

INTERETS DES RECHERCHES EN DIDACTIQUE DE LA BIOLOGIE

Nous vous proposons dans ce numéro des réflexions sur la didactique des Sciences, notamment de la Biologie, que le prof. André Giordan, de l'Université de Genève, nous a fait très gentiment parvenir, en témoignant de son intérêt pour une active collaboration avec les enseignants de notre région.

Cette collaboration, née il y a quelques années, pourrait se continuer sur les pages de la revue pour devenir un précieux échange des expériences les plus significatives vécues dans le domaine scientifique autant par les instituteurs valdôtains que par ceux qui, en Suisse, collaborent à ses recherches.

Ceci dit, on vous laisse à la lecture de cet article, qui est un outil de réflexion sur l'enseignement des Sciences et une provocation à nous interroger, à un niveau plus général, sur les finalités de notre action éducative.



Les pratiques éducatives en matière d'enseignement sont souvent affaire d'habitudes. Pourtant avec l'expérience de la classe, un nombre de plus en plus important d'enseignants constate empiriquement des difficultés pour "faire passer" les contenus envisagés dans les programmes de biologie. Dans le même temps, ils se posent des questions sur le réalisme, la cohérence et la faisabilité des programmes.

Peut-on envisager des actions éducatives plus efficaces? Com-

ment déceler les divers obstacles qui empêchent l'élève d'apprendre? Comment définir des contenus plus adéquats pour les publics de l'enseignement secondaire?

Quels outils proposer à l'enseignant pour lui permettre d'accomplir sa tâche? Voilà quelques-unes des préoccupations regroupées sous le vocable de "recherches didactiques de la biologie".

Pour illustrer ces idées, nous prendrons un savoir habituelle-

ment enseigné: la photosynthèse. La nutrition des plantes est un concept étudié dès l'école obligatoire. Il est envisagé à différents niveaux au secondaire. Il a un intérêt certain avec le développement de l'écologie: la photosynthèse est à la base des phénomènes de transfert d'énergie dans le monde vivant, elle joue un rôle considérable par la production d'oxygène. Or, les résultats obtenus par l'enseignement actuel sont très insuffisants, et cela quel que soit le niveau.

Certes, les élèves ont appris des formules ou mémorisé des réactions partielles mais ils n'arrivent pas à les situer ou à en saisir l'importance. Des évaluations effectuées à l'université montrent que la moitié des étudiants continuent à penser que les plantes se nourrissent essentiellement par le sol!¹ Cette conception est plutôt enracinée puisqu'elle perdure depuis l'école maternelle: "les plantes ont besoin de nourriture pour vivre", "pour grandir". Elles prennent leur nourriture dans "la terre", "dans le sol". Par ailleurs, plus de 60% entre eux n'établissent pas de relation entre photosynthèse et nutrition de la plante, et plus de 75% ne mettent pas en relation ce phéno-

mène avec les questions énergétiques.

LES OBSTACLES PRINCIPAUX.

Ces difficultés d'apprentissage traduisent un certain nombre d'obstacles que l'enseignant n'a pas su ou n'a pas pu prendre en compte. Il est intéressant de chercher à mieux les connaître car ils déterminent l'élaboration du savoir. Les premiers sont liés directement à l'image de la plante chez les élèves. La plante est généralement envisagée comme un être rudimentaire: l'eau et les sels minéraux (éventuellement d'autres particules issues du sol, pour les

plus âgés) suffisent pour lui "permettre de vivre" et de "grandir".

De ce fait, il n'existe pas de question de nutrition pour la plante, chez les élèves: l'idée qu'elle puise sa nourriture dans le sol semble les satisfaire: "elle se nourrit dans le sol par les racines", elle y trouve "les sels minéraux", ou encore "des particules microscopiques", de la "matière organique", "des sucres", "des bactéries", "des particules vivantes" (en particulier pour les 16-18 ans).

