

LA
DIGESTION VÉGÉTALE.

NOTE

SUR LE

RÔLE DES FERMENTS DANS LA NUTRITION DES PLANTES,

COMMUNIQUÉE

A L'ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE,

DANS SA SÉANCE DU 21 OCTOBRE 1876
ET LUE EN SÉANCE PUBLIQUE LE 16 DÉCEMBRE 1876,

PAR

Édouard MORREN,

Membre de l'Académie royale de Belgique, professeur à l'Université
de Liège.



BRUXELLES,

F. HAYEZ, IMPRIMEUR DE L'ACADÉMIE ROYALE.

—
1876

Extrait des *Bulletins de l'Académie royale de Belgique*,
2^{me} série, t. XLII, n^o 12; décembre 1876.

PRÉFACE.

La note dont je vais avoir l'honneur de donner lecture et que je sou mets au jugement de l'Académie, est le complément de mes observations sur les plantes carnivores. Mais j'aborde des questions générales qui peuvent intéresser, outre les botanistes, tous ceux qui s'occupent de physiologie et de chimie biologique.

J'aurais voulu les traiter avec plus de détails et ajouter des démonstrations nouvelles à celles qui me servent de base, mais les nombreux devoirs auxquels je dois satisfaire, ne m'ont pas permis de réaliser mes désirs.

NOTE

SUR

LE ROLE DES FERMENTS DANS LA NUTRITION DES PLANTES.

Il est désormais indubitable que certaines plantes ont le pouvoir d'attirer, de retenir, de tuer, de dissoudre et d'absorber les insectes et même des animaux supérieurs. Il n'y a pas lieu de revenir sur les faits en tant qu'ils sont connus; mais, il ne faut pas se le dissimuler, ces observations, quelque nombreuses et concordantes qu'elles soient, ont été accueillies avec une certaine réserve et même avec incrédulité par des savants qui ne sont pas à même de les répéter et de les contrôler : le doute est encore répandu.

Il y a lieu de s'en étonner, car, à mon avis, les faits observés chez les plantes carnivores sont en parfaite harmonie avec la théorie générale de la nutrition des plantes, comme je vais chercher à l'établir dans cette note.

La digestion n'est pas exclusivement propre aux plantes carnivores, mais elle est générale à tous les êtres vivants et commune à tous les végétaux; elle semble être la condition nécessaire de l'assimilation.

La digestion animale est, dans son essence, considérée aujourd'hui comme une fermentation du genre de celles que les chimistes appellent fermentations indirectes : elle consiste dans une hydratation, suivie de dédoublements, des matières digestibles ou fermentescibles. Ces substances,

qui sont dans un état complexe et colloïdal, sont converties en composés simples, diffusibles et par suite absorbables. Cette transformation merveilleuse et nécessaire constitue la digestion ; elle est opérée par une action aussi mystérieuse que puissante de certaines substances qu'on nomme ferments indirects ou solubles.

Les ferments dérivent, selon toute apparence, des matières albuminoïdes et semblent faire partie du protoplasme lui-même ; ils constituent le principe actif de la digestion ; ils sont plus ou moins répandus dans tout l'organisme animal, mais ils sont particulièrement abondants dans les sucs qui sont sécrétés spécialement en vue de la digestion, tels que la salive, le suc gastrique, le suc pancréatique et le suc intestinal. On peut les extraire, les isoler et ils conservent toute leur activité même en dehors de l'organisme. La digestion artificielle reproduit les phénomènes de la digestion naturelle et toutes deux consistent, comme nous le rappelions tantôt, en un dédoublement des matières digérées, c'est-à-dire dans une fermentation organique. C'est ainsi que nos connaissances sur la digestion animale se sont étendues de tout ce que la chimie physiologique a découvert relativement aux fermentations.

Les aliments ingérés par les animaux ne sauraient être réellement absorbés et par conséquent assimilés, s'ils n'éprouvent d'abord ce genre de transformation qu'on appelle la digestion. Ils consistent en matières organiques, qui sont principalement des matières albuminoïdes et des substances ternaires, l'amidon, le sucre et les corps gras ; tous d'une composition assez complexe, hautement organisés, essentiellement endothermiques et dans un état de structure moléculaire telle qu'ils ne sont ni diffusibles, ni absorbables à travers les membranes organiques. Le ferment opère leur transformation ou plutôt, en leur incor-

porant un certain nombre de molécules d'eau, il les dédouble généralement en principes plus simples et d'une structure moléculaire cristalloïde qui les rend diffusibles et capables ainsi de pénétrer dans l'organisme vers lequel ils sont sollicités. C'est ainsi que les matières albuminoïdes passent à l'état de peptones; les matières ternaires se transforment en glycoses; les matières grasses sont émulsionnées et saponifiées.

Cette transformation est la condition préalable et nécessaire de l'absorption : elle peut, dans la plupart des cas, se produire par certaines réactions chimiques de laboratoire, mais dans l'organisme, elle est opérée par un ferment qui agit avec une grande puissance, même quand il existe en proportion infime.

Chaque catégorie naturelle de matières alimentaires est sous la dépendance d'un ferment approprié. En effet, dans la digestion des animaux, on a principalement distingué : la pepsine ou ferment des matières albuminoïdes, la ptyaline ou diastase animale, ferment des matières amylacées, le ferment inversif pour la saccharose et le ferment émulsif pour les matières grasses.

L'existence de ces ferments digestifs a été constatée dans différentes parties de l'organisme, mais ils se trouvent particulièrement répartis sur l'étendue de l'organe approprié à la digestion, le tube digestif. La ptyaline se trouve dans la salive : on l'appelle quelquefois diastase salivaire. La pepsine existe dans le suc gastrique et, sous le nom de ferment albuminosique, dans le suc pancréatique, avec de la diastase et du ferment inversif. La sécrétion du pancréas est d'ailleurs l'agent le plus actif et le plus rapide de la digestion : elle saccharifie l'amidon, saponifie les graisses et peptonifie les albuminoïdes. Enfin,

le ferment des sucres, nommé ferment inversif, fait partie du suc intestinal. C'est ainsi que les matières utiles contenues dans les aliments, la fibrine, les huiles, les fécules et les sucres notamment, se trouvent soumises pendant le passage à travers le tube intestinal à des ferments qui les dédoublent et les rendent absorbables, assimilables et réellement nutritives.

