

# QUEL ENSEIGNEMENT SUR LA NUTRITION DES PLANTES EN ÉDUCATION "DE BASE" ? PROPOSITION DIDACTIQUE

Pedro Cañal de León

*L'un des problèmes les plus urgents en didactique des sciences consiste à sélectionner des buts et des contenus informatifs les plus appropriés dans tel domaine de connaissances que l'on décide d'enseigner. Dans cet article on aborde le cas de l'enseignement "de base" à propos de la nutrition des plantes vertes, en essayant de fournir quelques éléments qui permettront d'effectuer une transposition didactique bien fondée et qui puisse contribuer à améliorer l'enseignement et les apprentissages scolaires dans ce domaine.*

Cette étude fait partie d'une recherche plus développée (Cañal 1990), dans laquelle on a fait une revue complète des problèmes concernant l'enseignement de la nutrition des plantes vertes en éducation "de base" (six à treize ans), en essayant surtout de :

- caractériser les déficiences et les difficultés les plus fréquentes dans ce domaine,
- proposer des explications sur l'origine de celles-ci,
- mettre au point et expérimenter des stratégies et des matériels didactiques d'aide qui puissent contribuer à diminuer la fréquence de ces difficultés.

Le principal centre d'intérêt dans la nutrition des plantes vertes, correspond à l'étude des "idées" des élèves. Ce thème d'études a débuté il y a plus de quinze ans, et il garde aujourd'hui toute son importance. Piaget avait fait, il y a de nombreuses années, quelques incursions dans le monde des représentations enfantines, mais il s'intéressait principalement à l'étude des processus de développement cognitif, à la construction des structures opératoires de pensée. Cependant les études sur l'enseignement et l'apprentissage qui s'appuient sur les perspectives piagétienne ou sur d'autres courants de la psychologie cognitive ont attiré l'attention sur un fait qui, jusqu'alors, n'avait pas été constaté et suffisamment valorisé : il existe, chez les enfants, une construction spontanée des connaissances relatives à la réalité socio-naturelle avant toute instruction scolaire.

En ce moment les travaux d'Ausubel (1978) acquièrent une grande importance, en soulignant l'incidence des connaissances préalables des élèves sur l'apprentissage scolaire. Sa phrase célèbre a influencé de manière décisive l'orientation de la recherche sur l'enseignement des sciences :

étudier les  
représentations  
des élèves...

et en tenir  
compte

*“si je devais réduire toute la psychologie éducative à un principe unique, je dirais : le facteur le plus important qui influence l'apprentissage est ce que l'élève connaît. Connaissez-le et enseignez en conséquence”.*

Il faut cependant reconnaître que ce principe est d'une simplicité trompeuse. On dirait que le problème le plus important de l'enseignement consiste à repérer les connaissances de départ des élèves. Mais il est clair que les problèmes se posent quand on essaie d'appliquer la deuxième partie du principe : *“connaissez-le et enseignez en conséquence”.*

ce qui détermine  
les  
représentations

Le développement des études autour des conceptions des élèves suit un chemin qui part d'une détermination des idées préalables des élèves pour éclaircir la question finale : que faire avec ces conceptions ?

Cette étude sur la nutrition des plantes vertes suivra donc ce chemin. Après avoir décrit la pensée des élèves, l'attention se centre sur l'analyse de l'origine de ces idées, puis, finalement, sur leur utilisation dans l'enseignement.

Les difficultés sont ici particulièrement grandes, plus peut-être que pour d'autres chapitres enseignés dans les programmes scolaires, et elles peuvent constituer un défi et une pierre de touche pour la didactique et la mise au point de stratégies d'enseignement.

Différents chercheurs se sont intéressés à la détermination du degré de difficulté des concepts les plus communs de la biologie tels que les étudiants et les professeurs se les représentent. Johnstone et Mahmood (1980) ont étudié les domaines perçus comme les plus difficiles, par un échantillon d'étudiants et de professeurs anglais du secondaire et de l'université, parmi les quinze qui leur étaient proposés. Les réponses semblables concernaient :

- les mouvements de l'eau dans les organismes (osmose, potentiel hydrique, etc.),
- la conversion énergétique dans la photosynthèse et la respiration,
- les concepts de la génétique.

un concept de  
grande  
difficulté...

Test et Wewards (1980) parlent de la photosynthèse comme d'un concept de grande difficulté didactique, et Finley et al. (1982) en interrogeant des professeurs trouvent que la photosynthèse est sélectionnée comme le domaine le plus difficile. Même résultat pour Stewart (1982), cité par Lawson (1988), et ceci est cohérent avec les appréciations de Shayer et Adey (1981).

Peut-être stimulés par ces remarques concernant la difficulté à obtenir des résultats satisfaisants dans le domaine de la nutrition des plantes, des chercheurs ont entrepris des travaux visant à éclaircir les fondements de ces difficultés et la façon d'en venir à bout. Simpson et Arnold (1982 a), par exemple parlent du caractère paradigmatique

qui peut servir de modèle

de ce domaine. Ils pensent ainsi que son étude pourra servir de modèle général et permettra d'apporter une stratégie conduisant à minimiser les difficultés d'apprentissage. Le but est proche de celui qui est à la base des travaux de Bell et Brook (1984), Smith et Anderson (1984), Gén  (1987), Stavy et al. (1987) et bien d'autres, ainsi que de notre travail (Ca al 1990).

La difficulté de l'enseignement-apprentissage concernant la nutrition des plantes vertes est bien visible quand on étudie les conceptions des élèves. Nous nous centrerons sur les élèves de six à treize ans.

## 1. ANALYSE DES CONCEPTIONS DES ÉLÈVES DE L'ENSEIGNEMENT DE BASE

On trouve peu d'études sur l'enseignement de ce domaine à des élèves des classes primaires, peut-être parce qu'on considère que cette thématique est peu accessible à ce niveau d'enseignement. Cependant la nutrition des plantes vertes est un phénomène qui, d'une manière ou d'une autre, est présent dans les classes primaires et il génère des idées qui auront une incidence sur la construction scolaire de ce domaine conceptuel.

trois aspects étroitement liés

Pour des raisons de clarté on divisera la description des conceptions des élèves en trois parties : alimentation, photosynthèse, respiration, même si ces trois aspects sont intimement liés dans la pensée des élèves.

### 1.1. Alimentation

le modèle animal projet  sur les végétaux

Une première contribution provient de l'équipe de l'INRP de Paris (Host 1976). Le texte de cette étude souligne une idée très générale : les élèves voient l'alimentation des plantes comme un processus qui se développe en puisant des substances du sol par les racines. Les aliments des plantes sont alors réduits à ceux qui se trouvent dans le sol. Des résultats identiques sont obtenus par Simpson et Arnold (1982 a) avec des enfants écossais dont les idées sur l'alimentation de plantes peuvent être résumées par celle-ci : *"les plantes obtiennent leur aliment dans le sol par les racines"*. Les auteurs pensent que cette idée est en relation avec le fait que les élèves appliquent le schéma caractéristique de l'ingestion des aliments par les animaux au cas des végétaux, en assimilant les racines à la bouche ou au lieu par où la plante mange. Dans une autre étude Simpson et Arnold (1982 b) constatent que les élèves de primaire étaient capables d'employer le mot aliment, quand ils parlaient des aliments humains, en produisant spontanément des exemples adéquats (niveaux 1 et 2 selon la définition de la maîtrise d'un concept de Klausmeier 1976). Ils trouvaient

que l'exemple le plus difficile dans la liste proposée était effectivement l'un de ceux qui, selon lui, occupe une place principale dans la photosynthèse, le cas de l'amidon.

Wandersee (1983) pose une question inspirée de la célèbre étude de Van Helmont sur la croissance d'un saule. Il constate que la plupart des élèves jeunes (dix ans), de différents États des États-Unis pensent que la terre du pot va perdre du poids. L'une des raisons pour expliquer cette perte consiste à penser que la plante mange la terre : *"parce que la terre c'est l'aliment de la plante, sans elle la plante ne peut pas vivre"*.

puiser la terre  
dans le sol

Dans l'étude de Smith et Anderson (1984), et dans celle de Barker (1985 b), on retrouve l'idée que l'aliment des plantes vertes consiste en des matériaux que celles-ci puisent dans leur environnement proche, et non pas de matériaux qu'elles utilisent pour obtenir de l'énergie et croître. Tous les matériaux provenant de n'importe quelle source – l'eau, la terre ou les cotylédons – sont considérés comme des aliments.

