

GRANDIR : OUI MAIS COMMENT ?

Marcelle Goix

Même s'ils ne l'ont jamais étudiée, les élèves possèdent des explications de la croissance basées sur des modes de raisonnement profonds qui permettent de comprendre le monde et qui font obstacle à la construction du concept. Une grille de lecture de ces conceptions est proposée. Elle prend la forme d'une suite de formulations qui nous renseigne également sur les obstacles que risque de rencontrer l'apprenant tant sur le plan du domaine immédiat du concept étudié que sur celui du cadre de références requis. L'analyse d'une séquence prenant appui sur cette grille et sur la notion d'objectif-obstacle nous montre comment, basée sur les progrès intellectuels à réaliser, elle permet de gérer les activités proposées et nous donne des indications sur l'évolution des élèves.

la croissance
n'est pas
un concept
de la biologie
actuelle mais...

La croissance n'est pas un concept de la biologie actuelle. Dans l'enseignement supérieur, son étude fait l'objet de chapitres dispersés dans les cours et dans les programmes de collège datant de 1985, le terme lui-même n'est jamais mentionné si ce n'est en Troisième dans le chapitre "Nutrition et métabolisme" : "L'assimilation. Synthèse de matière organique. Rôle de la synthèse de la matière organique dans le renouvellement et la croissance cellulaire."

Pourquoi alors nous sommes-nous intéressé à un tel concept ?

... elle est
le témoin
de la satisfaction
des besoins et...

Les instructions ou compléments incitent à faire appel à lui. Dans le chapitre traitant des "Besoins nutritifs" des végétaux la croissance est utilisée comme témoin de la satisfaction des besoins : elle joue "le rôle de réactif biologique" (1). Nous citerons seulement les compléments qui accompagnent le programme de Sixième : "... on étudiera les conditions de la production primaire. À ce niveau, il ne s'agit pas de comprendre la photosynthèse ; la nutrition végétale en rapport avec l'autotrophie, ne constitue pas l'objet du chapitre. La possibilité de croître des végétaux chlorophylliens (**accroissement de masse** (2)) est liée à la présence de chlorophylle, à la nécessité de la lumière, du dioxyde de carbone, à l'alimentation en eau (importance du flux hydrique) et en sels minéraux". Dans ce cas, la croissance n'est pas étudiée dans son mécanisme, seul l'aspect extérieur de l'individu est pris en compte c'est-à-dire l'augmentation des dimensions et de la masse des êtres vivants.

(1) ABELOOS Marcel (1965), "Croissance et régénération", in *Encyclopédie de la Pléiade, Biologie*, Paris, Gallimard, p. 638.

(2) Souligné par nous.

... de l'assimilation

La croissance peut aussi être le témoin de la "production primaire" c'est-à-dire être perçue en terme de flux de matière (et d'énergie). Cet aspect est mis en jeu dans la suite du programme : "On se limitera à présenter l'idée que les végétaux chlorophylliens, en utilisant l'énergie lumineuse, et à partir des substances minérales puisées dans leur milieu de vie, peuvent élaborer des constituants de leurs organes (matière organique)." Cette même approche sera réutilisée dans le chapitre "Signification de la nutrition et de la respiration chez les êtres vivants". "La matière organique produite par les végétaux chlorophylliens, ou prélevée par les végétaux sans chlorophylle et les animaux, sera reliée à la construction de l'organisme... Il y a là une première occasion de montrer l'existence de transfert de matière entre producteurs, consommateurs de divers ordres, décomposeurs." Il ne suffit plus ici de décrire la croissance mais il faut en expliquer les mécanismes et en particulier prendre en compte l'assimilation. Cette utilisation du concept correspond alors à une explication.

Nous avons donc deux aspects de la croissance qui sont mis en jeu et l'élève ne perçoit pas cette différence.

Nous débuterons notre article par une identification des représentations liées à ce concept. Nous présenterons ensuite une grille de lecture de ces conceptions sous forme d'une suite de formulations qui nous éclairent sur le niveau des élèves et sur l'existence de certains obstacles. Puis nous analyserons une séquence d'apprentissage (3) élaborée en utilisant la notion d'objectif-obstacle et nous suivrons la progression de la conceptualisation chez nos élèves tout au long de la séquence en repérant les formulations produites et en les situant dans notre grille de référence. Ceci nous permettra également de tester le dispositif mis en place.

1. LES CONCEPTIONS LIÉES À LA CROISSANCE

la notion
n'est pas étudiée
mais elle est
surdéterminée

Actuellement il est admis que l'enfant n'est pas une "page blanche" sur laquelle on peut imprimer un savoir. L'élève possède, en effet, des conceptions ou représentations (4) et c'est leur évolution progressive qui va constituer un niveau de connaissances de plus en plus opératoires et proches du savoir scientifique (5). Il s'agit donc tout d'abord, pour nous, de définir le cadre de référence de l'apprenant à propos de la croissance.

-
- (3) L'auteur, actuellement enseignant au lycée Pape Clément de Pessac, était à l'époque (1996) en poste au collège Louise Michel de St Just en Chaussée dans l'Oise.
 - (4) Bien que conscient du débat qui oppose les deux termes nous utiliserons indifféremment les deux termes pour éviter les répétitions.
 - (5) GIORDAN André, De VECCHI Gérard (1987), *Les origines du savoir*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, p. 127.

1.1. La croissance ne fait pas intervenir la matière

Les résultats de questionnaires réalisés en classe de Troisième mais aussi en première année d'IUFM nous ont montré que les mêmes difficultés persistaient lorsque l'on demandait de définir la croissance ou d'expliquer comment les aliments intervenaient dans la croissance : l'aspect externe visible (taille principalement) semble privilégié par rapport à l'aspect contenu ou substance c'est-à-dire qu'il n'est pas fait référence à la matière et à son implication dans les mécanismes alors que c'est un des éléments explicatifs du concept actuel : "la croissance est assimilation" et "multiplication cellulaire". Pour la moitié des étudiants encore, les aliments sont nécessaires à la croissance mais ils sont extérieurs à cette croissance : ils sont "condition". Pour les autres, ils sont soit une source de matière soit une source d'énergie, mais rarement les deux à la fois.

elle ne fait pas
intervenir
la matière

Cette absence de recours à la matière se traduit de plusieurs façons.

- La croissance est un phénomène qui ne nécessite aucune explication. Il est lui-même explicatif. Son existence n'a pas à être expliquée par un mécanisme où la matière intervient. La nourriture a juste pour fonction "d'aider" ou "de favoriser" la croissance, qui va d'elle-même pour peu que les conditions le permettent.

elle n'a pas
à être expliquée

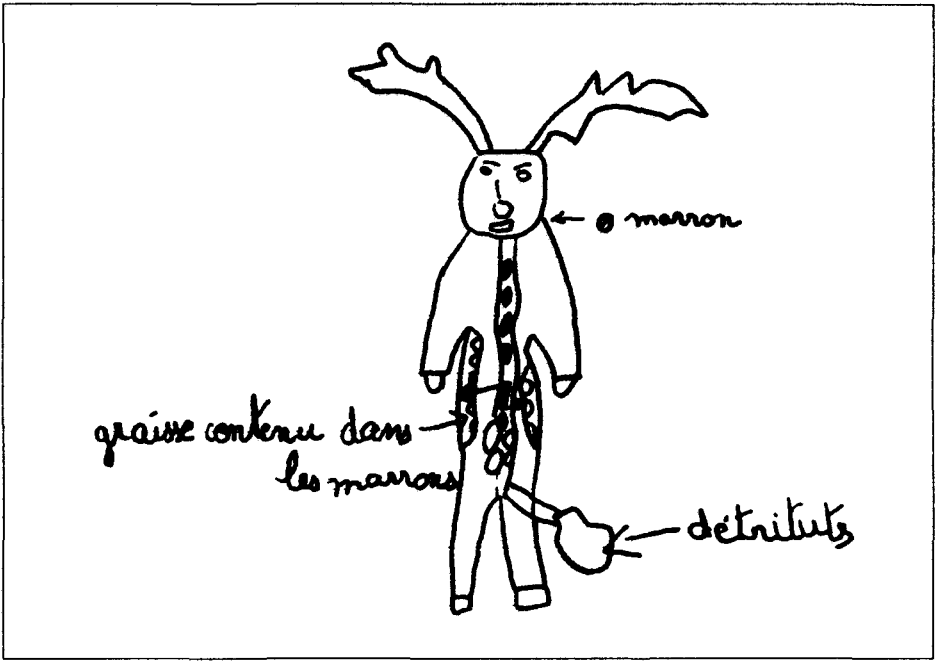
- La croissance est expliquée par le temps qui passe et les propriétés de l'être vivant c'est-à-dire par la vie elle-même. Si celle-ci est possible, si les conditions sont bonnes, alors la croissance donc l'augmentation de masse existe. Dans ces explications, il y a souvent intervention d'une énergie : "force" omnipotente qui permet la croissance et l'explique.

elle correspond
au temps
qui passe...

1.2. La croissance se fait par accumulation de semblable

L'idée d'assimilation n'apparaît pas et quand la matière intervient, elle est comme ci-dessus "condition" ou alors elle s'accumule dans l'organisme : "le semblable allant vers le semblable". Voici à titre d'exemple le dessin réalisé par un élève de Cinquième : la graisse contenue dans les marrons s'accumule sous la peau.

