

## QUELQUES REPRESENTATIONS A PROPOS DE LA PHOTOSYNTHESE

Guy Rumelhard

*Dans le cadre des programmes antérieurs un séminaire a été consacré aux représentations à propos de la photosynthèse.*

*S'appuyant sur trois types d'analyses, celle de réponses d'élèves obtenues à partir de questionnement en classe, celle d'études historiques faites dans une optique épistémologique, celle de manuels scolaires, ce travail tente de dégager certaines difficultés qui peuvent se présenter dans l'appropriation des concepts de la photosynthèse. Quelques propositions sont discutées, dans une perspective interdisciplinaire, pour surmonter ces obstacles et résistances.*

Rédigé dans le cadre des programmes scolaires antérieurs, ce travail (1) est toujours d'actualité non seulement parce que ce chapitre d'enseignement existe dans le premier cycle, et, de manière renouvelée, dans le second cycle, mais surtout parce que les concepts, les techniques, et la méthodologie expérimentale utilisés ont une valeur éducative qui dépasse largement le cadre strict de la photosynthèse. L'ensemble des savoirs impliqués correspondent grosso modo à ce qui était établi ou admis vers 1930 environ. Ils forment une unité suffisamment cohérente pour délimiter une coupure qui se justifie toujours, pédagogiquement du moins. La connaissance et la compréhension du rôle du NAD, de l'ATP, de la photolyse de l'eau, de la phosphorylation oxydative implique d'autres concepts et d'autres techniques de "chimie physique" (potentiel d'oxydo-réduction, équilibres chimiques, énergie libre, .... chromatographie à deux dimensions, "espions" radioactifs, spectrophotométrie,....) dont l'acquisition demeure problématique.

---

(1) Ont participé de manière régulière ou occasionnelle à ce séminaire INRP : Françoise DEGORSAS, Michèle DUPONT, Jacques DEWAELE, André GIORDAN, Gabriel GOHAU, Victor HOST, Michèle MAISONHAUTE, Pierre MITON, Colette PIERRARD, Maïtena RONCIN, Martine RUMELHARD.

## I. REPRESENTATIONS ET CONCEPTIONS "PREMIERES" DES ELEVES.

### I.1. Finalité du travail.

En dix ans les notions de représentation individuelle et sociale des élèves et leur utilisation en pédagogie sont devenues plus familières. L'idée essentielle consiste à admettre qu'il ne suffit pas, au cours du travail d'enseignement, de se centrer sur la "clarté" du discours scientifique énoncé par l'enseignant (ou découvert par l'élève). Le travail pédagogique ne se résume pas à rechercher les meilleurs moyens pour "rendre ce savoir évident", et pour susciter "l'intérêt" des élèves.

importance de la connaissance des représentations des élèves

On peut donner un statut positif non pas tant aux erreurs des élèves, qu'à la nécessité d'errer quand on s'approprie un savoir, à l'existence de résistances liées à ce que nous nommerons "représentations". En un certain sens, les questions mises en forme et résolues par les savants sont entièrement neuves. Mais elles ne naissent pas dans le vide, et le problème auquel elles correspondent avait bien souvent reçu des réponses pratiques, "magiques" ou idéologiques. L'élève participe au moins en partie à ce savoir socialisé et l'on peut supposer que le savoir scientifique y sera confronté, conduisant à des difficultés : obstacle, déviation de la compréhension, acceptation trop aisée de certaines connaissances, etc...

Toutes les difficultés rencontrées par les élèves ne relèvent pas de ce type d'analyse, bien évidemment, mais l'attention portée à ce type d'obstacle met en lumière ce qui, dans le discours de l'élève n'était bien souvent considéré que comme une "erreur" et donc à ce titre, simplement relevé comme "faux", c'est-à-dire "censuré", mais non analysé.

les élèves véhiculent-ils des représentations pour un savoir sans préalable comme celui de photosynthèse ?

On objectera que, sur certains sujets, tels la "croissance" par exemple, il est facile d'admettre qu'il existe dès la plus jeune enfance des connaissances, un vocabulaire et un vécu affectif qui créent une surdétermination, mais dans le cas de cette étude : la photosynthèse, nous serions dans un domaine qui ne tombe pas sous le sens commun et pour lequel il n'y a donc pas de préalable. Nous espérons montrer qu'il n'en est rien. (cf. bibliographie en fin d'article).

## 1.2. Notions essentielles sur la photosynthèse.

Pour se faire mieux comprendre, rappelons quelques notions essentielles. A propos des végétaux se pose la question de l'origine des éléments qui constituent la matière organique dont ils sont formés : carbone, oxygène, hydrogène, azote, sels minéraux. Pour les végétaux "verts", l'origine de C,H,O trouve une réponse dans les mécanismes de la photosynthèse.

. Pour l'essentiel, la fabrication de corps organiques du type glucide, se fait à partir du gaz carbonique de l'air (plantes aériennes), et de l'hydrogène de l'eau, la lumière étant la source d'énergie.

Une équation :

d'une équation  
bilan ...



traduit traditionnellement le *bilan* des gaz et des matières. Ce type de réaction étant de sens contraire au sens "spontané" qui est celui de l'oxydation du glucose (dans une flamme, en présence d'oxygène), elle nécessite un apport énergétique approprié.

On a pu hésiter, au début du siècle, et pendant de nombreuses années, sur le statut exact de cette équation : traduisant un bilan, traduisait-elle également un mécanisme intime ? Le premier produit formé est-il du glucose ? L'oxygène dégagé provient-il du gaz carbonique comme le laisse supposer le nombre d'atomes de l'équation telle qu'elle est équilibrée .

aux mécanisme  
biochimiques

. Les connaissances les plus récentes éclairent très nettement le statut de cette équation qui ne traduit qu'un bilan et non pas un mécanisme. En ce sens, il est toujours indispensable à l'enseignant de connaître les savoirs les plus récents dans la mesure où ils éclairent de manière récurrente les savoirs plus anciens, mais sans les rendre nécessairement caduques. Dans le cas présent, au contraire ils en délimitent la portée exacte. Ceci ne plaide pas nécessairement pour l'enseignement de ce savoir très récent, car, toute culture étant l'appréciation d'un devenir, le savoir récent souffre souvent de ce manque de perspective.

Les données récentes peuvent se résumer de la manière suivante :

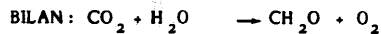
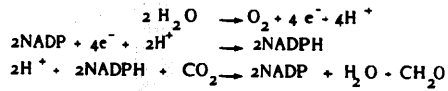
- une étape de "photolyse" de l'eau en trois éléments. De l'oxygène qui se dégage sous forme gazeuse, de

l'hydrogène "activé" qui va constituer le  $\text{NADPH}_2$ , deux électrons qui vont remplacer ceux "arrachés" à la chlorophylle par les photons.

- une étape au cours de laquelle deux électrons de la chlorophylle sont arrachés et activés une première fois, sous l'action des photons. Repris par des transporteurs, l'énergie liée à ces électrons permet la synthèse d'ATP. Activés une seconde fois grâce à un second ensemble de pigments chlorophylliens captant les photons, ces électrons participent à la formation du  $\text{NADPH}_2$ .

- une étape qui ne nécessite pas la présence de lumière, au cours de laquelle l'hydrogène transporté par le NADP se combine au gaz carbonique pour former un "sucre", l'énergie étant fournie par l'ATP.

Les trois équations suivantes peuvent traduire ces événements.



Cette direction de recherche entraîne essentiellement vers la *physique*, mais les problèmes d'anatomie ne sont pas absents, paradoxalement peut-être, dans la mesure où la théorie chimiosmotique de formation de l'ATP, le fonctionnement des pigments chlorophylliens comme "antenne collectrice" conduisent à étudier la disposition des molécules le long des membranes des organites cellulaires (concept de compartimentation).