Les rapports dont on peut disposer concordent donc pour signaler une tendance générale chez les élèves du primaire. Ils considèrent que les plantes s'alimentent d'une façon analogue à celle des animaux en prenant des aliments à l'extérieur. Ceci se ferait par les racines, en mangeant de la terre (ou les produits qui forment le sol).

## 1.2. Photosynthèse

difficultés avant  
l'âge de douze  
ans

Des données apportées par l'équipe de l'INRP de Paris (Host 1976) on peut retenir qu'ils estiment impossible de commencer l'apprentissage des processus de la photosynthèse avant l'âge de douze ans environ, âge auquel une première approximation cohérente pourrait être développée. Dans l'enseignement primaire il serait plus convenable de commencer l'idée de nutrition des plantes vertes comme incorporation d'une solution diluée de sels par les racines.

Dans les entretiens réalisés par Simpson et Arnold (1982 a, b) avec des enfants du primaire, la plupart soutiennent les idées suivantes :

- *"les plantes n'utilisent pas l'air"*,
- *"elles obtiennent l'énergie de ce qu'elles mangent dans le sol"*,
- le carbone ou les carbohydrates sont des gaz.

Tout cela nous indique qu'ils sont très loin de pouvoir aborder, en ces circonstances-là, la compréhension d'un phénomène comme la photosynthèse, même avec une formulation très élémentaire.

Près de la moitié des élèves interrogés par Wandersee (1983) ne pensaient pas que le travail principal de la feuille est de fabriquer de la nourriture. Cependant, une grande proportion pense que le gaz carbonique entre dans les feuilles

plusieurs  
méconnaissances

(62 %), tandis que 51 % ont sélectionné la bonne réponse sur la sortie de l'oxygène pendant la photosynthèse. L'idée du besoin de lumière solaire pour la bonne croissance des plantes et surtout pour la photosynthèse est très généralisée, mais le rôle de la chlorophylle est totalement méconnu. Même méconnaissance pour le rôle du gaz carbonique comme "aliment" de la plante (les guillemets sont dans la réponse).

les  
représentations  
des enfants

L'étude de Smith et Anderson (1984) est très significative dans cette perspective, car elle analyse les efforts d'une institutrice pour enseigner certains aspects de la photosynthèse à des élèves de onze ans aux États-Unis, et comment les élèves, malgré ses efforts, conservent leurs conceptions sur l'alimentation des plantes comme incorporation de substances de l'extérieur, tandis qu'ils attribuent à la lumière une action d'amélioration de la santé de la plante. Alors que pour l'institutrice, les plantes situées à l'obscurité ne peuvent pas disposer de la nourriture et meurent de faim, pour les élèves, les plantes privées de lumière sont, simplement moins saines. Dans le travail de Barker (1985 c) on souligne qu'il est peu probable que les élèves du primaire qui n'ont pas reçu d'enseignement sur la photosynthèse, aient des conceptions sur celle-ci, constituant une partie de leur "science des enfants".

Giordan (1990) dit que plus de 80 % des élèves de dix à douze ans ont entendu parler de l'oxygène qui se dégage des plantes, 20 % croient que la lumière est nécessaire pour les plantes, mais comme un élément qui fortifie celles-ci, les assimilant à une vitamine ou un fortifiant. Le mot chlorophylle est connu par la plupart des élèves, mais ils ne l'associent pas à la nutrition. En liaison avec la publicité, il s'agit plutôt de dépollution, de décontamination de l'atmosphère.

### 1.3. Respiration

méconnaissance  
des gaz

Le processus de la respiration des plantes n'est pas quelque chose de très clair avec des signes externes simples à observer comme chez les animaux. D'un autre côté, les élèves du primaire ont un degré de connaissance sur la nature des gaz et leurs propriétés, très limité. Ceci peut expliquer les difficultés de compréhension des processus qu'impliquent les échanges gazeux et encore plus de ceux dans lesquels on retrouve des transferts énergétiques.

Dans le cas des élèves du primaire étudiés par Simpson et Arnold (1982 a), l'idée que les plantes n'utilisent pas l'air ou le font dans un "sens opposé aux animaux", est très répandue. En tous cas, la respiration est comprise comme un échange gazeux. Ces auteurs nous montrent les difficultés que rencontrent les élèves du primaire dans l'étude des concepts de **gaz** et d'**énergie**. L'étude de Wandersee (1983) montre que la moitié des élèves de dix ans interrogés lors de l'enquête, ont des difficultés à décider si l'oxygène entre ou

sort de la feuille pendant la photosynthèse. Pour Barker (1985 a) des enfants, dès le jeune âge, pensent que les plantes respirent à l'inverse des humains, considérant respiration uniquement comme un échange gazeux, indépendant des autres processus des plantes.

confusion avec la respiration

Giordan (1990) dit que 30 % des élèves du primaire (dix-douze ans) connaissent l'existence d'échanges gazeux chez les plantes, mais les englobent dans la respiration. Ils pensent que les échanges photosynthétiques sont une respiration spéciale aux plantes, différente de celle des animaux.

Quant à nous (Cañal 1990), nous avons pu constater la présence de quatre niveaux de construction dans ce domaine conceptuel en considérant simultanément l'alimentation, la respiration et la photosynthèse pour des élèves de neuf à treize ans.

- Premier niveau

quatre niveaux de construction

On constate une absence presque totale de définition personnelle de l'alimentation, de la photosynthèse, et de la respiration des plantes. On voit seulement certaine proximité avec l'idée "d'alimentation externe simple" (alimentation comme captation de substances du sol).

- Deuxième niveau

Il consiste en l'adoption d'un schéma général sur les relations de la plante avec son milieu, selon lequel tous les échanges se produisent par la racine, qu'ils soient alimentaires ou respiratoires (ce qui nous rappelle la conception historique de la racine comme bouche de la plante).

- Troisième niveau

On admet l'incorporation de substances à la plante par les racines et par les feuilles, et une transformation interne de celles-ci. Cependant photosynthèse et respiration sont des concepts étroitement liés car la photosynthèse est conçue surtout comme une forme de respiration particulière des plantes qui se fait le jour, prenant du CO<sub>2</sub> et rejetant de l'O<sub>2</sub>, au contraire de ce qui a lieu la nuit. Le fait que l'on puisse dire ceci est lié au manque de conception adéquate sur la signification de la photosynthèse et de la respiration.

- Quatrième niveau

Il semble constituer le plafond qui peut être atteint par des élèves du primaire. C'est l'idée que les plantes vertes prennent des substances de l'extérieur par les racines et les feuilles, ces substances étant l'objet de transformations internes lors de la photosynthèse. La photosynthèse est conçue comme un processus dirigé vers la fabrication des aliments de la plante. La respiration de jour est la façon de

origine de ces  
conceptions

capter le  $\text{CO}_2$  dont elle a besoin pour faire la photosynthèse, et pendant la nuit la respiration est normale, prenant de l' $\text{O}_2$  et dégageant  $\text{CO}_2$ , sans qu'on ne voie d'autre signification que le simple échange gazeux qui doit obligatoirement être fait pour ne pas mourir.

Quelle est l'origine de ces conceptions ? Cette question est cruciale pour aborder la possibilité d'améliorer l'enseignement.

## **2. CAUSES POSSIBLES DE LA FORMATION DES CONCEPTIONS DES ÉLÈVES SUR LA NUTRITION DES PLANTES VERTES**

L'étude de l'INRP (Host 1976) nous donne quelques indications centrées sur l'analyse de la structure cognitive des élèves étudiés, en suggérant que ceux-ci ne dominent pas la distinction élément-composant, ce qui les empêche de comprendre la présence de carbone dans le gaz carbonique ou d'azote dans les sels minéraux. D'autre part il est proposé, dans une perspective piagétienne, que chez les élèves interrogés, le principe de conservation de la matière n'est pas opératoire, surtout en ce qui concerne les échanges avec l'atmosphère. Ceci est, de manière évidente, à l'origine des difficultés pour traiter l'information sur la photosynthèse et la respiration.

présence  
d'apprentissages  
préalables

L'hypothèse de Simpson et Arnold (1982 a) consiste à penser que l'apprentissage de l'enfant dans un domaine de connaissances donné, n'est pas seulement affecté par son niveau de développement opératoire ou conceptuel, mais également par la présence d'apprentissages préalables qui vont interférer avec l'acquisition des idées et des habiletés que l'on veut enseigner, selon qu'ils ont été correctement acquis ou non. Ils soulignent d'autre part que la photosynthèse est un domaine de connaissances difficile en soi, et que sa maîtrise exige la compréhension de multiples faits, relations et concepts. Ils nous font voir finalement que la persistance d'une conception de la nutrition végétale semblable au modèle de la nutrition des animaux crée des difficultés énormes dans ce domaine. Ces auteurs montrent également l'existence de grandes déficiences dans l'apprentissage de toute une série de concepts de base qui constituent, selon eux, des conditions préalables à tout apprentissage. D'une liste importante on peut détacher les quatre concepts suivants : être vivant, aliment, gaz, et énergie, en suggérant que, dans le cas de "aliments", les problèmes se situent aussi au niveau de la formulation scientifique de ce concept.