Dans ce modèle explicatif, la lumière et les gaz trouvent respectivement leur place: "la lumière apporte de la chaleur" ou "fortifie", "les gaz servent à la respiration", etc.²

La photosynthèse est connue surtout pour être un phénomène de nettoyage, de "dépollution de l'oxygène" ou encore de "production d'oxygène". Plus de 80% (élèves de 10-12 ans) ont entendu parler du rejet de l'oxygène. Respectivement, 20% (10-12 ans), 30% (14-16 ans) et 50% (18-20 ans) d'entre eux indiquent que la présence de lumière est nécessaire. Mais les élèves n'établissent pas de relation immédiate avec la nourriture. La lumière constitue en quelque sorte un "fortifiant", ou une "vitamine": la lumière sert à "faire vivre", à "grandir", à "les conserver en bonne santé", ou à leur donner "la couleur verte", ou encore à "fabriquer la chlorophylle!". 30% (10-12 ans) et 50% (14-16 ans) des élèves connaissent les échanges gazeux liés à la photosynthèse. Cependant la plus grande partie d'entre eux relie le phénomène à la "respiration" plutôt qu'à la nutrition de la plante (10-12 ans et 14-16 ans). Il s'agit pour eux d'une sorte de "respiration particulière" aux plantes, considérée comme "différente" ou "contraire à celle des animaux": "Les plantes respirent le gaz carbonique alors que les animaux respirent l'oxygène"².

De même, la chlorophylle, également connue par 95% des élèves dès l'école primaire, est mise en relation avec la nutrition par seulement 5% des élèves de 10-12 ans (20% des élèves de 14-16 ans, et 40% des étudiants en fin de scolarité). La chlorophylle est le plus souvent conçue comme étant le "résultat" de la photosynthèse. Elle possède de multiples fonctions et qualités dans la plante: elle est capable de "faire vivre", de "faire grandir", de "faire pousser les fleurs", "elle donne la couleur verte". Elle est souvent assimilée à une "vitamine", "une hormone", un "chromosome".

Par ailleurs, elle est considérée comme le "facteur clef" contre les pollutions: "elle nettoie l'atmosphère", "elle filtre l'air sale" ou même "le gaz carbonique". La publicité a sûrement joué un rôle considérable à ce niveau!

AUTRES OBSTACLES RENCONTRES A PROPOS DE PHOTOSYNTHESE

Les autres principaux obstacles proviennent des connaissances nécessaires pour atteindre les niveaux d'exigence des programmes actuels. Le savoir demandé, leur formulation nécessitent la maîtrise de nombreux concepts actuels de biologie (nutrition, métabolisme, cellule), mais aussi de physique (gaz, énergie,³ lumière) et de chimie (réaction chimique, matière organique, atome ou élément chimique, molécule à un premier niveau, niveau d'énergie, potentiel d'oxyde-réduction, transporteur d'énergie à un second niveau).

Or, même le plus simple d'entre eux, le concept de nutrition, pose problème et cela, jusqu'à la

fin de la scolarité secondaire. L'aliment, par exemple, est "la chose mangée", il ne peut exister que sous une forme solide: "boire n'est pas manger". Alors, absorber un gaz, pour fabriquer de la matière! Cela apparaît tout à fait farfelu. Il faut ajouter que le gaz carbonique est souvent considéré comme un élément nocif. Il n'est pas étonnant qu'à la suite des cours, le savoir atteint ne soit pas plus élaboré.

CONNAISSANCE DES PROCESSUS D'APPRENTISSAGE.

La connaissance des conceptions et des obstacles peut permettre d'envisager des pratiques éducatives plus efficaces. C'est à quoi tend la didactique des sciences. Les recherches ont

également permis de préciser l'environnement didactique favorable. Un certain nombre de paramètres significatifs peuvent être déjà répertoriés.

D'abord, il s'agit de faire naître chez l'apprenant, une activité élaboratrice. En d'autres termes, il faut créer chez lui l'envie d'apprendre et de chercher. Sur un tel sujet, il a l'impression d'avoir la bonne solution: "la plante se nourrit dans le sol" et il n'est guère intéressé à en savoir plus. Il est alors utile de le motiver par rapport à la question à traiter (ou du moins, de le faire entrer dans cette dernière).⁴

Diverses situations peuvent l'interpeller avec succès: plantes sans sol, cultures hydroponiques, plantes tropicales aériennes.

Un certain nombre de confrontations sont également indis-

pensables (confrontations élève-réalité, confrontations élève-élève) pour qu'il puisse expliciter sa pensée dans le cadre de travaux de groupe.

Ces divers travaux doivent l'amener à glaner un ensemble de données nouvelles pour enrichir son expérience par rapport à la question en jeu. Ils doivent le conduire à tester sa pensée par le biais d'observations ou d'expériences (variations des divers facteurs expérimentaux: lumière, température, concentration en CO_2 , sel minéraux, etc.). Ils doivent l'entraîner à prendre du recul par rapport à ses évidences, le plus souvent à reformuler le problème (que veut dire se nourrir?) ou/ et à envisager d'autres relations⁵ (relation

nourriture-énergie).