Mais si l'on souhaite suivre une autre direction de la recherche en Biologie, celle qui s'intéresse à la *variété* des productions photo-synthétiques, à leur *variation* selon les facteurs du milieu, les savoirs résumés par la première équation peuvent pour l'essentiel suffire. Nous sommes alors conduits vers les études réalisées en milieu agricole d'une part, et en *écologie* d'autre part.

### 1.3. Tests réalisés et analyse des réponses.

Nous avons posé successivement, par écrit, et avant le cours, plusieurs questions, en évitant les retours en arrière, lors de la rédaction des réponses. L'enquête a été menée dans huit classes de première ou de terminale, soit au total 240 élèves. Nous espérons ainsi,

par cette première méthode, analyser certaines représentations ayant un caractère suffisamment collectif.

. Premier test :

un test aux questions graduées qui s'interpellent l'une ... l'autre

*I - Comment les plantes se nourrissent-elles ? D'où tirent-elles leurs substances nutritives ? Sous quelle forme celles-ci sont-elles puisées ? En quoi ce mode de nutrition se distingue-t-il de celui de l'homme ?*

*II - On entend dire parfois qu'une plante verte vicia l'air d'un appartement pendant la nuit, mais qu'elle le purifie au contraire le jour. Qu'en pensez-vous ? Comment expliquer un tel effet ? Quel peut en être l'intérêt pour la plante ?*

*III - Au début du XVII<sup>e</sup> siècle, le chimiste Van Helmont (1577-1644) fit l'expérience suivante : il planta un jeune saule pesant 5 livres dans une caisse contenant 200 livres de terre. Il arrosa régulièrement la terre. Au bout de 5 ans, le saule pesait 169 livres, alors que la terre n'avait pratiquement pas changé de masse (perte 2 onces). Van Helmont en conclut que l'eau s'était changée en substance végétale.*

*Que pensez-vous de cette interprétation ? Si vous ne l'approuvez pas, quelle autre solution proposez-vous ? Dans l'un et l'autre cas, cela modifie-t-il votre réponse aux deux premières questions ?*

*IV - Beaucoup plus tard, le chimiste Priestley écrivait : "j'ai eu le bonheur de trouver par hasard une méthode de rétablir l'air altéré par la combustion des chandelles et la respiration des animaux et de découvrir au moins une des ressources que la nature emploie à ce grand dessein : c'est la végétation. Le 16 août 1771, je mis un plan de menthe dans une quantité d'air où une chandelle avait cessé de brûler et je trouvais que le 27 au soir du même mois une autre chandelle pouvait y brûler parfaitement bien. Les plantes, bien loin d'affecter l'air de la même manière que les animaux, produisent les effets contraires et tendent à conserver l'atmosphère douce et salubre lorsqu'elle est devenue nuisible en conséquence de la vie ou de la respiration des animaux".*

*Interprétez dans le vocabulaire actuel le texte de Priestley.*

*2 - Plus tard on découvrit que le phénomène ne se déroulait qu'à la lumière et seulement pour les organes verts ; qu'il y avait corrélation entre ce phénomène*

et l'augmentation de poids des plantes.

- Que vous apportent ces résultats ? En quoi modifient-ils vos réponses aux questions précédentes ?

. Analyse des réponses au premier test.

Nous ne développerons pas, dans le cadre de cet article, les détails de la grille d'analyse utilisée, ni le mot à mot des 240 réponses. Nous dégagerons seulement les grandes lignes qui semblent présenter une certaine constance.

*Question 1*

. Pour la majorité des élèves la plante verte trouve sa nourriture dans le sol, par l'intermédiaire des racines.

les gaz de l'air ont un rôle, ... mais la plante ne paraît pas pouvoir les utiliser

. L'air comme source de matière "nutritive" n'est jamais évoqué, ou plus exactement, lorsque la possibilité d'échanges gazeux est décrite, ce qui est rare, les réponses sont vagues ou ambiguës : échange d'air, échange de  $\text{CO}_2$  et d' $\text{O}_2$ . L'ambiguïté tient à la confusion avec la respiration, en sorte que, dans les cas les plus précis, l'air absorbé est l'oxygène. La question suivante montre que dans leur esprit les problèmes d'échanges gazeux et de nutrition sont parfaitement indépendants.

. La nature des éléments nutritifs puisés dans le sol n'est pas souvent évoquée avec précision.

On cite le plus souvent l'eau et les sels minéraux sans plus. Quelques élèves ajoutent : des produits décomposés, des déchets, des petites particules, des particules microscopiques, des sucs, des bactéries, des particules vivantes, et (cité sur le même plan) du carbone ou de l'azote (à l'état pur ?), du phosphate.

Autrement dit il n'existe pas pour eux de problème de la nutrition organique des plantes. L'eau et les sels minéraux suffisent au besoin à la vie de la plante. D'où proviennent le carbone et l'azote ? La question n'est pratiquement pas posée. On remarque des propositions du type vitaliste (particules vivantes) ou préscientifique.

. L'importance de la lumière, ou du soleil sont évoqués, mais lorsque le rôle en est précisé, c'est au mieux pour apporter la "chaleur". Le problème de l'énergie nécessaire aux synthèses n'est pas posé.

### Question II

. En dehors du fait que certains élèves ignorent le mot "vicié", pour la plupart d'entre eux les plantes sont *malsaines* à cause du rejet de  $\text{CO}_2$  et non pas à cause de la privation d' $\text{O}_2$ . Ils proposent d'ailleurs rarement d'autres solutions : rejet de substance toxique, etc...

le  $\text{CO}_2$  aurait  
mauvaise presse

. Quant à la *nature des échanges gazeux* le jour puis la nuit et à leur changement, les réponses sont plus variées. Certains ne parlent que des échanges diurnes, ou que des nocturnes, d'une manière partielle ou rarement complète. Il n'est donc pas possible de savoir comment ils envisagent les changements. L'alternance est parfois expliquée en termes de simple variation d'intensité (moins de  $\text{CO}_2$  le jour, ou moins d' $\text{O}_2$  la nuit) et le plus souvent en termes d'inversion des échanges, mais là encore l'inversion peut être seulement partielle (rejet de  $\text{CO}_2$  la nuit, rejet d' $\text{O}_2$  le jour).

. En aucun cas *l'intérêt de ces échanges* n'est relié au problème précédent à savoir en particulier l'origine du carbone dans les plantes. On évoque, très rarement il est vrai, que le  $\text{CO}_2$  puisse se décomposer et fournir l'oxygène qui se dégage, mais le devenir du carbone n'est pas précisé.

Il semble bien que l'on rencontre ici *un obstacle important* : un être vivant a besoin de respirer, il a besoin d'oxygène, mais il n'a besoin ni de carbone, ni d'azote.

*Deuxième obstacle* : les idées largement répandues sur la "pollution" en particulier par les gaz résultant des combustions et des échappements de voitures font percevoir le  $\text{CO}_2$  comme gaz essentiellement nocif et dangereux (confondant en cela avec l'oxyde de carbone) et donc *incapable* de jouer un rôle positif.

### Question III

Les réponses à cette question sont les plus intéressantes et surtout les plus surprenantes.

. Très rares sont les élèves qui acceptent l'interprétation de Van Helmont et donc admettent que *l'eau puisse se transformer* en substance végétale. Sans toujours proposer d'autres solutions, beaucoup refusent même explicitement cette idée. Il faut noter ici que cette question posée à partir d'une expérience historique très ancienne facilite l'expression de

réponses opposées à l'auteur. Face à une expérience actuelle, les élèves auraient certainement cherché à justifier l'hypothèse proposée, se conformant en cela à l'autorité de la vérité scientifiquement établie.

. Très rares également sont les élèves qui tentent de chiffrer l'accroissement de masse du saule. Les réponses demeurent qualitatives.