De leur côté Astudillo et Génè (1982), en enquêtant sur les conceptions des étudiants de l'École Normale concluent que la cause fondamentale des erreurs qu'ils ont détectées,

rôle des livres

devait être reliée au type d'enseignement reçu sur la nutrition des plantes vertes. D'autre part ils trouvent que, dans les livres que les élèves utilisent, il existe fréquemment des erreurs conceptuelles, ils sont peu clairs, et ce sont des instruments destinés à l'apprentissage individuel par répétition/mémorisation.

Pour Wandersee (1983), en considérant la structure cognitive qui se dégage de son analyse, la plupart des étudiants ne possèdent pas les concepts nécessaires pour incorporer cette nouvelle signification. Il parle également de la tendance à l'anthropomorphisation de la nutrition végétale, c'est-à-dire que, en tant qu'humain nous privilégions l'hétérotrophie, et nous avons une difficulté à imaginer une nutrition autotrophe. Ceci est renforcé par la publicité, la famille et la société en général. Il suggère que, dans certains cas, les professeurs et les livres expriment, directement ou non, des conceptions inadéquates en n'insistant pas sur la "réconciliation intégratrice" des connaissances. Il suggère aussi qu'il serait très utile de faire une étude des conceptions sous-jacentes qui comme le dit Novak, constituent une condition préalable à l'apprentissage.

conditions  
préalables

Bell et Brook (1984) mentionnent également l'existence de significations antagonistes pour le concept d'aliment, ce qui est une source de difficultés pour l'enseignement, et ils recommandent de développer chez les élèves la capacité à bien distinguer les significations quotidiennes et scientifiques du mot selon les contextes. Ils pensent qu'une partie des difficultés de compréhension de certains aspects de la photosynthèse, tient aux idées des étudiants sur certains concepts-clés qui sont des conditions préalables à l'apprentissage, tels que ceux liés à la nature et à la structure de la matière ou aux aspects de la conversion et de la conservation de l'énergie. Finalement, ils recommandent de planifier le curriculum de façon que les idées sur la nutrition végétale soient mises en relation avec d'autres domaines : transfert d'énergie, nutrition animale, réactions chimiques, etc. pensant ainsi que l'une des difficultés d'apprentissage se situe dans la structuration du curriculum.

Le travail de Smith et Anderson (1984) est planifié comme une étude de cas sur l'enseignement de la nutrition végétale situé à la base d'une unité nommée "communautés" dans le projet curriculaire SCIIS. Les auteurs essaient d'interpréter ce qui, de leur point de vue, fut l'échec d'une tentative d'enseignement, si l'on prend en compte les idées initiales des élèves et les efforts de l'institutrice pour développer une conception scientifique élémentaire de la photosynthèse. Ils suggèrent que les raisons de l'échec sont principalement les suivantes :

- les conceptions épistémologiques empiristes/ingénues de l'institutrice sur la nature de la construction des connaissances et une méthode didactique proche de l'apprentissage par la découverte,



les raisons de  
l'échec

- des déficiences dans le guidage du professeur, des aspects fondamentaux étant peu soulignés et apparaissant comme une information marginale, ne rentrant pas dans le tissu de la partie la plus substantielle,
- des insuffisances plus générales dans la formation des professeurs concernant les grandes lignes de la pensée et de la pratique didactique actuelle.

Dans l'étude de cas que Bell (1985 b) fait pour tester l'efficacité des nouveaux projets curriculaires concernant l'enseignement de la nutrition végétale, on trouve différents aspects qui, de son point de vue, peuvent expliquer certaines difficultés :

- les idées "alternatives" des étudiants sur le sujet, ne sont pas réellement "activées" par le travail en classe, et, de ce fait, restent ignorées ;
- différents obstacles de communication empêchent que les élèves emploient leurs "idées" et que les professeurs y aient accès ;
- les routines scolaires et les habitudes rendent difficiles le développement de nouvelles stratégies : les professeurs et aussi les élèves "retombent" dans des stratégies qu'on souhaite éviter ;
- certaines idées sur la nutrition des plantes vertes sont vraiment très compliquées pour les élèves, surtout si l'on prend en compte les déficiences accumulées sur les concepts-clés qui sont des conditions préalables.

l'absence  
d'interdisciplinarité

Rumelhard (1985) propose également des causes supplémentaires de difficultés. Par exemple, les élèves pensent que n'importe quel être vivant doit respirer, mais rien ne leur montre l'existence d'un besoin en azote ou en gaz carbonique. De plus, tous croient savoir que ce dernier est un gaz dangereux et qui ne peut donc constituer une nourriture. Il souligne la présence et la prégnance du modèle animal, d'éléments de pensée vitaliste et anthropomorphique, et d'un autre côté, l'absence d'interdisciplinarité, c'est-à-dire d'application et de transfert de connaissances d'un domaine à l'autre. Il considère qu'on passe peu de temps à la formation des concepts, et beaucoup à l'établissement de "faits" expérimentaux, mais avec des expériences pseudo-démonstratives mal reliées au sujet de l'étude.

Cañal et Rasilla (1986) soutiennent la thèse qu'une grande partie des conceptions erronées qu'on détecte, résultent d'un processus de déformation des contenus scolaires, dû à l'excès d'informations apportées en vue d'une mémorisation pour les examens. Dans cette situation l'élève essaie de distinguer et de caractériser ce qu'il estime le plus criant, et de simplifier. L'une des façons de faire dans ce genre de circonstances, consiste à établir des paires de caractères antagonistes : par exemple la photosynthèse se fait le jour et la respiration la nuit. Ceci va jouer le rôle de "béquille" pour la mémoire en soulignant les différences et en oubliant les similitudes.

constituer des  
paires  
antagonistes

vitalisme,  
anthropomor-  
phisme

Stavy, Eisen et Yakobi (1987) soulignent encore des déficiences dans les apprentissages préalables des concepts qui sont reliés à la nutrition, et des problèmes sémantiques avec le mot aliment. Ils associent d'autre part l'origine des difficultés des élèves à deux types de facteurs : psychologiques et curriculaires. En tant que facteurs psychologiques, ils mentionnent la résistance à abandonner des conceptions vitalistes pour aller vers des conceptions de type naturaliste (conception du corps comme système chimique), la tendance anthropocentrique à considérer que les plantes ont besoin de l'homme pour survivre, alors que c'est le contraire, un excès d'informations sur les aspects concrets de la photosynthèse, mais une absence de vision significative d'ensemble. Concernant les facteurs curriculaires, les auteurs se demandent s'il ne faudrait pas abandonner l'idée d'enseigner ce sujet, mais comme ils le jugent nécessaire, ils concluent qu'il faut continuer à tenter d'améliorer l'enseignement de ce domaine en luttant contre les problèmes détectés.

autres origines  
des obstacles

Battinger et al. (1988) en soulignant la qualité médiocre des apprentissages préalables des étudiants, étudient la nature et l'origine des obstacles détectés en les caractérisant de la façon suivante :

- ceux liés aux connaissances quotidiennes : l'air n'a pas de poids, comment peut-il produire de la matière ? Comment une plante va-t-elle pouvoir se nourrir à partir d'air ? Le modèle de la nutrition animale domine ;
- ceux liés aux méthodes d'enseignement : mauvaise définition des mots employés, mauvaise organisation du cours (activités, séquences, espace pour la réflexion, ...), manque d'insistance sur les notions les plus fondamentales.