... ou à une
accumulation
de matière
semblable



Document 1. Dessin d'un élève de Cinquième sur la croissance du cerf

Un autre a accompagné son dessin du commentaire suivant :

(Les cerfs) Ils mangent beaucoup de marrons. Puis les marrons passent dans le corps et se ~~marrons se transforment~~ en graisse. La graisse tenu dans les marrons ~~est~~ dans le corps.

Document 2. Commentaire d'un élève de Cinquième sur la croissance des cerfs

la graisse sert à faire de la graisse comme...

Les ratures nous montrent que cet élève a hésité et devant ce qu'il vient d'écrire, il se rétracte et revient à quelque chose de plus confortable pour lui, semble-t-il : la graisse était dans les marrons et va dans le corps.

Nous retrouvons ce même type d'explication pour de nombreux organes : "Le lait peut participer à la croissance des os en se collant à eux pour les grossir, les grandir puis la matière

... le muscle sert
à faire du muscle

se trouvant à l'intérieur se transforme en moelle." (Thomas 3^e) ; "La croissance se fait par addition de molécules aux molécules qui constituent nos organes. On nous dit toujours : il faut bien manger pour grandir ; donc les molécules de viande et les morceaux de "légumes" s'additionnent avec les molécules que nous avons déjà : les molécules de lait, favorisent la croissance de l'os, donc, les molécules de lait vont s'additionner à nos molécules d'os. Pour les muscles c'est pareil, les molécules de "viandes" (des muscles) s'ajoutent à nos molécules de muscles." (Stéphanie 3^e). Pour Stéphanie le choix se base aussi sur une accumulation de semblable.

L'idée de synthèse n'apparaît donc pas chez les élèves. Nous voyons une idée de "translocation de la matière" ou encore de transformation globale, le tube digestif étant responsable de ces transformations. Ces formulations ne sont pas isolées, on les retrouve pour certaines de la Sixième à la faculté. Comment expliquer une telle persistance ?

2. LES OBSTACLES LIÉS AU CONCEPT DE CROISSANCE

2.1. L'obstacle est une structure profonde

Un consensus semble se faire actuellement pour admettre que les représentations s'appuient sur des structures plus globales de raisonnement. Pour Lauren B. Resnick, des conceptions plus fondamentales sont à la base de ces explications naïves du monde ; elle les qualifie de "convictions ontologiques, car elles font appel aux catégories de base en fonction desquelles les gens analysent le monde et réagissent à celui-ci." Ces modes de raisonnement sont, pour la plupart, implicites et les gens n'en sont pas conscients, ce qui ne veut pas dire que "ces convictions (soient) moins puissantes pour autant" (6). Laurence Viennot précise également que "l'étude de champs conceptuels associée à des domaines spécifiques de la physique (mécanique, électrocinétique, propagation des ondes, thermodynamique...) a fait apparaître des tendances de raisonnement qui, à l'évidence, sortent des limites de ces champs spécifiques et se manifestent sous des formes analogues d'un domaine à l'autre" (7). Elle donne

(6) RESNICK Lauren B. (1989), "Convictions ontologiques dans l'apprentissage de la physique", in *Constructions des savoirs, Obstacles et conflits*, Bednarz Nadine et Garnier Catherine, (dir), Ottawa, Cirade, p. 103.

(7) VIENNOT Laurence (1989), "Tendance à la réduction fonctionnelle : obstacle au savoir scientifique et objet de consensus", in *Constructions des savoirs, Obstacles et conflits*, Bednarz Nadine et Garnier Catherine, (dir), Ottawa, Cirade, p. 84.

les représentations
s'appuient
sur des structures
profondes
de raisonnement

comme exemple de ce type de raisonnement le raisonnement linéaire causal qui "sous une forme ou sous une autre, ... s'applique à une proportion considérable des argumentations d'étudiants confrontés à des problèmes à plusieurs variables dans divers domaines de la physique" (8). De même pour Samuel Johsua : "La réponse a un exercice de caractère opérationnel met en œuvre non une représentation unique, mais une combinaison de représentations, elles-mêmes appuyées sur des structures plus globales de raisonnement." (9) En biologie, Guy Rumelhard attribue les représentations "à des valeurs étrangères au savoir scientifique (survalorisations tout autant que dévalorisations) qui perturbent l'assimilation des connaissances" (10). Jean-Pierre Astolfi et Brigitte Peterfalvi font l'hypothèse que les difficultés concernant les transformations de la matière, aussi bien pour comprendre les phénomènes physico-chimiques que les phénomènes biologiques (digestion, respiration, photosynthèse), sont sous-tendues par "trois obstacles principaux (mettant en jeu des modes de pensée assez primitifs) : le primat de la perception sur la conceptualisation ; l'usage de la pensée catégorielle, voire de la "pensée par couples" ("ou bien ... ou bien...") : le vivant/le non vivant, les gaz/pas les gaz ; un excès de survalorisation (le vivant par rapport au non vivant) ou de dévalorisation (les gaz et la chimie)" (11).

c'est l'explication
préexistante
qui est obstacle
et non l'absence
d'explication

L'obstacle est donc "ce qui en profondeur explique et stabilise la représentation" (12). Ce sont ces obstacles qui "correspondent à ce qui fait vraiment résistance aux apprentissages et aux raisonnements scientifiques, tout en répondant de façon confortable aux besoins d'explication des enfants" (13). Michel Fabre définit ainsi l'obstacle : "L'obstacle n'est pas l'ignorance, mais une connaissance positive qui en d'autres circonstances, fonctionnerait assez bien comme outil." (14) Il s'agit donc d'identifier les obstacles qui peuvent stabiliser les conceptions liées à la croissance. Pour identifier ces obstacles un détour par l'histoire du concept et le développement psychogénétique de l'enfant nous a semblé indispensable.

(8) Ibid, p. 90.

(9) JOHSUA Samuel (1989), "La perdurance des obstacles épistémologiques : un révélateur de leur nature", in *Constructions des savoirs, Obstacles et conflits*, Bednarz Nadine et Garnier Catherine, (dir), Ottawa, Cirade, p. 115.

(10) RUMELHARD Guy (1996), "Représentations et travail résistant" in *Biologie Géologie*, APBG, Paris, n° 4, p. 756.

(11) ASTOLFI Jean-Pierre, PETERFALVI Brigitte (1993), "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales", in *Aster* n° 16, Paris, INRP, p. 110.

(12) Ibid., p. 106.

(13) Ibid., p. 108.

(14) FABRE Michel (1995), *Bachelard éducateur*, Paris, PUF, p. 89.

2.2. Les obstacles qui stabilisent les conceptions sur la croissance

la vie
est animation
de la matière

La croissance est une des caractéristiques de la vie, or la vie et les phénomènes vitaux peuvent être différemment considérés. Georges Canguilhem nous propose quatre conceptions (15) qui ont existé dans l'histoire et persistent encore : la vie peut être considérée comme "animation de la matière", comme "mécanisme", comme "organisation" ou comme "information". De nombreuses explications proposées par nos élèves peuvent se rattacher à une conception de la vie comme "animation". Cette conception qui remonte aux grecs mais qui est "*restée vivace jusqu'au milieu du 19^e siècle*" s'explique par un "*principe interne de toutes les opérations des corps vivants*" (16). La vie est ici explication, elle ne demande pas à être expliquée. La difficulté repose alors sur ce qui est perçu comme méritant d'être expliqué et sur ce qui est considéré comme explication. L'étude des mécanismes de la croissance va donc nécessiter une rupture au niveau de la conception de la vie. Il s'agit de faire passer les élèves d'une conception de la vie comme "animation" à une conception de la vie comme "organisation".

la matière
est continue
l'organisme
est continu

La croissance nécessite de la matière, de l'énergie et de l'information entre autre ; elle se caractérise par une augmentation de la taille et de la masse mais aussi par une augmentation du nombre des cellules. La compréhension de l'augmentation de la masse nécessite la prise en compte de la matière. Celle du nombre des cellules nécessite la prise en compte de la structure de l'organisme. Dans un cas comme dans l'autre, il s'agit d'observer l'organisme non plus dans sa totalité mais dans sa discontinuité. Il s'agit de considérer comment certaines parties ou constituants interviennent dans le fonctionnement de l'ensemble. Nous abordons ici le problème de l'individu aussi nous reprenons une remarque de Georges Canguilhem : "*L'individualité, par les difficultés théoriques qu'elle suscite, nous oblige à dissocier deux aspects des êtres vivants immédiatement et naïvement intriqués dans la perception des êtres : la matière et la forme. L'individu c'est ce qui ne peut être divisé quant à la forme, alors même que l'on sent la possibilité de division quant à la matière.*" (17) L'étude des mécanismes de croissance nécessite donc une double rupture : rupture au niveau de la continuité de la matière et rupture au niveau de la continuité de l'organisme. Il s'agit ici de dépasser la perception et d'aller vers l'abstraction. Ces difficultés se mêlent dans les explications que les élèves proposent. Il nous a pourtant paru intéressant de suggérer des regroupements, même si, à certains égards, ils peuvent paraître arbitraires.

(15) CANGUILHEM Georges (1990), article "Vie", in *Encyclopædia universalis*, T. 23, Paris, p. 546-554.

(16) Ibid., p. 546-564.

(17) CANGUILHEM Georges (1985) (2^e édition), *La connaissance de la vie*, Vrin, Paris, p. 62.

des progrès
intellectuels
multiples

2.3. Une grille de lecture des représentations

Sur le schéma ci-contre (18) (document 3) sont pris en compte les aspects concernant la matière, l'organisme et l'explication de la vie. Au centre figurent les différentes formulations de la croissance obtenues, à droite le modèle de la matière mis en jeu, à gauche le modèle de l'organisme et l'explication de la vie.