. Parmi les solutions proposées, on trouve : les sels contenus dans la pluie, les substances dissoutes dans l'eau, l'apport de poussières. Quand l'air est cité (cas de redoublants) il n'est pas toujours précisé qu'il s'agit du  $\text{CO}_2$

. Mais, plus étonnant, on propose la transformation de l'eau en sels, ou en énergie, ou bien on attribue à l'eau un "pouvoir générateur" du sol. On accuse aussi le soleil (parfois combiné à l'eau), ou l'énergie, mais agissant comme facteur de croissance, donc sans apport de masse.

. En aucun cas (sauf doublants) le bois fabriqué n'est compris comme substance "organique" contenant carbone, hydrogène, oxygène pour l'essentiel. Dans certains cas, la croissance n'a aucune réalité matérielle : "l'arbre a simplement grandi, mais il n'a pas fabriqué du bois à partir d'eau de pluie." Quand, enfin, la photosynthèse est accusée, c'est comme synthèse ex nihilo.

qu'est-ce qu'un  
arbre qui grandit ?

On comprend que, même si le problème de la nécessaire source des éléments constituant les corps organiques existait dans leur esprit, à partir du moment où l'on ne se préoccupe pas de conservation de la masse et où l'on admet les transmutations "à basse énergie", ainsi que la croissance immatérielle, ou la fabrication "de novo", tout devient possible. Au mieux, certains s'étonnent de la croissance de l'arbre (il devrait mourir) et posent donc ce problème de la croissance.

#### Question IV

Cette question est censée apporter des informations susceptibles au besoin de remettre en cause leurs interprétations. Ils sont, en tous les cas, sollicités explicitement dans ce sens, la distribution successive des questions aux élèves éliminant la possibilité d'une interférence des réponses.

une stabilité des expli-  
cations précédentes

. Rares sont les élèves qui ont vu un gain de carbone, ou qui établissent une corrélation entre l'augmentation de masse et l'absorption de  $\text{CO}_2$ . Certains



aboutissent cependant à cette conclusion et supposent même que l'oxygène rejeté provient du  $\text{CO}_2$ . La plupart du temps les problèmes d'échanges gazeux et de nutrition restent séparés, ou reliés d'une manière très vague : "les échanges gazeux facilitent le développement de la plante".

. Le lien entre ces échanges gazeux et le fait qu'il s'agit de plantes vertes est souvent noté sans plus.

. La nécessité de lumière est moins souvent notée, et son rôle n'est pas précisé. On ne voit pas à quoi elle peut servir. Si transformation de matière il y a, elle se fait sans nécessité d'apport d'énergie.

D'une manière plus générale les informations apportées n'amènent que rarement les élèves à modifier leurs affirmations. Ils ne voient qu'une confirmation ou une explicitation de leurs affirmations précédentes. Certains y parviennent dans le sens attendu (accroissement attribué primitivement uniquement aux sels, et attribué au carbone en fin d'exercice) mais cette remise en cause amène aussi à des "régressions" d'interprétation (élève ayant vu l'apport massique et qui, après coup, font intervenir la lumière à la place de l'eau : lumière qui apporte du poids, lumière comme aliment).

• Deuxième test :

Il s'agit ici de l'observation d'un montage expérimental : une plante verte est enfermée dans un bocal clos en verre de volume assez petit (1 à 2 litres). Elle pousse sur un sol neutre (vermiculite) et on lui a fourni au départ de l'eau contenant des sels minéraux. Quel sera le devenir de ce montage ?

• Analyse des réponses au deuxième test.

Les réponses ne fournissent pas d'éléments nouveaux, mais confirment ce qui a déjà été noté .

La plante ne peut vivre très longtemps dans ces conditions à cause du manque de sels minéraux qui vont s'épuiser. C'est le facteur qui est cité le plus souvent en premier. Vient ensuite l'asphyxie par manque d'air, ou manque d'oxygène.

L'évolution de ce système est complexe bien évidemment, mais, même si l'on s'adresse à un groupe d'élèves ayant déjà étudié la photosynthèse, il est rare que l'on cite en premier le manque de  $\text{CO}_2$  dont la quantité est pourtant extrêmement faible dans ce système clos.

un repère des  
obstacles révélés par  
les tests précédents

#### 1.4. Conclusions d'ensemble.

. Il existe dans leur esprit un *problème de respiration*, lié à un vécu bien évident, et aisément transposé aux plantes, ce qui implique une certaine compréhension de l'unité du monde vivant. Mais cette fonction est isolée dans l'organisme, ou plus exactement la respiration perçue uniquement comme échanges gazeux *n'a pas de fonction* à remplir dans l'organisme. Par ailleurs ce problème surdéterminé distord la compréhension des échanges gazeux "chlorophylliens".

Il faut certainement chercher la racine de cette difficulté dans une certaine façon d'enseigner le vivant comme juxtaposition de mécanismes sans liens entre eux, en insistant sur les "résultats" et non sur les "problèmes".

. Il existe également un *problème de croissance* compris comme augmentation de masse. Mais la source de cette augmentation est volontiers réduite aux sels minéraux, et à l'eau comme solvant, non comme source de matière. La source des éléments propres aux composés organiques ne pose pas question.

. Une résistance profonde se manifeste pour admettre :

- que l'eau puisse se transformer en bois  
- et, a fortiori, que l'air puisse constituer une source de matière végétale et donc de bois.

Si les deux premiers obstacles sont vraisemblablement liés aux modalités de l'enseignement actuel, le troisième est certainement de nature "épistémologique".

. L'intervention des *idées reçues* empêche l'appréciation exacte du rôle du CO<sub>2</sub> de l'air (rejet d'un déchet, pollution).

. L'absence de comparaison *quantitative* empêche ici de poser le problème de l'apport massique.

. On a également vu apparaître quelques difficultés liées à une forme de vitalisme ("régénération du sol"), et à l'anthropomorphisme (inversion des échanges gazeux attribuée à l'homme).

. L'absence de nécessité d'un apport énergétique découle vraisemblablement de l'absence de l'idée de synthèse organique, c'est-à-dire de fabrication des éléments spécifiques à l'être vivant par transformation d'éléments puisés dans le milieu extérieur. Il n'y a pas ici de "réaction chimique".

Nous insisterons plus particulièrement sur les *obstacles au transfert d'une discipline à une autre* mis en évidence par cette étude. Les principes physico-chimiques essentiels (conservation de la masse,...) ne fonctionnent pas. On peut proposer plusieurs hypothèses pour expliquer cette difficulté :

les difficultés  
du transfert

- blocage dû au *statut institutionnel des "disciplines"* conçues comme des mondes séparés, avec des langages différents, des programmes non cohérents, et donc vécues par les élèves comme des cloisonnements étanches.

- les principes sur lesquels nous prétendons nous appuyer ne sont pas véritablement acquis dans leur domaine d'origine. Le physicien obtient-il le même résultat lorsqu'il se pose des questions similaires à celles-ci à propos des transformations entre liquides et gaz.

- un concept doit non seulement être élaboré dans une discipline pour être appliqué dans un autre domaine, mais en fait être *élaboré dans plusieurs domaines différents* pour être réellement acquis. Il n'est d'ailleurs pas évident que les disciplines traditionnelles constituent les maîtres d'oeuvre privilégiés ou prioritaires pour tel ou tel concept.

- il est aussi possible qu'avec un enseignement dans lequel on consacre quelques minutes aux principes de base, à moins même qu'ils ne restent implicites, et *l'essentiel du temps aux mécanismes et aux résultats*, les concepts n'aient jamais été réellement élaborés.

Ces remarques conduisent à penser que les relations entre disciplines peuvent se vivre non pas tant sur le principe de "l'application" ou de "l'outil", mais bien plutôt sur le mode de la collaboration dans l'élaboration commune de certains concepts dont il serait souhaitable d'établir une liste.

