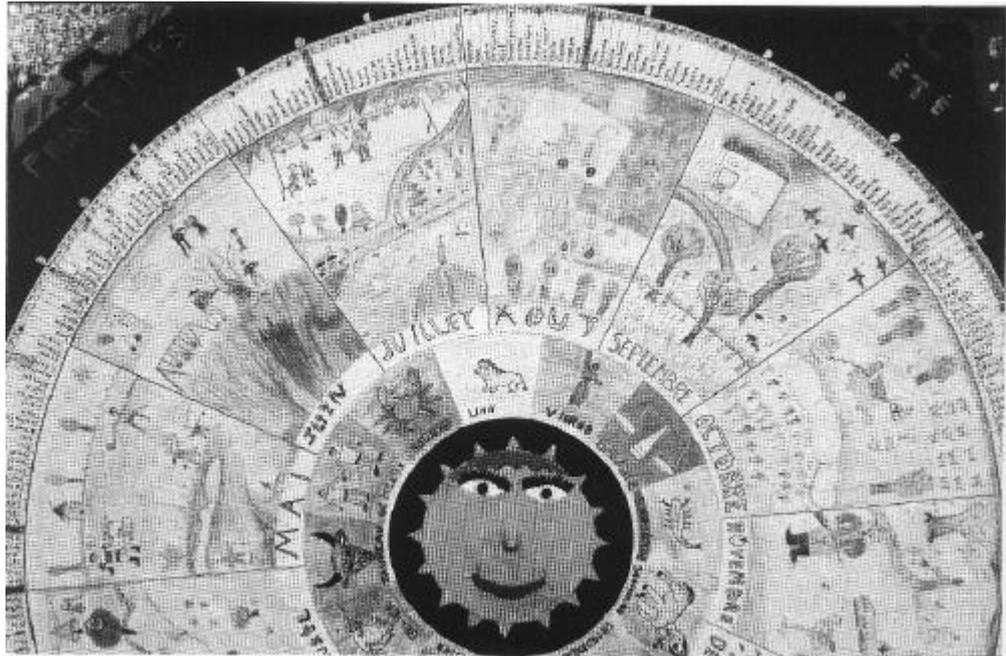


Apprentissages scientifiques par méthodes heuristiques

Ce dossier réalisé par Edmond Lèmery avec les témoignages d'Alain Drevet, Michel Maubert et Monique Bonnefoy, concerne essentiellement l'enseignement des Sciences expérimentales : il n'inclut pas les mathématiques dans les Sciences, comme on pourrait le concevoir au « sens large ».



**Calendrier
universel –
Le grand disque
(détails)**

L'enseignement des sciences remis en cause

Pierre-Gilles de Gennes et Georges Charpak prix Nobel de physique, ne doivent pas nous masquer la forêt !

L'enseignement scientifique, tel qu'il est structuré et dispensé, permet-il à chacun :

- d'exploiter au mieux ses potentialités ;
- de bénéficier d'un enrichissement de sa pensée, d'un développement de son objectivité afin de contribuer à ce que chacun soit plus à l'aise, plus clairvoyant pour choisir et agir dans la mouvance contemporaine?

Poser ainsi la problématique est-ce prendre le risque de se faire taxer de

pessimistes permanents alors que « tout ne va pas au plus mal dans notre système » puisqu'on se glorifie de deux prix Nobel de physique, d'une réussite au baccalauréat supérieure à 50% d'une classe d'âge pour la première fois ?

Témoignent cependant de cette remise en cause actuelle: des articles de presse de plus en plus nombreux, des manifestations d'ampleur nationale comme le colloque de La Villette pour «repenser» l'enseignement des sciences et des techniques, des propositions nouvelles du Conseil national des programmes, les recherches de l'INRP, les travaux de didactique (1)...

Ces citations d'articles de presse font apparaître des éléments fondamentaux: « espaces de liberté, autonomie de la pensée, étonnement, curiosité, imagination, esprit critique, initiative, plaisir de la découverte, remise en cause de son savoir, statut de l'erreur, etc. ».

(1) *La didactique des sciences*, J.-P. Astolfi-M, Develay, Que Sais-je? N°2448, PUF, 21 édition revue et corrigée.

« [...] On peut cependant constater qu'un certain nombre de qualités sont requises dans une large famille de métiers scientifiques : elles ont nom curiosité, capacité de reconnaître ses erreurs et de remettre en cause son savoir, goût du travail en équipe, imagination. Chaque scientifique les possède et les exerce à des degrés divers, bien sûr, mais il n'est pas possible de compter uniquement sur le don à la naissance pour qu'il les possède. L'enseignement a indiscutablement un rôle à jouer dans leur développement. »

Absence d'autonomie de la pensée

« Dans ce contexte, l'imagination et l'initiative sont peu à l'honneur dans nos écoles secondaires. Les programmes sont beaucoup plus contraignants que dans d'autres pays et l'enseignement, plus théorique (ce qui est probablement lié au fait qu'il est difficile d'évaluer des travaux expérimentaux dans le cadre d'un concours). »

[...]

« L'absence d'autonomie de pensée qu'on observe chez certains élèves prend un tour inquiétant quand on la constate chez ceux qui sont réputés être les meilleurs. »

[...]

« Il est difficile à un scientifique de concevoir son activité sans y inclure le plaisir de la découverte. Ce sentiment est bien souvent absent des premiers contacts que les élèves ont avec les sciences, au collège notamment. »

Activités scientifiques libres

« Il serait incongru de présenter des « solutions » toutes faites à un problème aussi complexe. Tout au plus peut-on plaider pour que des expériences diverses soient encouragées et soutenues. La première piste concerne l'organisation d'activités scientifiques libres dans le cadre de l'école. Pour que ces activités puissent fonctionner, des conditions matérielles doivent être remplies (documentation, plages dans l'emploi du temps). »

Jean-Pierre Bourguignon, professeur de mathématiques à l'École polytechnique, directeur de recherche au CNRS.

Citations extraites de l'article « forme-t-on de bons scientifiques dans l'enseignement secondaire ? » Le Monde du 14.11.1991.

« [...] il y a véritablement, à notre époque, le besoin d'une éducation scientifique de base pour tous les enfants, parce qu'ils vont être appelés à prendre des décisions de société tellement graves que s'ils les prennent sur les critères actuels de l'opinion on va au désastre. Il faut qu'ils aient un peu le sens du réel et du coût aussi. »

« [...] L'accent mis sur les maths dans nos pays latins est très grave parce qu'il occulte d'autres qualités qui sont tout aussi importantes pour former les gens de l'avenir. Ces qualités sont l'observation, l'habileté manuelle et le sens pratique », a-t-il ajouté.

Pierre-Gilles De Gennes, prix Nobel de physique à « L'Heure de vérité » (France 2).

Citations extraites d'un article de La Montagne, 28.12.1992.

Affirmant la nécessité de mettre l'enfant en situation de recherche de producteur de savoirs, C. Freinet disait:

« *Seule, l'expérience est souveraine* »

ce qui signifiait ce choix antidogmatique : le savoir se construit dans l'action vécue,

l'expérience intériorisée, l'expression, la communication, la confrontation.

Des pratiques de classe ont montré, démontré la possibilité de construire le savoir et le savoir-être sur **l'expérience personnelle** dans tous les domaines (2), (3), (4).

L'idée que **l'acte d'apprendre** doit

se fonder sur un auto-socio-constructivisme parce que la formation des concepts mais aussi la formation de l'être ne peuvent se faire, plus aisément et plus naturellement, que par **l'activité propre de l'individu**, est devenue aujourd'hui consensuelle. Alors, comment ?