Nous ne pousserons pas plus loin cet exposé de la théorie actuelle de la digestion animale : il est suffisant pour les prémisses qui nous sont nécessaires. Il établit, en effet, que la digestion concerne les matières alimentaires et se manifeste par l'intervention d'un ferment : elle consiste dans une transformation (dédoublement avec hydratation) des substances alibiles en composés diffusibles, et elle est la condition préalable et nécessaire de la circulation et de l'assimilation de ces composés dans l'organisme vivant. Or, ce que nous venons de dire en parlant des animaux, s'applique en tous points aux végétaux.

Toutes les plantes digèrent et leur digestion, dans ses phénomènes essentiels, est la même que celle des animaux : chez elles, comme chez les animaux, la digestion est la condition préalable et nécessaire de l'assimilation : elle porte sur les mêmes substances, elle s'exerce par les mêmes ferments, elle donne les mêmes produits. La digestion constitue une fonction générale et essentielle de la nutrition des plantes : la physiologie végétale ne saurait la méconnaître plus longtemps, si elle veut tenir compte de la réalité des choses. Pour qu'il en soit ainsi, il nous suffira de grouper et de coordonner un ensemble de faits découverts et démontrés par la chimie biologique et de les soumettre à l'appréciation des physiologistes. Ils établissent

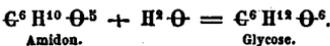
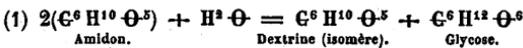
que les ferments solubles font partie intégrante de l'organisme végétal; ils sont même plus nombreux que chez les animaux; ils interviennent activement dans la nutrition; ils déterminent la digestion des matières alibiles, c'est-à-dire qu'ils les dédoublent et les rendent assimilables.

Diastase ou ferment glycosique. — La diastase est le ferment digestif des matières amylacées : par son influence, l'amidon s'hydrate, se dédouble en dextrine et glycose, et finalement se transforme entièrement en glycoses, qui sont solubles et qui peuvent se répandre dans l'organisme (1). C'est ainsi que la salive (ptyaline) et surtout le suc pancréatique digèrent les féculs.

C'est dans une plante, dans l'orge en voie de germination, que la diastase a été découverte. Pendant cette phase de la vie, elle attaque l'amidon accumulé et mis en réserve dans la graine et le rend assimilable par l'embryon qui se développe.

La diastase se présente aussi dans les tubercules de pommes de terre, au voisinage des bourgeons; quand ils entrent en activité, elle leur fait passer, sous forme de glycose, tout l'amidon emmagasiné dans les cellules du tubercule.

Généralisant ces deux faits qui sont classiques, on peut admettre la présence de la diastase chez les végétaux, à côté de tous les dépôts de féculs, et lui attribuer la digestion de cette substance quand l'organisme la réclame.



non plus appliquer leur saccharose à leur propre organisme, si le ferment inversif ne vient, au préalable, le modifier dans le sens que nous avons indiqué tantôt. Ce ferment existe dans la Betterave et dans la Canne, dès que ces plantes manifestent les signes précurseurs de la floraison, quand la Betterave monte et que l'anthogénèse exige une grande consommation de matières alibiles : il transforme leur saccharose en glycose. C'est là encore, comme l'a dit M. Cl. Bernard (1), une véritable digestion. La Betterave doit donc digérer son sucre, comme la levûre, comme les animaux. Après la floraison, le sucre a disparu de la plante.

La saccharose est abondamment répandue dans le règne végétal; il faut en conclure qu'il en est de même du ferment inversif.

La glycose ainsi produite par la digestion de l'amidon ou de la saccharose est immédiatement appliquée à l'état de cellulose : elle fournit la matière nécessaire pour le revêtement et la consolidation des nouvelles cellules, la trame des nouveaux tissus. On a pu démontrer expérimentalement la production de matières cellulosiques sous l'influence des ferments végétaux et la corrélation de cette production avec la disparition du sucre (2); elle n'est cependant pas proportionnelle parce qu'une partie de la glycose est consommée par la respiration.

Ferment émulsif et saponifiant. — Les corps gras constituent par leur structure chimique, des éthers composés

(1) SCHUTZ, *l. c.*, p. 247.

(2) DURIN, *Fermentation cellulosique*. — *Comptes rendus*, 31 juillet 1876, p. 355.

de la glycérine ou des glycérides. Ils sont digérés dans le tube intestinal au moyen d'un ferment fourni par le suc pancréatique qui les émulsionne d'abord et puis les saponifie. L'émulsion est une division mécanique poussée à l'extrême; elle précède la digestion et permet l'absorption : la saponification consiste dans un dédoublement par hydratation en glycérine et en acide gras (1).

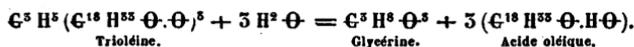
Dans le lait, la matière grasse se trouve à l'état émulsionné et, par suite, susceptible d'être immédiatement absorbée pour être ensuite digérée dans l'intérieur même des vaisseaux chylifères.

Le ferment émulsif existe chez les végétaux : les graines oléagineuses, broyées dans l'eau, donnent une émulsion, bientôt suivie de la production de glycérine et d'acides gras. Il agit ainsi pendant la germination, mais j'ignore si la chimie a déjà pu suivre les transformations ultérieures des matières grasses jusqu'à leurs applications directes aux besoins de l'assimilation et de la respiration.

Il est d'ailleurs hors de doute que les huiles et les graisses constituent chez les végétaux des approvisionnements nutritifs : les graines de Crucifères, de Papavéracées, de *Linum*, les bulbes de l'Oignon, pourvoient aux besoins de l'organisme ; en physiologie végétale, les graisses ne sauraient être séparées des féculés.

Ferment albuminosique ; pepsine. — Nous arrivons à la digestion des matières azotées ou plutôt albuminoïdes; il conviendrait peut-être d'exposer à ce propos toute la

(1) Exemple :



Trioléine.

Glycérine.

