

5
37
*que
sais-je?*

L'ÉNERGIE CHLOROPHYLLIENNE

PAR JULES CARLES



PRESSES UNIVERSITAIRES
DE FRANCE

NC

L'ÉNERGIE CHLOROPHYLLIENNE

5605
2008

DL - 22 6 1987 - 10346

DU MÊME AUTEUR

- Chimisme et classification chez les Iris*, Librairie générale de l'Enseignement, 1934.
- La Lentille du Puy*, Le Puy, 1943.
- Problèmes d'hérédité*, Beauchesne, 1945.
- Unité et Vie : Esquisse d'une biophilosophie*, Beauchesne, 1946.
- Géographie botanique*, P.U.F., 2^e éd., 1963, coll. « Que sais-je ? », n° 319 ; édit. vietnamienne, 1966.
- Carte de la végétation de la France : Feuille du Puy*, 1952.
- Notice détaillée de la feuille du Puy*, 1957, Centre National de la Recherche scientifique.
- La fécondation*, P.U.F., 5^e éd., 1967, coll. « Que sais-je ? », n° 390 ; édit. italienne, Garzanti, 1952 ; édit. japonaise, Hakusuisha, 1954 ; édit. polonaise, Varsovie, 1964 ; édit. portugaise, Lisbonne, 1965.
- Les origines de la vie*, P.U.F., 6^e éd., 1966, coll. « Que sais-je ? », n° 446 ; édit. portugaise, São Paulo, 1956 ; édit. italienne, Garzanti, 1957 ; édit. japonaise, 1961 ; édit. espagnole, Buenos Aires, 1963 ; édit. anglaise, New York, 1963 ; édit. hébraïque, Tel-Aviv, 1964 ; édit. grecque, Athènes, 1965.
- Le transformisme*, P.U.F., 4^e éd., 1965, coll. « Que sais-je ? », n° 502 ; édit. japonaise, 1958.
- L'énergie chlorophyllienne*, P.U.F. ; édit. anglaise, Hutchinson, 1957.
- Vers la conquête de la vie*, Hachette, 1958 ; édit. espagnole, Aguilar, 1960.
- La nutrition de la plante*, P.U.F., 2^e éd., 1967.
- La chimie du vin*, P.U.F., 2^e éd., 1965.
- Teilhard de Chardin. Sa vie. Son œuvre*, P.U.F., 1964.
-

« QUE SAIS-JE ? »

LE POINT DES CONNAISSANCES ACTUELLES

=====
N° 583
=====

L'ÉNERGIE CHLOROPHYLLIENNE

par

Jules CARLES

Directeur scientifique au C.N.R.S.

TROISIÈME ÉDITION



PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE
108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, PARIS

—
1967

VINGT-DEUXIÈME MILLE

« QUE SAIS-LE ? »
LE POINT DES CONNAISSANCES ACTUELLES

N° 583

L'ÉNERGIE

CHIMIE ORGANIQUE

DÉPÔT LÉGAL

1^{re} édition 2^e trimestre 1953
3^e — 2^e — 1967

TOUS DROITS

de traduction, de reproduction et d'adaptation
réservés pour tous pays

© 1953, *Presses Universitaires de France*



Presses Universitaires de France
36, Boulevard Saint-Germain, Paris

1967

INTRODUCTION

L'ÉNERGIE CHLOROPHYLLIENNE

Nous sommes si avides d'énergie qu'il nous suffit, pour nous intéresser à une chose quelconque, de soupçonner qu'elle est capable de nous en fournir. L'atome vient de faire dans le bilan de nos ressources une entrée triomphale, parce que nous entrevoyons la possibilité d'utiliser l'énergie qu'il recèle.

L'engouement général pour ces valeurs nouvelles ne doit pas nous faire oublier ou sous-estimer notre plus solide capital, celui dont nous avons vécu jusqu'ici, celui qui nous nourrit, nous revêt et nous chauffe, l'énergie qu'emmagasine et que met à notre disposition la chlorophylle.

Est-il possible de surestimer l'importance de la chlorophylle ? Nous pouvons nous passer de l'énergie atomique et l'humanité jusqu'ici vivait sans l'avoir découverte, mais, sans chlorophylle, aucun homme, aucun animal ne pourrait subsister un jour sur la terre. Des millions de siècles avant que le premier homme ne vît le jour, l'humble et discrète chlorophylle préparait de loin sa venue.