## 2. LES OBSTACLES HISTORIQUES

### 2.1. Intérêt de l'étude historique

Il ne s'agit pas, dans un travail de didactique, de faire oeuvre d'historien des sciences. Nous souhaitons simplement utiliser quelques données historiques pour confronter notre étude précédente et surtout définir à quelles conditions et comment la perspective historique peut être utilisée dans notre cas précis.

d'une histoire  
commémoration  
à une histoire  
filiation

Il faut bien cependant admettre que la plupart des historiques que l'on trouve dans les manuels de biologie végétale (2) nient en fait toute perspective historique réelle. Il s'agit de la *commémoration des découvertes* qui ont acquis une valeur éternelle et qui s'enchaînent linéairement dans le temps sans obstacles, ni déviations ou retour en arrière. Ce qui plane sur cette conception du progrès de l'esprit humain, c'est le mirage *d'un état définitif du savoir*. La vérité est soustraite au devenir.

Sans développer plus avant cette critique, il nous a fallu tenter de reconstituer les éléments d'une histoire de la physiologie végétale qui prenne en compte une véritable épistémologie, et dans ce domaine les travaux sont peu nombreux.

A quoi peut donc servir cet historique si ce n'est un musée des erreurs de la raison humaine ? On peut admettre, avec G. Canguilhem qu'il "peut être profitable de chercher les éléments d'une conception de la science et même d'une méthode de culture dans l'histoire des sciences entendue comme une psychologie de la conquête progressive des notions dans leur contenu actuel, comme une mise en forme de généalogies logiques et, pour employer une expression de M. Bachelard, comme un recensement des "obstacles épistémologiques" surmontés !". A partir d'un tel historique on peut donc rechercher les idées premières, les conceptions qui ont été combattues, condition préalable à une bonne compréhension des phénomènes.

Il ne s'agit pas de rechercher ensuite la présence de ces *mêmes difficultés* chez les élèves actuels, qui bien évidemment ne peuvent être considérés comme les contemporains intellectuels de tel ou tel savant du passé. Il faut cependant noter que certaines difficultés historiques peuvent persister sous une forme apparemment identique pour raisons partiellement différentes. Certaines observations "premières" peuvent demeurer et conduire à des difficultés au moins en partie identiques. Mais surtout, ce travail historique

est une indication sur des difficultés que nous ne soupçonnons plus actuellement et qu'il est profitable de comprendre pour en déceler la présence éventuelle, même modifiée.

## 2.2. Points de repère dans l'histoire de la nutrition végétale.

Une histoire positiviste fait "apparaître" le problème de la photosynthèse au 18<sup>e</sup> siècle avec l'observation de Ch. Bonnet. Or depuis Aristote, sinon même avant, il existe des explications pour le problème de la nutrition végétale. Les théories d'Aristote dominèrent jusqu'au milieu du 17<sup>e</sup> siècle : la plante reçoit du sol une nourriture toute élaborée.

"Ce que la terre est aux arbres, l'estomac l'est aux animaux, ... une terre fumée est chaude en hiver, de même le ventre" disait Hippocrate. Pour Aristote, les végétaux se nourrissent d'aliments digérés par la terre. La plante est un animal dont les racines sont les "veines lactées".

VAN HELMONT, au début du 17<sup>e</sup> siècle, fait une expérience qui "montre" que les plantes se nourrissent d'eau et non de "terre", ou plus exactement, selon ses termes, qui montre que l'eau se transforme en terre.

Cl. PERRAULT étend aux végétaux le concept de circulation.

MALPIGHI reconnaît la feuille comme organe assimilateur, en l'identifiant au poumon des animaux qui transforment le sang noir en sang rouge (1671)

MARIOTTE (1679) imagine que les principes des plantes sont des recombinaisons de principes plus simples tirés du sol.

STEPHEN HALES (1727) s'intéresse aux mouvements d'eau dans les plantes. Il affirme que la plante se nourrit d'air. Son argument est que la fermentation et la distillation sèche produisent de l'air, donc la plante se nourrit d'air.

Ch. BONNET immerge des feuilles de vigne et observe le dégagement gazeux au soleil. Mais il nie le rôle des feuilles, car séchées, elle montrent le même dégagement en eau aérée.

PRIESTLEY (1771) observe le dégagement d'oxygène : "la plante déphlogistique l'air vicié par les animaux" Il conclut que la "respiration" des végétaux est de nature inverse de celle des animaux.

INGEN-HOUSS (1779) montre que ce dégagement se fait à la lumière avec des plantes vertes. La nuit, les plantes vicient l'air comme les animaux.

SENEBIER (1782) reprend l'observation de Bonnet : les plantes ne dégagent des bulles qu'en présence de lumière et de gaz carbonique. (Il faut noter que, à cette époque, la lumière apporte sa "force vive"). Il faut situer à cette époque les importants travaux de LAVOISIER (1776) qui, jetant les bases d'une véritable chimie, ont permis de nombreux travaux.

TH DE SAUSSURE (1804) considère le carbone du gaz carbonique comme fixé par la plante. Il fait un bilan de matière et montre que l'accroissement de matière dépasse la masse de carbone fixé. Il fait intervenir l'eau et les sels minéraux.

TREVIRANUS (1835) dans son ouvrage de physiologie, sous l'influence des idées vitalistes, ignore totalement les travaux précédents : les plantes se nourrissent de matière vitale provenant de la décomposition des êtres vivants. Il sépare la matière organique et l'inorganique. Il nie la nutrition minérale. Pour lui les sels ne sont que des stimulants.

MEYEN (1838) reconnaît le rôle nutritif des sels, mais ignore la décomposition de l'acide carbonique qui produit selon lui une quantité de carbone trop faible. Il s'en tient aux apparences et néglige de calculer les masses. Les végétaux se nourrissent d'humus. Il soutient cette vieille idée qui s'appuie sur la pratique des agriculteurs. Il faut noter que les chimistes KOLBE (1825) et WOHLER (1828) ont entre temps démontré, en synthétisant respectivement l'acide acétique et l'urée, qu'il n'y a pas d'opposition fondamentale entre le monde minéral et le monde organique.

LIEBIG (1848) montre que la végétation produit de l'humus au lieu de le détruire. Il tente de ruiner ainsi la théorie de l'humus, mais il trouve un adversaire inattendu en De Saussure qui continue de défendre cette théorie pour la source d'azote.

C'est BOUSSINGAULT (1851-55) qui fera la démonstration expérimentale que l'azote est fourni sous forme minérale, et ceci avec une expérience simple mais que personne n'avait pensé à faire : cultiver sur sol purement minéral. (Liebig se contentait de varier la qualité de l'humus).

Avec cette méthode des cultures sur milieu synthétique, le rôle des divers éléments minéraux fut précisé : travaux de RAULIN, VILLE, SACHS, KNOP,... puis de MAZE (1915) pour les oligo-éléments.

Pendant cette même période, on essaie de dissocier les deux types d'échanges gazeux mis en évidence et de les mesurer. CL. BERNARD utilise les anesthésiques et un courant gazeux continu, GARREAU dissocie les phénomènes grâce à la baryte, BONNIER et MANGIN établissent un quotient des gaz en air confiné (mais ils le trouvent variable) ; MAQUENNE et DEMOUSSY et d'autres auteurs établissent que le quotient est égal à 1 et ne varie pas.

SACHS lie l'assimilation à la chlorophylle et aux chloroplastes. Il montre que le carbone est fixé par les feuilles sous forme d'amidon.

On fait donc, à cette époque, un bilan des gaz et des matières suffisamment correct.

Quant au mécanisme biochimique, il faudra attendre l'utilisation du carbone radioactif et de la chromatographie pour l'élucider. Ceci explique que, pendant près de 70 ans, la théorie de l'aldéhyde formique comme premier produit formé ait pu survivre sans être ni confirmée, ni infirmée, malgré de nombreux travaux.

Il n'existe pas, à notre connaissance, de description des principales étapes des découvertes au XX<sup>e</sup> siècle, accompagnée d'une analyse des difficultés et obstacles surmontés. Un travail reste ici à faire. Nous ne pouvons que marquer ici sommairement quelques étapes :

- dissociation du phénomène en deux phases : des réactions photochimiques d'une part, et des réactions non photochimiques.

