

UTILISATION DES ASPECTS HISTORIQUES DANS L'ENSEIGNEMENT DE LA PHOTOSYNTHÈSE

Souad Kassou
Christian Souchon

On invoque souvent l'utilisation de l'histoire des sciences dans l'enseignement des sciences en général, de la biologie en particulier. Cet article propose d'étudier la relation à l'histoire des sciences dans l'enseignement de la photosynthèse ; ceci essentiellement à travers l'analyse d'ouvrages universitaires et scolaires.

Quelle présentation est faite de cette histoire ? Quelle transformation subissent certaines expériences historiques à travers la transposition didactique ? Quel statut est donné à ces expériences ? Quelle démarche expérimentale est présentée aux élèves ?

quels choix pour
une éducation
scientifique ?

Ce qui est enseigné en matière de science appartient toujours au passé, donc avec une référence à l'histoire des sciences, mais qui n'est cependant pas toujours explicite. La transposition didactique de la science vers la science enseignée suppose des choix d'époque et de résultats ; pulsera-t-on dans l'ancien pour faire simple, ou essaiera-t-on au contraire d'être moderne, proche de la science qui se fait ? En outre, dans une véritable éducation scientifique ces choix devraient être dûment justifiés : dans quels buts de formation, de culture, voire de préparation à une future mobilisation des savoirs ? L'essentiel serait, selon nous, d'envisager à propos d'un sujet donné, en quoi on peut faire pénétrer l'apprenant dans la démarche scientifique. Resteront alors le choix du sujet et la justification de ce choix.

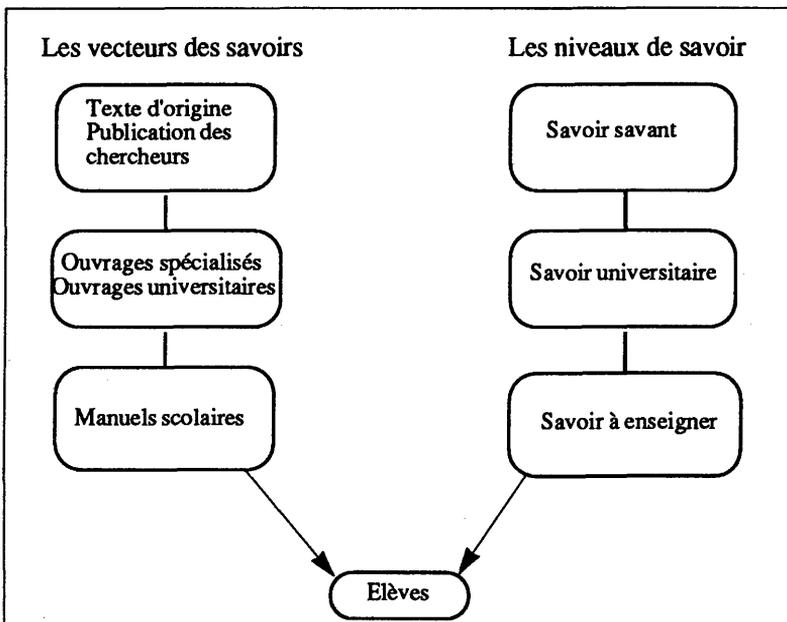
Sur ce dernier point en ce qui concerne la photosynthèse, il suffit de noter le caractère fondamental pour la vie de ce mécanisme nourricier de base de notre écosphère et par là même de l'espèce humaine. Sur le plan de la culture scientifique, c'est l'occasion de répondre à la question que les maîtres posent souvent aux élèves " *Comment les plantes se nourrissent-elles ?* " ("elles ne se nourrissent pas, parce qu'elles n'ont pas de bouche" pouvant être une première réponse !) ou une autre question moins fréquente : " *Comment se fabrique la matière des plantes ?* ".

Sur le thème de la photosynthèse un travail (1) a été entrepris afin d'examiner dans un premier temps quelle était la relation de l'enseignement scientifique à l'histoire des

(1) Thèse de Doctorat en cours de S. Kassou sous la direction de C. Souchon. UF Didactique. Université Paris 7.

problématique	sciences, ceci essentiellement à partir du contenu des manuels scolaires.
transposition didactique...	<p>La problématique développée a été orientée selon deux axes. L'un se référant à la notion de transposition didactique : "Comment passe-t-on du savoir savant des chercheurs d'une époque (savoir d'origine) au savoir pour l'élève (savoir enseigné) ?".</p> <p>L'autre cherchant à identifier les présentations de la construction de la science (ce qui est aussi un des éléments de la transposition didactique).</p>
image de la science	<p>Suivant en cela Y. Chevallard (1985) (2) dans sa présentation de la chaîne didactique qui assure la transposition, nous avons été conduits à nous placer dans une perspective d'analyse et d'utilisation des différents maillons de cette chaîne qui comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> - les textes d'origine (savoir savant) ; - les ouvrages spécialisés (savoir universitaire) qui souvent servent de source ou de référence aux auteurs de manuels ; - les manuels scolaires (savoir enseigné), dont le contenu concrétise l'une des formes de contact entre l'élève et la science. Nous avons laissé de côté l'enseignement réel donné en classe, ce qui nécessiterait une autre étude que nous ne pouvons pas mener ici.

Figure1. Éléments de la chaîne de transposition didactique



(2) Y. CHEVALLARD. *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble. La Pensée sauvage. 1985.

1. PRÉSENTATION DES HISTORIQUES DE LA PHOTOSYNTHÈSE DANS LES OUVRAGES SPÉCIALISÉS

les historiques des manuels se réfèrent plutôt à des ouvrages de physiologie qu'à des ouvrages d'histoire des sciences

Les historiques de la photosynthèse présentés dans les ouvrages spécialisés constituent la source évidente pour les auteurs de manuels et les professeurs. Dans certains livrets pédagogiques destinés aux enseignants, en complément au manuel, lorsque les sources sont signalées, celles-ci font le plus souvent référence plutôt à des ouvrages de physiologie récents, comme ceux de R. Heller (3) et de P. Mazliak (4), qu'à des ouvrages d'histoire des sciences.