Nous voudrions faire connaître l'œuvre du plus indispensable serviteur de la Vie. Nous rappellerons d'abord comment furent découverts son rôle et son importance, et combien récemment nous avons pu nous faire une idée, bien imprécise encore, de son travail.

Nous présenterons alors la chlorophylle, cette substance, ou plutôt ces substances chimiques localisées dans les chloroplastes de nos feuilles vertes : nous étudierons l'ensemble de ses propriétés et verrons comment elle apparaît, travaille et disparaît.

Nous essayerons de pénétrer les processus chimiques de la photosynthèse. Nous ne pouvons pas dire que nous savons exactement ce qui se passe dans la feuille, mais nous commençons tout de même à savoir quelque chose, grâce aux progrès de la biochimie dont c'est peut-être le plus beau succès de ces vingt dernières années.

Après le mécanisme, nous examinerons le résultat de la photosynthèse, l'assimilation, en montrant comment on la mesure et quels sont les dixers facteurs qui agissent sur elle.

Nous pourrons alors, dans un dernier chapitre moins technique, considérer la place de la chlorophylle dans le monde, son rôle vis-à-vis de nous et combien nous dépendons d'elle, puisque l'énergie qu'elle recueille et dont nous profitons nous permet d'occuper, près d'elle, notre place au soleil.

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE

L'admirable naturaliste que fut Aristote connaissait fort bien les animaux et c'est à travers eux qu'il essayait de comprendre les végétaux et leur vie. Ils tirent du sol leurs aliments, dissous et digérés dans l'eau tant et si bien qu'ils n'ont plus aucune modification à subir. L'organisme végétal peut donc se simplifier à l'extrême, ou se payer le luxe des feuilles vertes dont la seule raison d'être est de protéger les fruits contre l'ardeur du soleil.

Au XVII^e siècle, le Hollandais Van Helmont, convaincu que ce n'est pas de terre mais d'eau que le végétal se nourrit, fit l'expérience suivante. Il place dans un grand vase 200 livres de terre bien desséchée, y plante une branche de saule du poids de 5 livres et l'arrose régulièrement avec de l'eau de pluie. Pour que la poussière ne vienne pas s'ajouter à la terre un couvercle protège la surface du sol. Au bout de cinq ans, le saule a grandi : il pèse 169 livres. La terre est à nouveau desséchée et pesée : 2 onces seulement ont disparu. Il est donc évident que « ce n'est pas de terre que se nourrissent les plantes, mais de l'eau de pluie à partir de laquelle ils élaborent toute leur substance ».

Vers la fin du XVIII^e siècle, l'Italien Malpighi

découvrit l'importance des feuilles. Il avait remarqué que la jeune plante ne germe pas si l'on supprime ses cotylédons. Après de longues réflexions sur cette expérience, il en conclut que dans les cotylédons ou les feuilles, se fait la transformation capitale, l'assimilation ou plus exactement la digestion des substances que la plante absorbe par ses racines. Elle les transporte à travers les vaisseaux jusqu'à ces feuilles où, grâce à l'aide du soleil, la matière brute se transforme en matière vivante.

Quelques idées précises commencent à se faire jour, et Malpighi soupçonne déjà l'importance de l'air pour la respiration, mais il ne vient à l'esprit de personne qu'un élément quelconque puisse pénétrer dans le végétal autrement que par les racines.

Les échanges gazeux. — A cette même époque pourtant, la recherche s'engageait dans une voie toute nouvelle. En 1769, le Suisse Bonnet plonge un rameau de vigne dans l'eau, en plein soleil. Des bulles se dégagent à partir des feuilles. Proviennent-elles des feuilles ou de l'eau ? Bonnet fait bouillir l'eau, puis y replonge les feuilles : aucune bulle ne se dégage plus et le savant de conclure que ces bulles provenaient de l'eau et non pas des feuilles. D'ailleurs, même des feuilles sèches produisent des bulles dans une eau bien aérée.