- d'un côté donc, analyse de l'utilisation de l'énergie lumineuse par les molécules (travaux de Planck, Einstein, ...). Développement du concept de "photolyse" de l'eau, et séparation du dégagement d'oxygène d'avec la réduction du gaz carbonique. Notion de photooxydation de l'eau et formation de NADPH<sub>2</sub>. (travaux de Hill, et de Arnon, ...).

- parallèlement on montre que la carboxylation ne doit pas se faire par l'intervention directe de lumière. Une enzyme intervient. La carboxylation se fait par fixation sur une molécule acceptrice.

- puis les deux phénomènes sont réunis et articulés : les éléments nécessaires à la réduction du CO<sub>2</sub> sont fournis par NADPH<sub>2</sub> et l'ATP.

- l'ensemble de ces événements est situé dans les chloroplastes, où l'on distingue deux systèmes photochimiques disposés en série, et coopérants grâce à une

chaîne de transporteurs : le schéma "en Z".

### 2.3. Conclusions et remarques

. Le problème de la nutrition des plantes forme bien, au départ, un problème global, dans lequel on a progressivement distingué le problème de la source de carbone, celui de la source d'azote, puis celui de la source d'éléments minéraux.

. Les échanges gazeux liés aux plantes vertes n'ont été reliés au problème de l'origine du carbone que tardivement (De Saussure)

. Il est important de constater que la théorie de l'humus, dérivée des théories d'Aristote, a pu dominer et persister jusqu'en 1840 environ, en dépit des découvertes antérieures, et même être soutenue par De Saussure, malgré ses travaux sur le carbone.

Parmi les obstacles on peut noter :

. Au 17<sup>e</sup> et 18<sup>e</sup> siècle, le modèle *animal* joue un rôle déterminant. La circulation de la sève comparée à celle du sang, la feuille comparée au poumon, les vaisseaux du bois comparés par Malpighi à des trachées d'insectes, etc... empêchent la compréhension de la physiologie végétale. Il ne s'agit pas cependant d'un obstacle en soi, car cette méthode de comparaison par analogie, s'appuyant sur une certaine conception de l'unité du monde vivant a eu par ailleurs une certaine efficacité.

. Les *démonstrations quantifiées* jouent un rôle très important pour faire progresser la compréhension. L'expérience de Van Helmont, le travail de De Saussure en sont des exemples. De même Hales démontre l'absence de circulation de sève par un raisonnement quantitatif identique à celui d'Harvey pour la circulation sanguine. Il lui suffit d'inverser les données. On peut proposer l'idée de circulation sanguine, car peu d'aliments entrent par rapport à la quantité de sang. Or, beaucoup de liquide entre et sort par rapport à la masse de sève, il n'y a donc pas de circulation. A contrario, Meyen néglige l'apport de carbone par le gaz carbonique à cause de son faible volume apparent qu'il néglige de mesurer. La mesure n'est cependant pas une panacée, et le critère absolu de la scientificité. Elle permet ici, de séparer nettement les facteurs et de leur attribuer un rôle précis. Dans d'autres cas, un raisonnement qualitatif peut suffire.

des obstacles répertoriés  
dans l'histoire des  
sciences



. L'influence du *vitalisme* retarde ici la prise de conscience de l'intérêt des expériences de De Saussure, en séparant organique et inorganique. Le vitalisme n'a jamais, il est vrai, fourni de concepts permettant une expérimentation. Il n'en a pas été pour autant, dans toutes les circonstances, une théorie inefficace et rétrograde.

. Les *pratiques agricoles* courantes renforcent, dans ce cas, la théorie de l'humus, et constituent un obstacle. Mais bien évidemment, toutes les pratiques agricoles (ou autres) ne jouent pas ce rôle.

. *Le sens commun*, enfin, forme obstacle, en refusant d'admettre que l'air est pesant, puisse nourrir et former du bois.

### 3. LE DISCOURS PSEUDO-DEMONSTRATIF

#### 3.1. Notre discours est-il clair ?

Si l'on prétend analyser les représentations premières des élèves et comprendre en quoi elles interfèrent avec le discours des enseignants, rien n'empêche de le faire avec modestie car nous ne sommes jamais sûrs d'avoir nous-même évacué et critiqué nos propres représentations. Notre discours est-il clair et transparent pour nous-même ? Certainement pas. Les discussions au sein de notre séminaire pourraient en porter témoignage. On objectera que l'analyse de nos propres insuffisances n'a pas de valeur exemplaire. Nous avons donc préféré présenter l'analyse critique de quelques manuels scolaires sur quelques points précis. A quoi peut bien servir de dénigrer ou de mettre l'accent sur les "imperfections"? Nous postulons que certaines difficultés ayant un caractère non pas "accidentel", mais relativement "systématique" peuvent former un ensemble manifestant des représentations cohérentes et résistantes particulièrement dans le domaine épistémologique. Il devient alors nécessaire de s'y intéresser avec un regard différent. Elles peuvent expliquer certaines difficultés des élèves.

les enseignants  
véhiculent-ils des  
représentations ?

L'examen du *discours explicatif* en biologie fait à travers le contenu des manuels scolaires du secondaire et du supérieur conduit rarement à émettre des critiques sur le plan des connaissances. L'*erreur* de connaissance est certainement l'aspect auquel le monde universitaire et les enseignants sont le plus attentifs. C'est en tous cas le reproche le plus fréquemment entendu,

et celui considéré comme le plus infâmant. Il faudrait analyser les racines de cette attitude, ses côtés efficaces, ses aspects stérilisants, et confronter ceci aux objectifs de l'enseignement scientifique.

Mais, assez curieusement, les fautes de raisonnement à propos des expériences commentées n'obéissent pas à la même exigence. Sur l'exemple de la photosynthèse nous étudierons deux expériences : le dégagement gazeux des plantes aquatiques et l'expérience de Sachs.

### 3.2. Le dégagement gazeux des plantes vertes.

On peut faire de nombreuses critiques aux expériences proposées pour "mettre en évidence" et mesurer les divers dégagements gazeux de plantes aériennes ou aquatiques. Nous ne retiendrons ici que deux points : la composition du gaz recueilli à partir des plantes aquatiques d'une part, et la façon dont ce phénomène est relié au problème de l'assimilation.

#### Campan, Paniel. Hachette. 1ère D.1966.

Pour les auteurs de ce livre il s'agit de "mettre en évidence" le dégagement d'oxygène dont on annonce a priori qu'il est lié à l'activité assimilatrice de la plante. On ajoute cependant que "en période d'assimilation active, c'est-à-dire le jour, l'atmosphère interne de la plante (qui se dégagera sous forme de bulles après section) est constituée par 80 % d'oxygène et 20 % d'azote". Mais les deux expériences proposées demeurent qualitatives et ne s'intéressent qu'à l'oxygène. Il s'agit ici simplement d'en reconnaître l'existence grâce à deux réactifs dit caractéristiques. Un peu plus loin (p. 320) on réaffirme que le dégagement d'oxygène sous forme de bulles gazeuses est un phénomène sensible qui traduit d'une manière concrète les variations d'intensité de l'assimilation lorsque les conditions varient. Cette circonstance facilite l'analyse de l'influence de certains facteurs sur l'assimilation chlorophyllienne". Suivent la description de plusieurs expériences dans lesquelles on fait varier divers facteurs : taux de  $CO_2$ , lumière, etc... On note les variations concomitantes du dégagement gazeux sous forme de bulles. Et de conclure : "les résultats expérimentaux que nous venons d'analyser montrent qu'il est possible de suivre les variations de l'activité assimilatrice d'une plante en mesurant le volume de ses échanges gazeux. Cette mesure permet d'évaluer

du rôle des ouvrages  
de classe ... quelques  
représentations  
tenaces

l'intensité de l'assimilation. Celle-ci se définit comme étant la quantité (...) d'oxygène dégagé en un temps donné par unité de poids ou de surface foliaire".