Est-il possible de fonder les apprentissages scientifiques sur des méthodes heuristiques (5) à l'école élémentaire et au secondaire ?

Des pratiques quotidiennes diversifiées

Il nous a paru intéressant, dans ce contexte actuel, de rassembler ici des témoignages d'activités scientifiques diversifiées à l'école élémentaire, vécues dans **la banalité quotidienne**, sans chercher le spectaculaire inhabituel qui naît cependant souvent lorsque le « climat », créé par ces méthodes heuristiques, est installé dans la classe.

Ces productions d'enfants, ces savoirs scientifiques en

(2) *Compte rendu d'un débat ton d'une table ronde sur « La formation scientifique » animée par Michel Pellissier avec la participation de scientifiques universitaires et du Centre d'études nucléaires de Grenoble au congrès de l'ICEM, avril 1969, paru dans un dossier de L'Éducateur n° 49 (archives des groupes départementaux).*

(3) *Importance des représentations mentales initiales dans un processus d'apprentissage et expression libre, Pierre Guérin in dossier du Nouvel Éducateur n° 196.*

(4) *L'apprentissage des sciences en classes élémentaires, article d'André Lefevre, in Le Nouvel Éducateur n° 9, mai 1989.*

(5) *Méthode heuristique: méthode qui consiste à faire découvrir à l'élève ce qu'on veut lui enseigner (Le Robert). On pourrait distinguer trois formes d'apprentissages: spontanés - heuristiques - systématiques.*

De la rénovation des collèges... à la révolution des sciences expérimentales

Le CNP considère, qu'outre l'acquisition des connaissances scientifiques, il est indispensable de favoriser chez l'enfant curiosité, sens critique et esprit d'initiative, et donc une démarche d'apprentissage basée sur le concret.

Il estime qu'il faut différencier ces enseignements (physique, chimie, biologie, géologie...) progressivement, au lieu de les délimiter dès le départ. Aux cloisonnements rigides actuels, il préfère une interaction entre disciplines et va jusqu'à vouloir ouvrir les frontières entre géographie et sciences et techniques stricto sensu. Il juge enfin artificielles et même nuisibles aux élèves les ruptures actuelles dans les méthodes d'enseignement correspondant aux passages école-collège-lycée. Ainsi propose-t-il de distinguer quatre étapes dans l'approche des sciences expérimentales et de la technologie :

- jusqu'au CE1 : découverte de la nature et de la technique ;
- du CE2 à la cinquième: initiation scientifique et technologique
- de la quatrième à la seconde: sciences et technologie ;
- à partir de la première : maintien des champs disciplinaires distincts.

*CNP: Conseil national des programmes
Extrait d'un article de La Montagne*

construction : dispositifs expérimentaux, objets reconstruits avec variantes, « textes scientifiques » écrits, schémas, tableaux... mais aussi un questionnement, souvent oral, abondant, pertinent, comme les descriptifs de ces pratiques par les maîtres, ont révélé, au grand public et au jury scientifique, à l'occasion d'une expo-sciences organisée par le CIRASTI (6), des éléments fondamentaux de cette **démarche heuristique** reconnue par les spécialistes. Cette démarche fondée sur un **tâtonnement expérimental régulé**, individuel et collectif, est une interactivité permanente entre **savoirs privés et savoirs publics**. Trois pratiques sont mises en évidence

- l'atelier - le traitement de l'imprévu - le thème central annuel.

Précisons qu'elles ne s'excluent pas mais se complètent, qu'elles peuvent cohabiter et que ce panorama de pratiques n'est pas exhaustif.

L'importance du questionnement et de l'expression

Pourquoi accueillir l'expression des enfants d'abord ?
Les questions d'enfants ou d'adolescents sont souvent fondamentales.
Et les réponses, satisfaisantes ? insatisfaisantes ?

L'importance de l'expérience personnalisée

Pour tout apprenant, c'est la voie la plus favorable pour la construction de ses propres « objets mentaux » (7) par « intégration allostérique » (8) de toutes les confrontations possibles :

- la confrontation **élèves-réalité** : observation – expérience – enquête...
- la confrontation **élève-élève** : conflit socio-cognitif dans une structure coopérative qui favorise la régulation de la pensée et les apprentissages socio-affectifs;
- la confrontation **élève-informations** : c'est l'interaction constante avec la documentation mise à sa portée (les encyclopédies diverses, la Bibliothèque de Travail), mais aussi les apports d'adultes intervenants (dont le maître) ;
- la confrontation **élève-maître** pour l'élargissement des investigations par une guidance variable.

C'est ce processus d'auto-socio-construction que nous entendons par tâtonnement expérimental régulé (9).

L'importance de l'observation

Voir l'encadré : Le concret n'est pas toujours le réel page 14.
C'est aussi tout le problème de la saisie des données, le rôle de nos capteurs sensoriels ne contribuant qu'à 20 % dans la formation des images mentales, ainsi que les carences à combattre et les aptitudes à développer,

L'importance d'une formalisation

Qu'elle soit schématisation, modélisation, structuration des informations traitées.

(6) Voir le compte rendu page 2, du Nouvel Educateur n°41.

(7) C'est l'évolution des représentations mentales de l'individu, la modifiabilité cognitive ; référence est faite ici à J.-P. **Clhangeux** *L'homme neuronal*, Fayard et à A. Giordan-G. Vecchi, *Les origines du savoir*, Delachaux et Niestlé.

(8) Intégration allostérique d'après A. Giordan « expression utilisée pour qualifier certaines molécules du monde vivant qui se transforment totalement, en se réorganisant, lors de l'adjonction de nouveaux atomes ou ions. »

Transfert sur le plan de l'apprentissage : les informations saisies transforment les représentations, ou objets mentaux en mémoire, et les schèmes.

(9) Dossier n°230, novembre 1991, Le Nouvel Educateur, *ApprendreÉduquer*.

Des pratiques quotidiennes diversifiées

L'atelier : espace de liberté pour des activités autonomes

Classe d'Alain Drevet (CM) – 63160 Egliseneuve près Billom

Six ateliers sont proposés aux enfants dans leur temps de travail individuel : bibliothèque, musée, livrets de géométrie, électricité, ordinateurs et écoute de cassettes. Une séance ne doit pas excéder une demi-heure. Chaque atelier a un nombre limité de places. Pour certains ateliers, les enfants doivent s'inscrire le matin, notamment pour l'électricité.

Atelier électricité

Lieu : dans le couloir.

Matériel : 2 boîtes à outils contenant piles rondes et plates, ampoules d'intensités différentes, porte-ampoules, interrupteurs, pinces crocodile, trombones, attaches-parisiennes, dominos, fiches bananes, clous, fer à béton, fil émaillé, fil de nickel, papier alu, fil téléphone, chutes de fil électrique, tournevis, pince à dénuder, petits moteurs.

Documents : fiches FTC/ICEM et réalisations de l'année précédente.

Règles : présenter sa recherche (même si ça ne marche pas) sous la forme d'un montage ou d'un schéma puis démonter et ranger.

Travail au cours de l'année scolaire 91-92

L'atelier a fonctionné les deuxième et troisième trimestres. Dans un premier temps, les enfants n'ont pas eu recours aux fiches FTC, mais se sont inspirés des travaux exposés (cartes électriques, parcours...). D'autre part, un néophyte faisait souvent équipe avec un plus initié.

