bords, pas de coin, et 2 faces.

Si l'on prend une feuille balisée de la même manière, et que l'on colle par les coins opposés (SE sur NO, SO sur NE), on obtient un ruban de Möbius.

La structure de cette figure peut être définie en reprenant le comptage : il ne reste plus qu'un bord ; il n'y a toujours pas de coin ; il n'y a plus qu'une face : en se promenant sur l'« extérieur » on constate qu'il



**Figure 10.5b** Recollement croisé : le ruban de Möbius.

est vite fait d'arriver en un point situé « au verso » du point de départ, à l'« intérieur », et ce sans franchir de bord.

### 10.8 Commentaires

La feuille de papier, quand elle n'est pas pliée à plat, se rappelle encore le voisinage des points sur la surface.



## RÉFÉRENCES

Chemla K. et Pahaut S., « Objets et artefacts : les sciences de la culture », *Encyclopédie philosophique*, Paris, PUF 1989, pp. 953-958.

Morais J. et Robillart G., 1998, (Ouvrage collectif dirigé par –), *Apprendre à lire au cycle des apprentissages fondamentaux*, rapport publié récemment par l'Observatoire national français de la lecture et le Ministère français de l'éducation nationale. Paris, Centre national de documentation pédagogique et Éditions Odile Jacob, 1998.

Nardone P. et Pahaut S., 1998a, (*Éveil aux sciences et aux techniques : Collaboration Université-Enseignement primaire*, référence 28/97 du Service de la recherche en éducation et du pilotage interréseaux du Ministère de la Communauté Wallonie-Bruxelles, ci-dessous EST)

Nardone P. et Pahaut S., 1998b, *Éveil aux sciences et aux techniques*, publié par le Ministère de la Communauté française de Belgique dans le périodique *Le Point sur la recherche en éducation*, n° 8, novembre 1998, pp. 1-10.

Prigogine I. et Stengers I., *La nouvelle Alliance*, Paris, Gallimard 1979.

*Ratio Studiorum*, Édition et commentaires de Demoustier A., Julia D., Albrieux L., Pralon-Julia D. et Compère M.-M., Paris, Belin 1997.



## TABLE

INTRODUCTION .....	5
VOYAGES AU PAYS DES SYSTÈMES .....	11
DU BON USAGE DES SYSTÈMES .....	23
QUELQUES POINTS DE MÉTHODE .....	29
1 POIDS ET RESSORTS .....	35
2 (DÉS)ÉQUILIBRES ET (IN)STABILITÉS .....	41
3 LEVIERS ET BALANCES .....	47
4 LE SEL ET L'OSMOSE .....	51
5 BOUGIES, CHALEUR ET MOUVEMENT .....	55
6 INDICATEURS CHIMIQUES .....	63
7 COMMENT CUIVRER DU FER .....	69
8 MASSES, VITESSES ET CHOCS .....	73
9 COMPARER ET CLASSER .....	77
10 ALIGNER, TENIR À DISTANCE, PLIER .....	79
RÉFÉRENCES .....	85