Nous avons tout d'abord des formulations qui ne relèvent pas d'un questionnement scientifique, qui ne font pas intervenir la matière et qui considèrent l'organisme comme un tout.

- passer d'un mot
ou d'une image
à une recherche
d'explication

- "La croissance est un mot", "la croissance est une image". Par ses synonymes, la croissance est le fait de pousser, le fait de grandir, il est donc inutile d'aller chercher plus loin l'explication. Il suffira de remplacer le mot par un de ses synonymes et l'on croira avoir expliqué. Nous rejoignons Bachelard quand il nous dit "un mot ou une image constitue une explication" (19). L'enfant reconnaît les phénomènes qui accompagnent la croissance et cette caractérisation vaut explication nous précise ce même auteur : "Ces phénomènes, on les exprime : on croit donc les expliquer. On les reconnaît : on croit donc les connaître" (20). Nous sommes à la limite entre la description et l'explication et ici la description devient explication. Ces deux manières de définir la croissance "croissance-mot" ou "croissance-image" sont reliées à un même obstacle que nous qualifierons d'obstacle descriptif. Le dépasser c'est ne plus se contenter d'un point de vue purement descriptif où aucun problème ne se pose pour, au contraire, rechercher des explications ou des causes.

- Une première difficulté va être dans la recherche de la causalité. Un obstacle que nous avons qualifié de tautologique consiste à admettre que les "choses sont ainsi parce qu'elles sont ainsi" et qui se traduit par "la croissance est dans le cours des choses" ou encore "la croissance est une conséquence de l'âge". En effet, dans le cas de la croissance, il semble qu'il existe "un finalisme dans lequel la structure adulte joue comme cause finale du développement" (21).

Cette idée de fin sera un arrêt de pensée et un obstacle au sens bachelardien du terme "dans la mesure où elle se pré-

-
- (18) GOIX Marcelle (1996), *Les concepts de croissance et de développement en biologie : obstacles et représentations chez les élèves de collège ; propositions de situations didactiques pouvant faciliter l'apprentissage*. Thèse de doctorat de 3^e cycle, Université Denis Diderot, Paris, p. 211.
- (19) BACHELARD Gaston (1938), *Formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin, p. 73.
- (20) Ibid., p. 73.
- (21) PICHOT André (1983), "Explication biochimique et explication biologique", in *L'explication dans les sciences de la vie*, Paris, Éditions du CNRS, p. 69-103.

La vie comme	Niveau organisme	Formulations de la croissance	Niveau matière
organisation	L'organisme se construit	La croissance est multiplication cellulaire	modèle
		<i>obstacle holiste</i>	discontinu
mécanisme	L'organisme	La croissance est synthèse à partir des aliments	"hétérogène"
		<i>obstacle holiste</i>	
	est	La croissance est mélange d'aliments	Modèle
		<i>obstacle vitaliste</i>	discontinu
animation de la matière	un	La croissance est accumulation d'aliments	"homogène"
		<i>obstacle vitaliste</i>	
	"tout"	La croissance est accumulation de semblable	
		<i>obstacle holiste</i>	
	préformé	La croissance est dilatation	modèle continu
		<i>obstacle tautologique</i>	
Pas de réel		La croissance est due à l'âge	Non prise en compte de la matière
		<i>obstacle tautologique</i>	
questionnement		La croissance est dans le cours des choses	
		<i>obstacle descriptif</i>	
scientifique		La croissance est une image	
		<i>obstacle verbal</i>	
		La croissance est un mot	

Document 3. Une grille de lecture des conceptions

- admettre
que la croissance
n'est pas
une évidence

sente comme une véritable explication et elle empêche de fournir une explication en termes de mécanisme matériel" (22) ou au contraire source de recherche si le biologiste l'utilise "moins comme cause que comme hypothèse de recherche" (23). Dans la pensée commune, ce finalisme est plutôt un arrêt de pensée car on le retrouve dans cette admiration du bel ordre du monde "la nature est bien faite", "c'est dans le cours des choses", "c'est fait pour" et il apparaît très tôt chez l'enfant. À cette conception nous avons rattaché "la croissance est due à l'âge". Nous avons ici un essai de recherche des causes mais avec une confusion : la chronologie devient cause. Se basant sur l'aspect extérieur de stature ou de taille l'enfant associe la croissance à l'âge et le temps devient principe de causalité. L'âge est cause de la croissance et la croissance est expliquée par l'âge. Cette conception est reliée à un obstacle plus général que nous qualifierons d'obstacle tautologique. Le dépasser, c'est renoncer à penser que les choses sont ainsi parce qu'elles sont ainsi. C'est abandonner l'idée que la croissance est une évidence ce qui revient en fait à évacuer tout problème scientifique.

Les formulations que nous allons étudier maintenant tentent d'expliquer les mécanismes qui interviennent dans la croissance et prennent en compte la matière mais une matière discontinue et "homogène" dans un organisme vivant survalorisé où la "vie est animation de la matière" et nous avons alors la formulation suivante.

- "La croissance comme dilatation". La croissance est dilatation non au sens physique du terme mais seulement comme augmentation de volume. En effet, l'augmentation de masse lors de la croissance est admise mais, nous dit Piaget, elle est conçue "comme absolue, c'est-à-dire sans que la substance gagnée par l'organisme soit empruntée au monde extérieur" (24). La croissance est favorisée par les aliments mais n'est pas produite par eux, c'est un phénomène caractéristique de la vie. Nous pouvons rapprocher de cette formulation, la formulation suivante : "nous avons besoin de muscles pour faire du sport donc le sport est responsable de la croissance" car Piaget nous dit que, pour les enfants, dans la nature "tout est fait pour ..." (25) et en particulier tout est fait pour satisfaire les besoins de l'homme et dans le bien de l'humanité. Dans cette perspective le "fait pour" va

(22) Ibid., p. 119-129.

(23) MARX Charles (1983), "Actualité d'un vieux problème : la finalité", in *L'explication dans les sciences de la vie*, Paris, Éditions du CNRS, p. 107-131.

(24) PIAGET Jean, INHELDER Bärbel (1962), (2^e édition), *Le développement des quantités physiques chez l'enfant*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, p. 145.

(25) PIAGET Jean (1972), (4^e édition), *Représentation du monde chez l'enfant, Le concept de vie*, Paris, PUF, p. 299.

- admettre
que le vivant
obéit aux mêmes
lois que l'inerte...

passer "au fait par" dans la mesure où l'existence entière de l'enfant "est organisée par ses parents, (et qu'il) considère que tout ce qui est "fait pour" lui est "fait par" son père ou sa mère" (26), et nous pouvons ainsi expliquer que le sport soit responsable de la croissance des muscles ou que l'accumulation des connaissances provoque celle du cerveau... Nous voyons donc que le vitalisme dans sa manifestation première qui est "animation de la matière" stabilise cette conception. La vie est cause de la croissance. Renoncer à l'idée que la croissance est une conséquence de la vie c'est accepter de la regarder comme un phénomène qui peut s'expliquer. Il s'agit alors de changer de paradigme explicatif et admettre que le vivant obéit aux mêmes lois que l'inerte.

- Nous avons vu qu'il fallait penser l'organisme en terme de "particules" puis en termes de synthèses. Tout ceci va à l'encontre du bon sens populaire. N'existe-t-il pas un adage qui dit : "la graisse fait la graisse et la chair fait la chair" ? Ceci est également contraire au principe d'économie qui préconise : "pourquoi faire compliqué quand on peut faire simple ?" L'expérience commune fait donc obstacle à cette idée de synthèse et en particulier ce "mythe du semblable". Ceci se traduira par des formulations telles que "la croissance se fait par accumulation de semblables" et en particulier dans le cas de la croissance par "accumulation de matières provenant d'autres êtres vivants" puisque la croissance est une des caractéristiques de la vie. Il s'agit encore d'une forme de vitalisme même si la vie est devenue mécanisme. Le mythe du semblable, dans le cas de la croissance, s'actualise par une forme de vitalisme qui veut que le vivant ne puisse faire du vivant qu'avec du vivant : que la graisse ne puisse se faire qu'avec de la graisse, les muscles avec des muscles, que les végétaux se nourrissent de matières organiques... Dépasser cet obstacle c'est admettre que la matière vivante n'a pas de vertus spécifiques mais que le vivant est capable de faire du vivant avec du non vivant.

... et que
le vivant
peut se faire
avec du "non-
semblable" ...

- Quand "la croissance est accumulation", comme dans le cas précédent, la matière est homogène et la vie survalorisée, vivant et non-vivant sont différents et l'un ne peut participer à la constitution de l'autre. Par juxtaposition, la matière vivante retient le dioxyde de carbone, l'eau, les ions. Lors de la décomposition, cette matière subsiste alors que les éléments nutritifs sont libérés, dispersés. La croissance se réduit à une accumulation dans cette matière vivante préexistante de substances prélevées à l'extérieur. Nous sommes encore ici dans une forme de vitalisme, la matière vivante est différente de la matière inerte et abandonner cette idée c'est admettre que les constituants de la matière vivante et de la matière inerte sont les mêmes et que les constituants de l'un peuvent servir à la synthèse de l'autre sous l'action d'une "force" qui restera à définir.