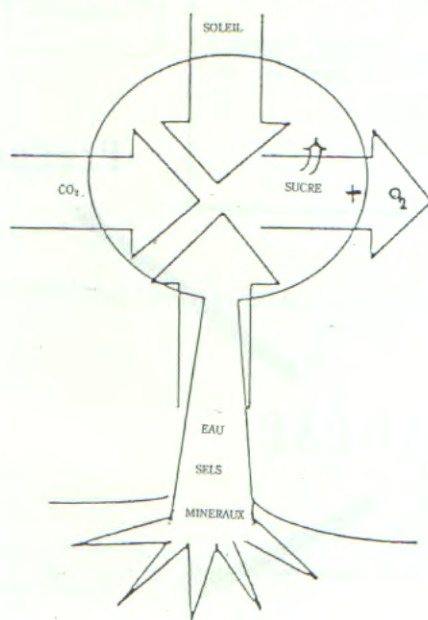
Pour les élèves maîtrisant un minimum de démarches scientifiques, on peut envisager des confrontations élève-informations dans le cadre d'un travail documentaire (cultures sur sols divers, interactions de facteurs; rôles des engrais, de l'humus, du fumier). Toutes ces activités de confrontations doivent convaincre l'apprenant que ses conceptions ne sont pas adéquates par rapport au problème traité, et éventuellement que d'autres sont plus opérationnelles.

La nécessité d'arguments divers est primordiale en la matière, l'enseignant ne doit jamais se contenter d'un seul, présenté rapidement. De plus, tous ces élé-

ments doivent être adéquats par rapport au cadre de références de l'élève, sinon, il les élude.

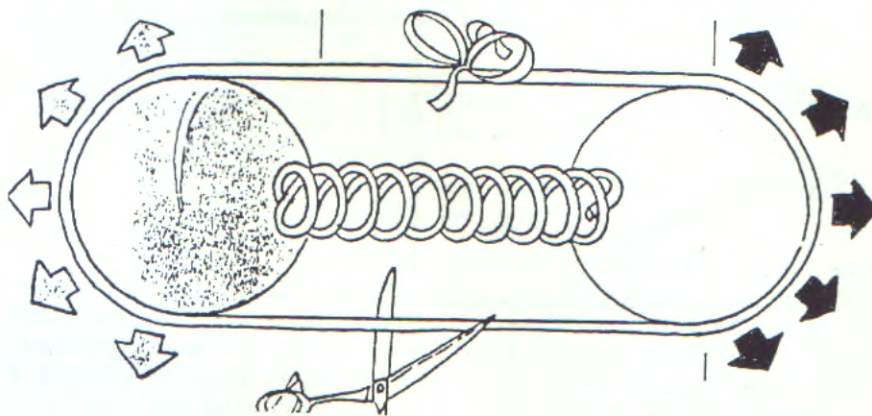
Ensuite, l'apprenant doit avoir accès à un certain formalisme, en tant qu'aide à la réflexion. Ce formalisme peut prendre des formes très diverses (schématisation, modélisation). Il doit être aussi facilement manipulable pour organiser les nouvelles données ou pour produire une nouvelle structuration du savoir (en tant que points d'ancrage).

Sur ce plan, l'introduction de modèles globaux, peut permettre une nouvelle vision de la réalité, elle peut servir de "noyau dur" pour fédérer les informations et produire un nouveau savoir.



Exemple de modèle pour comprendre globalement le phénomène de photosynthèse.

Dans le même temps, certains modèles partiels liés à d'autres concepts doivent être envisagés de façon complémentaire. Il devront, également, être adaptés au cadre de compréhension de l'élève.



Exemple de modèles partiels et provisoires pour accéder à l'idée de stockage ou de libération d'énergie, conçus pour des élèves ne maîtrisant pas encore la relation énergétique: liaison moléculaire = énergie

Il faut ajouter que pour que le concept de photosynthèse soit réellement opératoire, il est nécessaire de procurer à l'apprenant, des situations où il pourra **mobiliser son nouveau savoir** pour en tester l'opérationnalité et les limites.