Certaines présentations ont suscité des recherches plus approfondies alors prises en charge par le groupe classe. C'est ainsi que nous avons



Au stand ICEM de l'Expo Sciences du CIRSTI (Auvergne), les enfants présentent leurs recherches libres aux personnalités.

étudié plus particulièrement les montages en série et en parallèle, et les électro-aimants.

(Voir la production des enfants : un texte et schémas 1 et 2.)

1. Montages en série et en parallèle

Point de départ: une guirlande d'ampoules qui ne fonctionnait pas.

Question: pourquoi ça ne s'allume pas?

Aides : report aux fiches et intervention du maître pour conduire l'expérimentation d'une manière méthodique.

Réponse : une ampoule était grillée.

Règle énoncée : dans un montage en série, si une ampoule est grillée ou absente, aucune ampoule ne s'allume car le circuit est coupé.

Autres pistes de travail : montages avec ampoules d'intensités différentes, avec plusieurs piles en série, avec interrupteur, comparaison avec montages en parallèle.

Applications : éclairage d'une maison de poupée en utilisant les deux types de montages.

2. Électro-aimants

Point de départ : un électro-aimant fabriqué avec un grand clou et une vingtaine de spires en fil émaillé branché sur une pile de 4,5 Volts.

Question : pourquoi ça brûle les doigts.

Aides : (fiches ETC - livres de physique le maître). je découpe des morceaux de fer à béton de même section et de même longueur; je propose de faire varier le nombre de spires, de les compter (50, 100, 150, 200), de vérifier la puissance de l'aimant avec des trombones et de noter les résultats des expériences dans un tableau.

Règle énoncée : plus le nombre de spires est important, moins l'électroaimant chauffe et plus il est puissant. (Voir le texte et le tableau des résultats produits par les enfants.)

Réponse : elle n'est pas très satisfaisante car l'électro-aimant chauffe encore.

Autres pistes de recherche : faire varier la section du noyau puis sa longueur, utiliser du fil émaillé plus fin.

Applications : observation d'une sonnette, d'une bobine de moteur.

Question posée lors de l'exposciences : comment éviter que l'aimant chauffe ?

Réponse des visiteurs et des scientifiques présents : enrouler du papier entre le noyau et les spires.

Expérimentation en classe : ça marche!

L'éclairage de notre maison

« Au cours de l'atelier électricité, nous avons fait des cartes électriques, des électro-aimants, des guirlandes d'ampoules, nous avons réalisé des électrolyses, observé une dynamo de vélo, des moteurs électriques...

Notre maître nous a porté une maison de poupée que des enfants avaient fabriquée. Nous avons refait tous les montages électriques : un en série et un autre en parallèle. Nous les avons dessinés.

Après, le maître nous a montré les symboles de l'interrupteur, de la pile et de l'ampoule.

Nous avons tracé les schémas des circuits.

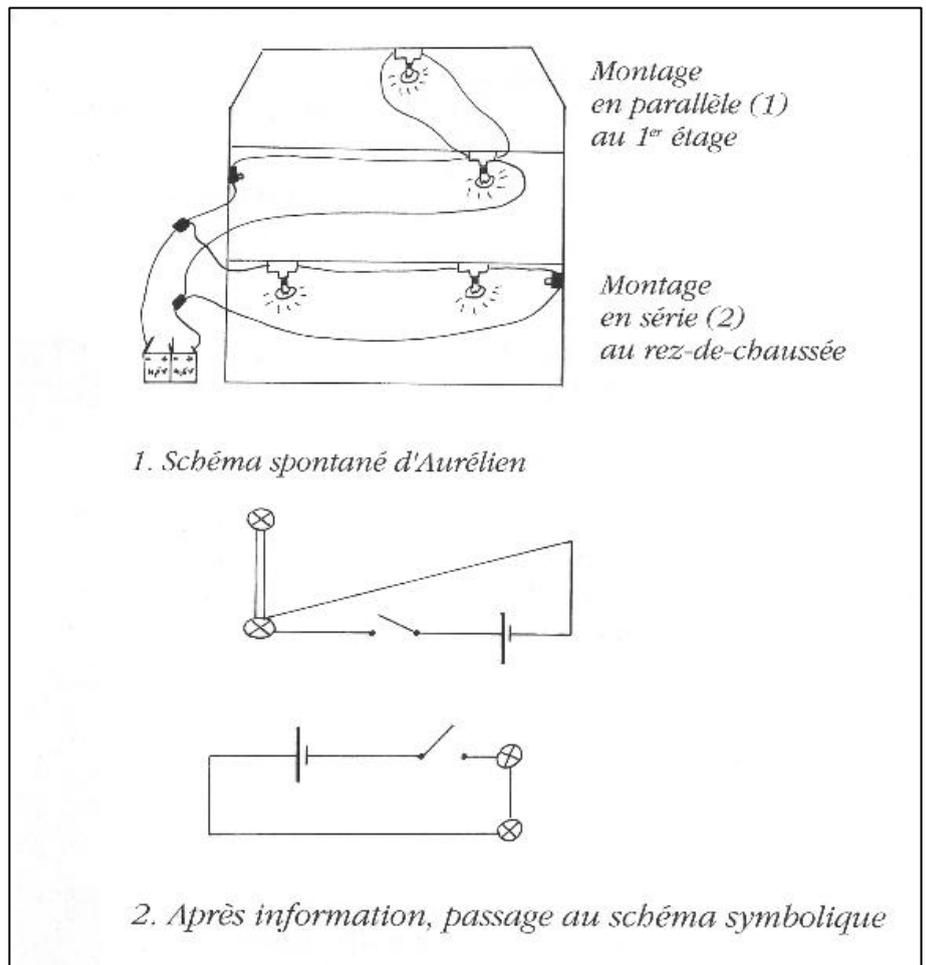
On s'est alors posé une question: pourquoi la lumière est-elle plus faible en bas ? Nous avons fait alors d'autres montages. »

Nous avons construit des électro-aimants

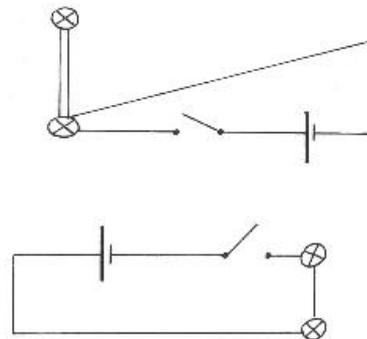
« Nous avons fabriqué des électroaimants en enroulant du fil émaillé sur des clous, des vis, des morceaux de fer à béton de différentes sections.

Quand on fait quelques tours avec le fil, ça chauffe et on se brûle les doigts. Quand on fait beaucoup de tours, ça chauffe moins.

Notre hypothèse : plus le nombre de tours est grand, moins ça chauffe.



1. Schéma spontané d'Aurélien



2. Après information, passage au schéma symbolique

Pour pouvoir vérifier notre hypothèse, nous avons utilisé des morceaux de fer à béton de même section et de même longueur, ainsi que du fil de même grosseur.

Voici ci-dessous le tableau de nos résultats.

Autre essai : nous avons fait attention d'enrouler le fil sans chevauchements (100 tours).

Nous remarquons que ça chauffe moins et que l'aimant est plus fort!

A l'Expo-Sciences où nous avons présenté nos travaux, nous avons rencontré des personnes compétentes : électriciens, physiciens... Nous avons discuté de notre problème; ils nous ont donné des conseils.