Notre analyse de différents historiques de la photosynthèse (5) a été facilitée par le travail déjà réalisé par J. Ontsira (1988, manuscrit, UF Didactique, Université Paris 7) qui a consigné dans un tableau une liste des auteurs liés à l'historique de la photosynthèse et qui résume ce qu'apportent les travaux de chacun des chercheurs qui ont contribué à cette découverte de la photosynthèse.

homogénéité dans la présentation des historiques...

L'examen de ce travail fait ressortir une relative homogénéité (6) des présentations dans les historiques qui comportent schématiquement :

- une **liste de noms connus de savants** avec les découvertes qu'ils ont faites : un "consensus" est établi sur la notoriété et sur le caractère incontournable des travaux de quatre savants : J. Priestley, J. Ingen-Housz, J. Senebier, N.T. de Saussure qui sont toujours tous cités ;
- une **succession chronologique de faits scientifiques** s'inscrivant dans la liste précédente : les auteurs (des différents historiques) ont opéré **une sélection** de faits scientifiques, qu'ils ont jugé *a posteriori* utiles et essentiels dans la découverte de la photosynthèse.

-
- (3) R. HELLER. *Abrégé de physiologie végétale*. Paris. Masson. 1977.
- (4) P. MAZLIAK. *Physiologie végétale*. Paris. Hermann. 1974.
- (5) Parmi les différents historiques analysés on peut citer :
D.O. HALL et R.K. RAO. *Photosynthèse*. Paris. Vuibert. 1978.
H.S. REED "Chemical studies which led to the discovery of photosynthesis". *Chronica botanica*. vol XI. 1947. pp 295.
W.E. LOOMIS. "Historical introduction", *Encyclopedia of plant physiology*. vol 1. Berlin. Springer Verlag. 1960. pp 85-114.
- (6) Il semble que la plupart de ces historiques ont leur source dans l'ouvrage de J.V. SACHS : "*Histoire de la botanique du XVIème siècle à 1860*". (1892). Cela expliquerait leur relative homogénéité.

Figure 2 : Liste des “découvreurs” et découvertes de la photosynthèse, d’après J. Ontsira (1988) ; modifié et simplifié.

J.B. Van Helmont (1577-1644)	Expérience du saule : les plantes se nourrissent d’eau seulement.
M. Malpighi (1628-1694)	Description des stomates. Importance des feuilles : lieu de transformation de la matière brute.
S. Hales (1677-1761)	Les plantes tirent une partie de leur nourriture de l’air.
C. Bonnet (1720-1793)	Expérience avec un rameau de vigne : les feuilles placées sous l’eau et en plein soleil se couvrent de bulles d’air.
J. Priestley (1733-1804)	Découverte du rejet d’oxygène. Les plantes purifient l’air par un processus inverse de la respiration des animaux.
J. Ingen-Housz (1730-1799)	La production d’air déphlogistiqué (oxygène) n’a lieu qu’au soleil et seulement par les parties vertes des plantes.
J. Senebier (1742-1809)	Importance de l’air fixe(CO_2). Les plantes ne produisent l’air déphlogistiqué qu’en présence de lumière et d’air fixe(CO_2).
N.T. de Saussure (1767-1845)	L’assimilation du carbone s’accompagne d’une consommation d’eau.
J. Caventou (1795-1877) et J. Pelletier (1788-1842)	Isolement de la substance verte des feuilles appelée chlorophylle.
J.R. Mayer (1814-1878)	Transformation de l’énergie lumineuse en énergie chimique.
J.V. Sachs (1832-1897)	Relation entre la synthèse d’amidon et l’activité chlorophyllienne à la lumière.
J.B. Boussingault (1802-1887)	$Q(\text{CO}_2) \text{ consommée} = Q(\text{O}_2) \text{ produite}$.
T.W. Engelmann (1843-1908)	L’activité photosynthétique varie en fonction des radiations lumineuses.
C. Bernard (1813-1878) et Garreau (1812-1892)	Distinction entre la respiration et assimilation chlorophyllienne.
L. Mangin (1852-1937) et G. Bonnier (1853-1922)	Séparation des échanges chlorophylliens et des échanges respiratoires.

un aspect
linéaire...

pas de vision
globale

comment ?
pourquoi ?
éludés

les points de
départ des
historiques
différent

La sélection de ces faits scientifiques isolés d'un contexte complexe de recherche donne un aspect linéaire aux historiques. Mais ce type de reconstitution rétrospective simplifiée reste purement descriptif dans la mesure où il ne permet pas de comprendre comment s'est effectuée la construction du concept de photosynthèse. De plus cette présentation ne permet pas d'avoir une vision globale des principales découvertes réalisées par différents savants à une période donnée.

Cette attitude générale qui présente une sorte de cheminement unique et inéluctable est éminemment contestable. On peut se reporter à E. Mayr (1982) (7) qui définit l'histoire des sciences comme étant d'abord "...l'histoire des problèmes auxquels elle s'est attaquée et des solutions ou des tentatives de solutions qu'elle a proposées....mais c'est aussi l'histoire des principes fondamentaux qui forment sa charpente conceptuelle...". Pour lui, tout auteur d'histoire des sciences désirent rendre compte des progrès scientifiques d'une manière critique et approfondie doit répondre à six questions : "Qui ? Quand ? Où ? Quoi ? Comment ? Pourquoi ?".

Dans la plupart des historiques de la photosynthèse des ouvrages spécialisés et universitaires analysés, les auteurs répondent aux quatre premières questions, les deux dernières "comment ?" et "pourquoi ?" ne sont pratiquement pas retenues.

De même dans les historiques, le choix des points de départ n'est nullement justifié. Ainsi la découverte de la photosynthèse suivant les auteurs, débute :

- soit par un problème de nutrition, avec selon les historiques, une référence aux travaux de Van Helmont (exemple : W.E. Loomis, 1960) (8) ;
- soit par un problème d'échanges gazeux avec les travaux de Priestley (exemple : R. Heller, 1977).

Pourquoi ces points de départ différent-ils dans la teneur des travaux présentés et en ce qui concerne les époques ?

Par ailleurs, parmi les questions non soulevées et donc restées sans réponse devraient figurer celles-ci : quelle était la problématique des différents savants ? de quels outils conceptuels et matériels disposaient-ils ? quels étaient les problèmes scientifiques de l'époque ?