Acide oléique.

théorie de la digestion stomacale et pancréatique, avec ses discussions et ses incertitudes, mais il se peut aussi qu'il suffise de rappeler que, sous l'influence de la pepsine du suc gastrique et surtout du ferment albuminosique du suc pancréatique, la fibrine, c'est-à-dire la substance de la chair musculaire, passe d'abord à l'état de syntonine et se dédouble enfin en peptones qui sont des composés solubles et diffusibles (peut-être aussi en parapeptones (1)). Ajoutons seulement à ce résumé doctrinal un correctif nécessaire : « Malgré tout ce qui a été écrit (dit M. P. Schutzenberger, p. 250) et dit sur la question chimique, on sait encore bien peu de chose sur les véritables transformations des albuminoïdes dans l'estomac ou sur l'influence du suc gastrique artificiel ; aussi n'entrerons-nous pas dans de longs développements à ce sujet ; ils nous prouveraient surabondamment que tout est à faire. »

Cet aveu est précieux pour nous. Si l'homme en sait, sur son propre estomac, autant que tout soit à faire, nous serons relativement excusable de n'avoir pas encore une connaissance bien étendue concernant la digestion peptonique chez les végétaux dont l'estomac est en général difficilement perceptible. Nous possédons cependant des preuves suffisantes pour affirmer l'existence de cette digestion (2). En effet, je puis produire ici tout ce qui a

(1) Brücke : Fibrine + eau = syntonine = peptone.

Meisner : Matières albuminoïdes + eau = syntonine = parapeptones + peptones a. b. c.

(2) « L'analogie des fonctions (dit M. P. Schutz., p. 251), conduit M. Bernard à rechercher la digestion albuminosique dans les végétaux. Si nous appelons de ce nom, avec lui, toute transformation de matières albuminoïdes en principes solubles diffusibles, il est certain qu'elle doit y exister. Ainsi les phénomènes que présente la levûre conservée à jeûn,

été observé et publié relativement aux plantes carnivores, depuis l'admirable livre de M. Darwin (1) jusqu'à mes faibles essais (2). Je ne veux pas revenir sur ces observations, qui sont connues et auxquelles je m'efforce, en ce moment, d'ajouter le complément nécessaire, celui d'une théorie générale et simple en accord avec l'ensemble des faits connus.

Pour ne pas m'éloigner du but actuel, il me faut donc chercher seulement si le ferment albuminosique existe

à l'état humide, et sur lesquels nous avons insisté à propos de la fermentation alcoolique, doivent et peuvent être envisagés comme une véritable digestion de matières protéiques. Il en est de même des transformations chimiques continues qui se passent dans le protoplasme des cellules végétales et animales. Rien ne prouve que les premiers termes d'altération des albuminoïdes dans l'organisme soient immédiatement des corps excrémentitiels; que ces termes, tant qu'ils restent au-dessus d'une certaine limite de dédoublement, qu'ils n'atteignent pas, par exemple, les cristalloïdes, tels que la leucine, la tyrosine, etc., ne peuvent plus servir au travail de synthèse organique et à la formation de nouvelles cellules, de nouveaux tissus. N'est-ce pas l'eau de lavage de la levûre digérée qui renferme les aliments les plus propres au développement de ce ferment organisé; or, en dehors de l'albumine qui est inactive comme aliment de la levûre, les principes azotés de l'eau de levûre sont des produits d'un ordre inférieur à celui des substances protéiques; ce sont des termes de leur dédoublement. Il n'est pas question ici de la leucine et de la tyrosine dont on a reconnu la présence dans l'eau de lavage de la levûre et qui sont dépourvues du pouvoir nutritif, mais seulement des corps azotés contenus dans le sirop incristallisable. »

Ainsi s'exprime un chimiste distingué, M. P. Schutzenberger qui, dans un livre remarquable par la lucidité des enseignements sur les questions si obscures des fermentations, a sans doute résumé tout ce qui est connu de ce côté de la science auquel nous n'avons nous-même que bien peu d'accès.

(1) DARWIN, *Insectivorous Plants*, 1875.

(2) Note sur les *Pinguicula*. — Sur le *Drosera rotundifolia*. — Sur le *Drosera binata*. — *La théorie des plantes carnivores*, 4 br. in-8°, 1875.

dans l'économie végétale. M. Darwin n'en doute pas et il s'appuie sur les analyses de M. Frankland (1), qui a reconnu, dans le suc des glandes du *Drosera*, la présence de la pepsine. Plus récemment (2) MM. Max Rees et H. Will ont extrait ce ferment de ce même suc, par un des procédés ordinaires de préparation des ferments solubles, et ils l'ont fait servir à la digestion artificielle de la fibrine.

L'existence de ce ferment n'est pas exclusivement propre au suc excrété par les végétaux carnivores. M. le D^r Masters (3) a constaté le pouvoir digestif du nectar sécrété par les fleurs d'Hellébore sur l'albumine coagulée. On sait aussi, et depuis longtemps (4), que le latex du *Carica Papaya* exerce sur la viande une action dissolvante. Les cellules de la levûre peuvent se nourrir de substances albuminoïdes.

C'est surtout dans les graines que se concentrent les matières albuminoïdes. Là, elles viennent s'accumuler sous la forme de gluten, de légumine et d'aleurone pour suffire aux premiers besoins du germe pendant la période de germination, pour le nourrir jusqu'à ce qu'il soit en état d'élaborer lui-même de nouvelles substances plasmiques. Or, ces matières se trouvent généralement à l'état insoluble dans l'albumen ou dans les cotylédons, mais à mesure que la plantule se développe, elles se dissolvent, émigrent et sont assimilées par le protoplasme en activité. On ne connaissait pas le ferment qui intervient dans cette

(1) DARWIN, *l. c.*, 88, etc.

(2) *Bot. Zeit.*, 29 octobre 1875.

(3) *Gardeners' Chronicle*, 1876, 1, 468.

(4) *Bull. Soc. bot. France*, 1876, XXIII, 134.

digestion jusqu'à ce que MM. Gorup-Besanez et H. Will (1) l'eussent extrait des graines germées de *Vicia* : ils ont constaté qu'il dissout la fibrine et la transforme en peptones : il est donc bien la même chose que le ferment albuminosique du suc pancréatique.