On peut se poser quelques questions :

- en quoi a-t-on *démontré* que le dégagement gazeux est lié à l'activité assimilatrice ? On l'affirme au début, on le réaffirme à la fin, et entre temps on s'appuie sur cette affirmation pour "montrer" autre chose.
- les expressions "dégagement gazeux sous forme de bulle" et "dégagement d'oxygène" deviennent progressivement équivalentes. On passe de l'une à l'autre sans se poser de question, tout en ayant affirmé que l'oxygène ne représente qu'une certaine proportion du mélange gazeux. Il est vrai que l'on s'est bien gardé de le montrer. Car enfin rien ne permet de penser que cette proportion reste constante dans le mélange en fonction des diverses conditions. C'est d'ailleurs l'inverse qui se produit.

Camelfort et Gama. Cours Oubr Sc. Exp. 1958.

L'auteur étudie successivement (p. 322) "les échanges gazeux entre un végétal vert exposé à la lumière et le milieu extérieur", puis (p.323) "la synthèse de glucides par les végétaux chlorophylliens exposés à la lumière". Il conclut ensuite péremptoirement (p.326) par la classique équation "qui rend compte de façon globale de la photosynthèse". Il a simplement oublié d'affirmer ou de montrer, ce qu'il fera dans le chapitre suivant, que "les échanges gazeux sont directement liés à la photosynthèse, et leurs variations expriment fidèlement les variations de l'activité photosynthétique".

Quant au gaz dégagé "qui rallume une allumette ne présentant plus qu'un point en ignition, c'est de l'oxygène". Belle conclusion à partir d'un seul essai non quantitatif, qui évite donc de se demander s'il ne s'agit pas d'un *mélange* gazeux, et si sa composition ne pourrait pas *varier*.

Vincent-Vuibert. Ière D ou Term. C - 1966.

L'auteur affirme "que les manifestations extérieures de la nutrition carbonée (sont) les échanges gazeux". On sait donc d'emblée d'où vient ce gaz et l'intérêt de son étude.

Quant aux bulles qui se dégagent, "il est facile de vérifier que ce gaz est de l'oxygène : il provoque l'inflammation d'une allumette ne présentant plus

qu'un point rouge". L'affirmation est maintenue malgré une expérience quantitative qui montre que le gaz est "absorbé presque intégralement par le pyrogallate de potassium". Si ce n'est pas en totalité, que représente le reste ?

Cours Oria. Hatier. (Livre de documentation à l'usage des professeurs).

Dans ce livre, les auteurs notent comme difficulté de "la méthode des bulles" le fait qu'il y ait toujours en proportions variables un peu d'azote et de gaz carbonique. Mais examinant cette question sous l'angle des défauts de la méthode, ils estiment que la parade est impossible au lycée.

Ils n'envisagent pas que cela puisse présenter une difficulté au niveau du raisonnement et des conclusions que l'on fait sur cette expérience.

Or, la parade est parfaitement possible. L'étude est même réalisable d'une manière simple par les élèves eux-mêmes. A. Causon qui l'un des premiers a proposé un montage simple réalisable en classe pour l'étude de ce dégagement gazeux a publié la technique qu'il a utilisée pendant de nombreuses années, ainsi que les résultats obtenus avec ses élèves. On trouve également dans le projet anglais Nuffield "A. Level" une description détaillée de la microburette mise au point par Audus en 1955 et qui permet également cette étude.

Dans l'optique d'une étude quantitative, non pas comme but en soi, mais pour affiner le raisonnement, on comprend que ce genre de recherche sur la mise au point d'appareils simples mais corrects utilisables par les élèves a une importance considérable. Les travaux sont très rares dans ce domaine. Mais si l'on note que les deux difficultés soulevées se retrouvent d'une manière constante dans de nombreux manuels français ou étrangers, anciens ou modernes, du secondaire ou du supérieur, on comprend aussi à quelle résistance on se heurte.

3.3. L'expérience de Sachs et ses variantes.

Sans remonter au travail original de Sachs (1865) on trouve une description suffisante des expériences dans le livre 1ère D Bordas, coll Ch. Désiré. En quelques mots, Sachs prélève sur une feuille de Tournesol

(*Hélianthus annuus*) grâce à un emporte pièce, sur une feuille exposée au soleil, un disque le matin et un disque le soir. Ces disques sont séchés à l'étuve à 105° jusqu'à un poids constant ( poids sec ) Le poids sec le soir est toujours supérieur à celui du matin. La différence correspond à 2 g par m<sup>2</sup> de feuille et par heure. Il obtient le même résultat en détachant une feuille et en trempant le pétiole dans l'eau.

Le choix de cette deuxième expérience permet l'analyse d'une méthode quantitative portant cette fois sur les masses de matière formée et non sur les gaz. De nombreuses méthodes de ce type sont encore utilisées en agriculture et en écologie (cf. bibliographie).

On trouve dans les manuels une expérience réalisable et souvent faite en classe par les élèves. Elle dérive de l'expérience précédente mais est réalisée sur le Géranium, ou diverses autres feuilles. Cette expérience est en général décrite seule comme expérience de "mise en évidence" des synthèses chlorophylliennes, mais elle présente deux caractéristiques : d'une part elle n'est pas quantitative, d'autre part elle présente souvent une erreur grave par absence de témoin. Qu'on en juge sur cet exemple.

Cazalas, Delattre. Hachette. Cours Oubré seconde de M'.

"Choisir trois feuilles bien saines sur un pied de Géranium. Laisser la première telle quelle. Envelopper la seconde de papier noir. Découper un cercle dans le cache qui recouvrira la troisième. Placer la plante au soleil ou sous une forte source lumineuse plusieurs heures. Cueillir les trois feuilles en les repérant d'une, deux, trois encoches marginales. Les fixer immédiatement à l'eau bouillante. Les décolorer à l'alcool chaud, dans un bain marie pour éviter un accident par inflammation des vapeurs d'alcool ; sortir les feuilles de l'alcool lorsqu'elles sont devenues transparentes et les plonger dans le réactif iodo-ioduré. La première bleuit ; la seconde jaunit ; et la troisième ne bleuit qu'à l'endroit du cercle éclairé.

L'amidon étant la seule substance organique bleuisant au réactif iodo-ioduré, l'expérience prouve bien son élaboration dans les feuilles exposées à la lumière".

Or, en l'absence de *témoin préalable*, c'est-à-dire l'étude d'une feuille maintenue à l'obscurité pendant 12 heures environ, on comprend que l'on devrait ici conclure exactement l'inverse de ce qui est dit, c'est-à-dire à la disparition de l'amidon. Dire que

l'expérience prouve l'élaboration d'amidon est quelque peu abusif.

On trouvera un peu plus loin dans ce même texte la conclusion suivante : "une substance organique, l'amidon, se forme à la lumière, dans les feuilles ; il y a donc un passage du carbone minéral, celui du gaz carbonique absorbé, au carbone organique, celui de l'amidon élaboré". La présence d'un "donc" laisse supposer que la liaison entre les échanges gazeux et les synthèses se déduit, mais comment, avec quels arguments, par quel raisonnement ?

Dans la plupart des manuels la mise en relation des échanges gazeux et des synthèses n'est pas expliquée, ni justifiée. Les deux études sont simplement juxtaposées. Or, la relation n'est pas évidente.

Une telle étude devrait être étendue à un plus grand nombre de manuels étrangers, ainsi qu'à des manuels plus anciens. Par ailleurs, depuis cette étude, de nouveaux manuels sont parus dans le premier cycle, reprenant ces mêmes expériences. Par contre, dans le second cycle, un nouveau mode de présentation tend à séparer les expériences du discours général pour les disposer en encadré hors texte. Postulons que cette nouvelle méthode donnera un statut différent aux expériences dans le discours démonstratif.