Il n'est pas fréquent que les auteurs se posent ce genre de question, cependant D.R Hershey (1991) (9), à propos de Van Helmont et de son expérience sur la croissance du Saule, explique comment a procédé Van Helmont, pourquoi il a réalisé cette expérience et dans quel contexte. Il pense

(7) E. MAYR. *L'évolution*. Paris. Belin. 1982.

(8) W.E. LOOMIS. "Historical introduction", *Encyclopedia of plant physiology*. vol 1. Berlin. Springer Verlag. 1960. pp 85-114.

(9) D.R. HERSHEY "Digging Deeper into Helmont's Famous Willow Tree Experiment". *The American Biology Teacher*. vol 53. n° 8. november/december 1991. pp 458-460.

qu'on pourrait utiliser cette expérience dans une perspective d'analyse des aspects concrets de la pratique scientifique.

histoire des
théories
gagnantes...

Dans ces **historiques linéaires** la science apparaît comme un continuum de réussites sans rupture ni débat, il y a priorité à l'**histoire des théories gagnantes**. Les auteurs **ont éliminé de leur exposé les théories erronées, les controverses qu'elles ont suscitées**.

la théorie de
l'humus...

Dans le cas précis qui nous intéresse, on rencontre un exemple tout à fait pertinent et sûrement très important de ce type d'oubli, de démarche, qui par la présentation linéaire écarte l'existence des doutes et débats, c'est l'occultation de la controverse entre les tenants de la théorie de l'humus et ceux qui la dénoncèrent en faveur d'une théorie minérale de la nutrition et du prélèvement du carbone dans le CO_2 de l'atmosphère.

Il convient de rappeler ce qu'est la théorie de l'humus. Cette théorie aurait ses "racines" dans la conception d'Aristote sur la nutrition des plantes selon laquelle la nutrition des plantes est réduite aux **fonctions des racines** : la matière organique de la plante ne peut provenir que de matière pré-existante, l'humus du sol.

J. Boulaïne (1989) (10) situe la période de maturité de la théorie de l'humus à la moitié du 18ème siècle avec les travaux de Wallerius en 1761. Parmi les défenseurs de cette théorie on trouve ensuite un grand nombre d'agronomes dont J. Hassenfratz (1792) et Thaer (1802) qui vulgarisa le mot humus.

L.K. Nash (1952) (11) dans un ouvrage spécialisé d'histoire des sciences, rappelle de façon presque incidente un débat entre Hassenfratz et Ingen-Housz sur l'origine du carbone, sans d'ailleurs montrer en quoi il s'agit d'un débat scientifique, car il s'attache seulement à identifier certains types de raisonnement chez les deux protagonistes, dont celui de Ingen-Housz qu'il juge "téléologique".

débat
Hassenfratz-
Ingen-Housz

En 1792, Hassenfratz (12) publiait en effet dans les *Annales de Chimie* un texte dans lequel il tentait de démontrer que le carbone des végétaux provient du sol (de l'humus du sol) et qu'il est absorbé par les racines. Son argument était que là où il y a du fumier, donc du "charbon" en dissolution dans l'eau du sol (ou du carbone, mais probablement pour Hassenfratz de l'humus, le mot n'ayant été vulgarisé qu'un peu plus tard, en 1802 par Thaer), la végétation est plus "forte" et plus "vigoureuse" : "... de toutes les manières d'expliquer l'accroissement du carbone dans les plantes par

(10) J. BOULAINÉ. *Histoire des pédologues et de la science des sols*. Paris. INRA. 1989.

(11) L.K. NASH. "Plants and the atmosphere". *Harvard Case Histories in Experimental Science*. vol 2. Harvard. University Press. Cambridge (Mass.). 1957.

(12) J. HASSENFRTZ. "Sur la nutrition des végétaux, troisième mémoire". *Annales de chimie*. Tome quatorzième. 1792. pp 55-64.

l'acte de la végétation, celle qui a un rapport plus direct avec les engrais, celle qui s'accorde le mieux avec tous les faits connus, est la dissolution du charbon dans l'eau, sucé ensuite par les racines et déposé dans l'intérieur des plantes ; qu'ainsi le charbon dissous dans l'eau est une des substances nutritives des plantes...

Ce texte d'Hassenfratz venait en contradiction avec les écrits d'Ingen-Housz de 1782 qui concluait à ce qu'on appellerait maintenant l'utilisation du gaz carbonique de l'air par les végétaux. En 1796, en réaction au texte d'Hassenfratz sur l'absorption par les racines du carbone, Ingen-Housz (13) rappelle ses travaux antérieurs : "...Dans l'été 1779, je découvris que les végétaux étaient incessamment occupés à décomposer l'air avec lequel ils étaient en contact, qu'ils en changeaient une grande partie en air fixe, qu'on appellerait aujourd'hui acide carbonique (14)... Je trouvai que les racines, les fleurs et les fruits étaient continuellement occupés à cette décomposition même lorsqu'ils étaient exposés au soleil ; mais que les feuilles et les tiges vertes cessaient cette opération, lorsque le soleil ou un jour clair brillait sur elles, moment pendant lequel elles produisaient une quantité considérable de l'air le plus pur et de plus rendaient l'air atmosphérique avec lequel elles étaient en contact plus pur ou plus approchant de l'air vital..."

Ingen-Housz oppose par ailleurs aux arguments d'Hassenfratz la difficulté qu'il y a à expliquer comment un arbre de grande dimension peut tirer du même sol et durant des siècles les substances nutritives dont il a besoin et notamment du carbone : "...Un grand arbre trouve pendant des siècles entiers, sa nourriture au même endroit . Comment expliquer ce fait dans le système de M. Hassenfratz, qui suppose que le principal aliment des plantes est le charbon et que ce charbon n'est pas tiré de l'acide carbonique, dont il constitue suivant Lavoisier à peu près le tiers (28/100). Ce physicien admet comme bien fondé ma découverte que les plantes, dans l'obscurité, produisent de l'acide carbonique, et que les racines toujours privées de lumière sont par conséquent toujours occupées à cette production. Il y a partout, dans le sol, de l'air atmosphérique. Or cet air seul , comme je l'ai prouvé, fournit de l'acide carbonique même sans le ministère des plantes. Cette vérité nous indique quelle est la source de ce carbone, et elle nous explique comment les plus grands arbres trouvent pendant des siècles cette immense quantité d'aliments dont ils ont besoin pour vivre, croître et produire constamment et des fleurs et des fruits ; aliments dont sans doute ils puisent une partie dans le sol, mais qu'ils

comment
expliquer qu'un
grand arbre
trouve pendant
des siècles sa
nourriture au
même endroit ?