... ou du non-
vivant

- la croissance
est synthèse
et non mélange

• Si la matière est homogène et la vie démythifiée, "la croissance sera mélange". Ici les constituants de la matière inerte et de la matière vivante sont les mêmes et les uns participent à la constitution de l'autre. Pour arriver au niveau de la synthèse, il faudra être dans un modèle discontinu de la matière et, de plus, admettre que cette matière est hétérogène c'est-à-dire admettre que chaque particule est elle-même composée de particules plus petites qui peuvent se combiner différemment pour donner différents corps. Dans un modèle continu de la matière ou dans un modèle discontinu mais homogène, les transformations ne sont pas possibles et la croissance est mélange. Cette conception est stabilisée par une forme d'holisme : la matière est considérée comme homogène. Dépasser cet obstacle c'est admettre que la matière non seulement est discontinue mais de plus hétérogène.

- l'organisme
n'est pas un tout
préformé

• Jusqu'à présent nous avons abordé le problème de l'assimilation liée à la croissance mais nous n'avons pas abordé l'aspect cellulaire. La prise en compte de la cellule pose le problème de l'organisation de la matière et l'organisme est d'abord vu comme un tout. Nous retrouvons ici le problème du continu et du discontinu observé au niveau de la matière. Pendant très longtemps, la fibre a été considérée comme l'unité fondamentale de l'organisme vivant. Cette fibre correspondait à une structure continue de la matière. Le tissu est "*l'image d'une continuité où toute interruption est arbitraire*" (27). Le blastème, ce liquide fondamental dans lequel se forment les cellules, n'est que la suite de cette continuité et "*pour considérer un organisme, avec son unité, sa coordination, ses régulations, comme composé d'éléments vivants, il faut admettre que ceux-ci ne sont pas simplement collés mais intégrés. Les unités doivent s'amalgamer en une autre unité d'ordre supérieur. Il leur faut se soumettre à l'organisme, abdiquer toute individualité devant celle du tout. C'est à ce prix que l'être indivisible peut se composer d'unités élémentaires. L'organisme n'est pas une collection mais un monolithe*" (28). Au niveau de l'organisme, l'idée de continuité s'est donc opposée pendant très longtemps à l'idée de cellule en tant qu'individu fonctionnel et elle a constitué un obstacle à la mise en place de la théorie cellulaire. Cet aspect continu de l'organisme nous l'avons retrouvé chez nos élèves, l'organisme est un "tout" préformé. Travaillant avec des enfants jeunes, nous n'avons pas approfondi les conceptions qui pourraient se rattacher à la cellule. Nous ne sommes donc pas en mesure de décrire les obstacles empêchant d'atteindre une telle formulation.

Nous voyons donc que les conceptions observées au niveau de la croissance relèvent d'obstacles plus transversaux tels que le vitalisme avec ses différentes formes, la difficulté à

(27) CANGUILHEM Georges (1985), op. cit. note (17), p. 64.

(28) JACOB François (1970), *La logique du vivant, une histoire de l'héredité*, Paris, Gallimard, p. 131.

les conceptions
relèvent
d'obstacles
transversaux

concevoir la matière discontinue, la difficulté à concevoir l'organisme discontinu etc. Ces obstacles sont eux-mêmes dépendants de modes de pensée plus fondamentaux : primat de la perception, valorisation/dévalorisation, pensée catégorielle. Ces modes de pensée ne sont pas en eux-mêmes des obstacles : la pensée catégorielle n'est pas un obstacle en soi mais "elle peut avoir une fonction obstacle lorsqu'elle empêche de comprendre" (29). Ainsi la survalorisation du vivant devient obstacle car elle empêche de comprendre que le vivant peut faire du vivant avec du non vivant. De même, imaginer la matière homogène et continue empêche de comprendre les réactions chimiques.

Comment alors prendre en compte ces conceptions et ces obstacles dans l'enseignement ?

3. ÉLABORATION DU CONCEPT EN SIXIÈME

La séquence étudiée se situe dans le chapitre intitulé "Signification de la nutrition et de la respiration chez les êtres vivants" et fait suite au chapitre traitant des "Besoins nutritifs des végétaux".

3.1. L'objectif-obstacle : base de notre séquence d'enseignement

Dans la séquence analysée nous avons travaillé au niveau des obstacles eux-mêmes. Un obstacle peut, en effet, être travaillé au niveau de ses manifestations locales mais aussi au niveau central et Brigitte Peterfalvi nous dit : "Si on le traite localement on risque de s'attaquer davantage à ses manifestations contingentes qu'à sa racine, et le travail sera à reprendre sur chaque exemple, sans que les élèves voient nécessairement qu'il s'agit du même obstacle. Si on le traite globalement, reste à assurer ensuite le transfert de l'apprentissage dans chaque situation particulière. Car s'il s'agit d'un obstacle véritable, on risque fatalement d'y "retomber" à la première occasion." (30)

Lors des séances précédentes nous avons abordé des aspects locaux des obstacles et en particulier la conception "les plantes ont besoin de terre" mais dans une logique du "vrai-faux". Les cultures sur de la ouate synthétique ou des billes de verre nous avaient montré qu'une plante n'avait pas besoin de terre mais les arguments utilisés étaient des arguments purement logiques. Les résultats des cultures avec ou sans sels minéraux dans la terre ou dans le milieu

(29) PETERFALVI Brigitte (1992), *Objectifs-obstacles et situations d'apprentissage autour du concept de transformation de matière*, ROOSA, document interne INRP, Paris, p. 148.

(30) ASTOLFI Jean-Pierre, PETERFALVI Brigitte (1993), op. cit. note (11), p. 114.

un obstacle
peut être travaillé
au niveau local
mais...

synthétique permettent de dire que la plante a besoin de matière minérale et que dans les conditions "naturelles" c'est dans la terre que la plante trouve ces substances d'où la nécessité de rajouter des engrais, etc. Mais les sels minéraux sont comme nous l'avons vu par ailleurs, assimilés aux vitamines qui sont peut-être elles-mêmes le support d'une "force" qui permet la croissance.

De plus une même formulation peut dépendre de plusieurs obstacles et inversement un même obstacle peut induire plusieurs formulations. Sur le document 4, différents obstacles ont été replacés et mis en relation avec différentes formulations. Si nous étudions la conception : "*la plante a besoin de terre*", nous voyons qu'elle relève de plusieurs obstacles :

une formulation
peut dépendre
de plusieurs
obstacles

- obstacle "tautologique" : la plante a "sa" place dans la terre, la terre est le "lieu" de "ses" racines, il ne saurait en être autrement, chaque chose est à sa place, la terre est conçue comme "milieu-harmonie" (31) ;
- obstacle "vitaliste" : la plante ne peut faire du vivant qu'avec du vivant. La plante trouve dans la terre les constituants dont elle a besoin et en particulier les substances qui proviennent de la décomposition des végétaux, ou encore les êtres microscopiques dont elle se nourrit, etc.

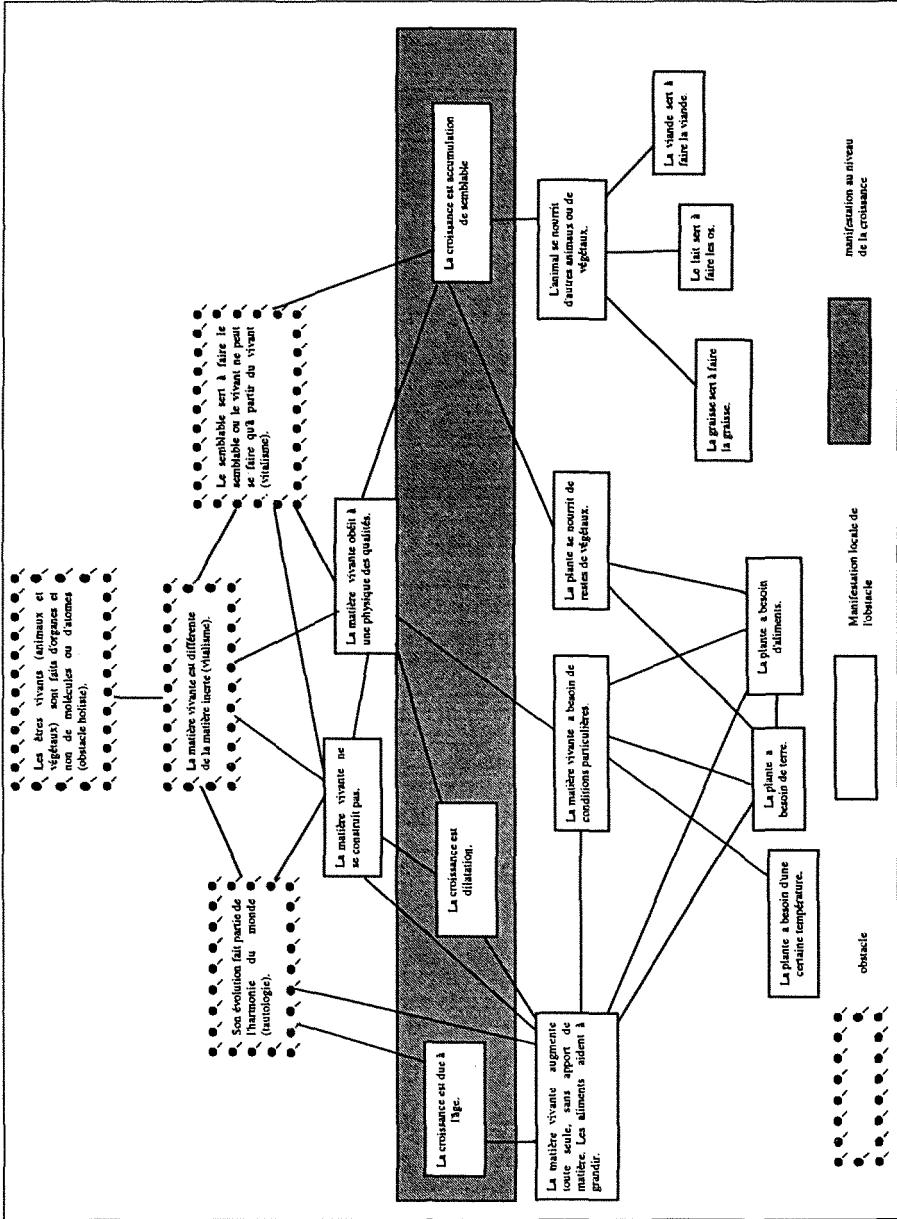
Ces obstacles induisent aussi le fait que, pour les enfants, "la matière vivante ne se construit pas" donc "la croissance est due à l'âge" ou "la croissance est dilatation" ou encore que "la matière vivante obéit à une physique des qualités" ... d'où il découle que les êtres vivants ont ainsi besoin de conditions particulières de nourriture, de température... Ces conditions, les animaux et les végétaux les retrouvent dans leur "milieu naturel". L'ensemble forme donc un réseau qui fonctionne et qui permet d'interpréter et d'assimiler l'information qui provient du monde extérieur.