Le mémoire de M. Gorup-Besanez est d'une grande importance dans la question qui nous occupe et les résultats auxquels il est arrivé nous semblent péremptoires. Les recherches entreprises sous sa direction au laboratoire de Berlin par M. Hermann Will, ont porté sur les graines de *Vicia sativa* Lin. On sait que les graines de cette Légumineuse renferment avec de la fécule une notable proportion de légumine. Or, quand ces graines germent à l'abri de la lumière, on constate la disparition de la légumine et l'apparition de la leucine et de l'asparagine : ces deux faits étant corrélatifs, l'éminent chimiste de Berlin a présumé que ces dérivés des corps albuminoïdes résultent d'un dédoublement produit par un ferment contenu dans les graines du *Vicia*. L'expérience a confirmé ces prévisions : il a obtenu un ferment qui transforme énergiquement la fécule en glycose et les corps albuminoïdes, la fibrine en peptones. En l'isolant, d'après la méthode de Hüfner, le ferment présente exactement les mêmes phénomènes que ce chimiste avait constatés dans le ferment pancréatique (2).

(1) GORUP-BESANEZ, Sur la présence dans les graines du *Vicia* d'un ferment diastasique et peptogène, *Bericht der Deutsch. Chem. Gesells.* Berlin, 1874, p. 1478.

(2) Voici le procédé d'extraction tel qu'il est indiqué par M. Gorup-Besanez :

Les graines du *Vicia*, bien vannées, sont couvertes avec de l'alcool à 98 p. % pendant 48 heures : on filtre et l'on sèche les graines par une

Les expériences suivantes ne laissent aucun doute à cet égard :

Quelques gouttes de sa solution dans l'eau ou dans la glycérine, placées sur de la farine en pâte mince, transformèrent, dans l'espace de 2 à 3 heures, par une température de 20° à 30° C., de notables quantités de farine en sucre. La présence du sucre fut constatée : 1° par la liqueur de Fehling; 2° par la solution alcaline de bismuth; 3° par la fermentation au moyen de la levûre de bière bien lavée.

La même pâte de farine abandonnée à elle-même ou mélangée à de la glycérine, donna dans les mêmes circonstances, des résultats complètement négatifs.

douce chaleur. Ce résultat obtenu, on les malaxe avec de la glycérine bien épaisse sous forme de sirop et on laisse agir la glycérine pendant 36 à 48 heures. On passe alors l'extrait glycéro-nique à travers un linge en exprimant doucement le résidu : on passe de nouveau à travers un linge les liqueurs réunies ainsi obtenues. Le liquide est alors versé goutte à goutte dans un haut cylindre contenant un mélange de 8 parties d'alcool pour 1 partie d'éther. Chaque goutte tombant dans ce mélange, produit de suite un anneau, lequel trouble couche par couche par son passage, le mélange indiqué, pour finir par se déposer sous forme de précipité floconneux. Ce précipité est placé pendant 2 à 3 jours sous l'alcool où il devient plus épais et plus visqueux : enfin, pour le purifier davantage, on filtre, on le lave et on le traite de nouveau par la glycérine. La plus grande partie est ainsi redissoute et le résidu insoluble dans la glycérine montre tous les caractères des corps albumineux. On reprécipite le ferment contenu dans le nouvel extrait glycéro-nique, par le procédé ci-dessus, et on l'obtient sous forme d'un beau précipité blanc, grenu, qui, abandonné sur le filtre, se colore rapidement en gris et qui, par le dessèchement, se transforme en une masse lucide d'aspect corné. Le ferment ainsi obtenu, contient de l'azote et du soufre, et il laisse, par l'incinération, assez bien de cendres. Il se dissout dans la glycérine et dans l'eau.

(Traduit, d'après le texte allemand, par M. le Dr Théodore Chandelon).

La fibrine du sang, blanche et bien lavée, fut, d'après la méthode de Grünhagen, traitée par de l'acide chlorhydrique très-dilué (un pour mille), jusqu'à ce qu'elle eût pris l'aspect gélatineux. Un peu de cette fibrine ainsi transformée fut mélangé avec un volume égal de chlorure hydrique et une paire de gouttes de la solution du ferment. En quelques minutes et à la température ordinaire du laboratoire, les contours des flocons fibrineux avaient disparu. Peu à peu le tout devint homogène et se transforma en un liquide faiblement opalescent. Après une à deux heures, la plus grande partie était dissoute. Une action plus prolongée, de même qu'une élévation de la température à 35° ou 39° C. paraissent être sans action ultérieure. On sait d'ailleurs, fait observer M. Besanez, par des recherches de peptonisation de l'espèce, qu'une partie des corps albumineux offre une résistance plus grande et ne se dissout pas.

Les liquides filtrés donnèrent, avec une netteté parfaite, toutes les réactions des peptones : les solutions ne furent pas précipitées par les acides minéraux dilués, le sulfate de cuivre et le chlorure ferrique, et restèrent par la coction complètement claires; elles précipitèrent, au contraire, par le chlorure de mercure (après neutralisation), par les sels d'oxyde et ceux d'oxydure de mercure, par l'acétate de plomb mélangé d'ammoniaque, par le nitrate d'argent. Les solutions salines de sang produisent encore un trouble dans les solutions acidulées par l'acide acétique. Avec l'oxyde de cuivre et la potasse, elles donnèrent une magnifique coloration bleue, une coloration rouge avec le réactif de Millon, et jaune avec l'acide nitrique.

L'alcool, mais en grand excès, produit un précipité floconneux. La fibrine, rendue gélatineuse, traitée seule-

manière analogue sur les glycosides dont elle dégage de la glycose et un éther (1).

Fermentation alizarique; érythrozyme :

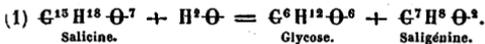
Des principes colorants de la garance donnent, par le ferment érythrozyme, de la glycose et une matière colorante. Il est encore plusieurs autres substances végétales qui, dans des circonstances analogues, fermentent en donnant de la glycose accompagnée de divers principes (2).

Fermentation sinapique : myrosine (3) :

Les graines de Moutarde et d'autres Crucifères renferment du myronate de potassium qui, sous l'influence du ferment myrosine, fermente et donne de la glycose, du sulfo-cyanure d'allyle (essence de moutarde) et du bisulfate de potassium (4).