(13) J. INGEN-HOUSZ "Essai sur l'aliment des plantes et sur la rénovation des sols". *Annales d'agriculture française*. Tome 6. An 9. pp 170-203 et 365-401. 1796.

(14) "Acide carbonique" est, aux 18ème et 19ème siècles, le nom donné au dioxyde de carbone.

tirent, je crois, principalement de l'atmosphère par le moyen de leurs feuilles, qui absorbent et décomposent l'air avec lequel ils sont en contact..."

On notera qu'Ingen-Housz n'affirme pas que les plantes tirent la totalité de leur carbone du gaz carbonique de l'air, mais seulement une "partie", "principalement".

Poursuivant sa démonstration à l'encontre d'Hassenfratz, Ingen-Housz pose ensuite le problème de la faible teneur en gaz carbonique de l'air, et il y répond d'ailleurs avec un relatif embarras : "...M. Hassenfratz paraît croire que les plantes ne tirent pas le carbone (qui suivant lui, est leur principal aliment) de l'acide carbonique, mais le trouvent tout préparé dans le fumier; il me semble plus probable qu'elles le tirent principalement de l'acide carbonique, une substance qui se décompose facilement en reproduisant les deux ingrédients qui la constituent, à savoir l'oxygène et le carbone. Le fumier comme tous les engrais, produit une grande quantité d'acide carbonique, soit par lui-même, soit en décomposant l'air avec lequel il est en contact. Mais ici semble s'élever une difficulté, on demandera comment une plante ou les engrais peuvent tirer l'acide carbonique de l'air atmosphérique qui n'en contient, suivant les nouveaux systèmes, seulement 1/100; et, suivant M. Lavoisier point du tout.. Quoique dans ces principes on ne put donner du fait une explication théorique, je crois qu'on ne peut nier son existence, et qu'il est prouvé, par des observations suffisantes, que l'air commun fournit par lui-même tous les ingrédients nécessaires à la composition de l'acide carbonique ainsi qu'on le verra ci-après. Ces faits incontestables indiquent ces quelques erreurs dans la nouveau système. C'est ce que je laisse à résoudre à de meilleurs juges..."

Lavoisier :
"pas d'acide
carbonique dans
l'air..."

Nash dans son historique présenté comme une histoire des échanges gazeux, semble admettre que le débat sur la théorie de l'humus est clos après cette passe d'armes entre Ingen-Housz et Hassenfratz à la fin du 18ème siècle. Sachs (1892) et Boulaine (1989) attribuent pourtant seulement à Liebig le mérite d'avoir ruiné en 1840 la théorie de l'humus : d'une part, J. Liebig (15) établit que la végétation produit de l'humus au lieu de le détruire, et d'autre part il montre, par des calculs fondés sur des expériences eudiométriques que la quantité d'acide carbonique contenue dans l'atmosphère peut suffire pour la synthèse de matière organique de la végétation du globe entier.

fin du 19ème
siècle, la théorie
de l'humus
subsiste...

Cependant, à la fin du 19ème siècle (soit plus de cinquante ans après les travaux de Liebig), on voit de nouveau soulevé cette question de la nutrition organique, alors que l'on aurait pu la croire un instant définitivement résolue. L'idée que l'on n'a pas de "preuve expérimentale absolue" que le carbone ne peut provenir d'une source autre que le CO₂

(15) J. LIEBIG. *Chimie appliquée à la physiologie et à l'agriculture*. Paris. 1844.

atmosphérique (CO₂ du sol, ou des substances organiques) existe encore à cette époque.

1903,
Laurent :
des matières
organiques
solubles puisées
par les racines

C'est ainsi, qu'au début du 20^{ème} siècle, un certain nombre de chercheurs se sont orientés vers l'étude de l'absorption par les racines de substances organiques. On peut citer les travaux de M.J. Laurent (16) (1903) dont les recherches sur le rôle des matières organiques dans la nutrition des végétaux, ont été entreprises à l'aide de cultures en milieux liquides stérilisés. Laurent étudia par diverses méthodes l'absorption de diverses substances, glucose, amidon, glycérine, humus... et leur mode d'utilisation par la plante. Les conclusions de Laurent ont été les suivantes : "... *Les racines des plantes vertes peuvent puiser directement dans le milieu extérieur un certain nombre de matières organiques solubles : les unes, directement assimilables, comme le glucose, sont immédiatement utilisées ; d'autres comme la glycérine, sont en partie mises en réserve sous forme d'amidon qui est digéré ultérieurement à l'intérieur des tissus... quant à l'humus, dont le rôle comme aliment a été si discuté, j'ai vérifié son absorption directe par le maïs et établi qu'à l'état d'humate de potassium il facilite l'assimilation du carbone et se comporte ainsi à la façon d'un sel minéral...*".

(Les expériences de Laurent consistaient à cultiver de jeunes plants de maïs dans un milieu contenant de l'eau distillée et un poids connu de glucose (par exemple). Après quelques jours il pratiquait le dosage du glucose à l'aide de la liqueur de Fehling).

En 1912, M. Molliard (17), dans un compte rendu à l'Académie des sciences, pose encore la question : " *L'humus est-il une source directe de carbone pour les plantes vertes supérieures ?*".

1952 : le CO₂
peut aussi être
absorbé par les
racines

En 1952 trois russes Kursanov, Krjukova et Vartapetjan(18) étudient l'absorption par les racines de carbonate marqué avec du ¹⁴C radioactif. Ils placent des racines de jeunes plants de Haricot dans un milieu contenant une solution de carbonate marquée au ¹⁴C, ou dans une enceinte contenant du CO₂. Les mesures effectuées, indiquent la possibilité d'une absorption assez importante, par les racines de dioxyde de carbone (ou du bicarbonate) pour la photosynthèse des feuilles, et spécialement pour les tiges vertes.

(16) M.J. LAURENT. "Recherches sur la nutrition carbonée des plantes vertes à l'aide de matières organiques". *Revue générale de botanique*. T XVI. 1904. pp 14-48 et pp 66-240.

(17) M. MOLLIARD. *Oeuvres scientifiques : la plante et son milieu..* réédité par les soins d'un groupe d'élèves et d'amis. 1936.