Pour toutes ces raisons nous avons choisi de travailler sur les obstacles eux-mêmes. En 1986, Jean-Louis Martinand a modifié le statut didactique de l'obstacle en introduisant la notion d'objectif-obstacle. Il propose de mettre au centre des apprentissages les obstacles pour définir les véritables objectifs, "*parmi les objectifs possibles, les objectifs intéressants sont les objectifs-obstacles*" (32). Pour définir les objectifs-obstacles, il s'agit d'abord de définir les objectifs à partir des programmes et de choisir à partir de ces objectifs ceux qui paraissent devoir occuper la même "*niche écologique*" (33) qu'une conception. Parmi les objectifs possibles il

(31) DROUIN Anne-Marie, ASTOLFI Jean-Pierre (1987), "Milieu", in *Aster* n° 3, Paris, INRP, p. 84.

(32) MARTINAND Jean-Louis (1989), "Des objectifs-capacités aux objectifs-obstacles : deux études de cas", in *Constructions des savoirs, Obstacles et conflits*, Bednarz Nadine et Garnier Catherine, (dir), Ottawa, Cirade, p. 217-227.

(33) PETERFALVI Brigitte (1992), op. cit. note (29), p. 207.



Document 4. Un réseau d'obstacles en relation avec "Les plantes ont besoin de terre"

baser la séquence
sur la connaissance
des différents
obstacles

faut choisir ceux qui paraissent franchissables et qui montrent un "progrès décisif non acquis spontanément". Jean-Louis Martinand insiste sur les transformations intellectuelles à réussir "car l'éducation scientifique ne consiste pas à construire sur "terrain vierge", mais à transformer des attitudes, des représentations et des habiletés qui existent déjà et qui trouvent à s'investir ailleurs" (34). Avec l'idée d'objectif-obstacle il s'agit de définir les objectifs à partir des programmes, de déceler les conceptions et les obstacles qui interviennent dans l'apprentissage puis de choisir parmi les objectifs assignés par les programmes un nombre limité de progrès intellectuels non acquis spontanément et qui pourraient faire l'objet d'un apprentissage.

3.2. Choix de l'objectif-obstacle

D'après les programmes et les instructions que nous avons cités précédemment il s'agit d'arriver à la formulation suivante : "Un végétal chlorophyllien fabrique sa propre substance à partir de l'eau, des sels minéraux et du dioxyde de carbone sous l'action de la lumière."

Dans cette partie du chapitre, ce n'est plus, comme dans le chapitre précédent, l'aspect descriptif de la croissance qui est mis en jeu mais l'aspect explicatif et en particulier l'aspect "matière, énergie, information".

la nutrition
des animaux
va dans le sens
de l'obstacle

Nous avons abordé le problème de l'assimilation par l'intermédiaire des végétaux plutôt que des animaux car il nous semble que l'étude des animaux se heurte à des difficultés encore plus importantes que l'étude des plantes. Le côté affectif est très envahissant, et de plus, comment, en Sixième, sortir de l'idée que "le vivant ne peut se faire qu'à partir du vivant" en étudiant la nutrition animale puisque les animaux se nourrissent principalement d'autres êtres vivants, alors que l'idée d'assimilation nécessite l'idée de digestion non comme un tri mais comme une perte de spécificité et ensuite celle d'une réorganisation de la matière ? Cet obstacle pourrait être qualifié d'obstacle facilité. "Beaucoup d'obstacles (peut-être parmi les plus résistants) se présentent au contraire comme une trop grande facilité pour la pensée, comme un "confort intellectuel" auquel on revient sans s'en apercevoir. Le problème est alors moins de "sauter" l'obstacle, que d'apprendre à le voir et à l'éviter (c'est le cas de l'anthropomorphisme, du raisonnement linéaire causal, de la conception du milieu comme "harmonie"...)." (35). Les végétaux au contraire utilisent des "aliments non vivants" (matières minérales) ce qui permettra de travailler la notion de synthèse de "matière vivante" c'est-à-dire la notion d'assimilation.

Où se situent les élèves de Sixième par rapport à ces différentes formulations ?

(34) MARTINAND Jean-Louis (1986), *Connaître et transformer la matière*, Berne, Peter Lang, p. 110.

(35) PETERFALVI Brigitte (1992), op. cit. note (29), p. 210.

En Sixième, ils perçoivent l'augmentation des dimensions de la plante mais ils ne l'expliquent pas. La croissance est "dans l'ordre des choses" ou est "dilatation". Il s'agit de passer des conceptions : "*la croissance est dilatation*" ou "*est dans l'ordre des choses*" qui s'actualise dans le cas du végétal par : "*la plante est constituée d'une matière propre, les éléments prélevés à l'extérieur n'interviennent pas*" à la formulation suivante : "*la matière vivante provient de la transformation par la plante des éléments prélevés à l'extérieur*".

Les obstacles qui interagissent sont les suivants : obstacle tautologique (la croissance est dans l'ordre des choses, elle fait partie de l'harmonie du monde) ; obstacle holiste (les êtres vivants sont faits d'organes et non de molécules et d'atomes ; la matière est continue et non discontinue) ; obstacle vitaliste (la matière vivante est différente de la matière inerte ; le vivant ne peut se faire qu'à partir du vivant – survalorisation du vivant).

Après avoir choisi l'objectif-obstacle il s'agit de définir les progrès intellectuels à réaliser pour espérer "dépasser" les obstacles ou du moins pour interagir avec eux.

3.3. Progrès intellectuels à réaliser

Il s'agit ici de gérer une rupture d'ordre épistémologique car passer de l'idée d'une "*croissance dans le cours des choses*" à une idée de "*croissance comme construction de matière*" suppose :

- que l'on change de paradigme explicatif ; pour les élèves la croissance "va de soi", elle est une conséquence de "cette animation de la matière" qui caractérise la vie ; nous avons ici un obstacle qui interdit d'entrer dans le discours scientifique ;
- que l'on ne regarde plus l'organisme comme un tout mais qu'on accepte de le regarder avec un œil plus réductionniste au niveau de ses constituants ; or, pour les élèves le vivant n'a pas la même composition que le non vivant ; la matière vivante est différente de la matière inerte, elle est caractéristique des organismes et même de chacun des organes ; il faut donc changer de modèle de référence ;
- que la matière vivante obéit aux mêmes lois que la matière inerte en particulier qu'elle a les mêmes constituants et qu'une augmentation de masse suppose un ajout de matière.

Se pose maintenant "*le problème des stratégies, et plus généralement des "modes d'activité didactique" à mettre en œuvre par rapport aux obstacles choisis et présents dans les situations du curriculum*" comme le dit J.-L. Martinand (36).

les progrès
correspondent
à des changements
de paradigmes

(36) MARTINAND Jean-Louis (1989), op. cit. note (32), p. 217-239.

3.4. Activités proposées

• *Première activité : peser les plantes*

des activités pour
interagir avec
les obstacles

Lors du chapitre précédant cette séquence, les élèves ont réalisé, par groupe de quatre, des cultures de cresson alénois pour mettre en évidence les besoins nutritifs des végétaux. Après avoir constaté que des plantes ayant poussé sans lumière étaient plus grandes que des plantes ayant poussé à la lumière mais qu'elles n'avaient pas de feuilles, les élèves ont pris conscience que le critère "taille" ne pouvait plus être considéré comme critère exclusif de la croissance. La masse paraissait être plus significative. Nous avons donc systématiquement pesé les plantes (cresson alénois, une dizaine de plants par pot, au bout d'une quinzaine de jours, avec une balance de précision). Cette pesée a permis de changer de critère de référence par rapport à la croissance. Pour les élèves nous avons vu que la croissance était principalement liée à une augmentation de taille, le choix de la masse comme critère de référence permet d'introduire un élément nouveau plus pertinent par rapport au problème posé (la masse fait intervenir la quantité de matière) et permet de faire une lecture différente du réel. D'autre part le choix de la pesée enlève un peu de magie au vivant et peut faire admettre que ce dernier a des propriétés communes avec l'inerte et obéit aux mêmes lois. Ce critère nous permet donc de privilégier le "côté matière" et de minorer le "côté morphologie".