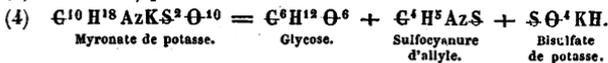
Fermentation pectique : pectase. — Les phénomènes de la fermentation pectique, sous l'influence de la pectase, sont assez connus pour qu'il suffise de les indiquer ici, en ajoutant toutefois que l'on est enclin, en physiologie végétale, à considérer la pectine et ses dérivés comme des produits de désassimilation.

On le voit, les phénomènes de fermentation digestive sont plus nombreux, plus variés chez les végétaux que chez les animaux. Ils ont généralement pour effet de transformer les substances plasmiques approvisionnées, en principes solubles, cristalloïdes, diffusibles et assimilables.



(2) Voir WURTZ, *Dictionnaire de Chimie*.

(3) P. SCHUTZ., p. 234.



Dans un très-grand nombre de cas, il se produit de la glycose qui passe à l'état de cellulose en formant la membrane des nouvelles cellules.

La digestion végétale se manifeste en général dans les dépôts nutritifs qui sont les graines, les tubercules, certaines racines, des écorces, des moelles : elle a lieu au réveil de la végétation, quand les tissus sont imprégnés d'eau, excités par la chaleur et animés par la respiration. Il est établi, par l'ensemble des preuves citées, que la solution des matières approvisionnées se fait au moyen d'un ferment soluble par le procédé ordinaire de la digestion qui consiste dans un dédoublement avec hydratation. Il faut ou méconnaître les ferments et nier les fermentations, ou bien admettre la nouvelle interprétation des faits. Cette conviction s'impose, nous paraît-il, à tous ceux qui sont au courant des progrès récents de la chimie biologique. Il serait d'ailleurs étrange de soutenir que les animaux doivent digérer la fécule et l'albumine pour se les assimiler, tandis que les végétaux assimileraient ces substances par un autre procédé d'ailleurs tout à fait inconnu.

Pourquoi en serait-il ainsi? N'a-t-on pas constaté depuis longtemps l'analogie de composition entre le lait et l'endosperme, en d'autres termes entre l'aliment d'un jeune animal et celui d'une plantule?

<i>Farine de froment (sèche) :</i>		<i>Lait de vache (sec) :</i>	
Amidon	780	Sucre de lait	347
Matières grasses	20	Beurre	358
Gluten	170	Caséine	212
Albumine	20	Albumine	97
Sels	10	Sels	56
TOTAL	1000	TOTAL	1000

L'un et l'autre renferment deux substances ternaires et deux matières azotées. Pendant la germination, l'endosperme est ramolli, dissous, transformé, la diastase intervient et la digestion s'opère exactement comme celle du lait dans le tube digestif de l'animal.

Le pouvoir digestif du protoplasme végétal apparaît en toute évidence, si l'on considère les végétaux sans chlorophylle ou ceux de leurs membres qui sont dépourvus de cette substance verte. Ainsi, les Bactéries, les Mycodermes sont précisément les seuls et véritables ferments figurés (1). Les Myxomycètes, les Moisissures, les Champignons absorbent et assimilent les substances organiques : certaines Algues parasites vivent sur des proies vivantes dont elles se nourrissent absolument comme le feraient les animaux : les spores libres des cryptogames et leurs anthérozoïdes se suffisent à elles-mêmes : le tube pollinique des phanérogames paraît s'alimenter pendant son accroissement à travers le tissu conducteur du style ; on a constaté que le pollen des sapins transforme l'amidon en dextrine et en glycose (2) ; enfin, certains végétaux d'ordre supérieur vivent de terreau ou d'humus, ou bien se soudent sur une plante nourricière dont ils tirent toute leur nourriture ; l'embryon de tous les végétaux pendant les premières phases de la germination

(1) M. HOPPE-SEYLER dit itérativement à l'article Peptones dans son *Handbuch der Chemische An.* (p. 248), que la putréfaction agit sur les matières albuminoïdes de la même façon que la digestion. Or, on sait que la putréfaction est précisément le résultat de l'activité des organismes saprogènes, les Bactéries et les Monades.

(2) ERLÉNMEYER et VON PLANTA, in *Sitzungsb. der k. Akad. zu München*, 1874, II, 204.

digère et assimile les provisions nutritives mises à sa disposition. Il en est de même des bourgeons.

Mais dans la grande majorité des plantes, la chlorophylle intervient bientôt : son activité est toute différente de celle du protoplasme incolore ; elle absorbe l'acide carbonique et, avec le concours de la lumière, elle élabore le principe de toute matière digestible, la fécule. La chlorophylle est le facteur des hydrates de carbone qui sont les aliments respiratoires ; ils sont, de plus, nécessaires pour la genèse de matières albuminoïdes. Il en résulte que la chlorophylle intervient indirectement dans la production de ces matières : aussi pouvons-nous affirmer, en physiologie végétale, que, sans chlorophylle, il n'y aurait point de matière organique.

Mais il importe de remarquer que l'activité chlorophyllienne est bien différente de celle du protoplasme : elle prépare les matériaux qui seront digérés et assimilés par celui-ci. En général ces matériaux sont mis en réserve et s'accumulent dans certains dépôts ; toutefois, il serait possible, dans quelques circonstances, par exemple pendant la croissance rapide des plantes annuelles, qu'une certaine quantité de matières nutritives fût directement utilisée et appliquée sans passer par la forme du dépôt.

Le protoplasme résume toute l'activité végétale ; mais il faut reconnaître que son activité se manifeste avec une prodigieuse variété. A ne considérer que les phénomènes qui nous intéressent en ce moment, on reconnaît trois fonctions bien distinctes et consécutives : l'*élaboration*, la *digestion*, l'*assimilation*.

L'*élaboration* a son origine dans la production d'un hydrate de carbone, au moyen de l'acide carbonique et de

l'eau: cette production, qui est le point de départ de toute matière organique, réclame le concours de la lumière: elle est le propre de la chlorophylle: le produit, tel qu'il est connu, est en général l'amidon ($C^6H^{10}O^5$), matière mise en réserve pour être appliquée.