De retour en classe, nous avons fabriqué d'autres électro-aimants en ajoutant du papier entre le fer et le fil. Ça ne chauffe plus ! "

Nombre de tours	Nombre de trombones attirés	Remarque chaleur
50	1	
100	2	+
150	2	++
250	3	+++

Le traitement de l'imprévu

Par Michel Maubert et la classe de CM, école de Chauriat (63)

Nous collectionnons des objets inventés et fabriqués pour répondre aux besoins de la vie pratique dans le musée scolaire que nous constituons.

Certains objets sont apportés par des parents ou des enfants qui connaissent leur utilisation, leur âge... L'étude continue alors en classe par la recherche documentaire, une analyse technologique, parfois une reconstitution des expériences. Parfois l'objet arrive en classe sans aucune information. Nous l'observons, nous essayons de découvrir son utilisation, de le situer dans le temps, etc.

L'objet en questions...

Une classe correspondante nous a fait parvenir une lessiveuse.

« Qu'est-ce que c'est ?

- C'est une poubelle!

-C'est un seau!

-Il y a trois poignées, deux pour le porter, une pour le couvercle.

-Pourquoi celle du couvercle est-elle en bois ?

-On met du bois pour que cela ne fasse pas mal aux mains quand on porte quelque chose de lourd.

-Oui, mais il n'y a du bois que sur la poignée du couvercle qui n'est pas lourd et pas sur celles de la « poubelle ».

-On met du bois aussi pour ne pas se brûler quand c'est chaud (comme pour les casseroles).

- Ça doit servir à chauffer.

- Donc ce n'est pas une poubelle.

-Dessous, c'est brûlé, il y a de la suie. Ça se met sur du feu, c'est certainement une marmite. »

Cette analyse et cette conclusion



sont le résultat d'une discussion coopérative au cours de laquelle par l'expression libre, l'esprit de créativité, chacun a pu donner son idée en la justifiant (les poignées, la suie).

« Dedans, il y a une passoire avec un tuyau comme une cheminée.

- C'est peut-être pour laisser partir la vapeur. »

A l'issue de cette discussion, nous avons conclu qu'il s'agissait d'un récipient qui allait sur le feu mais la « cheminée » de l'intérieur intriguait et personne ne pouvait en trouver l'utilité.

Nouvelles investigations et partage des tâches

A ce point de la recherche, nous avons décidé de demander des informations aux parents.

Chacun devait décrire l'objet à ses parents et en rapporter les réponses obtenues.

C'est une lessiveuse qui servait à laver le linge en le faisant bouillir.

Au retour en classe tous ceux qui ont eu des réponses les ont exposées au groupe.

Comme il s'agit d'un appareil qui servait à faire la lessive, un élève assidu de la bibliothèque-documentation précise à la classe qu'il y a des documents sur la lessive autrefois et s'est chargé de chercher des informations supplémentaires (BT et BT Son).

Il y a là alternance : activité collective et activité individuelle avec le contrat de communiquer au groupe le fruit de sa recherche.

Deux autres groupes se sont chargés d'en déterminer la capacité.

Discussion du groupe pour aider les chercheurs.

Nous avons estimé la capacité à 25 litres.

• **Calcul du volume en utilisant la formule du cône tronqué.**

Recherche dans le dictionnaire de la formule :

$$\frac{\text{Pi} \times \text{H} \times (\text{a}^2 + \text{a} \times \text{b} + \text{b}^2)}{3}$$

$$\text{H} = 38 \text{ cm}$$

$$\text{a} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{b} = 15 \text{ cm}$$

$$\frac{3,14 \times 38 \times (20 \times 20 + 20 \times 15 + 15 \times 15)}{3}$$

$$\frac{3,14 \times 38 \times 925}{3}$$

$$\frac{119,32 \times 925}{3}$$

$$\frac{110371}{3}$$

$$\text{V} = 36\,790 \text{ cm}^3 \rightarrow 36,79 \text{ litres.}$$

- **L'autre groupe a mesuré la capacité avec une bouteille de 1,25 litre.**

Ils ont versé 29 bouteilles de 1,25 l.
 $29 \times 1,25 = 36,25$ litres.

Au cours de la communication, nous avons remarqué que nous trouvions à peu près la même capacité.

Ces travaux ont donné lieu chacun à une communication qui a demandé au préalable un travail de mise en forme, puis au cours de la communication, un entraînement à la communication, à la critique...

L'expérience « pour voir »

Nous avons testé notre lessiveuse en lavant des torchons de la cantine.

Quand l'eau bouillait, elle jaillissait du « Champignon » et arrosait le linge.

Si on baissait le gaz, le jet s'arrêtait.

« Pourquoi l'eau fait-elle ce circuit quand on la chauffe ? »

L'expérience « pour comprendre »

Dans un livre de sciences, nous avons trouvé une expérience pour mettre en évidence ce circuit de l'eau.

Nous avons observé que les petits grains montaient. En chauffant avec une flamme de réchaud à alcool (service à fondue) bien au centre du fond de la cafetière, on peut observer le circuit des poussières qui montent au centre et redescendent sur les côtés.

Notre conclusion

Quand on chauffe de l'eau, il se crée un circuit : l'eau la plus chauffée (celle qui est près de la flamme) monte et quand elle est en haut elle redescend sur les côtés.

Et le questionnement continue...

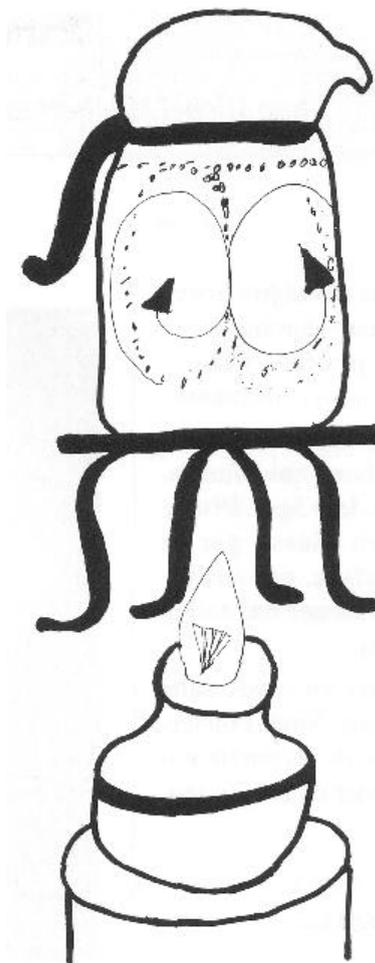
" Pourquoi l'eau chaude monte-t-elle?

-Parce qu'elle est plus légère?

- C'est comme quand on met de l'huile dans de l'eau, l'huile remonte toujours parce qu'elle est plus légère.

Pour ceux qui n'avaient pas déjà fait cette expérience nous l'avons rapidement faite.

« L'eau chaude est plus légère que l'eau froide. »



Nous avons pris une cafetière transparente dans laquelle nous avons mis de l'eau et du terreau en poussière et nous avons fait bouillir (voir schéma).

Le cheminement de la pensée

Dans le questionnement à propos de la lessiveuse, on peut observer certains aspects de cette régulation sociale de la pensée inférentielle. Traduisons.

Première hypothèse : c'est une poubelle

« Si la poignée est en bois alors c'est pour porter un objet lourd (première inférence),

Si on met du bois pour ne pas se brûler alors c'est chaud (deuxième inférence).

Si ça sert à chauffer alors ce n'est pas une poubelle (première hypothèse détruite).

S'il y a de la suie dessous alors ça se met sur le feu (nouvelle inférence).