Les recherches didactiques montrent ainsi que l'apprentissage est un cheminement où c'est l'apprenant qui élabore, intègre... bref apprend, et cela par étapes, à partir de ses structures de pensée propres. Toutefois, le rôle de l'enseignant est fondateur, il doit conseiller. Il doit accompagner l'apprentissage. Il doit proposer et mettre en place l'environnement didactique (décrit ci-dessus) indispensable pour faire élaborer et fonctionner les savoirs.

RECHERCHE DES OBJECTIFS EDUCATIFS

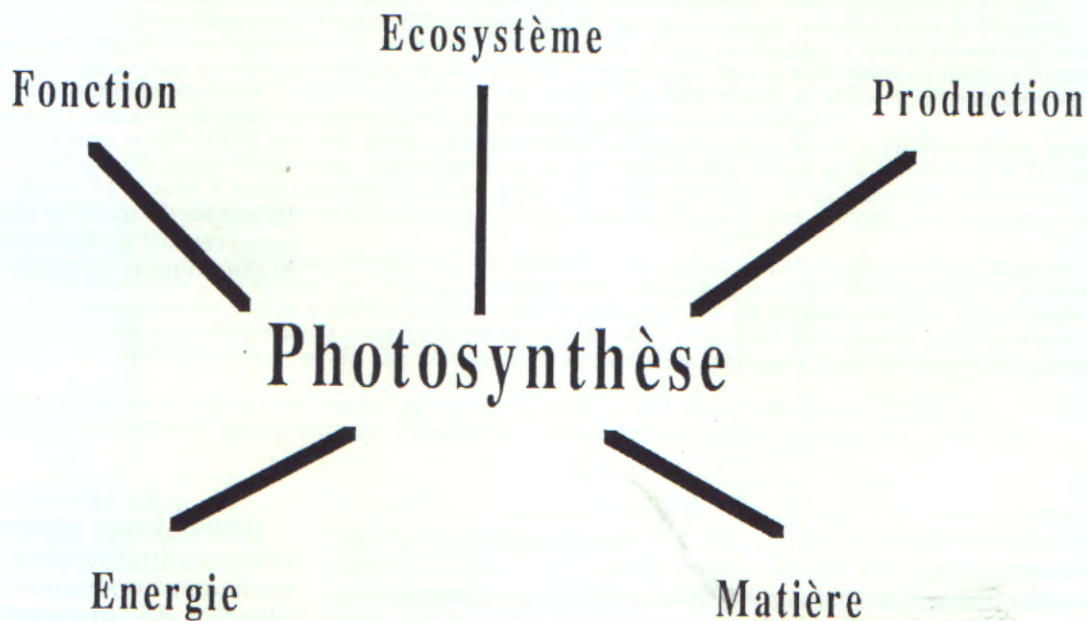
On voit alors, combien la construction d'un tel concept ne peut être que progressive, au cours de la scolarité. Cela implique pour l'enseignant de se fixer, tout à la fois des objectifs moins ambitieux mais plus précis.⁶ Il s'avère alors nécessaire de formuler le savoir attendu à un niveau scolaire donné. Celui-ci, contrairement aux pratiques naïves actuelles, ne peut se décider a priori en prenant un objet

de connaissance intangible et défini à l'avance: le savoir universitaire!

D'une part, les contenus optimum pour un enseignement donné dépendent de la pratique de référence que l'on juge souhaitable. Et dans ce cas, quelles préoccupations souhaite-t-on privilégier? C'est-à-dire pourquoi enseigne-t-on la photosynthèse? pour qui? pour quoi faire? En fait, pour quel projet éducatif?

En ce qui concerne ce contenu, les préoccupations peuvent

être multiples. Le conceptogramme ci-après illustre quelques-unes des directions de questionnement possibles. Quand on s'intéresse à la photosynthèse, on peut tout aussi bien privilégier une dimension écologique, une dimension physiologique ou une dimension appliquée à l'agro-alimentaire. On peut envisager des questions énergétiques ou de transfert de matières. Suivant la question que l'on souhaite mettre en avant, le contenu à développer sera différent.