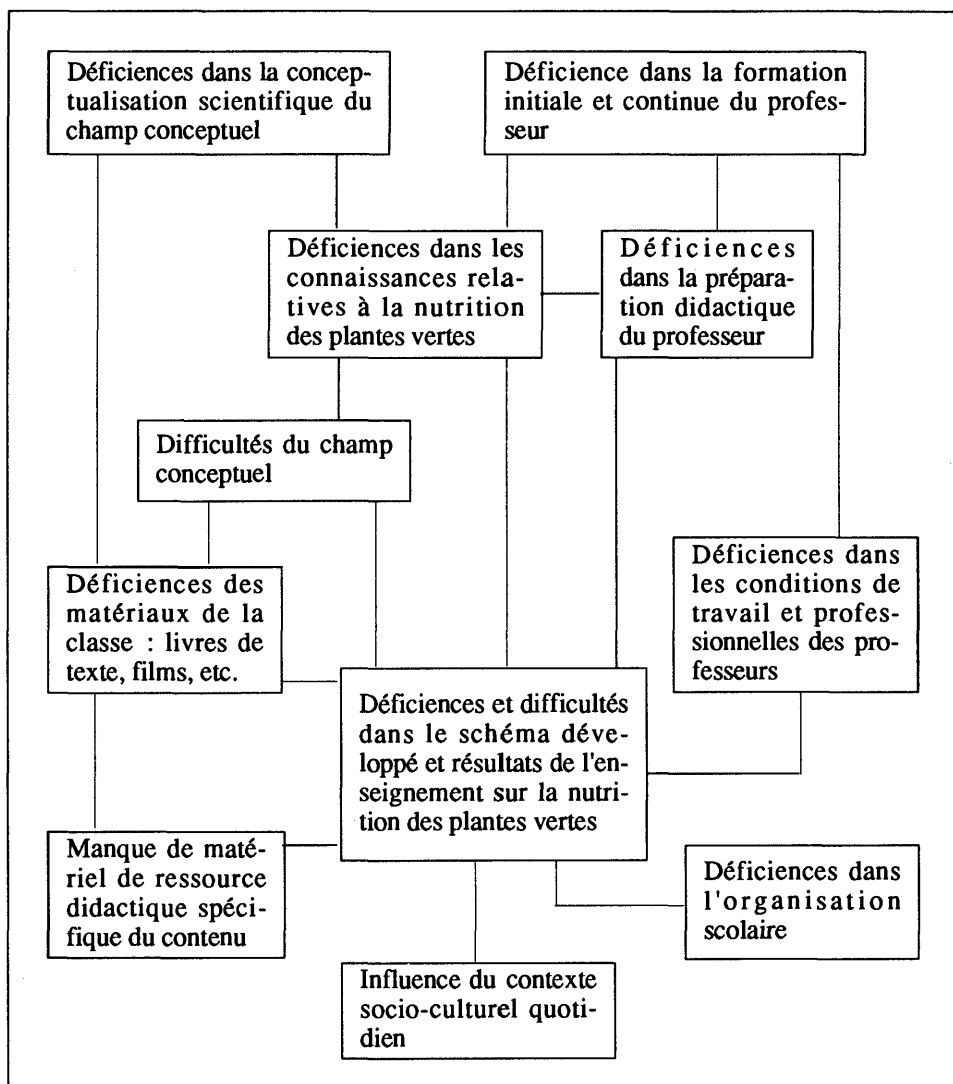
évaluer trois  
méthodes

Barker et Carr (1989 a) analysent trois stratégies d'enseignement/apprentissage sur la nutrition des plantes vertes, en les évaluant d'après la cohérence avec le sujet à enseigner, et l'attention portée aux connaissances des élèves. Ces stratégies sont :

- découverte dirigée,
- approfondissement de la composition des éléments de la matière vivante et de la nourriture,
- approfondissement de la signification du mot aliment dans le cas des plantes.

Ils concluent en pensant qu'aucune des trois stratégies ne permet d'accéder à une connaissance satisfaisante et proposent une nouvelle stratégie d'enseignement (Barker et Carr 1989 b) basée sur le modèle d'apprentissage génératif d'Osborne et Wittrock (1983, 1985) et orientée vers une conception de la photosynthèse comme processus de production de carbohydrates. Ils proposent finalement une réorientation générale de l'enseignement de ce domaine en fonction des stratégies didactiques générales et du sens des connaissances scolaires sur la photosynthèse.

De notre côté (Cañal 1990), en essayant d'apporter une perspective globale sur l'origine des déficiences et difficultés dans l'enseignement sur la nutrition des êtres vivants, nous avons constaté l'incidence de facteurs très différents qui sont en relation systémique.



**Figure 1. Réseau des facteurs en cause dans l'enseignement de la nutrition des plantes vertes**

Parmi tous les facteurs détectés par notre étude et par les recherches mentionnées, on peut souligner l'insistance concordante sur l'analyse des conceptions scientifiques actuelles et sur leur transposition didactique.

### **3. ANALYSE DES CONCEPTIONS SCIENTIFIQUES ACTUELLES SUR CERTAINES IDÉES CENTRALES DE CE CHAMP CONCEPTUEL, EN RELATION AVEC L'ENSEIGNEMENT SCOLAIRE "DE BASE"**

La nutrition végétale ne peut pas être considérée comme un concept simple. Ce domaine conceptuel vaste et interdisciplinaire met en relation des concepts fondamentaux de la biologie, de la chimie et de la physique, mais aussi des sciences plus spécifiques comme l'écologie, l'édaphologie ou la physiologie végétale.

plusieurs  
concepts posent  
problème

Dans cette perspective on va analyser certains concepts qui occupent une place importante dans ce domaine conceptuel et qui présentent quelques problèmes de caractérisation quand on les étudie d'un point de vue scientifique : ce sont ceux de nutrition, nourriture, alimentation, aliment, nutrition autotrophe, nutrition hétérotrophe, producteur, consommateur et décomposeur.

#### **3.1. Le concept de nutrition**

Selon Weisz (1974, 1987), la nutrition est le processus qui apporte les matériaux de base de la vie, la nourriture qui est constituée par les aliments et par d'autres substances nécessaires telles que l'eau et les sels minéraux. Pour cet auteur, la nutrition fait référence au processus d'incorporation de la nourriture, et pas à l'usage postérieur de ces substances. Cette conception apparaît clairement quand il ajoute que la nutrition, ainsi que la respiration et la synthèse, constituent le métabolisme des êtres vivants. Sur la relation entre les concepts de nourriture et d'aliment, il considère que la nourriture correspond à toutes les substances utilisées par l'organisme dans le métabolisme, qu'elles soient organiques (aliments) ou non organiques. Cet auteur penche alors pour réserver le mot aliment pour la nourriture organique des êtres vivants, de telle façon que les êtres vivants hétérotrophes prennent dans leur milieu de la nourriture organique et non organique, tandis que les autotrophes incorporent seulement de la nourriture non organique, synthétisant les aliments (nourriture organique) à l'intérieur, par photosynthèse. Les phénomènes de respiration et de synthèse sont alors exclus de la nutrition qui est ainsi réduite à la prise de matières premières organiques ou non et à la distribution interne de celles-ci.

aliment ou  
nutriment

Pour un autre auteur (Hadorn 1977), la nutrition fait référence au phénomène d'échange constant de matière et d'énergie que les êtres vivants réalisent avec leur milieu. Cet échange inclut l'admission de substances fluides ou solides (alimentation), les échanges gazeux (respiration), le transport de substances (circulation), leur transformation, chimique (métabolisme intermédiaire) et l'expulsion des substances (excrétion). Dans ce cas-là, la nutrition est vue comme le processus global de l'organisme qui regroupe tous les phénomènes associés au flux de la matière et de l'énergie dans un être vivant. Comme dans le cas antérieur, et cela est assez fréquent chez les biologistes, le mot aliment sera appliqué seulement à la nourriture organique, riche en énergie métabolique. On trouve la même idée chez Frings et Frings (1970), Griffin (1968), Baker et Allen (1967), Medina (1981) etc.

le point de vue  
des nutritionnistes

Mais il existe une autre façon de concevoir la nutrition. C'est celle des médecins et des professionnels spécialisés en nutrition. Pour Grande Covian (1981) la nutrition est l'ensemble des processus par lesquels l'organisme utilise, transforme et incorpore à ses tissus un certain nombre de substances qui doivent remplir les fonctions suivantes :

- apporter l'énergie nécessaire pour maintenir l'intégrité des structures corporelles,
- proportionner les matériaux nécessaires pour réguler le métabolisme.

Un autre aspect intéressant, dans cette perspective consiste à considérer le mot aliment dans un sens "naturel" comme désignant une substance qui existe dans le milieu, et que l'être vivant incorpore à son corps. Les aliments sont composés de différentes substances, les unes étant utiles pour la nutrition et d'autres ne l'étant pas. Dans cette perspective l'eau, le riz ou la viande de poulet peuvent être considérés comme des aliments pour certains êtres vivants, car ils les nourrissent.

éviter les  
incohérences

Pour notre part, dans la perspective d'une transposition didactique plus adéquate on adoptera une conception de la nutrition qui essaie d'éviter les incohérences internes à la logique de la biologie. Dans cette optique on adopte la définition de la nutrition comme flux de matière et d'énergie dans l'organisme en vue de satisfaire les besoins vitaux de celui-ci (croissance, réparation, développement, reproduction, homéostasie, etc.). Cela peut inclure les processus suivants : prise des aliments, libération et/ou production de nourriture, transport de cette nourriture, obtention de l'énergie, synthèse et dégradation des structures organiques, ainsi que la sortie des substances et de l'énergie.