La *digestion* s'exerce par un protoplasme en mouvement, activé par l'oxygène dont la présence est nécessaire à la manifestation du phénomène (1); il y a production d'acide carbonique: elle consiste dans une hydratation accompagnée d'un changement moléculaire dans la matière digérée qui est dissoute, diffusée, rendue mobile: l'amidon passe à l'état de glycoses ($C^6H^{12}O^6$) et circule.

L'*assimilation* est l'application définitive de cette matière à l'organisme; l'origine de la texture, le modelage, pour ainsi dire, la formation et le développement ultérieur de la membrane solide: le protoplasme se revêt de la membrane cellulaire; la glycose est rejetée à sa surface, se solidifie en perdant l'eau qui la rendait mobile et en prenant un nouveau groupement moléculaire: la cellulose est ainsi produite ($C^6H^{10}O^5$), isomère, mais non isomorphe avec l'amidon.

Ces trois phénomènes, et bien d'autres encore, peuvent se manifester dans une seule et même cellule, quand l'organisme tout entier est renfermé dans un élément anatomique aussi simple: les algues unicellulaires et les spores de maintes cryptogames en font foi.

Dans les végétaux de structure plus compliquée, le travail organique est réparti dans différents tissus. Les cel-

(1) P. BERT, etc.

lules à chlorophylle élaborent un hydrate de carbone, mais elles sont incapables de produire directement de la cellulose: elles ne se divisent, ni ne se multiplient, en tant qu'on les considère comme cellules à chlorophylle: elles éliminent l'oxygène.

Quelle est la forme primordiale de l'hydrate de carbone? Je l'ignore: on dit souvent que c'est la fécule, mais cette assertion est aussi contredite avec autorité. Un fait certain, c'est que l'hydrate produit va, au moins en partie, se déposer et souvent s'accumuler sous forme de fécule, d'inuline, de saccharose, d'huile, de graisse ou de quelque chose d'analogue, dans certains tissus qui deviennent ainsi le siège de véritables approvisionnements.

Ces dépôts sont toujours placés au voisinage immédiat d'un tissu qui saura se l'approprier quand le moment sera venu, un embryon, un bourgeon ou au moins du cambium. En effet, pendant la germination ou pendant la croissance, le protoplasme de ces organes végétatifs se porte contre la paroi des cellules et ne tarde pas à recevoir les produits solubles qui proviennent de la fermentation de l'aliment préparé: nous sommes tout disposé à admettre que lui-même envoie à travers la paroi cellulaire qu'il imprègne, qui est mince, humide et perméable, le ferment nécessaire qui va envahir le dépôt, et de proche en proche, faire sentir sa puissante influence. Des cellules appropriées à l'absorption des matières élaborées dissoutes, renfermant le ferment nécessaire, existent certainement, puisque le ferment est une substance chimique, tangible et pondérable. Quand elles seront nettement déterminées, on pourra, sans faire sourire, parler d'un organe, d'un tissu qui, chez la plante, fait fonction d'estomac: en atten-

dant, on doit, ce nous semble, attribuer ce rôle à la radicule de l'embryon et aux cotylédons. Quoi qu'il en soit, après l'élaboration et la digestion, vient l'assimilation que nous considérons ici seulement en ce qui concerne la formation de nouveaux tissus : celle-ci est, sinon parfaitement connue, au moins nettement localisée ; elle est propre à un tissu cellulaire particulier, le cambium, au sein duquel se forment les nouvelles cellules. Ce cambium ne contient pas de chlorophylle, mais un protoplasme abondant et actif : il reçoit les produits de la digestion et les applique à la structure de l'organisme.

La membrane cellulaire est ainsi formée, puis agrandie et consolidée : la cellule demeure active pendant un temps déterminé, c'est-à-dire que son protoplasme continue à vivre à l'abri de la membrane protectrice qu'il s'est façonnée : enfin, il abandonne la cellule pour se porter ailleurs vers de nouveaux centres d'activité, mais les tissus, les organes, les membres, les organismes ainsi constitués, demeurent pour attester que la vie a passé par là, qu'ils sont l'œuvre de l'activité d'un organisme, son produit, comme la coquille abandonnée par le mollusque, comme l'île madréporique élevée du fond des mers jusqu'au-dessus de la surface de l'Océan. La matière est désormais fixée par l'organisme qui, si nous le considérons seul, soustrait à tous les facteurs étrangers, serait indestructible.

C'est ainsi que par les végétaux la matière minérale est élevée au rang de substance organisée.

Nous avons négligé les produits accessoires et mille phénomènes collatéraux, pour poursuivre cette seule conclu-

sion d'après laquelle, si l'on peut affirmer que les plantes se nourrissent de matières minérales, il ne faut pas se méprendre sur le sens de cette assertion. Il n'est pas vrai que les plantes puissent s'assimiler directement la matière minérale, pour en constituer leur propre organisme; elles en sont aussi incapables que les animaux; la chlorophylle n'élabore pas directement de la cellulose, ni du protoplasme: elle prépare les matériaux assimilables et, en présence de ces matériaux, les plantes et les animaux se trouvent dans la même situation: ils les digèrent et enfin ils se les approprient.

On a tort, je ne cesse de le répéter (1), d'opposer la nutrition animale à la nutrition végétale: elle est la même et on doit les étudier parallèlement. La seule différence, tout à l'avantage des végétaux, consiste en ce que les organismes végétaux, quand ils ont utilisé et appliqué les approvisionnements qu'ils possèdent en eux-mêmes, ont le pouvoir d'absorber des matériaux inorganiques, et par leur activité chlorophyllienne, de les élaborer en nouveaux aliments organiques: sous ce rapport matériel, les végétaux sont supérieurs aux animaux; ils se suffisent à eux-mêmes; ils ont un cycle nutritif complet, ils ont le pouvoir d'élaborer les matières organiques, mais, à partir de ce point, commence la véritable nutrition, accompagnée

(1) Nous avons déjà soutenu cette doctrine depuis plusieurs années, voir: 1870, *Sur l'influence de la lumière*, dans les ACTES DU CONGRÈS BOTANIQUE DE SAINT-PÉTERSBOURG; 1872, *Introduction à l'étude de la nutrition des plantes*, BULL. DE L'ACAD. ROYALE DE BELGIQUE, t. XXXIV, n° 12; 1874, *Deuxième Note*, dans le BULL. DE L'ACAD. ROYALE DE BELGIQUE, t. XXXVII, n° 4.

de respiration, de circulation, de transformations, d'assimilation et de désassimilation, absolument comme celle des animaux.