De telles expériences n'auraient fait que gêner le progrès de la science si l'Anglais Priestley ne s'était intéressé à ces bulles et n'avait remarqué qu'elles sont constituées par de l'air très pur, un air parfaitement apte à entretenir la respiration des animaux. Il en conclut que la respiration des végétaux et des animaux est de nature inverse, l'une utilisant ce que l'autre rejette. De l'air confiné que ne peut plus respirer un animal est purifié par le

séjour d'une plante. Et Priestley n'amorce-t-il pas toutes les découvertes futures, lorsqu'il dit, dans un langage où les découvertes de Lavoisier apporteront beaucoup de précisions, que la plante déphlogistique l'air (1) ? « Il suit que le phlogistique de l'air se trouverait retenu à l'intérieur de la plante et y servirait à l'œuvre de nutrition. »

Le Hollandais Ingen-Houss intervint pour affirmer que cette purification de l'air ne s'accomplit qu'au soleil et par les parties vertes de la plante : elle consiste en une fixation du carbone de l'acide carbonique. En dehors du soleil, pendant la nuit en particulier, les plantes ne purifient pas l'air, mais le vicient, tout comme les animaux.

Le Suisse Senebier reprend l'expérience si mal comprise par Bonnet et montre que si les feuilles vertes plongées dans l'eau dégagent des bulles, elles ne peuvent le faire qu'en présence de gaz carbonique que le soleil leur permet de décomposer.

Au début du XIX^e siècle le grand physiologiste suisse Théodore de Saussure synthétisa toutes ces idées, en sut extraire la part de vérité qu'elles renfermaient et surtout la démontrer par des expériences bien montées. Grâce à lui, le problème se trouvait nettement et fort bien posé, et nous le voyons établir un bilan de matière assez exact pour découvrir que l'accroissement de substance dépassait le poids de carbone retenu : le carbone se combinerait dans la plante avec les éléments de l'eau pour former la matière végétale.

Il était difficile à cette époque, d'en dire davantage et nous voyons A. de Candolle écrire en 1835,

(1) Le phlogistique étant le principe combustible, l'air déphlogistiqué devient incapable de brûler. (Nous disons aujourd'hui qu'un corps après avoir brûlé est saturé d'oxygène et non pas privé de quelque chose que ce soit.) La plante, pensaient-ils, se construit en prenant à l'air du phlogistique qu'elle accumule en elle.

avec une naïveté charmante, qu'il ne semble plus y avoir dans ce domaine beaucoup de découvertes à faire.

Grâce surtout aux travaux de Senebier et de M. Théodore de Saussure, les circonstances et les conséquences de la respiration végétale sont aujourd'hui très bien connues.

Les seuls organes qui présentent ce phénomène sont les parties de couleur verte, principalement les feuilles. Ce n'est pas que la couleur verte soit la cause de l'action chimique, elle en est au contraire l'effet. Il serait plus exact de dire que les plantes et les organes qui dégagent de l'oxygène sont de couleur verte ou le deviennent ; mais, comme il est plus aisé de juger de la couleur que de l'action chimique, on se sert plutôt de la locution inverse : que l'oxygène est dégagé par les parties vertes. La couleur est un indice et un critère (1).

Il fallut attendre l'Allemand Sachs pour que justice fût rendue aux parties vertes : l'assimilation fut par lui liée à la chlorophylle et aux chloroplastes. « Le carbone est fixé par les feuilles sous forme d'amidon à partir duquel sont élaborés tous les produits organiques. »

Ainsi se trouvait parfaitement défini le rôle de l'assimilation chlorophyllienne que les physiologistes français Garreau, Boussingault et Cl. Bernard venaient de distinguer nettement de la respiration.

Par l'emploi d'anesthésiques, Cl. Bernard suspendait le pouvoir d'assimilation des plantes qui continuaient cependant à respirer, aussi bien à la lumière qu'à l'obscurité. Il pouvait ainsi se faire une idée des effets de l'assimilation chlorophyllienne, par différence, et cette idée est assez exacte car des expériences comparatives où l'on met ces plantes à l'obscurité avec des plantes témoins montrent que la respiration n'est pas modifiée par l'anesthésie.

Garreau s'est ingénié à dissocier sur un rameau normal les deux phénomènes. Deux rameaux iden-

(1) *Introduction à l'étude de la botanique*, I, p. 264.

tiques sont placés par exemple dans deux tubes bouchés qu'on expose à la lumière. Dans l'un d'entre eux, il place de la baryte qui se trouble, parce que « la plante respire, conclut Garreau, et produit du gaz carbonique que la baryte fixe aussitôt ». Dans le second, sans baryte, l'exposition au soleil est la même, mais ici la baryte n'est pas là pour disputer le gaz carbonique à l'assimilation chlorophyllienne et celle-ci l'utilise tout entier, tant et si bien qu'à la fin de l'expérience, l'air confiné de ce second tube ne trouble pas l'eau de baryte. Les deux phénomènes sont ainsi mis en évidence, mais il nous faut ajouter pour être exact que, dans le premier tube, le trouble ne se serait pas produit, si des feuilles vertes seulement avaient été placées, car, en plein soleil les chloroplastes utilisent le gaz carbonique de la respiration avant même que celui-ci soit sorti de la feuille : dans cette expérience, le gaz carbonique des parties non vertes s'est répandu dans l'atmosphère où la baryte et les feuilles se le sont partagé.