Dans la nutrition, quand on la conçoit de cette façon, l'alimentation est le processus de prise des aliments et de préparation de ceux-ci, quand c'est nécessaire pour rendre possible le passage dans le milieu interne de la nourriture qu'ils apportent. On considère comme aliment toute sorte de sub-

stance, énergétique ou pas, qu'un être vivant utilise comme source de nourriture. D'accord avec Grande Covian (1981), on considère la nourriture comme l'ensemble des substances chimiquement définies qu'on obtient à partir des aliments et qui jouent un certain rôle dans la nutrition.

Des mécanismes assurent le transport de la nourriture depuis les lieux ou les structures de réception vers les cellules ; ils ont également une fonction primordiale dans les échanges intercellulaires et dans l'expulsion des déchets provenant du catabolisme.

### 3.2. Les concepts de nutrition autotrophe et nutrition hétérotrophe

comment définir  
auto et  
hétérotrophie

Il ne semble pas très heureux de caractériser la nutrition autotrophe comme celle que possèdent les organismes capables de produire leurs aliments, car le mot aliment ne semble pas adéquat quand on fait référence à la nourriture cellulaire. Mais aussi parce que la capacité de se nourrir avec les substances produites par les cellules n'est pas exclusive des autotrophes, n'existe-t-elle pas aussi chez tous les hétérotrophes ?

En accord avec notre schéma sur la nutrition, nous définirons la nutrition autotrophe comme celle des êtres vivants qui ont la capacité de synthétiser des substances organiques en partant de nourriture non organique et de l'énergie solaire, ou d'une autre source énergétique alternative.

On considère comme hétérotrophe la nutrition qui est réalisée par les organismes qui, étant incapables de synthétiser des substances organiques en partant de nourriture non organique, les produisent en partant de nourriture organique présente dans leurs aliments. Ils prélèvent également, bien entendu, la nourriture non organique dont ils ont besoin.

Mais on doit considérer aussi que les organismes autotrophes et hétérotrophes ont une autre source de nourriture : leur propre structure corporelle. La dégradation des structures cellulaires complexes produit la nourriture de base et l'énergie nécessaire pour réaliser les nouveaux processus de synthèse en étant à l'origine d'un recyclage interne.

### 3.3. Les concepts de producteur et de consommateur

Dans une perspective d'analyse écologique, on établit fréquemment la correspondance suivante :

comment définir  
producteur et  
consommateur

autotrophe —————> producteur  
hétérotrophe —————> consommateur

Même si cette relation est correcte en principe, elle est accompagnée d'incohérences et d'ambiguïtés à éclaircir.

Quelquefois on fait référence aux animaux herbivores comme des producteurs secondaires d'un écosystème, et aux plantes vertes comme des producteurs primaires. Il est vrai qu'ils produisent de la matière organique dans le sens qu'ils augmentent la matière organique existant dans leur organisme. Mais les différences soulignées précédemment nous incitent à réserver la dénomination de producteur pour les organismes capables d'élaborer de la matière organique nouvelle en partant uniquement de nourriture non organique et d'une source d'énergie qui n'est pas organique : c'est le cas des autotrophes.

D'autre part on pourrait aussi dire que les végétaux et les animaux sont des consommateurs, car tous les deux sont capables d'employer les substances qui forment leur organisme comme source de nourriture, en les consommant. Ce qui différencie les consommateurs, dans le sens biologique strict sera l'emploi, comme source de nourriture organique, d'aliments énergétiques (substances prises dans le milieu externe).

une incohérence

Finalement il faut souligner une incohérence assez fréquente : la différenciation d'un troisième groupe d'organismes, les décomposeurs, indépendants des producteurs et des consommateurs, alors qu'il est évident que les décomposeurs, par leur type de nutrition, forment un sous-groupe de consommateurs.

### **3.4. Proposition d'un schéma conceptuel alternatif sur la nutrition des plantes vertes**

Nous pensons que les concepts fondamentaux de la nutrition des plantes vertes peuvent se structurer d'une façon plus adéquate en suivant les propositions ci-dessous comme cadre théorique, ce qui permettra une meilleure transposition didactique.

On considère que les plantes vertes ont besoin du milieu extérieur comme source d'aliments simples non organiques. Ces aliments sont :

- l'air d'où ils peuvent puiser de l'oxygène et du gaz carbonique,
- l'eau naturelle qui fournit de l'eau, différents ions et des gaz tels le gaz carbonique et l'oxygène.

une proposition conceptuelle

La nourriture non organique est transportée vers les différentes parties vertes et non vertes de la plante. Dans les parties où l'on trouve de la chlorophylle se fait la photosynthèse de la nourriture organique de base, en partant de l'eau, du gaz carbonique et des sels minéraux, et aussi de l'énergie lumineuse. Cette nourriture organique de base sera distribuée par tout l'organisme. À partir d'elle et d'autres composants de caractère non organique, fondamentalement

de l'eau et des sels minéraux, va se développer dans les différents tissus, grâce à l'énergie fournie par les processus respiratoires cellulaires, le reste des réactions métaboliques nécessaires pour la croissance, le développement et l'entretien de l'organisme.

Les différences fondamentales entre le processus de la nutrition des plantes vertes et celui des animaux correspondent aux aspects suivants.

a) Les types d'aliments

Ils sont énergétiques et non énergétiques chez les animaux, et fondamentalement non énergétiques chez les plantes.

b) Les procédés pour la prise des aliments

Ils sont complexes dans le cas des animaux, étant donné la distribution non homogène des aliments énergétiques dans le milieu, ce qui implique l'emploi de structures neuromotrices pour la localisation et l'ingestion de ceux-ci.

Chez les végétaux photosynthétiques, pour des raisons opposées, c'est-à-dire en liaison avec la distribution relativement homogène des aliments (eau naturelle, air atmosphérique), il n'existe pas de procédés complexes pour la captation des aliments, sauf en ce qui concerne le développement des systèmes de racines de prospection, et des structures stomatiques. Dans les cas particuliers de défauts d'aliments, on trouve des procédés plus spécialisés pour l'obtention, par exemple, d'aliments riches en azote (plantes insectivores) de l'eau de pluie (feuilles en forme d'entonnoir) ou d'air (racines respiratoires des mangliers).

c) Les processus d'obtention de nourriture en partant des aliments

En général les animaux peuvent obtenir la nourriture non organique comme les végétaux, c'est-à-dire à partir de l'eau et de l'air. Mais il est assez fréquent qu'ils puissent obtenir une partie d'entre elle, telle l'eau et les sels minéraux, en partant de leurs aliments énergétiques naturels (produits d'origine animale ou végétale selon les cas). La nourriture non organique entre dans le milieu intérieur de l'animal par diffusion simple ou par transport actif, avec une dépense énergétique. L'obtention de la nourriture organique se réalise généralement par digestion des aliments énergétiques, à la suite d'actions mécaniques et chimiques permettant de libérer des molécules organiques de base qui correspondent à la nourriture des cellules. Les animaux obtiennent aussi de la nourriture organique par la digestion interne des substances complexes qui font partie de leur propre corps.

Dans le cas des végétaux, la nourriture non organique est obtenue par simple diffusion ou par transport actif en partant de leurs aliments, l'eau naturelle et l'air atmosphérique. En ce qui concerne la nourriture organique de base, elle est produite par la photosynthèse dans les feuilles et les autres parties vertes. La nourriture organique et non organique peut être obtenue à partir des substances qui forment le corps du végétal.

la prise des  
aliments

des actions  
mécaniques et  
chimiques



un parallélisme  
fonctionnel

En accord avec la caractérisation proposée, il faut souligner un parallélisme fonctionnel entre le processus de digestion des aliments, effectué par les animaux, et la photosynthèse des plantes, car tous deux fournissent la nourriture organique de base pour le métabolisme cellulaire.

d) Autres aspects

Les autres aspects des processus métaboliques des nutriments animale et végétale peuvent être considérés comme semblables dans les grandes lignes. En ce qui concerne la sélection et le rejet des déchets, il y a une plus grande différenciation et diversité de structures chez les animaux.