#### 3.4. Conclusions.

le statut des expériences :  
preuves ou illustrations  
ou bases d'une redécou-  
verte ou faire valoir  
d'une théorie

Pour qu'apparaissent et se répètent avec une telle fréquence de telles fautes de raisonnement, de telles contradictions, il faut vraiment que l'attention soit portée ailleurs. Il faut trouver une explication. On doit se trouver face à une résistance fondamentale. En fait, si des enseignants ont soutenu une lutte polémique pendant de longues années pour introduire des expériences dans leurs cours et surtout sous forme de travail pratique, le statut de ces expériences n'est pas clairement admis. Le discours de l'enseignant n'est plus un pur et simple exposé de résultats juxtaposés sans liens. Il se veut démonstratif, et ce sont essentiellement les expériences qui jouent ce rôle de preuve. Mais les expériences jouent également le rôle d'illustration, ou de simple faire valoir à la théorie, quand elles ne servent pas de base à une "redécouverte" des notions.

Tous ces rôles sont contradictoires et il faudra élucider ce point, mais c'est un préalable indispensable :

de prendre conscience qu'une grande partie du discours de l'enseignant est pseudo-démonstratif. Les arguments sont esquissés, les expériences amorcées, rarement discutées à fond. La pseudo-conclusion tombe plaquée. On peut faire des constatations analogues dans la plupart des chapitres.

. Pour éviter de telles fautes on peut proposer deux premières solutions :

- développer l'aspect *quantitatif* des expériences proposées. Les deux autres perspectives adoptées ont montré l'importance de la prise en compte du quantitatif, non pas comme signe de la scientificité, mais pour préciser le raisonnement, et séparer les facteurs. Au niveau pratique du travail des élèves, le quantitatif coûte souvent cher en matériel de laboratoire. Dans les deux exemples analysés il n'en est rien. Le travail est possible avec du matériel simple, mais cela demande *beaucoup de temps*. Il faudra donc faire un choix en fonction de l'objectif primordial que l'on assigne à l'enseignement scientifique.

- analyser par *quel raisonnement* la liaison a été faite historiquement entre les échanges gazeux et les synthèses. Et surtout analyser quel est *le statut de ce raisonnement*.

Si l'on accepte de considérer l'intérieur de la plante comme une "*boîte noire*" puisque l'on n'a aucun moyen de savoir ce qui se passe à l'intérieur, on peut cependant faire un *bilan global* des entrées, des sorties, et des facteurs agissants. On peut alors proposer un raisonnement qualitatif tel que celui-ci : "lumière et chlorophylle sont indispensables à la synthèse de l'amidon comme à l'accomplissement des échanges gazeux chlorophylliens. On peut donc penser que synthèse et échanges gazeux ne sont que deux aspects d'un même phénomène".

On ne trouve ce raisonnement pourtant assez simple, et que l'on pourrait préciser un peu plus, que dans un seul manuel scolaire.

deux solutions pour lever les obstacles précédemment inventoriés

On peut aussi proposer un *raisonnement quantitatif* qui consiste à mettre en regard les éléments du bilan en masse des gaz et des matières à la fois en valeur absolue et en proportion, tel qu'il était réalisé vers le milieu de XIX<sup>e</sup> siècle. Ce bilan complète le raisonnement précédent, le précise et permet d'introduire la classique équation de la photosynthèse qui n'est pas uniquement qualitative.

Une conscience claire de ce mode de raisonnement implique que l'on ajoute la phrase rituelle : "tout se passe comme si...". Autrement dit on ne peut rien dire du mécanisme intime. Comprendre ceci éviterait de présenter comme une vérité déduite de l'équation la conclusion suivante : "l'oxygène rejeté par les plantes provient de la décomposition du gaz carbonique." Il est vrai que cette affirmation a été longtemps présentée comme une vérité, dans la mesure où l'on était incapable de l'infirmier. On trouve une telle affirmation dans certains manuels jusqu'en 1963 bien que le contraire ait été démontré depuis longtemps.

En fait cette équation ne joue pas tant le rôle d'*explication* que celui d'une *hypothèse* qu'il faut soumettre à l'expérience. Mais les expériences sont demeurées longtemps hors de portée de la recherche scientifique.

Au cours du progrès des connaissances, deux techniques ont tout d'abord permis d'analyser les réactions chimiques se réalisant dans "la boîte noire" : l'utilisation des isotopes radioactifs comme espions, l'analyse chromatographique à une puis deux dimensions. On démontre ainsi "aisément" que le carbone provient du gaz carbonique de l'air, tandis que l'oxygène provient de l'eau, contrairement à ce que l'on pourrait penser ! Si l'on se centre uniquement sur "les derniers résultats" du savoir, on peut penser que ces nouvelles techniques rendent caduques les études antérieures. Commençons d'emblée par le carbone radioactif. Si l'on souhaite au contraire insister sur la démarche de progression du savoir scientifique par rectifications successives, l'occasion est ici fournie de présenter un premier résultat de savoir, avec son statut épistémologique précis, puis de montrer en quoi il demeure "vrai", et en quoi il est "rectifié".



et si les élèves retenaient les raisonnements tout autant que les faits ... qu'y gagneraient-ils dans le cas de la photosynthèse ?

en quoi il est "rectifié".

. Prenant conscience du caractère non pas fortuit, mais systématique de ce genre de faute relevant non seulement de la logique, mais aussi de la compréhension de ce qu'est une explication scientifique, on peut renverser le point de vue et se demander *quel effet produit sur les élèves la pratique d'un tel raisonnement*. Car n'en doutons pas, ces raisonnements sont manipulés pendant les travaux pratiques, appris et récités. Il suffit d'examiner des copies pour s'en convaincre. Et quand le détail des connaissances factuelles disparaît peu à peu de la mémoire ne reste-t-il pas dans l'esprit ces modes de "démonstration".

Bel exemple au total, de l'abîme qui sépare les objectifs "intentionnels" (au sens de la bonne intention) que les enseignants fixent à leur enseignement ("former l'esprit rationnel", le sens de l'analyse...) et la réalité.

#### 4. INTERDIRE OU DECONSTRUIRE.

Il est temps de se demander quel intérêt pratique peut avoir cette brève étude, qu'est-ce que cela va modifier dans notre travail de classe. Si l'on considère l'attitude la plus habituelle des enseignants, les savoirs "premiers" des élèves sont, la plupart du temps, purement et simplement délaissés. Cependant, au cours des interrogations écrites ou orales, ils prennent le statut "d'erreur" ou plus exactement de "faute" puisqu'une valeur morale est attachée à l'erreur. Ces connaissances fausses sont "corrigées" (au sens de recevoir une correction !) c'est-à-dire interdites. Mais interdit ne signifie pas disparu, et le discours premier de l'élève peut donc subsister soit à l'état délaissé, soit refoulé et inconscient. Il y a donc toute chance de le voir réapparaître.

Faire apparaître les représentations "spontanées" n'est qu'une étape. Il faut aussi tenter de les "déconstruire".

de l'expression à la prise en compte des représentations dans l'enseignement

. il peut suffire de faire prendre conscience de ces obstacles pour que l'élève sache les éviter. Commencer par exemple le cours par un questionnaire du type de celui proposé, et discuter collectivement des réponses apparues pour mettre le doigt sur les difficultés.

. une attitude complémentaire consiste à prêter attention aux théories devenues fausses, quand

elles ont une valeur exemplaire. La théorie de l'humus comme source des matières carbonées, azotées et minérales est une théorie très résistante qui s'appuie sur *le sens commun et les pratiques agricoles* les plus générales encore actuellement. Le monde universitaire développant des interdits pour toute explication devenue fausse, l'erreur étant pourchassée avec vigueur, elle n'est donc, non seulement plus enseignée, mais pas même citée dans les manuels. Et c'est ainsi que *les expériences citées dans le cours changent de statut*. Réalisées initialement pour réfuter une théorie fausse, elles ne servent plus qu'à "prouver" la théorie actuellement retenue. Il est vrai que ce changement a également d'autres racines dans une conception positiviste de la science. Il est vrai aussi que des expériences telles les cultures sur milieu liquide inventées par Boussingault ont permis de "prouver" la nécessité de tel ou tel ion particulier. Même si elles réfutent d'une manière simple la théorie de l'humus, elles ont surtout fonctionné comme source de connaissance. Ce double statut est très clair, mais il ne facilite pas la compréhension.