(18) KURSANOV, KRJUKOVA, VARTAPETJAN. "L'apport de CO₂ par les racines". *Comptes rendus de l'académie des sciences d'URSS*. T 85, n° 4. 1952. pp 913-916.

L'analyse de ces différents historiques montre un certain nombre de difficultés. La première est de se repérer dans un ensemble de productions souvent très spécialisées et très pointues, et de tenir compte des aspects controversés.

à partir de
quelle question
écrit-on
l'histoire ?

Vient ensuite le problème de savoir à partir de quelle question on écrit l'histoire? Dans le cas qui nous intéresse ici les historiques débutent le plus souvent par une **histoire de la nutrition des plantes**. Pour Van Helmont la question est bien de savoir de quoi se nourrit la plante et à quoi est due son augmentation de poids. Puis après, avec les travaux d'Hales, de Priestley, Ingen-Housz et Senebier on passe à une **histoire des échanges gazeux**, avec une étude du comportement des plantes par rapport à l'atmosphère. On revient à une histoire de la nutrition mais cette fois-ci à propos de la **nutrition minérale** avec de Saussure, Liebig et Sachs ; puis on passe à une **histoire du rôle de la chlorophylle** ; ensuite en s'intéressant notamment à l'action de la lumière et au rôle qu'elle joue, on se tourne vers une **histoire énergétique de la photosynthèse**.

2. LA PLACE DE LA DIMENSION HISTORIQUE DANS L'ÉTUDE DE LA PHOTOSYNTHÈSE AU NIVEAU DES MANUELS SCOLAIRES

2.1. La référence à l'histoire dans les manuels scolaires

dans les manuels
scolaires...

Notre objectif, ici, est d'analyser la manière dont les manuels de biologie de l'enseignement secondaire présentent les épisodes de l'histoire des sciences, dans le cas précis qui nous intéresse : l'étude de la photosynthèse. Nous avons étudié une vingtaine de manuels scolaires édités à des périodes différentes (le plus ancien date de 1881, le plus récent de 1988), et donc rédigés par des auteurs différents, ceci dans le but d'établir une évolution, des différences selon les époques, de l'importance accordée à l'histoire des sciences.

... une place
infime est
accordée à
l'histoire des
sciences...

De tout temps, les auteurs de manuels scolaires n'accordent qu'une place infime à l'histoire dans l'étude de la photosynthèse ; on pourrait même dire de moins en moins car les manuels les plus récents (1988) (19) ne font référence à cette histoire que par des noms de savants isolés (les auteurs suivent en cela l'esprit des nouveaux programmes qui se prononcent plutôt pour "une approche actualisée" des contenus scientifiques) (20).

Lorsqu'il y a évocation historique, celle-ci peut généralement être schématisée selon plusieurs formes dominantes.

(19) Collection Tavernier. *Biologie-Géologie. 1ère S.* Bordas. 1988.
Collection Escalier. *Biologie-Géologie. 1ère S.* Nathan. 1988.

(20) Instructions officielles pour le second cycle. CNDP. Paris. 1986.

- Soit on a un aperçu historique en introduction au cours : énumération de savants isolés, de dates et des concepts que ces scientifiques sont censés avoir établis ou "découverts" (on retrouve dans ces aperçus historiques la conception de l'histoire des ouvrages universitaires, histoire linéaire des idées, décontextualisée).
- Soit une présentation d'"expériences historiques" est faite dans la partie documentaire précédant le cours (ou dans l'exposé du cours ou dans la partie exercice en fin de chapitre). Ces expériences sont introduites soit sous forme d'extraits (rarement), soit racontées par les auteurs de manuels (le plus souvent).
- Soit il y a une évocation du nom de savants cités en référence à un procédé technique (méthode de C. Bernard dite des anesthésiques, méthode de Tswett de séparation des pigments de chlorophylle), ou à des liquides physiologiques (liquide de Knop et liquide de Sachs), ou à l'établissement de "lois" (Blacman et la loi du minimum).

... sans aborder véritablement la construction historique des savoirs

Les manuels n'abordent pas la question de la construction historique des savoirs sur la photosynthèse, dans la mesure où l'enseignement est presque exclusivement organisé autour de l'énoncé des résultats de la science, qui présente les concepts tout construits et comme ne relevant pas d'une histoire et de ses péripéties.

Dans l'enseignement des sciences biologiques, on met en avant la formation de l'esprit scientifique, or les apports dans ce sens mériteraient d'être examinés avec soin. Suffit-il d'une référence à "La Méthode Expérimentale" ou d'exercices demandant d'analyser, de montrer, d'interpréter, pour faire comprendre quelles peuvent être les bases concrètes de la démarche scientifique ? Dans une telle perspective, le rôle donné dans l'enseignement, aux expériences est essentiel. Nous essaierons d'examiner ici le statut implicite des "expériences historiques" présentées dans les manuels.

2.2. Le statut des expériences historiques et l'apport à l'enseignement de la démarche scientifique

L'analyse de l'utilisation de certaines expériences historiques, dans l'exposé du cours des auteurs de manuel, permet une certaine réflexion sur le statut donné à ces expériences. Le principal obstacle pour un apport réel à l'enseignement de la démarche scientifique réside, selon nous, dans la rédaction d'exposés qui se veulent démonstratifs *a posteriori*. Le plus souvent, la problématique dans laquelle les auteurs de manuel situent de telles expériences, n'a aucune ressemblance avec celle pour laquelle elles ont été conçues. Nous illustrerons nos propos à l'aide d'un exemple : la présentation et l'utilisation des "expériences" de Priestley.

quel est le statut des expériences "historiques" ?

• Problématique et expérience(s) d'origine

l'expérience de Priestley dans le cadre de la théorie du phlogistique

Priestley (21) travaillait sur les modifications de la qualité de l'air en rapport avec la respiration, dans le cadre de la théorie du phlogistique. Lors d'une expérience sur les végétaux, il établit que les plantes ont la capacité de "...rétablir l'air vicié par la respiration des animaux ou par la combustion d'une chandelle...", alors qu'au départ il pensait que les végétaux comme les animaux viciaient l'air environnant. Il explique le rétablissement de la qualité de l'air permettant la vie, par l'absorption par les plantes du phlogistique dont l'air est surchargé par la combustion des corps inflammables.