Deuxième hypothèse c'est une marmite -

et plus loin : « tuyau comme une cheminée → vapeur... »

On peut remarquer que les enfants procèdent-là à une **collecte d'informations** (phase de perception), à un **traitement par comparaison** et à un raisonnement par **inférences** successives qui détruisent les précédentes ou les affinent.

Nous-voyons-là fonctionner le **traitement de l'information** (saisie de données, élaboration par comparaison, production d'une inférence qui sera soumise à vérification, confirmée ou contredite); et la pensée **inductive et déductive** (les deux types d'inférences existent (10) dans la recherche logique de la causalité, d'une explication, d'une preuve, en essayant de se placer du point de vue de la conséquence.

Je rappelle une expérience souvent faite : la spirale que l'on fait tourner au-dessus du radiateur et qui met en évidence la montée de l'air.

« Pourquoi un liquide ou un gaz s'élève quand on le chauffe ?
-Parce qu'il devient plus léger!

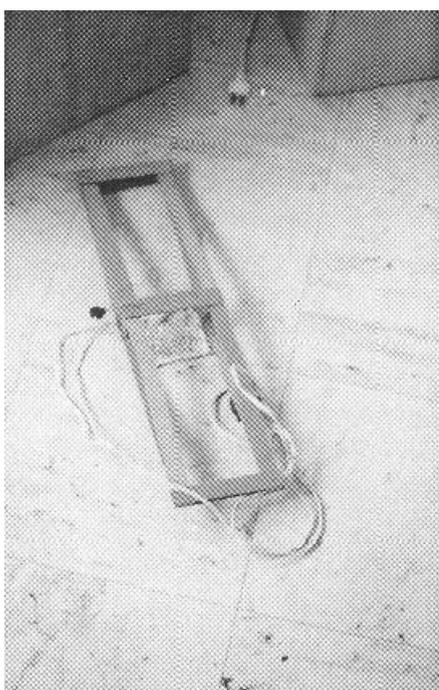
-Pourquoi devient-il plus léger quand on le chauffe ? »

Nous n'avons pas d'explication ; cette recherche est à poursuivre en faisant appel à d'autres ressources, peut-être en communiquant notre recherche aux correspondants qui nous ont envoyé la lessiveuse...

Le chauffe-lit

Une personne nous a amené cet appareil qui servait à chauffer les lits. La chaleur est produite par les filaments des ampoules. Nous avons construit un chauffe-lit. Nous avons copié l'original. Notre fil de résistance n'est pas dans une ampoule de verre. Pour brancher la résistance, nous avons mis des dominos.

Le chauffe-lit reproduit par les enfants



Pourquoi accueillir l'expression des enfants d'abord ?

Par sa curiosité naturelle, son étonnement devant le monde environnant, l'enfant est porteur de questions nombreuses et diverses (11).

Face à un phénomène, un objet, un animal, un projet de construction... il s'interroge, il émet quantité d'hypothèses vraies ou fausses. L'accueil de celles-ci, comme on le perçoit dans ces témoignages, permet à la fois :

- de repérer les représentations mentales initiales ou en évolution,
- de repérer aussi, dans les débats de groupes coopératifs, le cheminement de la pensée (pensée inférentielle ici, pensée analogique, pensée divergente aussi),
- de découvrir encore que les questions d'enfants peuvent être fondamentales en ouvrant des champs conceptuels essentiels.

« *Les questions qui peuvent paraître naïves, sont en réalité très pertinentes et à peu près les mêmes que celles que nous nous posons, nous, dans les laboratoires.* »

P. Perroud, ingénieur au Centre d'études nucléaires de Grenoble (avril 1969).

Extrait du dossier n°49 de l'éducateur

(10) *L'apprentissage de l'abstraction*, Britt Mari Barth, Retz. Dossier n°230, Novembre 1991, *Nouvel Éducateur*, p. 6 à 9.

(11) Voir aussi, à ce sujet, l'article d'André Lefevre *L'apprentissage des sciences*, paru dans le n°9 mai 1989 du *Nouvel Éducateur*.

L'appareil commercialisé



Le radiateur électrique

Nous avons fabriqué un radiateur électrique.

Nous avons pris une petite caisse de bois que nous avons sciée pour la modifier.

Nous l'avons consolidée. Nous avons coupé deux fils de résistance de longueur égale. On a accroché les deux fils de résistance aux deux clous. Nous avons peint la caisse en bleu. Nous avons mis du papier aluminium et nous l'avons essayé en le branchant sur un transformateur.

Et les réponses ?

Peut-on apporter réponse, explications systématiquement à ce questionnement des enfants ?

Peut-on laisser des questions sans réponses, des expérimentations sans conclusion, sachant que le niveau conceptuel de l'enfant ne permet pas de les intégrer ou qu'on ne dispose pas des moyens personnels de le faire ?

Ce fut (2) (11) et cela reste encore l'objet d'un long débat.

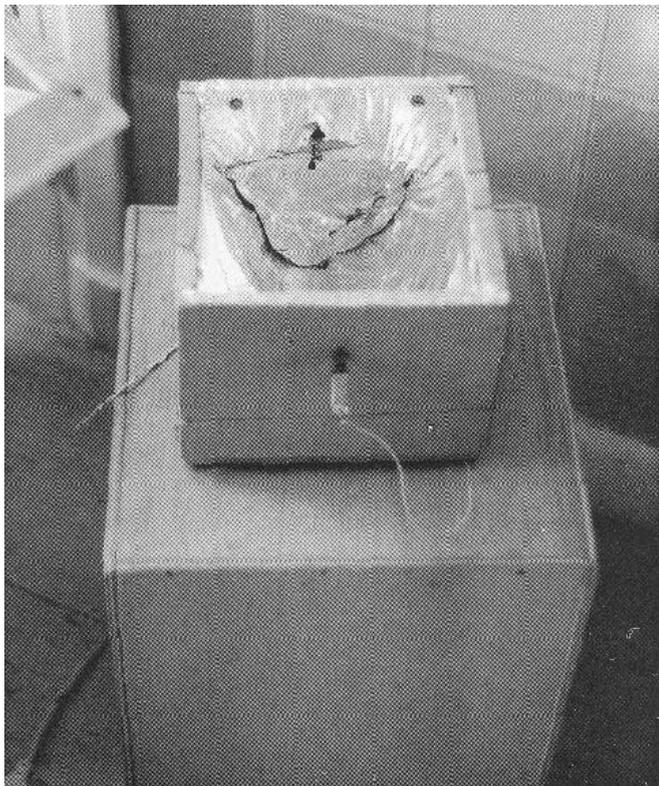
« On parle de donner des explications, de ne pas en donner. Au fond, les deux dangers extrêmes qui ont été décrits longuement ce soir, c'est d'un côté le pragmatisme – les alchimistes - et de l'autre le dogmatisme, les défauts dans lesquels l'enseignement est tombé. Toute la difficulté, c'est de garder un bon équilibre...

Je crois qu'il faut s'éloigner de ces deux pôles qui sont, à mon avis, tout aussi dangereux l'un que l'autre. » *M. Dreyfus, physicien professeur à l'université de Grenoble, directeur d'un laboratoire de recherche (avril 1969).*

La réalité n'est-elle pas encore dans la souplesse et une grande variabilité, en fonction des situations ; certaines réponses provisoires pouvant être satisfaisantes pour l'enfant dans sa construction conceptuelle spirillaire.