- peser
la plante
pour faire
intervenir
la matière

• *Deuxième activité : peser la pâte à modeler avant et après déformation*

Après avoir fait prévoir par écrit les variations de masse d'une boulette de pâte à modeler que l'on déforme, la deuxième activité a consisté à peser cette boulette après avoir fait varier la forme, ceci pour réactiver une loi que les élèves appliquent pour la plupart à la matière inerte mais n'appliquent pas obligatoirement à la matière vivante puisque pour eux la croissance est un phénomène absolu qui ne nécessite pas d'apports extérieurs : pour augmenter la masse, il faut ajouter de la matière.

- utiliser un
même matériau
pour le vivant
et le non-vivant

Le fait de peser la pâte à modeler au moment où on travaille sur un phénomène concernant le vivant vise à créer un pont entre le vivant et le non-vivant et en particulier à traiter le vivant comme le non-vivant. En effet, les élèves utiliseront les mêmes matériaux pour représenter la croissance d'une plante, on espère qu'ainsi ils mobiliseront les lois de l'inerte à propos du vivant et en particulier que :

- l'augmentation de masse est l'indice d'une augmentation de la quantité de matière ;
- la matière se conserve dans le vivant comme dans le non-vivant.

• **Troisième activité : modéliser**

- modéliser pour
que la croissance
devienne
un objet d'étude...

Il a tout d'abord été demandé de représenter, par groupe, une plante en croissance avec un matériau au choix : pâte à modeler, boules de cotillon, *Légo*. Puis chaque groupe a présenté à l'ensemble de la classe le modèle qu'il a réalisé. Cette présentation a été filmée et a pu être suivie par l'ensemble de la classe sur un écran de téléviseur.

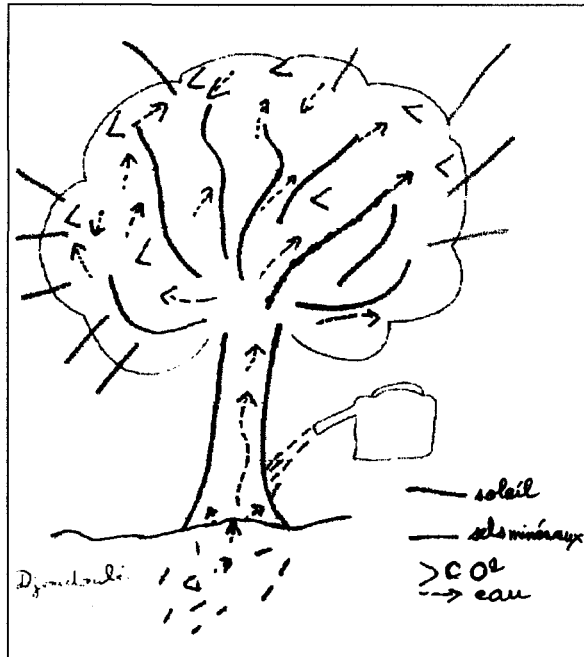
Parmi les différents modèles proposés, trois ont été choisis par le professeur comme étant les plus représentatifs des différents types de conceptions :

- un modèle (modèle 1) dans lequel la plante est représentée en pâte à modeler ou en *Légo* ; les racines, les tiges et les feuilles sont représentées par des pâtes à modeler ou des briques de différentes couleurs ; l'eau et les sels minéraux restent à l'extérieur de la plante ;
- un modèle en pâte à modeler ou en *Légo* (modèle 2) dans lequel on trouve à la fois une matière "plante" matérialisée par de la pâte à modeler ou des briques d'une certaine couleur (en général verte) et des matières minérales juxtaposées : "matière plante" et "matières minérales" sont intercalées dans la maquette ;
- un modèle en pâte à modeler (modèle 3) dans lequel la plante est représentée par un "mélange" de pâtes à modeler de différentes couleurs ; chaque couleur représente une matière minérale mais on ne les distingue plus dans le modèle.

... et en débattre

Ces modèles ont été présentés à la classe qui devait discuter de leur pertinence pour expliquer l'augmentation de masse de la plante au cours de la croissance. Cette discussion s'est déroulée dans des groupes de quatre ou cinq élèves qui devaient désigner un rapporteur pour aller défendre leurs arguments au cours d'un débat que l'ensemble de la classe pouvait suivre sur l'écran du téléviseur. Les groupes dans lesquels se déroulait cette discussion avaient été remaniés et comportaient au moins un élève de chacun des groupes précédents. Chaque modèle pouvait donc être défendu dans chacun des groupes.

L'heure suivante a été consacrée à la prise en compte du dioxyde de carbone qui a été présenté comme faisant augmenter la masse. Il a, à ce moment-là, le même statut que les autres éléments. Par contre il n'a pas fait l'objet d'une modélisation. Quinze jours plus tard un exercice d'évaluation a été proposé : il s'agissait de dire si l'on était d'accord ou non avec un schéma présenté (document 5 ci-après).



Document 5. Schéma à discuter lors d'une évaluation

4. INTÉRÊTS ET LIMITES DE LA SÉQUENCE

4.1. Bilan pour quelques élèves

Nous avons choisi trois élèves qui nous semblent refléter les différentes évolutions possibles avec en particulier Karine pour qui la masse de la boulette de pâte à modeler dépend de la forme. Comment peut-elle alors comprendre l'augmentation de masse liée à la croissance ? Les autres ne font pas varier la masse avec la forme mais ne font pas non plus intervenir les aliments comme source de matière (37).

Pour suivre le parcours de ces quelques élèves de façon plus synthétique nous les avons situés sur un diagramme en fonction des différentes activités réalisées. Nous placerons en abscisses les activités et en ordonnées les différents niveaux de formulation proposés par les élèves :

- la masse augmente quand la plante pousse,
- la masse augmente grâce à l'eau et aux sels minéraux,
- la masse augmente parce que l'eau et les sels minéraux absorbés s'ajoutent à la matière plante (accumulation),

(37) Un seul élève dans la classe considère en ce début de leçon que la plante fabrique sa propre matière à partir des aliments prélevés dans le milieu extérieur.

- la masse augmente parce que l'eau et les sels minéraux sont transformés en matière plante (mélange ? transformation ?).

Au point de vue des activités nous garderons :

- l'explication de l'augmentation de masse avant la déformation de la pâte à modeler,
- les modèles et les choix de modèles quand nous les avons,
- la correction du schéma proposé.

avec des activités identiques, des parcours très différents

L'eau et les sels minéraux sont transformés en matière - plante				
La masse augmente par accumulation d'eau et de sels minéraux				
La masse augmente grâce à l'eau et aux sels minéraux				
La masse augmente quand la plante pousse				
	expliquer l'augmentation de masse	réalisation du modèle 1	choix du modèle	correction du schéma
	◄— Karine	●— Gaël	■— Guillaume	
<p>N.B. Le fait qu'une ligne soit située au-dessus d'une autre dans une même case ne traduit pas une différence de niveau conceptuel. Nous avons simplement voulu distinguer les élèves les uns des autres.</p>				

Document 6. Des progressions très diverses

Nous pouvons tout d'abord dire qu'il y a un saut qualitatif entre la formulation n° 2 ("la masse augmente grâce à l'eau et aux sels minéraux") et la formulation suivante ("la plante est accumulation") car les deux premiers niveaux restent dans le domaine de l'observable alors que les deux autres sont du domaine explicatif.

• Karine

Nous remarquons que, parmi les différents élèves observés, Karine ne semble pas avoir franchi cette limite. Elle refait lors de l'évaluation exactement le schéma proposé et argumente son choix en précisant : "il me plaît car il est comme on décrit les plantes dans la leçon".

Au départ, pour Karine, la masse dépend de la forme et elle explique l'augmentation de masse de la plante par un rai-

Karine
progresses peu

sonnement tautologique : *“car la plante a pris du poids, et elle grandit alors donc elle s'élargit et prend du poids. Elle prend du poids.”* Elle prend en considération la largeur de la plante, la croissance et donc l'augmentation de masse s'explique par l'image qu'elle retient. Il n'y a aucune prise en compte des aliments. Nous n'avons ensuite aucune trace de son activité pendant la réalisation des maquettes, elle est dans un groupe mais n'intervient jamais. Elle dit (38) avoir appris que la plante poussait *“avec la lumière et les sels minéraux alors qu'elle pensait que la terre y était pour quelque chose pour le poids de la plante”* et que ce qui l'a fait changer d'avis c'est quand on a expliqué *“que pour la terre ça maintenait seulement la plante”*. C'est vrai qu'elle a supprimé la terre dans le texte mais elle ne semble pas beaucoup avoir progressé par rapport *“aux aliments source de matière”*.

• **Gaël**

Gaël par étapes :
elle explique
la croissance

... par l'image...

Pour Gaël, la réalisation des modèles, associée au rappel de la *“loi”* *“pour augmenter la masse, il faut ajouter de la matière”*, lui a permis de passer du phénoménologique à un premier niveau explicatif *“accumulation”*. En effet, à la suite de la manipulation avec la pâte à modeler, elle explique ainsi l'augmentation de masse de la plante lors de la croissance : *“la masse de la plante a augmenté car elle a poussé et peut-être grossi et les feuilles se sont multipliées”*. La perception l'emporte, l'image de la plante est dominante. Elle en est donc à un niveau où l'image explique la croissance et par voie de conséquence l'augmentation de masse. Ce niveau lui permet de comprendre l'expression *“besoin nutritif”* en terme de *“ce qui fait grandir la plante”* mais non en terme de *“ce que la plante doit intégrer pour qu'elle grandisse”*. L'observation et l'écoute du dialogue en classe nous le confirme.