Dans son expérimentation Priestley utilise une technique assez simple : croissance d'une plante dans un milieu à air confiné sous l'eau. Il constate un changement qualitatif de l'air opéré par la plante, inverse de celui produit par les animaux. L'analyse qualitative de l'air sera faite par le "test" de la souris et de la chandelle :

- la souris placée dans cet air ne meurt pas,
- la chandelle s'allume.

C'est cette série d'expériences qui apparaît dans les manuels scolaires.

• Présentation dans les manuels scolaires:

Nous avons analysé et comparé la présentation des travaux de Priestley dans deux manuels différents édités à près de cent ans d'intervalle : la conception des auteurs sur l'histoire des sciences et sur la démarche expérimentale n' a guère changé !

	Transposition		Approche initiale
	P. Bert 1881, Ed. Colin	Escalier, 1988, Ed. Nathan	Priestley, 1772
Problématique (question posée)	Absorption de l'acide carbonique de l'air.	Origine du carbone de la matière organique.	Comportement des plantes par rapport à l'atmosphère.
Conclusion	"La plante a repris l'acide carbonique".	"La plante a utilisé le CO ₂ ".	"Les plantes bien loin d'affecter l'air de la même manière que la respiration animale produisaient des effets contraires et tendaient à conserver l'atmosphère douce et salubre".

(21) J. PRIESTLEY. *Expériences et observations sur différentes espèces d'air*. vol 1. Paris. 1780.

Comme on peut le constater dans le tableau ci-dessus, les travaux de Priestley sont présentés un siècle et deux siècles plus tard dans le cadre d'une problématique différente de la problématique d'origine. Les questions auxquelles on fait répondre l'expérience, ne sont pas les mêmes.

Pour P. Bert la question est "...y a-t-il absorption de l'acide carbonique de l'air...", et la réponse est "La plante a repris l'acide carbonique...". Pour Escalier la question porte sur "L'origine du carbone de la matière organique", et la réponse est "... La plante a utilisé le CO₂".

dans les manuels :
l'expérience de
Priestley...

Dans son dernier paragraphe P. Bert explique clairement que l'interprétation des expériences anciennes doit se faire à la lumière des connaissances d'aujourd'hui. Chez Escalier la méthode pédagogique est plus contestable, l'expérience de Priestley est présentée sous forme de citation tout à fait digne de figurer dans une rubrique historique, mais ensuite l'interprétation est entièrement déconnectée de tout contexte historique.

... une
expérience
illustrative

Que peut en effet réellement démontrer une telle expérience ? Elle ne permet certainement pas de mettre en évidence l'absorption de CO₂, encore moins son utilisation par la plante. En fait cette expérience permet juste de noter un changement qualitatif de l'air sous la cloche (ce qui est d'ailleurs la conclusion de Priestley). L'expérience, dans les deux cas présentés ici dans les manuels, n'apporte rien, elle est seulement "illustrative", sans approche réelle de l'expérimentation et de la démarche expérimentale d'un point de vue historique. Une interprétation moderne se trouve placée artificiellement et de façon péremptoire.

diminué de poids; au contraire, la pousse du second, qui est restée à la lumière, est **verte**, et le tout a **augmenté de poids**.

231. La lumière fait augmenter de poids. — Ainsi la lumière fait **vertir et augmenter le poids**. Mais où la plante a-t-elle pris ce qui l'a fait augmenter de poids en matières sèches? car je ne compte pas l'eau, s'entend. L'a-t-elle pris dans la terre ou dans l'air?

De la façon dont l'expérience a été faite, ce n'est pas la terre qui a pu fournir quelque chose. Le pot était plein de brique pilée; il eût pu être plein de porcelaine ou de verre pilé, peu importe. La plante n'a trouvé là-dedans rien à prendre, et il serait facile de montrer que la brique n'a pas perdu de son poids.

3. Mais alors c'est donc dans l'air? Ah! cela est bien fini. Mais qu'a-t-elle pris dans l'air? Ah! cela est bien curieux, et a été bien difficile à découvrir. 2. Eh bien, **raplant pour essayer, a pris l'acide carbonique contenu dans l'air, car il y en a toujours, l'a décomposé, a gardé le carbone et rendu l'oxygène.** Je vais vous le prouver tout de suite.

232. Absorption de l'acide carbonique de l'air. — Au siècle dernier, un chimiste nommé Priestley a vu que deux souris sous une cloche : naturellement celles-ci avaient fini par y mourir asphyxiées, ayant consommé presque tout l'oxygène de l'air, et ayant formé de l'acide carbonique. Il eut ensuite l'idée, je ne sais trop pour quelle raison, d'introduire dans cet air une plante mince de ses feuilles. *Celle-ci n'y mourut pas*, comme avaient fait les souris, au contraire, elle parut s'y bien porter; cela était déjà assez intéressant. Mais voici le plus étonnant. Au bout de quelques jours, Priestley relira la plante, et remarqua un nouveau souris. Or, celle-ci vint dans cet air qui avait été mortel à ses semblables; elle ne mourut que dans le laps de temps ordinaire, asphyxiée à son tour. Ainsi la plante avait purifié, rendu respirable l'air altéré par les animaux.

Qui fut étonné? ce fut Priestley. Et il y avait de quoi! D'autant plus que dans ce temps-là, on ne savait pas bien ce que c'était que l'air, l'acide carbonique, l'oxygène. Tout cela dut lui paraître bien obscur.

3. On la plante a-t-elle pris ce qui l'a fait augmenter de poids en matière sèche? — 2. Qu'a-t-elle pris dans l'air? — 1. Elle a pris l'acide carbonique de l'air et rendu l'oxygène.

F. BERT. — 30 APRIL 1881. SCIENS.

Aujourd'hui on voit très clair là-dedans, grâce à la chimie. On sait, comme je vous l'ai dit, que **les plantes absorbent l'acide carbonique, le décomposent en gardant le carbone, et laissent échapper l'oxygène**. Ainsi tout s'explique dans l'expérience de Priestley. Les souris avaient consommé l'oxygène de l'air de la cloche, et avaient en outre empoisonné cet air de l'acide carbonique produit par leur respiration; un animal n'y pouvait plus vivre. La plante a repris l'acide carbonique, a gardé le carbone et restitué l'oxygène, en telle sorte que l'air est redevenu respirable.