Un schéma d'ensemble du flux de la matière et de l'énergie dans une plante verte, selon les idées exposées précédemment peut se représenter de la façon suivante :

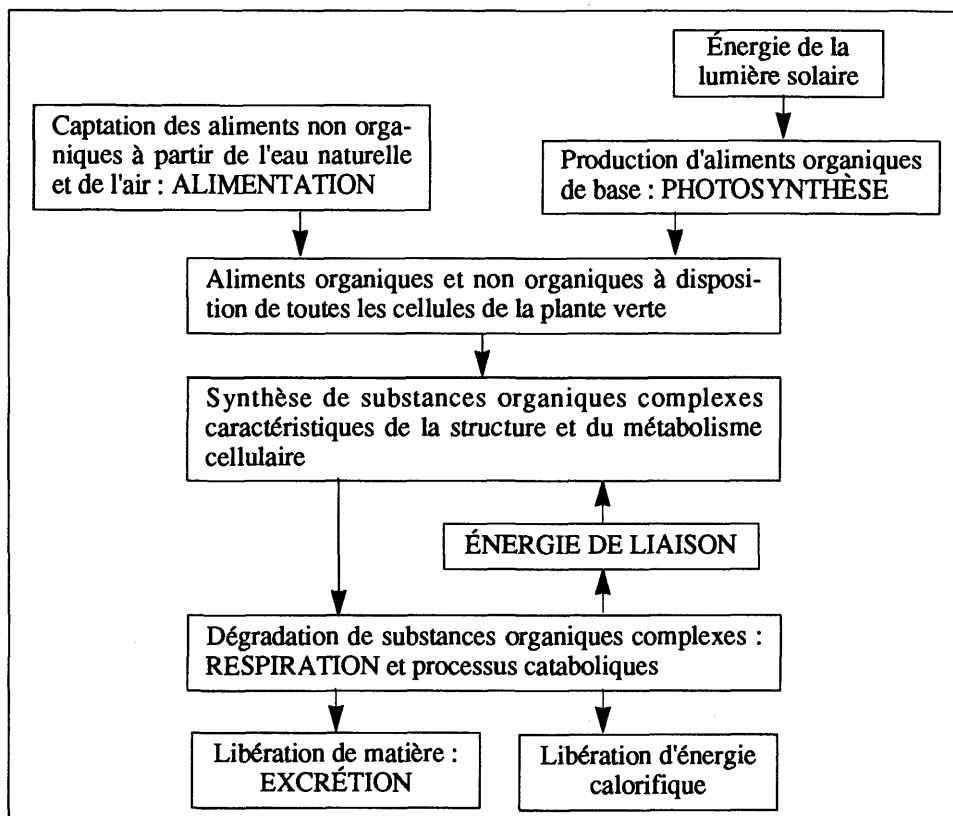


Figure 2. Schéma simplifié du processus de nutrition des plantes vertes, conçu comme un flux d'énergie et de matière à travers la plante.

## 4. LA QUESTION DE LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE

la transposition

Éclairer et définir d'une façon plus adéquate un champ conceptuel sélectionné parmi d'autres, pour son intérêt pour la formation scientifique de base des élèves, constitue un premier pas dans le processus de transposition didactique des connaissances scientifiques en connaissances scolaires. Dans un premier temps nous avons sélectionné certains aspects et certaines perspectives scientifiques pour faire d'eux, les axes de référence d'une transposition qu'on ne doit pas concevoir comme une simplification du savoir scientifique, mais comme une réélaboration originale de ce savoir (Martinand 1986, Astolfi, Develay 1989). Mais l'autre point fondamental de la transposition didactique concerne l'élève et les processus de construction du savoir scolaire par lui-même, c'est-à-dire l'épistémologie scolaire. Les études faites sur les conceptions des élèves et les obstacles détectés de façon réitérative dans l'enseignement-apprentissage de certaines connaissances, et celles réalisées sur les stratégies d'enseignement peuvent être utiles pour surmonter ces obstacles, elles nous donnent des critères pour avancer vers une transposition didactique plus adéquate, et, finalement, vers une meilleure définition du savoir scolaire de référence.

propositions pour  
deux unités  
didactiques

Dans notre cas les analyses effectuées sur la conceptualisation scientifique de la nutrition des plantes vertes, les conceptions des élèves et la genèse de celles-ci, nous ont permis de fonder une prise de décision sur le contenu d'un enseignement sur la nutrition des plantes vertes et sur des propositions curriculaires expérimentales pour l'enseignement "de base". Même si cette phase de notre étude n'en est qu'à son début, nous pouvons présenter comme exemple les réseaux conceptuels et les formulations de référence adoptées dans le projet de deux unités didactiques destinées à deux niveaux scolaires différents.

### 4.1. Premier cas (élèves de neuf/dix ans)

- Réseau conceptuel de référence

D'après les considérations antérieures, les objectifs conceptuels de l'unité peuvent être centrés sur l'amélioration de la formulation de la série de concepts reliés entre eux et qui forment le réseau suivant.

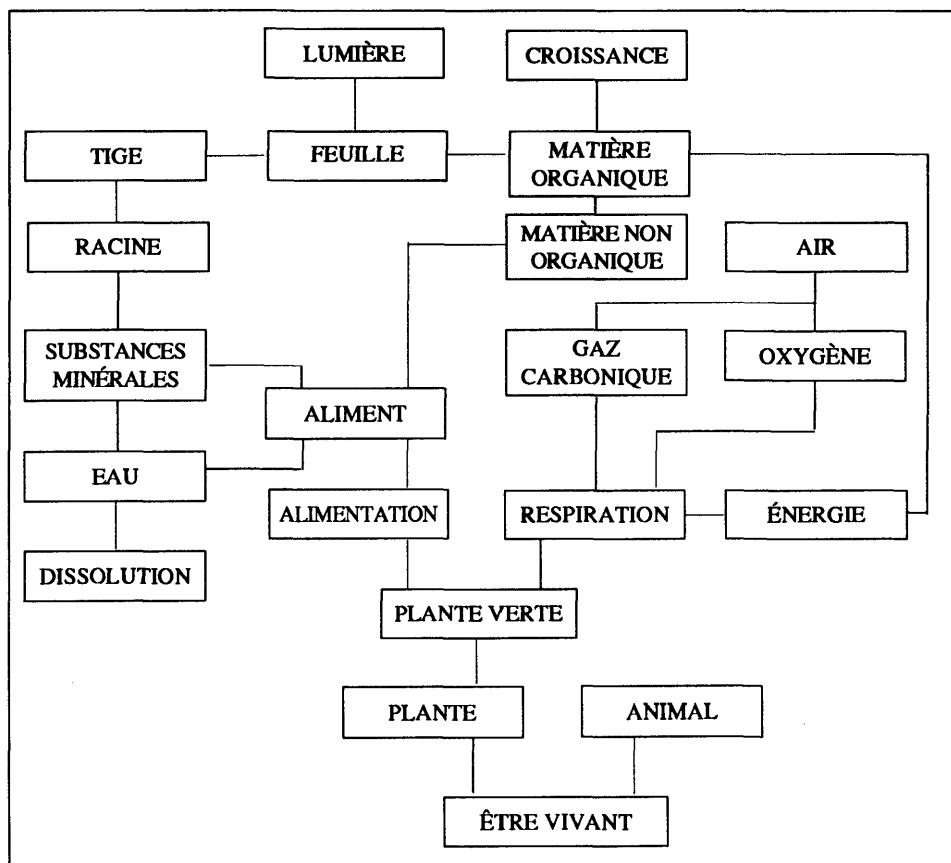


Figure 3. Réseau conceptuel de référence (9-10 ans)

• Propositions de formulations de référence

L'enseignement sera dirigé vers des formulations de référence qui, dans notre cas seront les suivantes.

- Les plantes vertes s'alimentent en eau, avec des substances minérales en solution, et de l'air.
- Elles prennent l'eau dans le sol par les racines.
- Elles y prennent également les substances minérales qui entrent dans la plante en solution dans l'eau.
- Elles prennent l'air par la "peau" de la plante (racines, tiges, feuilles).
- L'air est formé par différents gaz. La plante prend dans l'air les gaz dont elle a besoin pour vivre : l'oxygène et le gaz carbonique.
- Avec l'eau, les minéraux et le gaz carbonique la plante peut fabriquer des substances dont son corps est formé et

des formulations  
de référence  
pour le niveau  
neuf/dix ans...

c'est ainsi qu'elle peut croître. Les substances qu'elle fabrique sont nommées substances organiques.