... par
l'accumulation...

Gaël représente la plante en pâte à modeler verte. Cette plante constituée d'une tige et de feuilles sort de la terre sur laquelle sont déposées des pastilles de couleurs différentes. À la demande du professeur, Gaël décrit sa maquette et tire sur l'extrémité de la *“plante”* pour la faire grandir. Bien sûr elle affirme qu'il faut de l'eau, des sels minéraux et de la lumière mais l'eau et l'engrais *“servent”* à faire grandir mais ne participent pas à la construction de matière. C'est après avoir capté l'indice présenté par le professeur (*“et alors est-ce que si tu tires dessus elle va pousser ? Est-ce que sa masse va augmenter ?”*) qu'elle modifie sa définition de la croissance (*“ben, faut rajouter de la pâte à modeler ?”*). Lorsqu'elle présente le modèle construit par le groupe auquel elle participe elle ajoute des briques matérialisant les matières minérales à une plante schématisée par des

(38) En fin de chapitre nous avons posé les questions suivantes aux élèves : *“Que saviez-vous avant la leçon ? Qu'avez-vous appris ? Qu'est-ce qui vous a fait changer d'avis ?”*

briques vertes : la croissance est une addition de matière. C'est la croissance-accumulation. Cependant, nous ne savons pas si cette "matière-plante" correspond à une matière différente de ce qui a été absorbé ou si c'est une matière résultant de la transformation des substances absorbées (ce qui serait un niveau de formulation supérieur au précédent).

Dans la discussion qui accompagne le choix d'un groupe pour un modèle 2 Gaël intervient :

Gaël : *la matière verte* (briques vertes matérialisant la matière plante) *on ne sait pas de quoi elle est faite et elle arrive pas comme ça et il faut bien qu'il y ait quelle chose pour se former.*

....

Prof. : *c'est à dire ?*

Gaël : *il faut qu'on "voye" avec quoi elle se fait.*

... Plus tard elle ajoute.

Gaël : *tandis que dans la trois* (plante faite d'un mélange de pâtes à modeler de couleurs différentes) *on voit le mélange.*

Prof. : *oui et alors ?*

Gaël : *eh be ! on voit que ça se mélange et après ça fait de la matière verte et après ça grandit et après ça refait la même chose.*

... par
la transformation

Une nouvelle étape semble franchie par Gaël à ce moment-là. La présentation des différents modèles lui a permis d'arriver au 3^e niveau avec peut-être une idée de transformation. Ce travail ne lui a, néanmoins, pas permis de généraliser à tous les "aliments" des plantes et en particulier au dioxyde de carbone. En fin de chapitre, elle revient à une idée d'accumulation car lors de la correction du schéma, elle ne fait aucune allusion à une idée de mélange ou de transformation : les symboles restent distincts à l'intérieur de la plante. Il y a accumulation d'eau et de sels minéraux, la lumière restant à l'extérieur. Par contre elle conteste fortement le fait de laisser le dioxyde de carbone dans l'arbre : je ne suis "*pas d'accord car le dioxyde de carbone reste dans l'arbre*". Pour elle, ce dioxyde de carbone ne fait que passer dans la plante. Voici le dessin qu'elle réalise lors de la correction du schéma :

mais le dioxyde
de carbone
la fait retomber



Document 7. Schéma réalisé par Gaël

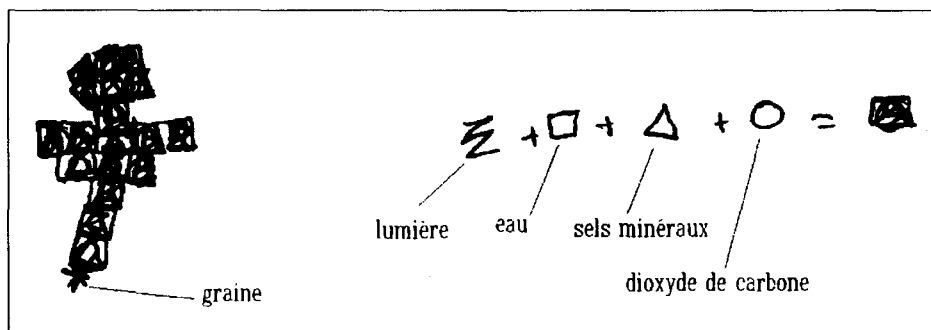
Le dioxyde de carbone décrit un cycle : il entre par les racines, circule dans la plante et ressort par les feuilles. Ce même dioxyde de carbone repartant dans les racines. On ne peut le laisser dans l'arbre. Est-ce la manifestation du fait que ce gaz est souvent considéré comme toxique ? Elle explique ainsi également la respiration et la nécessité de dioxyde de carbone pour augmenter les rendements. Il reste un moment dans la plante puis ressort par les feuilles. [On retrouve souvent, dans les explications, cette idée : le gaz reste sous forme de gaz dans la plante, il fait ainsi augmenter la masse et quand la plante se décompose, elle libère les gaz qui y étaient emprisonnés (cycle de la matière en Cinquième)]. Apparemment, pour elle, le passage "gaz → solide" fait obstacle.

• **Guillaume**

Guillaume semble faire un progrès décisif lorsque l'on pèse la pâte à modeler. En effet, sa première définition de la

Guillaume fait
un bond
prodigieux

croissance est semblable à celle de Gaël "pousser c'est grandir en ayant des feuilles". Par contre après avoir rappelé que pour augmenter la masse d'un objet il fallait ajouter de la matière, il propose la définition suivante : "La plante a fabriqué de la plante et se l'a ajoutée. Elle s'est servi de ses aliments pour fabriquer de la plante." Cette activité semble décisive pour lui et lui-même dit avoir pris conscience que "la plante utilise l'eau, les sels minéraux, le dioxyde de carbone et la lumière pour pousser avec l'histoire de la pâte à modeler qui en se transformant en saucisse, redevenant une boule m'a fait changer d'idée alors que je pensais que la plante poussait toute seule". Il semble y avoir correspondance entre la modification de la formulation et la prise de conscience de cette modification. À partir de ce moment-là tout besoin a le même statut, que l'élément soit solide, liquide ou gazeux, et cet élément intervient dans la synthèse comme le montre le dessin ci-dessous après l'étude de la nécessité du dioxyde de carbone. Mais pour Guillaume tout est matière puisqu'il met la lumière dans la plante au même titre que tout le reste (doc. 8).



Document 8. Schéma réalisé par Guillaume

• Conclusion de ce bilan

il n'existe pas
d'activités
cruciales

Nous remarquons que lors de cette séquence chaque élève a suivi son propre cheminement et les différentes activités proposées ont permis de les faire évoluer. Nous remarquons également qu'il n'existe pas une activité "cruciale" mais que chacun a réagi au moment où il était prêt. Il est donc difficile, pour l'enseignant, de préjuger de l'efficacité d'une activité et le travail sur les obstacles semble demander la mise en place d'une série d'activités couvrant l'ensemble des domaines et provoquant des séries de déstabilisations qui petit à petit vont provoquer à un moment donné, propre à chacun, une rupture nécessaire au changement conceptuel. Nous allons maintenant tenter d'analyser de manière plus globale l'intérêt des différentes activités proposées et montrer en quoi elles peuvent provoquer ces déstabilisations

nécessaires au changement conceptuel. Nous ne reviendrons pas sur l'intérêt de la pesée des plantes ni sur celui de la pesée de la pâte à modeler quoique le test ait révélé que dans nos classes plus de 20 % des élèves sont "non-conservants" quant à la masse : ils estiment que la masse varie quand la forme varie. Ce travail sur le vivant peut-il les faire évoluer quant à l'inerte ? Il semblerait qu'une élève (Angélique) ait pris conscience de cette conservation lors de cette manipulation. Nous discuterons par contre de l'intérêt de la modélisation, du débat entre pairs et du choix du matériau utilisé lors de cette phase de modélisation.

4.2. Intérêts et limites de la modélisation

Tout d'abord les élèves ont été actifs et ont volontiers participé à cette activité de modélisation même si elle leur a paru surprenante et déroutante au départ.

La réalisation d'une maquette de plante statique leur pose peu de problème. Ils la représentent avec des racines, des tiges et des feuilles. La difficulté apparaît quand il s'agit d'indiquer comment la plante grandit et en particulier quand il s'agit d'incorporer les éléments prélevés dans le milieu. La réalisation des modèles dynamiques oblige les élèves à passer du stade de besoin (= fait grandir) au stade besoin nutritif et change ainsi le statut du besoin. Elle favorise donc l'émergence et l'appropriation du problème.

La réalisation des maquettes a abouti à plusieurs modèles contradictoires (modèle "tige-racine-feuille", modèle "entrelardé", modèle "mélange") sous-tendus par les différentes conceptions dont disposent les élèves à cette étape. La réalisation de ces maquettes permet donc la prise en compte des conceptions et plus précisément la verbalisation de ces conceptions qui acquièrent ainsi un véritable statut de "première modélisation" au sens scientifique. La validité de chacun des modèles sera ensuite discutée. Cette activité de modélisation oblige les élèves à passer d'une activité verbale à une concrétisation et l'action joue un rôle fondamental.