En prenant donc le temps de faire surgir ces théories fausses et de les réfuter, on rétablit à la fois les expériences dans leur fonction épistémologique correcte, et on contribue à une meilleure acquisition des notions et théories. On contribue également à changer l'attitude face à "l'erreur", même si, nous ne le nions pas, les théories devenues fausses, sont fausses "pour toujours". Peut-être que cette attention permet au contraire de le mettre clairement en évidence.

##### 5. PERSPECTIVES INTERDISCIPLINAIRES

Nous souhaitons que notre attitude de départ apparemment "disciplinaire" ne soit pas au bout du compte incompatible avec une attention interdisciplinaire. Qu'en est-il exactement ?

. La problématique choisie nous a amené à porter une attention spéciale aux élèves, à leurs représentations, leurs modes de pensée, en un mot à valoriser ce qu'ils disent, à *les valoriser*. Et cette attitude ne se fragmente pas en fonction des circonstances.

. L'analyse critique des manuels, et l'historique conduit à penser que les errements des élèves sont également les nôtres. Ceci peut conduire à repenser l'idée que les enseignants se font de la différence

qui existe entre eux et les enseignés. Nous ne sommes pas fondamentalement *autres*. Il existe des points d'identité. Or, l'altérité est un postulat de base de l'enseignement. S'il existe une identité elle est niée. La coupure est construite. La distance nous la voulons grande, nous la creusons nous-même.

. L'idée de transfert trouve ici un point d'application sur un point précis et demanderait un examen commun avec les "physiciens".

. Nous avons rencontré un exemple de *raisonnement "en boîte noire"* dont on peut supposer qu'il se retrouve ailleurs, avec peut-être des modalités différentes.

. Nous avons buté sur un obstacle qui ne nous semble pas spécifique : le fait que les connaissances viennent en réponse à une question, à un problème, et que par ailleurs ce problème ait une "existence" dans l'esprit des élèves. Autrement dit attacher une importance à *l'existence d'une problématique* au début du cours.

. L'attention aux représentations erronées, et le soin apporté à les déconstruire nous semble également pouvoir trouver un écho dans d'autres disciplines.

Certains collègues pourront enfin trouver dans notre travail des points de rencontre que nous n'avons pas soulignés. C'est ce que nous souhaitons.

Guy RUMELHARD

Lycée Condorcet. Paris.  
Equipe de didactique des  
sciences expérimentales. INRP

## BIBLIOGRAPHIE

Sur l'analyse pédagogique des représentations, on trouvera une bibliographie détaillée dans :

- Aster (Equipe de recherche). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. Paris. INRP. 1985.
- RUMELHARD G. Représentation de la génétique dans l'enseignement. Berne. Peter Lang. 1986.

Plus spécialement sur la photosynthèse, il existe des études, actuellement non publiées, réalisées dans l'enseignement agricole. Institut National de Recherches et d'Applications Pédagogiques (INRAP. DIJON).

Pour la mise à jour scientifique :

COSTES C. (éd.) *Photosynthèse et production végétale*. 2ème éd. Paris. Gauthier-Villars. 1978.

BERKALOFF A., BOURGUET J., FAVARD P. et N., LACROIX J.C., *Biologie et physiologie cellulaires*. Tome III. Paris, Hermann. 1981.

LEHNINGER A. *Bioénergétique*. Paris. Ediscience. 1969.

MAZLIAK P. *Physiologie végétale*. Paris. Hermann. 1974.

ALLFREY V.G., MIRSKY A.E. How cells make molecules. *Scientific American*, Sept. 1961. p 74-82.

ARNON D.I. The role of light in photosynthesis. *Sc. Am.* Nov. 1960. pp. 104-109.

BASSHAM J.A. The path of carbon in photosynthesis. *Sc. Am.* Juin 1962. pp. 88-100.

RABINOVITCH E.I. GOVINDJEE R., The role of chlorophyll in photosynthesis. *Sc. Am.* 1965. pp. 74-83.

LEVINE R.P. The mechanism of photosynthesis. *Sc. Am.* Déc. 1969. pp. 58-70.

GOVINDJEE R. The absorption of light in photosynthesis. *Sc. Am.* Dec. 1974. pp. 68-80.

JOLIVET E. Les voies de la photosynthèse et la productivité. *La Recherche* n° 69. 1976. pp. 668-671.

DOUCE R., JOYARD J. Le chloroplaste. *La Recherche* n° 79. 1977. pp. 527-537.

JOLIOT P., JOLIOT A. La photosynthèse. *La Recherche* n° 88. 1978. p. 331-338.

HINKLE P.C., Mc CARTY E. Comment les cellules fabriquent l'ATP. *Pour la Science* N° 7, Mai 1978 pp. 35-53.

MILLER K. La membrane photosynthétique. *Pour la Science* n° 26 Déc. 1979. pp. 27-39.

JOYARD J., FARINEAU J. Structure et fonction des chloroplastes, in *Actes du Colloque du Centenaire de l'Ecole Normale Supérieure de St Cloud*. 1982.

PRIOUL J.L. Facteurs limitant la photosynthèse in vivo, in *Actes du Colloque du Centenaire de l'Ecole Nationale Supérieure de St Cloud*. 1982.

(Ces deux articles contiennent une bibliographie détaillée).

BJORKMAN O., BERRY J. 1973. High - efficiency photosynthesis. *Sc. American*. Octobre 1973. pp. 80-93.

#### Sur l'histoire des Sciences.

*Histoire et Nature*, Numéro spécial n° 5 - 6. 1974-75. (Introduction bibliographique à l'histoire de la Biologie p. 110).

On trouvera des extraits de textes originaux dans :

GOHAU G. *Biologie et Biologistes*. Paris. Magnard. 1978.

HILLMAN WS. *Papers in plant physiology*. New York. 1970.

Pendant longtemps la principale référence fut le livre de J. SACHS, traduit en français sous le titre *Histoire de la Botanique*, (Paris 1892), malgré des erreurs et des partis pris.

On trouvera dans TATON R. *Histoire Générale des Sciences*. Paris. PUF. 1957 les principaux points de repère.

DELAPORTE F. *Le second règne de la nature. Essai sur les questions de la végétalité au XVIII<sup>e</sup> siècle*. Paris. Flammarion. 1979.

BUGLER G. Un précurseur de la Biologie expérimentale : EDME Mariotte. *Revue d'Histoire des Sciences*. Juil. Sept. 1950.

REED H. J. *INGENHOUSZ plant physiologist*. Waltham 1949.

SCHILLER J. H. *DUTROCHET, le matérialisme mécaniste et la physiologie générale*. Paris. 1975.

Sur les travaux pratiques.

CAUSIN A. in *L'information scientifique*. Nov. 1949.

CAUSIN A. Etude pratique du rejet de gaz à la lumière par les plantes aquatiques. *L'information scientifique*. 1974. pp. 219-239.

LASCOMBES G. *Manuel de travaux pratiques de physiologie animale et végétale*. Paris. Hachette. 1968.

BALDY C.M. Analyse de la photosynthèse du Maïs dans les conditions naturelles par une méthode gravimétrique. *Oecologia Plantarum*. 6, 1971. pp. 101-114.

SESTAK Z. *Plant photosynthetic production. Manual of Methods*. Dr W. Junk, The Hague.

BALDY C.M. 1973. Contribution à l'étude de la photosynthèse apparente du blé. Application des méthodes gravimétriques en conditions naturelles. *Oecologia Plantarum* 8, 1973. pp. 247-262.

On peut également consulter les travaux non publiés, réalisés sous la direction de Mme BRACHET à l'Université Paris Sud (Orsay, Bât. 431).