En effet, la plante, le froment, par exemple, accumule un approvisionnement de nourriture dans la graine, auprès d'un embryon. Or, que le grain de blé serve à alimenter un animal ou qu'il serve à nourrir la plante elle-même, les choses se passeront exactement de la même manière. Si c'est un animal qui mange le blé, celui-ci, réduit en pâte, subit dans le tube intestinal l'influence du suc pancréatique qui transforme la fécule en glycose et le gluten en peptones, qui sont absorbés et passent dans l'organisme par lequel ils sont en fin de compte assimilés. Si c'est le froment lui-même qui absorbe l'endosperme, son embryon agit sur le dépôt de fécule et de gluten, à l'aide du ferment qui opère la transformation de l'amidon en glycose et du gluten en principes absorbables et assimilables par l'individualité végétale. La vérité de ces assertions a été démontrée par les intéressantes expériences de M. Ph. Van Tieghem sur la germination de la Belle-de-Nuit (1); cet habile observateur a nourri des embryons extraits de la graine et séparés de leur albumen naturel au moyen d'une pâte de fécule de pomme de terre ou de sarrasin. Les grains d'amidon en contact avec l'embryon étaient corrodés et dissous, ce qui prouve, nous paraît-il, que le ferment nécessaire est fourni par l'embryon.

En vérité, je ne vois nulle différence entre cette alimen-

(1) PH. VAN TIEGHEM, *Recherches phys. sur la germination* (ANN. DES SC. NAT., 1873, t. XVII, p. 205).

tation et celle de l'animal; il me paraît nécessaire qu'on la désigne du même nom chez les plantes. En d'autres termes, la digestion n'existe nulle part ou bien elle est commune à tous les êtres vivants.

La digestion est une phase de la nutrition qui précède l'intussusception; elle ne se manifeste pas seulement dans l'estomac des animaux, où elle est localisée, mais aussi dans la cellule végétale. Ce n'est pas ainsi que les faits sont ordinairement compris: on est encore disposé à opposer la nutrition des plantes à celle des animaux, tandis que je crois que les lois de la physiologie sont simples et qu'elles sont les mêmes pour tous les êtres vivants.

En effet, l'absorption et la circulation des substances alimentaires sont régies par les lois de la diffusion, par les rapports des substances cristalloïdes et colloïdes, par les propriétés des membranes cellulaires et surtout par l'activité du protoplasme à laquelle tout phénomène vital est subordonné.

Il est maintenant hors de doute que pour être absorbés par les végétaux, les aliments doivent se trouver à l'état cristalloïde. Les matières organiques du sol sont amenées à l'état d'acide carbonique, d'ammoniaque, de sulfate, de phosphate ou d'autres sels, par un ensemble de phénomènes de putréfaction ou de fermentation provoqués par des bactéries, des monades, etc., et même par des sucres excrétés par les cellules absorbantes. On pourrait croire qu'il en est autrement chez les animaux, parce qu'on les voit s'alimenter de matières organiques: nous nous nourrissons de pain, de viande, de bière; il semble que pour nous les lois de la diffusion soient suspendues, tandis qu'en

réalité, il n'en est pas ainsi: la digestion qui intervient a pour effet de transformer les aliments organiques en substances cristalloïdes et absorbables; l'absorption est donc soumise aux mêmes lois chez les animaux et chez les plantes.

Les mêmes principes régissent la circulation des matières nutritives dans l'intérieur de l'organisme: elles éprouvent des transformations continuelles déterminées par des ferments solubles, lesquels sont bien plus fréquents dans l'économie végétale et jouent un bien plus grand rôle dans la nutrition qu'on ne le supposait: découverts, étudiés et isolés par les chimistes, ils ne sont pas suffisamment appréciés par les physiologistes. Ils doivent désormais être pris en considération parmi les produits du protoplasme végétal: leur rôle dans l'assimilation est trop important pour qu'ils soient négligés: il en est de même des principes immédiats qui dérivent de leur action sur les matières alimentaires ternaires et quaternaires.

Dans cette théorie, les fermentations elles-mêmes cessent d'être des phénomènes exceptionnels et rentrent dans l'ordre naturel; ces transformations et ces dédoublements sont des phases de la nutrition; elles peuvent, il est vrai, se produire ou se continuer, dans certaines circonstances, en dehors des organismes vivants, de même qu'on peut obtenir la digestion artificielle et même ajouter au pouvoir digestif, par l'ingestion de pepsine.

On voit partout dans l'économie végétale des ferments solubles agissant comme ceux qui existent dans la salive, dans l'estomac, dans le tube intestinal, et, généralement, dans tous les sucs des animaux. D'un autre côté, on peut

constater l'action de ces ferments sur les matières élaborées et suivre les transformations que ces matières éprouvent.

On les voit passer successivement par les formes de néoplasme, de dépôt, de circulation, d'assimilation et de désorganisation. Si nous considérons, par exemple, les substances ternaires, nous les voyons élaborées par l'activité chlorophyllienne, s'accumuler sous forme d'amidon, de saccharose ou d'huile, se dissoudre sous forme de glycose et passer à l'état de cellulose : enfin, on rencontre l'acide oxalique que l'on peut considérer comme un produit de la combustion respiratoire, et qui, se combinant aux bases, principalement à la chaux, cristallise et se fixe dans les tissus destinés à être éliminés.

On peut de même suivre les matières quaternaires dans leur évolution. On sait qu'elles sont élaborées par les végétaux, dans le protoplasme incolore, par le concours d'une matière ternaire, probablement la glycose, et d'une substance azotée qui paraît être l'ammoniaque. On ignore sous quelle forme elles circulent, c'est peut-être l'albumine, s'il est vrai que cette substance puisse être directement absorbée. Les formes de dépôts sont nombreuses, l'albumine cristalloïde, le gluten, la caséine et l'aleurone qui peuvent, par l'effet d'une digestion, repasser à l'état soluble; l'asparagine leur est intimement liée et se trouve, en général, là où elles sont soumises à des influences oxydantes (1).