- Le sujet observe sa propre "pensée", il la "re-présente" en la simulant.

- Il est mis face à la difficulté qu'il a de concevoir le vivant comme constitué des mêmes éléments que l'inerte et obéissant aux mêmes lois. En effet les élèves sont capables de dire que la plante a besoin d'eau, de sels minéraux pour grandir et ne pas les faire pénétrer dans la plante. Ils vont même jusqu'à affirmer que la plante est faite d'eau, de sels minéraux (de manière verbale) et n'incluent pas ces éléments dans la plante qu'ils réalisent. Le support matériel (*Légo*, ...) permet de discuter des difficultés rencontrées ou du moins de voir (peut-être ?) les écarts entre le discours et la pensée. Il reste ensuite à en faire prendre conscience à l'élève sans qu'il ne ressente cela comme une faute.

les conceptions
sont des
prémodèles
sur lesquels
on travaille

• Sur les matériaux utilisés il lui est possible d'appliquer les lois du monde inerte : si on fait "grandir" la maquette-plante en l'étirant (on n'ajoute donc pas de matière), on ne respecte pas la règle "toute augmentation de masse s'accompagne d'une augmentation de la quantité de matière".

Cette étape a pour but d'assurer la compréhension de la solution, d'accompagner la verbalisation, de vérifier la représentation, d'identifier les transformations du réel et d'assurer la cohérence et la lisibilité de la représentation pour autrui.

on applique
au vivant les lois
de l'inerte, la vie
et la forme
sont laissées
de côté

Enfin, dans cette phase de modélisation, l'élève laisse de côté la vie et la forme et se focalise sur la matière. La procédure de "sélection des événements" est ainsi mise en œuvre (39) et il peut raisonner comme sur la matière inerte.

on peut ainsi
aborder
les problèmes
d'hérédité
avec des élèves
de sixième

Ces maquettes permettent aussi d'aborder le problème de l'hérédité. Un des modèles, par exemple, fait apparaître côte à côte la "matière plante" et la matière minérale et pose ainsi le problème de l'origine de la matière vivante. Il fait prendre conscience à certains élèves qu'ils juxtaposaient les deux types de matière et à partir de là s'est posé le problème de la transformation. Les élèves raisonnent d'abord sur les constituants de la matière elle-même.

Amandine : *dans le 3 on voit pas que la plante grandit on voit juste que les sels minéraux et que l'eau se mélangent.*

Guillaume : *ben non c'est sous-entendu que ce mélange forme la plante et que ça fait grandir.*

Puis Guillaume va aborder le problème de l'arrangement de cette matière :

Guillaume : *c'est la plante qui l'a mélangé pour avoir ce résultat.*

Florent : *en fait ouais y a la plante et puis y a les trois trucs et puis elle les prend et puis elle les prend... (mouvements des mains en rond comme pour mélanger).*

....

La discussion se poursuivant, on est arrivé à un consensus : "la plante prélève les éléments et c'est la plante qui fait le mélange". On a donc un premier niveau de formulation de l'hérédité : cette spécificité c'est la plante qui en est responsable. La plante a le pouvoir de provoquer cette transformation.

Cette activité a permis d'induire une double rupture dans l'esprit des élèves :

- la matière-plante n'est plus présentée comme préexistante mais comme fabriquée avec de l'eau, des sels minéraux et du dioxyde de carbone ;
- la matière vivante doit obéir aux lois de l'inerte même si elle possède des propriétés qui lui sont propres et en particulier elle est capable de transformer les éléments prélevés à l'extérieur en sa propre substance.

(39) LEMEIGNAN Gérard, WEIL-BARAIS Annick (1993), *Construire des concepts en physique*, Paris, Hachette Éducation, p. 34.

4.3. Des matériaux : "aides à la pensée"

le choix
du matériau
est révélateur
de difficultés
conceptuelles

Des matériaux différents ont été mis à la disposition des élèves dans la classe : de la pâte à modeler, des *Légo*, des cotillons mais quand ils ont réalisé les maquettes chez eux, ils ont aussi utilisé de la laine, des morceaux de branche et de feuille etc. Le choix du matériau est révélateur des difficultés conceptuelles. Les élèves qui choisissent les brins de laine font circuler les matières nutritives dans la plante et ne les intègrent pas à la matière plante. Ceux qui utilisent des fragments de végétal font une différence nette entre matière produite par les êtres vivants et aliments.

La réalisation de ces maquettes permet donc de modéliser l'idée que la matière des plantes se fait en intégrant les substances qui proviennent du milieu. Mais, par le fait qu'elles utilisent un modèle où une particule (une brique de *Légo*, une couleur de pâte à modeler) représente une substance, ces maquettes ne permettent pas de rendre compte des réactions chimiques. En effet les *Légo*, les cotillons ou les gommettes favorisent l'idée d'accumulation-juxtaposition-conservation, mais ne matérialisent pas celle de transformation. Les *Légo* ou les cotillons favorisent l'idée de conservation mais ne matérialisent pas celle de transformation de la matière : ils restent tels quels dans la maquette réalisée par contre ils vont favoriser l'idée de décomposition ou du moins ils rendent possible cette idée. La matière sous l'action des êtres vivants est décomposée en ses éléments d'origine. La pression qu'il faut exercer sur les différentes briques peut simuler l'énergie nécessaire pour provoquer les transformations, cette énergie étant libérée lors de la décomposition sous forme de chaleur.

les différents
matériaux
sont une aide
à la pensée
mais présentent
des limites

La pâte à modeler par contre montre cette idée de transformation : une matière différente est obtenue à partir des éléments mis au départ. En mélangeant des morceaux de pâte à modeler de couleurs différentes on obtient une couleur différente mais dans ce cas-là, la décomposition n'est pas possible. Elle permet aussi de donner la valeur du modèle et en particulier de préciser son rôle à savoir qu'il a une valeur explicative mais il n'est pas la réalité.

L'utilisation de ces matériaux favorise peut-être la substantialisation de la lumière à moins qu'elle ne favorise l'expression de cette idée. Par rapport à ce problème, des arguments sont avancés par les élèves eux-mêmes "*la lumière n'est pas une matière (on ne peut pas la mettre dans la main)...*", il faudrait donc les exploiter davantage. Par contre, ils ne favorisent pas l'émergence de la représentation "les gaz ne sont pas de la matière" puisque leur symbolisation - brique ou pâte à modeler - ne fait pas prendre conscience aux élèves qu'ils ne les considèrent pas comme de la matière.

La présentation conjointe des différentes maquettes permet de discuter des imperfections de chacun des modèles et ainsi servir d'entrée à ces problèmes. Les discussions entre élèves montrent qu'ils sont conscients que les maquettes ne

sont là que pour les aider à penser mais que cela ne représente pas exactement la réalité.

Nous avons résumé ce que nous venons de dire à propos de l'intérêt et des limites dans le tableau ci-dessous.

Activités proposées	Intérêts	Limites
1 - Peser la plante	Changement de critère de mesure - critère plus pertinent : la masse faisant intervenir la matière.	
2 - Peser la pâte à modeler en faisant varier la forme	Création d'un pont entre le vivant et le non vivant : mobiliser à propos du vivant les lois que l'on fait fonctionner sur le non vivant.	
3 - Modéliser	<p>Verbalisation, explicitation des conceptions.</p> <p>Focalisation sur la matière (la vie et la forme sont laissées de côté).</p> <p>Simulation de la pensée "Concrétisation" des difficultés.</p>	<p>Le Légo permet de penser la matière comme discontinue.</p> <p>Le Légo permet de penser la conservation de la matière mais ne permet pas de penser les réactions chimiques.</p> <p>La pâte à modeler favorise l'idée de transformation mais pas l'idée de conservation ni celle de discontinuité de la matière.</p>
4 - Débat entre pairs : choix du modèle le plus pertinent	<p>Modèle de la science acte social</p> <p>Choix d'un modèle socialement accepté</p> <p>Prise de conscience du domaine de validité d'un savoir</p>	

CONCLUSION

Basant notre séquence sur la connaissance des obstacles liés à la croissance et sur la notion d'objectif-obstacle, nous devons faire passer les élèves de la formulation "la crois-

le passage
d'un niveau
de formulation
à l'autre ne peut
pas se faire
par une simple
accumulation
de faits

sance est dans l'ordre des choses" à la formulation "la croissance est construction de matière". Un tel passage nécessite un changement de paradigme explicatif et ne peut se faire par simple accumulation de faits. Il est nécessaire de faire prendre conscience aux élèves que des expressions telles que "c'est normal" ou "c'est naturel" ne relèvent pas du discours scientifique. Encore faut-il les mettre en situation pour montrer que ce genre de réponse ne permet pas de résoudre le problème posé ; le problème devant être leur problème et non la question du professeur. Nous avons choisi dans cette perspective d'appropriation du problème de prendre comme "pré-modèle" leur conception et de montrer leurs limites. Cette phase de modélisation permet d'intégrer que quand la plante grandit, sa masse augmente, que cette augmentation de masse se fait par addition de matière et que cette matière qui s'ajoute est ce dont la plante a besoin. Elle permet aussi de poser le problème de la relation entre cette matière ajoutée et la matière propre de la plante. La matière plante résulte de la transformation de la matière ajoutée. Comme le dit une élève de Cinquième *"Un tas d'eau, de sels minéraux, de dioxyde de carbone ne fait pas une plante."*

Marcelle GOIX
Lycée Pape Clément
Pessac (Gironde)