Conceptogramme des diverses questions sous-jacentes à la photosynthèse

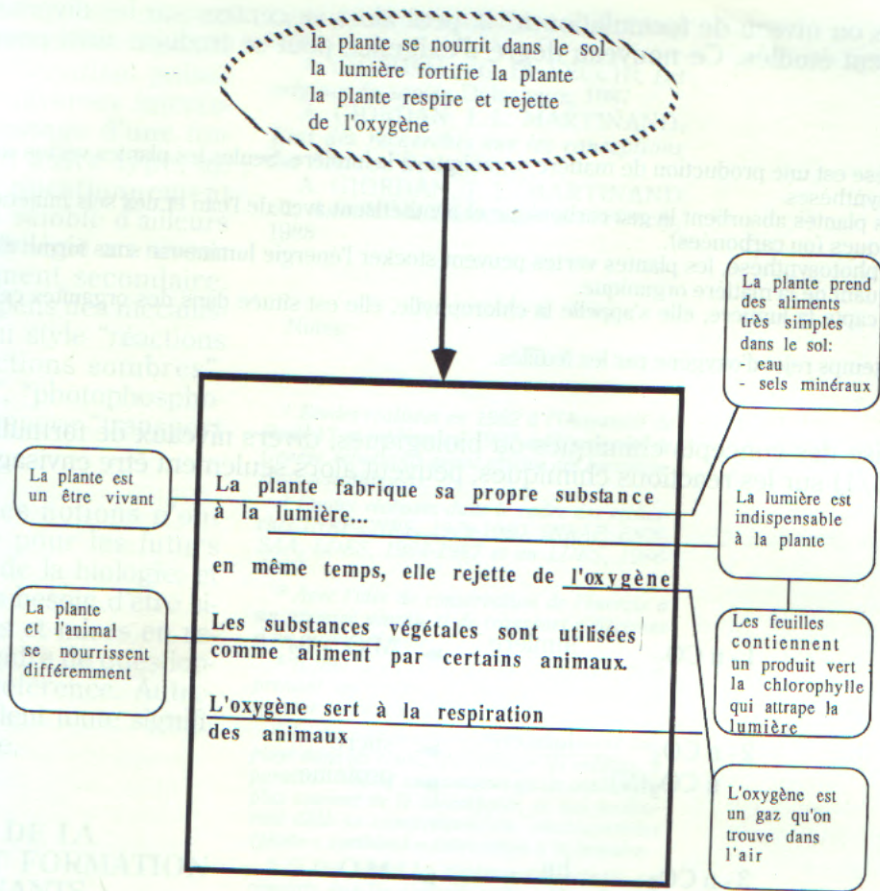
D'autre part, le choix d'un contenu dépend de multiples facteurs: le développement intellectuel des élèves, leurs projets ou la signification des contenus pour eux, ou encore des multiples contraintes matérielles, horaires ou humaines. Dans tous les cas également, le choix du contenu doit être fondé.

Des études didactiques, portant sur l'organisation du savoir, les conceptions des élèves et l'institution scolaire dans laquelle se déroule le processus d'apprentissage, peuvent fournir des éléments de décisions aux concepteurs de programme ou aux enseignants. Elles peuvent également aider à préciser le degré d'exigence souhaité

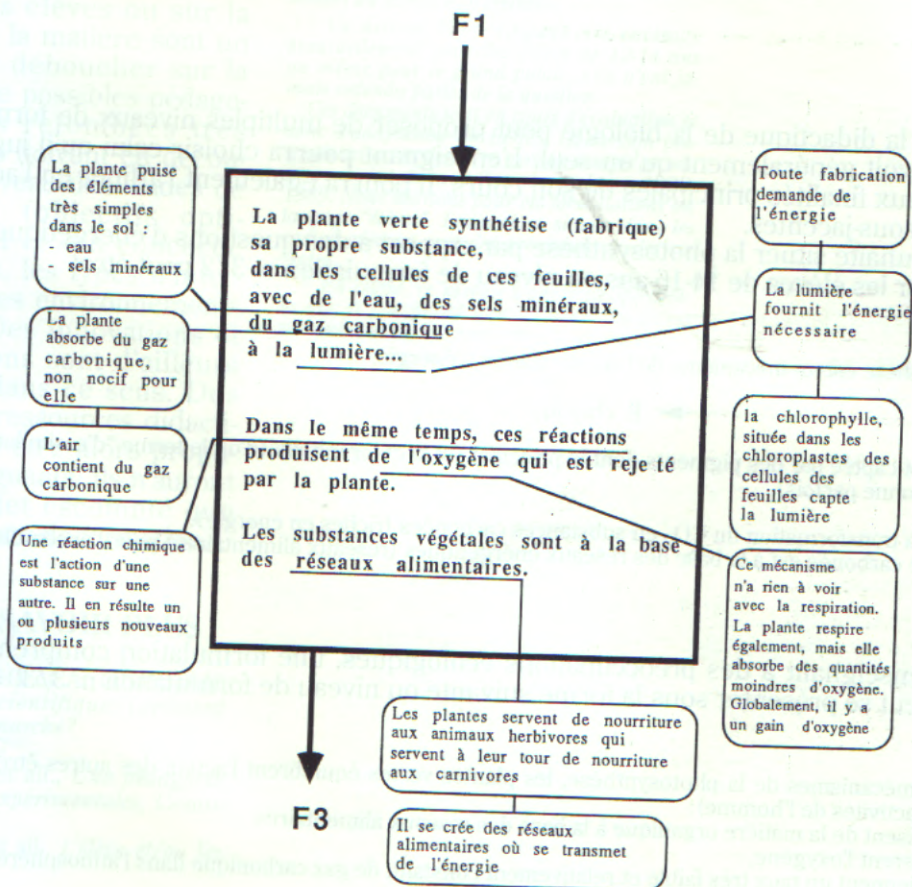
suivant l'âge et les capacités des élèves.