	6 Volts	12 Volts	18 Volts	24 Volts
1 fils de 20 cm	- chauffe - sent - rougit	- chauffe - rougit	- chauffe - rougit les dominos fondent	- rougit - les dominos fondent - le fil fond
2 fils de 20 cm	- chauffe - sent - ne rougit pas	- chauffe - rougit un peu	- rougit fort	- rougit - les fils se ramollissent
3 fils de 20 cm	- chauffe légèrement	- rougit légèrement	- rougit fort	- rougit - les fils se ramollissent

Nous avons fabriqué un radiateur électrique (photo ci-contre).



Une ouverture sur des champs conceptuels essentiels

A propos de la lessiveuse : c'est l'approche du concept : courants de convection qui gère de nombreux phénomènes tels que flux des liquides et des gaz, courants marins et aériens, magma terrestre... mais aussi des concepts complexes : densité, structure de la matière (conservation de la lumière et variations de volume avec la température...).

A propos des circuits électriques premières rencontres qualitatives, bien sûr, avec plusieurs lois sur les groupements de résistances :

- la baisse d'intensité, dans le montage en série des ampoules : une question qui trouvera une réponse avec la loi d'Ohm ($U=RI$)
- l'intérêt des courants dérivés en parallèle
- l'expérience du radiateur amène à la prise de conscience des variations de certains facteurs : tension, nombre de fils, par le constat, qualitatif aussi, des effets calorifiques.

A propos des électro-aimants c'est une approche qualitative mais Concepts qui se réinvestissent dans la vie pratique et ne peuvent qu'aider l'enfant, l'adolescent, à mieux comprendre son environnement.

Articulation des activités autour d'un thème annuel dominant : l'astronomie

Classe de Monique Bonnefoy

Les travaux qui suivent seront présentés par la classe au 1er Festival national des Exposciences organisé par le CIRASTI à la Cité des Sciences de La Villette les 3 et 4 avril 1993.

Il ne paraît pas nécessaire de redire ici le « pourquoi » de cette organisation thématique des activités d'éveil qui a été décrit dans un reportage précédent: *Notre hutte, à la manière gauloise* (Nouvel Educateur n° 45, janvier 1993).

Ce thème « **Astronomie** » est né, sur proposition d'un parent d'élève, professeur de physique en lycée et fut adopté après débat avec les enfants.

Les activités ont été conduites avec l'aide de deux intervenants chaque semaine (12).

1 - Nos objectifs

- Aider les enfants à observer sur une période longue (l'année scolaire) ;
- créer la nécessité d'un repérage dans l'espace et dans le temps ;
- mettre en relation astronomie, mesure du temps, météorologie, biologie ;
- réaliser sur le plan matériel, scientifique, artistique des objets significatifs (cadres solaires, calendriers...), des représentations graphiques de nos observations (schémas, diagrammes, graphiques divers...).

2 - Nos observations et nos expériences

La Lune et le Soleil : du mouvement apparent au mouvement réel

Durant des semaines entières, chaque jour aux mêmes heures, parfois à chaque heure, les enfants observent et dessinent :

- la Lune, sa position par rapport à des repères (toits, arbres...), ses phases;
- le Soleil, ses positions sur l'horizon, ses ombres (positions et longueurs variables mesurées).

Par comparaison, ils expérimentent les variations d'ombres données par une lampe.

Ces observations ne révèlent d'abord que **des mouvements apparents** :

« *La Lune se déplace durant la journée d'Est en Ouest, comme le Soleil, durant la semaine d'Ouest en Est.* »

On essaye de comprendre avec la maquette du système Terre-Lune-Soleil (T-L-S), prêtée par le lycée. Malgré de nombreuses manipulations, la grande difficulté est de se dégager d'un mouvement apparent observé pour comprendre **le mouvement réels**.

Des relevés météorologiques qui enlèvent des expériences

En parallèle, chaque jour, les relevés météorologiques déclenchent des expériences spontanées, individuelles ou en petits groupes ; ainsi, l'observation du thermomètre entraîne une multitude d'essais sur la dilatation des liquides.

Toutes les observations sont dessinées datées dans un cahier : observations astronomiques, météorologiques, biologiques (végétation, migrations d'oiseaux, etc.).

Un problème de relations

Comment les enfants seront-ils amenés à comprendre les rapports entre astronomie et météorologie ? Ils comprennent que la longueur du jour varie ; nous avons fait un grand diagramme comparatif de la durée du jour et de la nuit sur toute l'année. Ils comprennent aussi que le Soleil « monte moins haut » l'hiver. Là encore c'est la maquette T-L-S qui aide à interpréter: on peut compter le nombre de fuseaux éclairés et le nombre de fuseaux dans l'ombre pour une position donnée de la Terre par rapport au Soleil. On en déduit alors l'existence des saisons dans notre zone, l'inversion des saisons dans l'hémisphère Sud, inversion confirmée d'ailleurs par le témoignage d'une maman qui est allée au Chili en janvier, c'était l'été...

3 - Interprétations et mises en relations

On essaye d'établir des relations entre ces diverses observations...

Petit à petit, les enfants prennent conscience que les rythmes biologiques sont liés aux saisons, que les saisons sont liées à la durée de l'ensoleillement et que la longueur des jours varie à cause de l'inclinaison de l'axe de la Terre (un travail important avec la maquette T-L-S).

Ainsi, on en arrive à la définition de l'année, puis au calendrier. Cette relation entre astronomie, mesure du temps, calendrier, a été difficile à établir : les enfants comprennent bien le rythme jour/nuit lié à la rotation de la terre mais n'ont pas fait du tout le lien entre l'année et le système solaire.

4 - La création d'un calendrier universel

Nous en arrivons donc à la réalisation d'un calendrier. Nous souhaitons produire un travail artistique mais nous ne savons pas encore sous quelle forme.

Recours à la documentation

On recherche des calendriers anciens, comme *le livre d'heures* du duc Jean de Berry. On observe la représentation des mois (travaux saisonniers, nature...). On regarde aussi un livre sur l'horloge astronomique de Strasbourg. Cela nous amène à faire le point sur tout ce qu'on peut mettre dans un calendrier : les saints, les fêtes, les phases de la lune, les noms des mois, des jours, les saisons, les signes du zodiaque.

(12) *Un parent, professeur de physique et un sculpteur (voir Nouvel Educateur n° 45).*

En observant des calendriers des PTT de plusieurs années, les enfants découvrent que, à une même date ne correspond pas le même jour de la semaine, que certaines fêtes sont toujours aux mêmes dates, comme Noël ; d'autres varient, comme Pâques. Les années n'ont pas toutes le même nombre de jours (années bissextiles).

« Pourquoi tous ces changements ? »

On cherche alors :

- le rapport entre semaine et année. Le calcul $(52 \times 7) + 1$ explique le décalage de 1 jour chaque année et celui de 2 jours les années bissextiles ;
- la durée exacte de l'année (année sidérale: $365 \frac{1}{4}$) dans des documents pour comprendre les années bissextiles ;
- la signification des fêtes (histoire religieuse, histoire de France...) ;
- comment sont établies des dates des fêtes mobiles liées à Pâques.

L'élaboration du projet

Une fois admise l'idée de réaliser un calendrier universel, on s'interroge sur la façon de faire varier, chaque année, tout ce qui est variable.

Pour les descriptions à venir, se reporter d'une part, à la reproduction entière du calendrier de la couverture finale de ce magazine, d'autre part à la reproduction partielle, en gros plan, située à la page de garde de ce dossier.

De nombreux problèmes se présentent alors...

Comment faire coïncider date et jour?