233. Rôle des parties vertes et de la lumière. — En examinant les choses de près, on s'est aperçu qu'il faut deux conditions pour que la plante fasse cette œuvre de purification de l'air. 1. **Il faut qu'elle soit verte**; car ce sont seulement ses parties vertes qui décomposent ainsi l'acide carbonique; 2. **il faut que la plante soit exposée au soleil, ou tout au moins à la lumière**. Sous cette condition, la décomposition de l'acide carbonique est d'autant plus rapide qu'il y a plus de lumière; elle cesse complètement à l'obscurité.

234. Expérience. — Je me suis engagé à vous prouver tout ce que je viens de vous dire. Nous allons en effet, faire une expérience. Voici un



grand bocal en verre blanc, bien transparent (fig. 6); il est rempli d'eau de la fontaine, que j'y ai mise il y a quelques heures pour qu'elle ne soit pas trop froide. Pierre, allez chercher dans le tonneau d'arrosage de l'eau, et puis le carbone et le gaz de l'oxygène.

Sous l'influence de la lumière, les conferves vertes ont décomposé l'acide carbonique de l'eau, ont pris le carbone et déposé aux parois, et qu'on nomme les conferves. — Ilon. Je les applique sur le bord de mon bocal, et les voici qui flottent dans l'eau.

Nous sommes ici à l'ombre; portons notre bocal en plein soleil, et attendons un instant. Voyez-vous maintenant se former en quantité, sur les brins verts, de petites bulles de

1. Quelles conditions doit remplir une plante pour décomposer l'acide carbonique de l'air et restituer l'oxygène?

IV. L'origine du carbone de la matière organique

A. LES PLANTES UTILISENT LE DIOXYDE DE CARBONE

1. Historique

a. Expérience

Après plusieurs observations, Priestley décrit ainsi l'expérience qu'il réalise :

« Le 17 Août 1771, je mis un pied de Menthe dans un volume d'air où une bougie avait cessé de brûler ; je trouvai que le 27 du même mois, une autre bougie pouvait y brûler parfaitement bien. Je répétai cette expérience sans la moindre variation dans le résultat, jusqu'à 8 ou 10 fois pendant le reste de l'été. »

b. Conclusion

Si la bougie avait cessé de brûler, il ne devait plus y avoir beaucoup d'oxygène mais du CO_2 avait dû s'accumuler. Le mélange gazeux présent après la combustion semble convenir à la plante.

Lorsque la Menthe est restée un certain temps dans ce mélange gazeux, une autre bougie peut brûler à son tour donc il y a eu augmentation de la quantité d' O_2 et des dosages précis montreraient une diminution de la quantité de CO_2 .

La plante a utilisé le CO_2 .

Biologie Géologie 1ère S, Collection Jacques Escalier, Nathan, 1988, p. 18.

3. INTÉRÊT DE L' UTILISATION DE L'HISTOIRE DES SCIENCES DANS L'ENSEIGNEMENT

3.1. Pourquoi l'histoire des sciences?

Un enseignement presque exclusivement organisé autour de la présentation des résultats de la science engendre une situation pédagogique qui produit une représentation déformée de la pratique scientifique. On peut toutefois introduire des mesures ré-équilibrantes. En se tournant vers l'histoire

des sciences et en étudiant un cas particulier en détail, les élèves pourraient être amenés à apprécier un problème de recherche, son développement et son éventuelle transformation.

aborder la réalité
concrète des
démarches
scientifiques

L'accent pourrait notamment être mis, sur la réalité concrète des démarches scientifiques, rôle du matériel expérimental, problème de sa conception, statut des expériences etc. Par ailleurs, l'étude des contextes (histoire des débats, difficultés, retours en arrière éventuels etc.) permettrait de replacer les méthodologies dans les perspectives théoriques. Il est certain que seul un nombre limité de questions peuvent ainsi être abordées, et qu'un travail de transposition didactique et de production d'aides didactiques, doit être effectué au préalable, pour fournir au maître de réelles possibilités d'utilisation d'une telle approche.

essai de
démarche
pluridisciplinaire

Le récent ouvrage d'Audigier et Fillon (22) montre cependant, la difficulté de fixer des objectifs à l'utilisation de l'histoire des sciences. Ceux-ci peuvent être extrêmement variés et, le risque d'interprétation implicite de faits historiques à la lumière d'acquis postérieurs est toujours présent. Par ailleurs, malgré les efforts présentés dans cet ouvrage, il semble bien que l'approche pluridisciplinaire reste davantage dans le domaine de la "juxtaposition" que dans celui de la comparaison, ou même que dans celui de la remise en situation de découverte scientifique, dans le contexte culturel général de l'époque. Les essais d'établissement de trames conceptuelles paraissent cependant une méthode permettant d'éviter de tels écueils.

3.2. Comment ?

Une des façons d'utiliser l'histoire des sciences est de partir, comme le propose Canguilhem (1968) (23), d'une question importante, mais en se situant à son époque avec le savoir qui est en amont et, qui lui est contemporain. Dans le cas précis qui nous intéresse, une des approches possibles est de débiter l'étude de la photosynthèse par un problème de nutrition : "... On partirait de documents bruts, pour en dégager les problèmes et en tirer des concepts d'abord grossiers, puis de plus en plus fins..." Gohau (1987) (24).

l'expérience de
Van Helmont...

L'expérience de Van Helmont (expérience "boudée" par les auteurs de manuel, très peu y font référence) constitue pour cela un exemple intéressant pour poser la problématique de départ, ceci à condition de la situer dans le cadre de son contexte de création : en désaccord avec la théorie des quatre éléments d'Aristote. Van Helmont ne se réfère plus

(22) F. AUDIGIER et P. FILLON. *Enseigner l'histoire des sciences et des techniques, une approche pluridisciplinaire*. Paris. INRP. 1991.

(23) G. CANGUILHEM. *Etude d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris. Vrin. 1968. rééd. 1983.

(24) G. GOHAU. 'Difficultés d'une pédagogie de la découverte dans l'enseignement des sciences'. *ASTER n° 5*. INRP. 1987.