A titre d'exemple, nous donnerons les grandes lignes d'une progression que nous avons expérimentée dans les classes à propos de ce concept.

Une première étape ou niveau de formulation n° 1 (pour les enfants de 10 ans) pourrait être la suivante⁷:



Une seconde étape, pour la fin de la scolarité obligatoire ou niveau de formulation n° 2, peut être la suivante:



Un troisième temps ou niveau de formulation n° 3, peut alors se centrer sur les divers mécanismes internes habituellement étudiés. Ce nouveau degré d'exigence peut se traduire ainsi pour des élèves de 16-18 ans⁸:

"La photosynthèse est une production de matière organique, à la lumière. Seules les plantes vertes sont capables de réaliser ces synthèses.

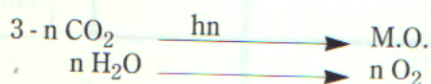
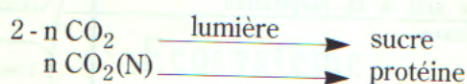
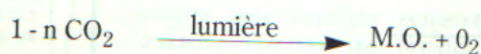
A la lumière, les plantes absorbent le gaz carbonique et synthétisent avec de l'eau et des sels minéraux diverses matières organiques (ou carbonées).

Ainsi lors de la photosynthèse, les plantes vertes peuvent stocker l'énergie lumineuse sous forme d'énergie chimique en fabriquant de la matière organique.

Une substance capte la lumière, elle s'appelle la chlorophylle, elle est située dans des organites cellulaires: les chloroplastes".

Il y a en même temps rejet d'oxygène par les feuilles.

Suivant la maîtrise des concepts chimiques ou biologiques, divers niveaux de formulation (ou niveau de formulation n. 3/1) sur les réactions chimiques, peuvent alors seulement être envisagés:



- intervention de M (transporteurs d'énergie)
- différenciation de réactions "lumineuse" et "sombre",
- structure du chloroplaste et des granas.

On voit ainsi que la didactique de la biologie peut proposer de multiples niveaux de formulation, là où l'enseignant n'en voit généralement qu'un seul. L'enseignant pourra choisir celui qu'il juge le plus adéquat par rapport aux finalités principales de son cours. Il pourra également l'affiner en l'adaptant aux diverses questions sous-jacentes.

Si l'enseignant souhaite situer la photosynthèse par rapport à des questions d'énergétique, une formulation acceptable par les élèves de 14-16 ans ou niveau de formulation n. 3/2 peut être:

"La photosynthèse est un mécanisme de transformation d'énergie:

E. lumineuse \longrightarrow E. chimique

La lumière est captée par des pigments dont le principal est la chlorophylle (d'où le terme "d'assimilation chlorophyllienne" donné parfois).

Elle permet la transformation du CO_2 en substances carbonées (riches en énergie).

Cette matière carbonée est à la base des réseaux énergétiques (réseaux alimentaires) pour l'ensemble de la biosphère".