Coller sur un fond fixe le nom des jours de la semaine et placer les dates en correspondance se révèle une mauvaise solution, à cause du 366e jour.

Cette difficulté nous a conduits à l'idée de réaliser alors deux disques avec un index : un grand disque (dates, fêtes, mois, saisons...), un petit disque (jours de la semaine) et de faire tourner les deux disques chaque jour, pour mettre en correspondance date et jour.

Ensuite, il faudrait faire apparaître les dimanches avec des punaises rouges qui seront changées chaque année.

Le concret n'est pas toujours le réel... d'où la nécessité d'une démarche modélisante

C'est particulièrement vrai pour l'astronomie, pour la météorologie, la chimie, etc.

C'est pourquoi l'**observation** seule ne suffit pas à la conceptualisation, même provisoire : il y a nécessité d'une **médiation**. Nous retrouvons-là la théorie de R. Feuerstein : « l'expérience, l'observation médiatisées ».

La description ci-contre de cette « difficile et lente prise de conscience » par les enfants dans ce cheminement vers l'abstraction, nous fait apparaître cette **démarche modélisante**, qui ne peut se vivre que sur le mode dialectique entre le **concret observable** (ici les mouvements apparents, les durées variables jour/nuit...) sans que ceux-ci soient perçus comme des systèmes explicatifs uniques et permanents.

Mais ce va-et-vient entre le « champ empirique » et le « champ théorique » se fait constamment dans nos classes, par le recours à une documentation spécifique c'est-à-dire des connaissances scientifiques mises à la portée de l'enfant, comme une information interactive par une part du maître; s'exerçant dans le processus d'un tâtonnement régulé ; processus où, par des remises en cause, les savoirs privés sont en interaction avec un savoir socialisé, par des apprentissages plus guidés ou plus systématiques.

Les fêtes fixes seront coloriées en rouge, les fêtes mobiles seront écrites sur des rectangles en carton-plume et pourront ainsi être déplacées chaque année en fonction de la Lune (Pâques étant placée le dimanche qui suit la pleine lune après l'équinoxe de printemps).

Resteraient à placer les phases de la lune qui, évidemment, ne sont pas à dates fixes. Coller une bande ? Cette organisation aurait été imprécise et même fautive. C'est Pascal, le sculpteur, qui a trouvé une solution : fabriquer des lunes en terre cuite, les piquer sur la périphérie, et les changer chaque année de date.

La longue réalisation...

Sur le pourtour du grand disque, les enfants ont écrit le nom des saints, les dates, le nom des mois. Je préparais le travail en traçant tous les cadres pour l'écriture, travail long et fastidieux pour eux. Pour illustrer, les enfants ont choisi un mois par groupe de deux. Ils ont cherché comment évoquer ce mois (nature, saisons, fêtes) en se référant aux dictionnaires pour le sens des mots : Ascension, Pentecôte... puis ils ont dessiné une évocation de chaque fête.

Après explications, en astronomie, sur la place des constellations correspondant aux signes du

zodiaque, ils les ont dessinés. Enfin, les saisons ont été représentées sur des triangles de terre cuite (bas-reliefs) par l'évocation des quatre âges de la vie, une inspiration due à l'horloge de Strasbourg :

le printemps = l'enfance, l'été = l'âge adulte, l'automne = la vieillesse, l'hiver = la mort.

Sur le petit disque supérieur de la semaine, chaque jour a été évoqué par le nom et le dessin de la planète correspondante, le nom et le dessin du dieu grec: le jeudi = planète Jupiter = Zeus, par exemple.

Enfin, ils ont collé sur le fond, des étoiles en plastique adhésif, pour représenter les constellations qu'ils avaient appris à reconnaître: la Grande Ourse, la Petite Ourse, Cassiopee, Orion... etc.

Les signes du zodiaque en terre cuite, Saturne, la Lune, les constellations ont été disposés là uniquement dans un but esthétique.

5 - Autoévaluation - Validation Bilan

Après cette conception laborieuse, le calendrier fini nous donne toute satisfaction :

- sur le plan esthétique, nous le trouvons très réussi !

sur le plan technique, on lit bien la date, le jour, le mois, le signe du zodiaque, les phases de la Lune...

L'inconvénient, c'est que les lunes piquées dans le bois ne tiennent pas bien et tombent car les aiguilles sont trop courtes.

Nous espérons que, pour les futurs élèves de la classe, ce calendrier sera « un outil », et l'occasion de poser beaucoup de « Pourquoi ? »

Validation par la communication

Le travail était en cours quand nous avons participé à l'**expo-sciences** organisé par le CIRASTI à ClermontFerrand. Pour les enfants, ce fut une fête ! Leur travail a été très valorisé et ils ont apprécié que tant d'adultes s'intéressent à leurs réalisations.

Ces travaux sur le calendrier, enrichis de nombreux cadrans solaires, réalisés individuellement, ainsi que des représentations graphiques, relevés divers, enquêtes, interprétations, ont été exposés à l'école, dans la salle communale. Cette exposition a été visitée par les parents d'élèves, la population locale pour la fête du village et quelques classes des environs.

Après le démontage, il nous reste ce calendrier universel qui sera fixé dans la classe et deux cadrans solaires : un vertical mural et un horizontal qui servira de table dans la cour.

Un bilan

Les enfants ont beaucoup appris, beaucoup expérimenté, beaucoup lu, mais aussi et surtout observé, réalisé de leurs propres mains et créé. Ainsi, l'astronomie nous a conduits également à la mythologie. Ils se sont alors passionnés pour les légendes grecques et nous avons mené, en parallèle, la réalisation du calendrier et la représentation, en collages de papier sur canson, des *Douze travaux d'Hercule*.

En sciences physiques, observations, expériences, manipulations (la maquette Terre-Lune-Soleil) ont ouvert le champ de nombreux concepts :

- thermomètres et dilatation des liquides

- les densités abordées dans divers exposés sur les planètes ont conduit à des expériences avec des liquides et l'utilisation du densimètre ;

- des travaux d'optique nombreux : le prisme et la décomposition de la lumière, la chambre noire et l'inversion de l'image, le déplacement de la lumière, l'étude expérimentale des lentilles, l'usage de la lunette astronomique...

Et l'essentiel a sans doute été tout le plaisir de la découverte !

Quelle éducation scientifique ?

Une éducation scientifique porteuse d'avenir doit, à la fois, faire se **révéler, sauvegarder et développer** des conduites, des attitudes, des capacités, des compétences :

- perception sensible et émotionnelle (13) face aux êtres vivants, aux objets, aux phénomènes, vive chez les enfants et qui tend à s'atténuer dans le contexte urbain actuel,

- intérêt, enthousiasme, **plaisir** donc motivations internes,

- imagination, esprit d'initiative,

- esprit critique, doute, remise en cause d'un modèle, de ses propres erreurs, de son savoir,

- des capacités telles que **l'observation, l'aptitude à saisir, trier, traiter les données, à se repérer** dans l'espace et le temps, à **des modifications cognitives**, à changer de modes de pensée (passages dun régime analogique à un régime inductif, déductif, dialectique... etc. comme le décrit J.-P. Astolfi (14) mais aussi habileté manuelle, **sens pratique...** Cette énumération, non exhaustive bien sûr, fait apparaître les imbrications entre l'affectif et le cognitif qui conditionnent aussi les apprentissages scientifiques.

Ceci pose évidemment le double problème de la prise en compte de la personnalité de l'apprenant dans sa propre expérience et de la vulgarisation scientifique comme le confirmait J.-L. Martinand lors d'un colloque à Cannes en 1990.