- L'eau et les substances en solution entrent dans la plante par les racines et circulent par de petits tuyaux jusqu'aux feuilles. Là, elles se mêlent avec le gaz carbonique, de telle façon que, dans la feuille s'assemblent les trois substances (l'eau, les minéraux et le gaz carbonique) dont la plante a besoin pour fabriquer les substances organiques indispensables pour sa vie.
- Avec l'eau, les minéraux et le gaz carbonique, il faut aussi que les plantes prennent de l'énergie pour les fabrications, et cette énergie provient de la lumière du soleil. C'est pour cela qu'elles ne peuvent pas vivre sans lumière car elles ne pourraient pas fabriquer les substances organiques dont elles ont besoin.
- Tous les êtres vivants respirent constamment, le jour et la nuit. S'ils arrêtent de respirer ils meurent. Ceci est valable pour tous les êtres vivants, animaux et végétaux.
- Les animaux et les plantes respirent toujours de la même façon. Ils prennent de l'oxygène de l'air et le transportent dans leur corps jusqu'aux endroits où se trouve la matière organique à "brûler". Quand l'oxygène se joint à la matière organique, celle-ci "brûle" et cela produit de l'énergie en grande quantité. Les plantes et les animaux ont besoin de cette énergie pour vivre (croître, bouger, s'alimenter, se reproduire, etc.). C'est pour cela que, quand ils n'ont pas d'oxygène ils meurent rapidement.

#### **4.2. Deuxième cas (élèves de douze/treize ans)**

Dans ce deuxième cas, l'unité didactique est en relation avec l'étude des écosystèmes, et les connaissances prennent une nouvelle dimension.

- Réseau conceptuel

Le réseau conceptuel suivant est proposé.

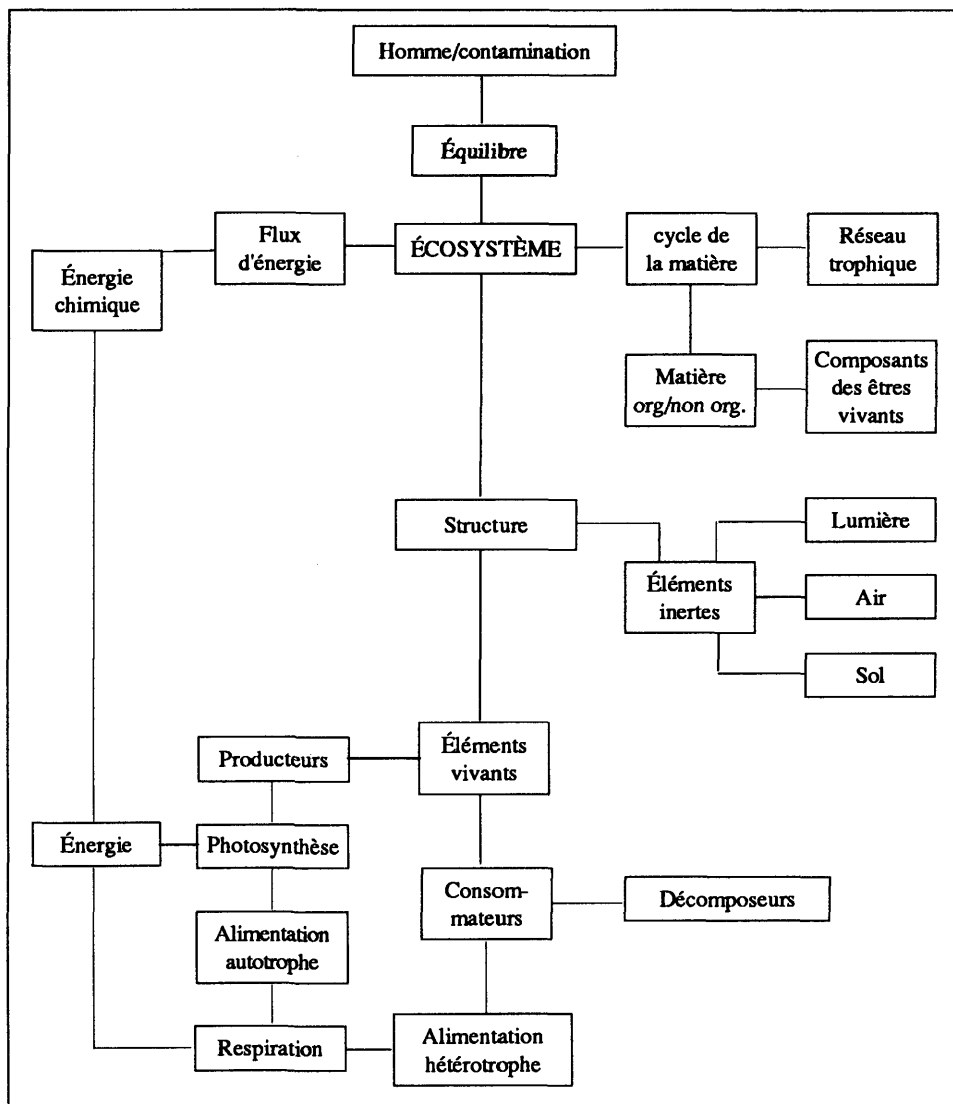


Figure 4 . Réseau conceptuel de référence (12-13 ans)

• Formulations de référence

On peut tendre vers les formulations suivantes.

- Un écosystème est formé d'êtres vivants et d'éléments non vivants du milieu (sol, air, climat, etc.) qui sont en relation d'interdépendance.
- Dans un écosystème la matière ne se consomme pas, mais suit un parcours cyclique, en passant du milieu inerte aux êtres vivants et de ceux-ci, de nouveau au milieu non vivant (cycle de la matière).
- Dans un écosystème la matière circule entre les espèces par le moyen de l'alimentation (réseau alimentaire).
- Les écosystèmes ont tendance à changer très lentement, en gardant l'équilibre dans leur structure et leur fonctionnement. Quelques activités humaines sont les causes principales de déséquilibre et de destruction des écosystèmes.
- Un producteur c'est un être vivant d'un écosystème capable de vivre en s'alimentant seulement de certaines substances non organiques du milieu et en captant de l'énergie solaire. Les plantes vertes sont des producteurs.
- Un consommateur c'est un être vivant d'un écosystème qui a besoin, pour vivre, de s'alimenter de substances non organiques du milieu et aussi de substances organiques qu'il obtient d'autres êtres vivants. Les animaux sont des consommateurs, mais également les champignons et d'autres plantes sans chlorophylle.
- Un décomposeur est une sorte de consommateur qui est caractérisé par le fait qu'il décompose la matière organique en produits non organiques, en bouclant le cycle de la matière. Les champignons et certains types de bactéries sont des décomposeurs.
- L'alimentation autotrophe est celle réalisée par les producteurs (les plantes avec chlorophylle). Dans l'alimentation autotrophe, la plante verte prend des aliments non organiques du milieu extérieur, et de l'énergie du soleil et, par la photosynthèse, elle fabrique les substances organiques dont elle a besoin pour croître et pour réaliser ses fonctions vitales.
- L'alimentation hétérotrophe est celle réalisée par les consommateurs (les animaux et les plantes sans chlorophylle). Dans l'alimentation hétérotrophe l'être vivant puise des substances non organiques du milieu extérieur et des substances organiques d'autres êtres vivants et, en partant de celles-ci il fabrique des substances du type organique dont il a besoin pour croître et pour réaliser toutes ses fonctions vitales.
- La photosynthèse est le processus le plus caractéristique de l'alimentation autotrophe. Par la photosynthèse les plantes vertes fabriquent les substances organiques dont elles ont besoin pour vivre et croître, en utilisant comme

et celles pour le  
niveau  
douze/treize  
ans...

matière première certaines substances non organiques (le gaz carbonique, qu'elles puisent dans l'air, l'eau et les sels minéraux qu'elles prennent dans le sol) et comme source d'énergie la lumière du soleil, captée par la chlorophylle.

- La respiration est un processus que tous les êtres vivants (animaux et plantes) réalisent pour obtenir de l'énergie. Respirer consiste à obtenir de l'énergie en "brûlant" de la matière organique avec l'oxygène de l'air. Les êtres vivants ont besoin d'énergie à tous moments, et respirent donc constamment, le jour et la nuit.
- L'énergie permet aux êtres vivants de se déplacer, bouger, fabriquer des substances, les transporter dans leur corps, chauffer celui-ci et, en général, rester vivant et se reproduire. Les plantes vertes sont capables de capter l'énergie du soleil, et elles obtiennent aussi de l'énergie par la respiration, en "brûlant" des substances organiques fabriquées par photosynthèse. Les animaux ne peuvent obtenir de l'énergie que par la respiration.
- Les substances organiques sont des substances riches en énergie et caractéristiques des êtres vivants. Les animaux et les plantes fabriquent les substances organiques qui forment les muscles, les organes internes, les poils, le sang, le bois, les fleurs, les fruits, etc. Le sucre, l'amidon, la cellulose, les protéines, les graisses, etc. sont des substances organiques.
- Les substances non organiques sont des substances pauvres en énergie par comparaison, et elles ne sont pas spécifiques des êtres vivants car on les trouve aussi dans le milieu inerte. Quelques-unes d'entre elles, comme l'eau, l'oxygène, le gaz carbonique sont très importantes pour les animaux et les plantes.
- Les composants des êtres vivants sont des substances organiques et non organiques. Notre corps, par exemple, a une grande quantité d'eau avec des sels minéraux et il a besoin d'oxygène, mais il est composé aussi de protéines, de carbohydrates, de graisses, etc. Dans le corps d'un végétal, par exemple un arbre, on trouve aussi une grande proportion d'eau et de sels minéraux, et il a besoin de les puiser à l'extérieur avec le gaz carbonique et l'oxygène, mais il y a aussi des substances organiques, telles que : la cellulose qui forme le bois, l'amidon des zones de réserve, les sucres des fruits etc.