Par contre, si l'enseignant a des préoccupations écologiques, une formulation compréhensible par ces mêmes élèves peut se présenter sous la forme suivante ou niveau de formulation n. 3/3:

"Grâce aux mécanismes de la photosynthèse, les plantes vertes équilibrent l'action des autres êtres vivants (y compris les activités de l'homme):

- elles produisent de la matière organique à la base des réseaux alimentaires.
- elles régénèrent l'oxygène,
- elles maintiennent un taux très faible et relativement constant, de gaz carbonique dans l'atmosphère".

Une maîtrise globale du concept de photosynthèse implique d'ailleurs que l'étudiant puisse envisager ces diverses interrogations. Le passage d'une formulation à un autre type, en fonction d'un questionnement explicite, nous semble d'ailleurs devoir être privilégié au niveau de l'enseignement secondaire. Et cela, aux dépens des mécanismes intimes du style "réactions claires et réactions sombres", "cycle des C5", "photophosphorylation", ou encore "transport d'électrons".

Ces dernières notions n'ont un intérêt que pour les futurs professionnels de la biologie; et encore ont-elles besoin d'être situées entre-elles et mises en relation avec un cadre de questionnement et de référence. Autrement, elles perdent toute signification opératoire.

DIDACTIQUE DE LA BIOLOGIE ET FORMATION DES ENSEIGNANTS.

Cet exemple donne ainsi un aperçu des buts des travaux de recherche en didactique de la biologie. Les études sur les conceptions des élèves ou sur la structure de la matière sont un détour pour déboucher sur la production de possibles pédagogiques. Des retombées très pragmatiques doivent en découler tant au niveau des stades de formulation (objectifs optimaux), qu'en ce qui concerne les situations, les types d'interventions ou les environnements favorables. Des innovations et des évaluations sont d'ailleurs entreprises dans ce sens. Des outils et des ressources didactiques peuvent être alors proposés aux enseignants. Ils n'auront toutefois l'effet escompté que dans un contexte de formation.

POUR EN SAVOIR PLUS

G. DE VECCHI et A. GIORDAN, *L'enseignement scientifique, comment faire pour que ça marche?* Z'Éditions, 1989

A. GIORDAN et al., *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*, Centurion, 1978

A. GIORDAN et al., *L'élève et/ou les*

connaissances scientifiques, P. Lang, 1983

A. GIORDAN et G. De VECCHI, *Les origines du savoir*, Delachaux, 1987

A. GIORDAN, J. L. MARTINAND, *Etat des recherches sur les conceptions des élèves en Biologie*.

A. GIORDAN, J. L. MARTINAND ed, *Annales de Didactique des sciences*, 1988

Notes:

¹ Etudes réalisées en 1982 à l'Université de Paris VI et reprises en 1987 à l'Université de Genève (étudiants ayant obtenu des baccalauréats scientifiques).

² Etudes réalisées dans le cadre des recherches INRP-CNRS, 1979-1980, INRAP, ENNSAA, LDES, 1984-1987 et au LDES, 1986-1987.

³ Avec l'idée de conservation de l'énergie à un premier niveau et de transport d'électrons à un second niveau.

⁴ Il faut développer au préalable chez l'apprenant, un certain niveau d'attitude et de démarche (Giordan, 1978)

⁵ Le mot photosynthèse est largement employé dans les cours, les livres ou les médias. Il paraît si évident aux auteurs qu'ils oublient le plus souvent de le décomposer, ce qui faciliterait déjà sa compréhension: photosynthèse (photo + synthèse) = fabrication à la lumière.

⁶ Si l'on prend les programmes actuels, on constate que les objectifs restent "flous", quel que soit le niveau. La structure du message principal et le degré d'exigence ne sont jamais précisés. Il en résulte que les livres scolaires deviennent la référence. Mais sans consignes pédagogiques précises, ces derniers se réfugient dans la présentation par le détail de mécanismes physi-chimiques intimes, issus directement du savoir universitaire.

⁷ Ce niveau d'objectif peut être envisagé éventuellement pour des élèves de 12-14 ans ou même pour le grand public, s'ils n'ont jamais entendu parler de la question.

Ces documents sont en cours d'évaluation et donc d'adaptation au LDES. La version présentée ici est la dernière version essayée et mise au point durant l'année scolaire 1988-1989. Nous utilisons pour ces formulations un langage "élèves". Les notions situées dans les cadres annexes sont des pré-requis ou des co-requis.

⁸ En classe, ce niveau n'apparaît opératoire que si l'on prend soin de situer les divers mécanismes les uns par rapport aux autres.