C'est par une interactivité permanente entre **l'expérience vécue** par l'individu, **la critique du groupe** (pairs et adultes), **l'information** apportée par des outils-guides complémentaires (15) et par la recherche documentaire (16), que la pédagogie Freinet a toujours cherché à répondre aux objectifs ci-dessus. Précisons à nouveau, à ce propos, que le tâtonnement expérimental régulé intègre cette interactivité-là, pour chaque individu au cours de son **expérience personnalisée**.

Pour être objectifs, il faut ajouter que nous n'avons plus aujourd'hui l'exclusivité de ces modalités pédagogiques. Nombreuses sont les recherches actuelles de didactique, de mise en relation entre didactique et pédagogie, qui confirment et affinent ces conceptions (1).

Aussi, serait-il nécessaire d'analyser en profondeur, dans nos groupes de travail, ce que recouvre : **l'expérience personnalisée** de l'enfant ou de l'adolescent au collège, à la lumière de telles recherches.

Sans doute, reconnaitrions-nous que, comme l'écrit L. Not (voir ci-après), **l'expérience a deux sens**, que nous vivons le plus souvent à l'école élémentaire la première forme : **«l'expérientiation»**, que **«l'expérimentation»** requiert une rigueur dans la démarche, démarche qui sollicite des formes de pensée que l'enfant jeune ne possède pas encore mais qui mûrissent chez le collégien :

- questionnement - émission et choix d'hypothèses - expérience pour vérifier remise en cause de l'hypothèse recherche de facteurs variables d'un phénomène - isolement d'un de ces facteurs - étude de ses variations avec outils mathématiques divers -interprétation des résultats, etc.

Cependant, nous pouvons penser que, par **la médiation** des pairs, du maître et d'une information adéquate au moment sensible, il se construit dès le cours moyen, la sixième et cinquième, des formes intermédiaires entre ces deux pôles extrêmes de l'expérience, formes qui peuvent favoriser cette formation à la démarche expérimentale.

Il apparaît ainsi deux sens différents pour le mot « expérience », l'un concernant le tâtonnement empirique simple, l'autre correspondant à la démarche planifiée. Lorsque la seconde est devenue possible, ces deux modalités de pensée et d'action vont coexister la vie durant, mais il y a entre elles, dit l'auteur, « plus que la différence qui sépare l'extériorisé en mouvement de l'intériorisé en pensée ». En tout cas, n'apparaîtrait entre l'une et l'autre, aucune relation qui autorise à penser qu'en exerçant la première, on prépare nécessairement la seconde (1).

Louis Not, Les pédagogies de la connaissance, Toulouse, Privat, 1979.

Bref, si « l'expérimentation » ne garantit nullement une meilleure maîtrise de l'expérimentation, il n'en reste pas moins qu'une certaine pratique de la seconde peut prendre appui efficacement sur la première.

Car la méthode expérimentale présente en réalité deux faces. Celle à laquelle on pense le plus depuis Claude Bernard consiste à passer de l'hypothèse à la conclusion anticipée, puis à revenir à l'hypothèse en intégrant les résultats expérimentaux. Celle-ci nécessite effectivement l'usage de la pensée formelle et de la réversibilité opératoire. L'autre face repose sur la séparation des variables par comparaison de situations naturelles et de séparations provoquées, cette séparation se clarifiant de façon progressive. Et ceci met plutôt en oeuvre ce que Wallon a appelé la pensée catégorielle, que les enfants pratiquent avec efficacité bien avant l'accès à la logique formelle (1).

Victor Host, in Les démarches scientifiques expérimentales, théorie et pratique, Actes des Premières Journées de Chamonix sur l'Éducation scientifique, Paris, Paris VII, Didactique des disciplines, 1979.

Il nous faudrait aussi approfondir la comparaison de cette **expérience personnalisée et de « l'expérience construite par le maître »** ont-elles la même valeur formatrice ?

insertion dans le processus personnalisé ? Quelles formes doit prendre cette expérience apportée pour laisser encore le champ ouvert à la pensée divergente ?

Faut-il bannir celle-ci ? Ou bien faut-il organiser plus finement son

Quant à la documentation scientifique elle joue un rôle

L'expérience

En dépit des limitations conceptuelles, inévitables à cet âge, avant même l'accès à la pensée formelle, l'habitude d'expérimenter prise par les enfants les conduit à des paliers différents dans la démarche expérimentale.

L'expérience « pour voir »

C'est le cas lorsque les enfants font bouillir les torchons pour voir fonctionner la lessiveuse ou encore lorsqu'ils, relevant des températures, ils essaient, à leur manière, la dilatation des liquides.

« Tâtonnement empirique simple » ou besoin de **voir** le phénomène, pour mieux saisir l'information (par divers canaux visuel, auditif, voire kinesthésique et même olfactif, dirait J. Berbaum) et mieux se représenter le phénomène.

L'expérience « pour comprendre »

Expérimenter avec la cafetière pour observer les courants de convection et comprendre ceux de la lessiveuse est une activité qui se situe à un degré supérieur par rapport à la précédente.

L'expérience « pour faire varier » un des facteurs du phénomène

-comme le nombre de spires dans l'électro-aimant ;
-comme la tension (6V, 12V, 18V...) induite par le transformateur, le nombre de fils en parallèle dans le radiateur, en recueillant des résultats, même qualitatifs encore, n'est-elle pas une approche de « l'expérimentation » ?

essentiel dès le cycle 2, dans l'interactivité que nous évoquons. Mais pour répondre à un besoin d'information, pour enclencher de nouvelles expériences, encore faut-il une documentation accessible à l'enfant ou l'adolescent, donc exploitable de manière plus ou moins autonome ; une documentation qui facilite aussi une formation méthodologique à la recherche documentaire et pas seulement une simple lecture courante : capacités essentielles aussi pour l'avenir de l'individu.

C'est aussi là, qu'on se heurte aux difficultés de la vulgarisation.

On peut évoquer, à ce propos, toute l'aventure de la Bibliothèque de Travail, créée par C. Freinet pour répondre à ces objectifs depuis son début, qui ne cesse d'évoluer, de se diversifier : textes informatifs, textes-échanges, iconographie souvent originale, expériences vécues, suggérées, dialogues comme dans les BT Sciences; une information simplifiée et non simpliste, avec l'aide de scientifiques, comme dans le nouveau magazine Périoscope avec sa série Sphères particulièrement, comme la BT Son (livre-cassette) : rencontres avec des savants ou enquêtes auprès de témoins qui insufflent simplicité et science-pas...

Ce dossier succinct ne peut traiter de tous les éléments. Son objectif essentiel est d'apporter quelques repères didactiques pour confrontations. Il est donc ouvert à d'autres témoignages, d'autres pratiques, d'autres réflexions, d'autres analyses, voire des débats...
Écrivez au Nouvel Educateur.

La quatrième partie de ce dossier intitulée « Quels modèles pédagogiques ? » paraîtra dans le numéro 48 d'avril 1993, rubrique: Recherches-Ouverture.

(14) **Différencier par les « modes de pensée »** in Cahiers pédagogiques n° 58, 1991,

(13) **Rôle de l'émotion, L'homme neuronal, chapitre IV et V J. -P. Changeux, Fayard, Pluriel.**

(15) **Logiciels** (collection PROGICEM) à INFORMATIEM, 60, résidence J.-Veme Voir Nouvel Educateur n° 42, P. 2.

(16) **Fichiers et BT** (catalogue PEMF, 063 76 Mouans-Sartoux Cedex).