La formulation de ces objectifs a été faite selon le schéma théorique exposé auparavant, et, en même temps, en essayant de respecter la perspective commune entre les élèves et les obstacles qu'ils rencontrent fréquemment dans ces apprentissages. Le développement expérimental d'unités didactiques recevant cette formulation, ou bien d'autres formulations alternatives du savoir scolaire concernant la nutrition des plantes vertes va certainement contribuer à

en relation  
étroite avec des  
stratégies

l'amélioration de l'éducation scientifique. Mais on ne doit pas oublier que la formulation et la sélection des objectifs n'est qu'un des aspects à considérer. Il est en relation étroite avec la formulation des stratégies didactiques, le but des activités, les aides matérielles etc. Tous ces aspects doivent s'intégrer de manière harmonieuse avec les buts fixés à l'enseignement.

Pedro CAÑAL DE LEÓN  
Département de didactique des Sciences  
Université de Séville (Espagne)

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ASTOLFI J.P., DEVELAY M. (1989). *La didactique des sciences*. Que sais-je ? n° 2448. Paris : Presses Universitaires de France.

ASTUDILLO H., GÉNÉ A. (1982). *Errors conceptuels en el tema de la fotosintesi. Posibles causas*. I Jornades de Recerca Educativa. Lleida.

AUSUBEL D.P., NOVAK J.D., HANESIAN, H. (1978). *Educational Psychology*. New York : Holt, Rinehart et Winston. (Trad. cast. : *Psicologia Educativa*. Mexico. Trillas. 1983).

BAKER J.J., ALLEN G.E. (1967). *The Study of Biology*. Massachusetts. Addison-Wesley Publishing Comp. (Trad. cast. : *Biologia e Investigación Científica*. Fondo Educativo Interamericano, 1970).

BARKER M.A. (1985 a). "Plants, oxygen, and carbon dioxide". *Working Paper n° 222* (Science Education Research Unit, University of Waikato. N.Z.).

BARKER M. (1985 b). "Plants and food". *Working Paper n° 227* (Science Education Research Unit, University of Waikato. N.Z.).

BARKER M.A., CARR M. (1989 a). "Teaching and learning about photosynthesis. Part 1 : An assessment in terms of students prior knowledge". *International Journal of Science Education*. 11 (1) : 49-56.

BARKER M.A., CARR M. (1989 b). "Teaching and learning about photosynthesis. Part 2 : A generative learning strategy". *International Journal of Science Education*. 11 (2) : 141-152.

BARKER M.A., CARR M. (1989 c). "Photosynthesis : learning outcomes. Working Paper n° 228" (Science Education Research Unit, University of Waikato. NZ)

BATTINGER R., TRAMOY M., CAENS S., MILLOT J., (1988). "Nutrition de la plante ?" In *Les représentations des élèves en Biologie*. Dijon, INRAP-ENSSAA-Lycées Agricoles.



- BELL B.F. (1985). *The construction of meaning and conceptual change in classroom settings : case studies on plant nutrition*. CLISP. University of Leeds.
- BELL B.F., BROOK A. (1984). *Aspects of secondary students understanding of plant nutrition : full report*. CLISP. University of Leeds.
- CAÑAL P. (1990). *La enseñanza en el campo conceptual de la nutrición de las plantas verdes. Un estudio didáctico en la educación básica*. Thèse de doctorat inédite. Universidad de Sevilla.
- CAÑAL P., RASILLA C. (1986). "Une étude sur le niveau de structuration des concepts "photosynthèse" et "respiration" des étudiants de l'École Normale". *Feuilles d'Épistémologie Appliquée et de Didactique des Sciences*. 8 : 39-44.
- CAÑAL P., GARCIA S. (1987). "La nutrición vegetal, un año después. Un estudio de caso en séptimo de EGB". *Investigación en la Escuela*. 3 : 55-60.
- C.L.T.S.P. (1987). *Approaches to teaching plant nutrition*. University of Leeds.
- FINLEY A.N., STEWART J., YARROCH W.L. (1982). "Teachers' Perceptions of Important and Difficult Science Concepts". *Science Education*. 66 (4) : 531-538.
- FRINGS H., FRINGS M. (1970). *Conceptos de Zoología*. Madrid. Alhambra.
- GÉNÉ A. (1987). *Estudio de la fotosíntesis de las plantas verdes*. Propuesta didáctica. Lleida. Escola de Magisteri.
- GIORDAN A. (1990). *Intérêt des recherches en didactique de la biologie*. LDES. Université de Genève.
- GRANDE COVIAN F. (1981). *Alimentación y nutrición*. Barcelona. Salvat.
- GRIFFIN D.R. (1968). *Estructura y función*. Mexico. CECSA.
- HADORN E. (1977). *Zoología General*. Barcelona. Omega.
- HOST V. (1976). "La nutrition des végétaux". In *Activités d'éveil scientifiques. IV. Initiation biologique*. Coll. Recherches Pédagogiques. Paris. INRP.
- JOHNSTONE A.H., MAHMOOD N.A. (1980). "Isolating topics of high perceived difficulty in school biology". *Journal of Biological Education*. 14 (2) : 163-166.
- KLAUSMEIER H.J. (1976). "Conceptual development during the school years". In *Cognitive Learning in children : Theories and Strategies*. London. Academic Press.
- LAWSON A.E. (1988). "The acquisition of biological knowledge during childhood : cognitive conflict or tabula rasa". *Journal of Research in Science Teaching*. 25 (3) : 185-199.

- MARGALEF R. (1981). *Ecologia*. Barcelona. Planeta.
- MARTINAND J.L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne. Peter Lang.
- MEDINA J.R. (1981). *Biología hoy*. Barcelona. Salvat.
- OSBORNE R.J., WITTROCK M.C. (1983). "Learning science : A generative process". *Science Education*. 67 (4) : 489-508.
- OSBORNE R.J., WITTROCK M.C. (1985). "The generative learning model and its implications for Science Education". *Studies in Science Education*. 12 : 59-87.
- RUMELHARD, G. (1985). "Quelques représentations à propos de la photosynthèse". *Aster*. 1 : 37-66. (1ère éd. 1976).
- SHAYER M., ADEY P. (1981). *Towards a science of science teaching*. Londres. Heineman. (Trad. cast. : *La ciencia de enseñar ciencias*. Madrid. Narcea. 1984).
- SIMPSON M., ARNOLD B. (1982 a). "The inappropriate use of subsumers in biology learning". *European Journal of Science Education*. 4 (2) : 173-183.
- SIMPSON M., ARNOLD B. (1982 b). "Availability of prerequisite concepts for learning biology at certificate level". *Journal of Biological Education*. 16 (1) : 65-72.
- SMITH E.L., ANDERSON C.W. (1984). "Plants as producers : a case study of elementary science teaching". *Journal of Research in Science Teaching*. 21 (7) : 685-698.
- STAVY R., EISEN Y., YAKOBI D. (1987). "How students aged 13-15 understand photosynthesis". *International Journal of Science Education*. 9 (1) : 105-115.
- STEWART J.H. (1982). "Difficulties experienced by high school students when learning basic Mendelian genetics". *The American Biology Teacher*. 44 (2) : 80-84.
- TEST D.W., WEWARD W.L. (1980). "Photosynthesis : teaching a complex science concept to juvenile delinquents". *Science Education*. 64 : 129-139.
- WANDERSEE J.H. (1983). "Students' misconceptions about photosynthesis : a cross-age study". In H. Helm, J. Novak (Eds), *Proceedings of the International Seminar of Misconceptions in Science and Mathematics*. Ithaca, N.Y. Cornell University Press.
- WEISZ P.B. (1974). *La ciencia de la Zoología*. Barcelona. Omega.
- WEISZ P.B. et al. (1987). *La ciencia de la Biología*. Barcelona. Omega.