Il est une autre méthode pour aborder ce problème : il faut considérer les quantités de gaz absorbées ou dégagées. Bonnier et Mangin montrèrent qu'on pouvait ainsi déterminer la valeur des échanges chlorophylliens indépendamment des échanges respiratoires qui se sont accomplis pendant ce même temps. Il existe un quotient respiratoire qui se calcule par la proportion de gaz carbonique dégagé par rapport à l'oxygène absorbé CO_2/O_2 et un quotient assimilatoire calculé d'après l'oxygène dégagé par rapport au gaz carbonique absorbé O_2/CO_2 . On peut dire, en première approximation, que le gaz carbonique sera plus abondant dans l'atmosphère finale si la respiration l'emporte, tandis que l'assimilation prépondérante amènera le résultat contraire.

Nombreux furent les physiologistes qui rivalisèrent d'ingéniosité pour préciser ces quotients, car, s'il est possible de supprimer l'assimilation en maintenant les plantes à l'obscurité, il est impossible de supprimer la respiration. Or, voilà que le quotient respiratoire varie, tantôt supérieur, tantôt inférieur à l'unité.

A la suite d'analyses et de calculs très minutieux, Maquenne et Demoussy, puis Willstätter et Stoll conclurent que le quotient photosynthétique est constant, quelles que soient les conditions extérieures et qu'il est toujours égal à l'unité : l'oxygène dégagé correspond exactement au gaz carbonique absorbé.

Ainsi arrivons-nous à connaître le bilan des échanges de la plante avec le milieu qui l'entoure. Les mesures sont assez précises et des prodiges d'ingéniosité ont été réalisés. Citons, par exemple, Schloesing fils qui parvient à faire accomplir à un pied de Houque laineuse tout son cycle de végétation dans une atmosphère confinée, parfaitement conditionnée et fréquemment analysée. Le bilan total du gaz carbonique et de l'oxygène peut être établi avec précision.

Après avoir noté la quantité de gaz carbonique introduit, apprécié celle qui se dégage du sol et calculé celle qui reste dans l'air à la fin de l'expérience, il conclut que la plante a absorbé 1 527 cm³ de gaz carbonique ; d'autre part, faisant les mêmes calculs pour l'oxygène il trouve 1 734 cm³ provenant de la plante. Le quotient respiratoire total O₂/CO₂ est donc supérieur à l'unité, 1,12. Ce supplément d'oxygène est fourni par la dégradation des substances oxydées du sol, telles que les nitrates, qu'utilise la plante.

Une telle expérience démontre que nous sommes depuis assez longtemps capables de contrôler avec

1967. — Imprimerie des Presses Universitaires de France. — Vendôme (France)
ÉDIT. N° 29 352 IMPRIMÉ EN FRANCE IMP. N° 20 127

Participant d'une démarche de transmission de fictions ou de savoirs rendus difficiles d'accès par le temps, cette édition numérique redonne vie à une œuvre existant jusqu'alors uniquement sur un support imprimé, conformément à la loi n° 2012-287 du 1^{er} mars 2012 relative à l'exploitation des Livres Indisponibles du XX^e siècle.

Cette édition numérique a été réalisée à partir d'un support physique parfois ancien conservé au sein des collections de la Bibliothèque nationale de France, notamment au titre du dépôt légal. Elle peut donc reproduire, au-delà du texte lui-même, des éléments propres à l'exemplaire qui a servi à la numérisation.

Cette édition numérique a été fabriquée par la société FeniXX au format PDF.

La couverture reproduit celle du livre original conservé au sein des collections de la Bibliothèque nationale de France, notamment au titre du dépôt légal.

*

La société FeniXX diffuse cette édition numérique en accord avec l'éditeur du livre original, qui dispose d'une licence exclusive confiée par la Sofia – Société Française des Intérêts des Auteurs de l'Écrit – dans le cadre de la loi n° 2012-287 du 1^{er} mars 2012.

Avec le soutien du