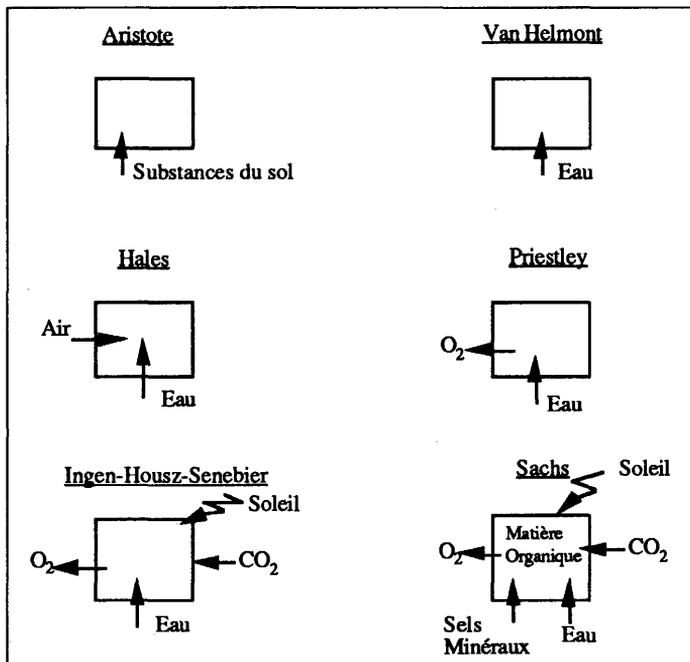
qu'à l'existence de deux éléments, l'air et l'eau qui ne seraient pas transformables l'un dans l'autre, et l'augmentation des matières résulterait de l'eau seule. La conclusion de Van Helmont est alors inévitablement celle qu'il donne "l'eau se transforme et donne la matière du saule". L'interprétation moderne de l'augmentation de masse du végétal est autre aujourd'hui, mais une expérience destinée à mettre en évidence la formation de la biomasse resterait la même.

... pourquoi ?
comment ? sa
conclusion ?

Les quelques auteurs de manuels qui présentent cette expérience du saule, ponctuent leurs commentaires de jugement de valeur sur les conclusions "erronées" de Van Helmont. Pourquoi ne pas se placer dans une autre optique, et voir, comme l'a fait Hershey (1991), pourquoi et comment Van Helmont est arrivé à cette conclusion ?

Cette expérience peut être ensuite intégrée dans un schéma d'ensemble où l'on considérerait l'intérieur de la plante comme une "boîte noire" et où l'on pourrait faire un bilan global des entrées, des sorties et des facteurs agissants (Rumelhard, 1985) (25). Suivant en cela cet auteur nous proposons, afin de donner aux enseignants et à des élèves de 15 à 17 ans environ (niveau première S), une vue synthétique des conceptions sur la "photosynthèse" à diverses époques, une série de schémas simplifiés (figure 3).

Figure 3. Schémas synthétiques de la découverte de la photosynthèse.



(25) G. RUMELHARD. "Quelques représentations à propos de la photosynthèse". ASTER n° 1. INRP. 1985.

Par ailleurs des courts exposés sur les contextes à une époque donnée et sur les débats et controverses, pourraient compléter cette première approche : voir par exemple le profit que l'on pourrait tirer de la référence au très long débat sur "la théorie de l'humus".

Enfin des aides didactiques concrètes à propos de certaines expériences mériteraient d'être pensées avec soin, exemple : aide 1.

AIDE 1: L'expérience de Van Helmont

L' utilisation, d'un point de vue pédagogique, de cette expérience pourrait revêtir un intérêt pour les élèves dans la mesure où l'analyse de cette expérience leur permettrait une réflexion critique de la pratique scientifique.

1/ Présentation aux élèves du texte traduit (le texte d'origine est écrit en latin) de Van Helmont

Ce texte peut être l'occasion d'interroger les élèves sur certains aspects de la démarche scientifique comme repérage de la problématique de Van Helmont, ses hypothèses, le protocole expérimental utilisé, les interprétations et conclusions de Van Helmont.

2/ Discussion sur un ensemble de points précis

- Adéquation entre la problématique et le choix de l'expérimentation.
- Faiblesses de l'expérience par rapport à certains critères actuels de l'expérimentation :
 - . importance de témoins dans une expérience,
 - . répétition de l'expérience.
- Techniques utilisées par Van Helmont pour faire son expérience.

CONCLUSION

L'examen des exposés de "l'histoire de la photosynthèse" montre que la façon dont est rendue cette histoire sur le plan didactique, notamment au niveau des manuels scolaires, est insatisfaisante. L'histoire ainsi rendue ne semble pas avoir une utilité pédagogique optimale. C'est une histoire linéaire, d'individus isolés, qui ne peut que véhiculer une image déformée de la construction du savoir. Le processus de développement de la science paraît être alors une croissance continue et stable par additions successives jusqu'à la connaissance de notre époque.

Beaucoup de raisons peuvent être invoquées pour utiliser l'histoire des sciences dans l'enseignement des sciences, ce qui nous intéresse avant tout ici c'est l'aspect didactique de cette utilisation. Si l'on souhaite intégrer certains aspects historiques dans la construction d'une question ou d'un concept donné, dans notre cas celui de photosynthèse, il faudrait tenir compte d'un certain nombre de points.

utiliser l'histoire
des sciences...

... sans la tronquer, pour une approche rigoureuse et concrète de la démarche scientifique

- Il y a plusieurs façons de traiter une question en tenant compte d'un ensemble de sous-questions, sous-questions qui d'ailleurs peuvent changer selon les époques. Par exemple l'histoire de la photosynthèse a d'abord été une histoire de la nutrition, puis une histoire des échanges gazeux etc.
- Il est important de ne pas négliger les débats et controverses et d'essayer par ailleurs d'utiliser sans erreur et sans biais l'interprétation de certaines expériences pour montrer la démarche scientifique concrète. On doit également s'interroger sur l'interprétation moderne des expériences anciennes : rôle du vocabulaire (phlogistique, air fixe, air commun ...), spécificités et potentialités des méthodes qui évoluent selon les époques...

On pourrait alors aboutir à la conception d'aides didactiques adaptées, susceptibles d'être utilisées avec des élèves assez âgés (15 à 17 ans par exemple) et axées sur une vision plus réelle de la progression de la Science sur une question donnée.

Souad KASSOU
 Christian SOUCHON
 U.F. Didactique,
 Université Paris 7