(1) L'asparagine ne se trouve pas seulement dans les pousses de l'asperge : elle se rencontre en général dans les organes en voie de développement rapide et dans les graines en germination : elle paraît être un dérivé des substances albumineuses. On sait d'autre part (HOPPE SEYLER, *Handbuch der Chemische Ann.*, p. 156) que l'acide aspartique se forme dans l'organisme animal par l'action du suc pancréatique sur la fibrine du sang.

Dès qu'on reconnaît la similitude de la nutrition chez les animaux et chez les plantes, il est tout simple que les mêmes produits se rencontrent chez les uns et les autres; nous parlons des produits dérivés des substances organiques : l'acide formique, par exemple, se trouve dans les fourmis et dans les poils de l'Ortie; l'acide butyrique dans la sueur et dans la pulpe des Tamarins : l'acide palmitique, dans les graisses animales et dans le beurre de palme; l'acide oxalique, dans la sécrétion rénale et dans presque tous les végétaux. Les exemples abondent pour établir l'unité de composition chimique dans les deux règnes organiques.

On s'explique par la même raison l'unité de structure anatomique. Le protoplasme offre les mêmes caractères essentiels chez les végétaux et les animaux, les mêmes réactions, les mêmes mouvements, la même contractilité. Quoi donc d'étonnant dès lors que son activité soit la même aussi sur les aliments qui doivent être assimilés par lui-même et être utilisés par lui pour construire les êtres qu'il anime et à l'abri desquels il vit : on l'a déjà dit, et c'est la vérité, la seule chose qui vive dans une plante est le protoplasme, et la plante même est son œuvre : c'est lui qui façonne les cellules et construit l'organisme. On sait que la cellule est aussi la base de l'organisme animal : si le résultat est le même, il est logiquement vrai que le procédé est aussi le même, puisqu'on peut conclure de l'identité d'effet à l'identité de la cause. L'unité de structure est le corollaire de l'unité nutritive.

Les végétaux sont des êtres organisés complets : ils se suffisent à eux-mêmes, s'approprient la matière inorganique, l'absorbent, l'élaborent, la digèrent et se l'assimilent; ils ont aussi la désassimilation, le mouvement de

décomposition, la respiration; ils restituent quelque chose au monde minéral et physique. De plus, certaines classes de végétaux manifestent ce pouvoir avec une grande activité : ce sont les Champignons, auprès desquels on peut placer les bactéries, les levûres, les moisissures, les myxomycètes; ce sont aussi les Saprognéliacées et quelques algues parasites. Sans doute, dans l'ensemble du règne végétal, le mouvement de composition l'emporte sur le mouvement de décomposition, mais le cycle existe. On peut s'imaginer la surface du globe peuplée de végétaux seulement, tandis qu'il serait absurde de se figurer les animaux existant seuls sur le globe. Pendant la période houillère, il semble que la végétation prédominait fortement sur l'animalité : il en était sûrement ainsi dans les bassins houillers où les débris paléozoïques sont bien clair-semés.

Maintenant, si nous revenons un moment aux plantes carnivores, nous pourrions reconnaître qu'abstraction faite de leur singulière structure, les faits constatés chez elles rentrent comme cas particulier dans une théorie générale. Ce qu'elles présentent de plus intéressant, c'est la présence d'un ferment pepsine, à leur surface, dans un liquide sécrété. Mais il en est de même de la levûre (*Saccharomyces cerevisiae*) qui, elle aussi, excrète le ferment inversif du sucre de canne. Le fait n'est pas plus extraordinaire que de constater un ferment dans la salive de l'homme et même dans sa sueur. D'ailleurs, il n'est pas encore établi que les produits de cette digestion extérieure soient utilisés pour la nutrition et encore moins qu'ils soient indispensables.

Il est toutefois bon à noter que les faits constatés chez les *Drosera*, si étranges qu'ils ont été qualifiés de bali-vernés, ont eu cet heureux résultat qu'ils ont ouvert un horizon nouveau sur une théorie simple et générale.

Ce travail devrait être plus étendu et plus approfondi, eu égard à l'importance du sujet, tandis que je me suis borné à exposer des principes qui demandent à être discutés. Je voudrais pouvoir les vérifier à l'aide d'expériences péremptoires, d'ailleurs faciles à réaliser, mais que je n'ai pu entreprendre au milieu des nombreux devoirs auxquels je dois satisfaire. Toutefois, je n'ai pas à rechercher l'origine et la nature des ferments, ni à découvrir le procédé des fermentations : je reste dans ma position de botaniste, accueillant les faits constatés en chimie et m'efforçant de les faire servir, quand il y a lieu, à l'interprétation des phénomènes de physiologie végétale. Je ne prétends pas m'engager dans l'étude des ferments, leur origine, leur nature, leur mode d'action : ces questions ont occupé Berzélius, Mitscherlich, Liebig, et elles continuent à exercer la sagacité de MM. Pasteur (1), Berthelot (2), Bechamp (3) et nombre d'autres habiles chimistes. Je ne saurais même discuter les opinions régnantes : il me suffit d'attirer l'attention des physiologistes sur le

(1) PASTEUR et JOUBERT, *Sur la fermentation de l'urine*, COMPTES RENDUS, 3 juillet 1876, pp. 5 et 10.

(2) BERTHELOT, *Observations sur la communication de M. Pasteur*, l. c., p. 8.

(3) BECHAMPS, *Sur les microzymas de l'orge germée, etc.* COMPTES RENDUS, 31 juillet 1876, p. 358.

rôle important que ces substances semblent jouer dans la nutrition végétale.

Je n'ai pu, dans le cours de ce petit travail, citer les noms des chimistes qui, par leurs travaux et leurs découvertes, ont fondé la théorie des fermentations et des digestions, mais j'ai le devoir de déclarer que la théorie de la digestion végétale est soutenue avec beaucoup d'autorité depuis plusieurs années par M. Claude Bernard, dans son cours de physiologie générale, inséré dans la *Revue scientifique*, 1873, 2^e semestre.
