

Bibliothèque numérique

medic@

Prunier, L.. - Parallèle entre les phénomènes chimiques dans les végétaux et dans les animaux

1880.

***Paris : F. Pichon et A. Cotillon, imprimeurs. Libraires du Conseil d'Etat
Cote : 90975***

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

PARALLÈLE
ENTRE
LES PHÉNOMÈNES CHIMIQUES
DANS LES VÉGÉTAUX ET DANS LES ANIMAUX.

THÈSE

PRÉSENTÉE
AU CONCOURS D'AGRÉGATION
(SECTION DES SCIENCES PHYSIQUES)

PAR

L. PRUNIER

Pharmacien des hôpitaux, Docteur en médecine,
Docteur ès sciences physiques,
Professeur agrégé de chimie organique à l'Ecole supérieure de pharmacie.

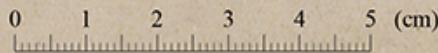


PARIS

F. PICHON ET A. COTILLON, IMPRIMEURS.

Libraires du Conseil d'Etat,
24, RUE SOUFFLOT, 24.

1880



INTRODUCTION.

Cette étude est un parallèle.

Parallèle, et non antagonisme, ainsi qu'on l'eût dit il y a seulement quelques années.

Le mot actuel nous paraît à la fois plus heureux et plus vrai. Il marque le progrès accompli, en indiquant que la question doit être examinée à un double point de vue, mais sans sortir de la similitude.

Nous ne nous proposons pas de suivre jusqu'au bout Cl. Bernard, l'illustre champion de l'unité physiologique des deux règnes, dans tous les développements qu'il a donnés à cette manière d'interpréter les choses. nous dirons seulement que le contraste existe, et qu'il est incontestable quand on se contente d'envisager au point de vue chimique le résultat final.

Cela ne signifie nullement qu'il y ait opposition fonctionnelle ou antagonisme physiologique.

L'idée fondamentale subsiste, mais ainsi qu'il en est presque toujours, quand on arrive au fond des choses, elles cessent d'être aussi simples qu'on l'avait cru d'abord.

La fonction chlorophyllienne qui produit cet effet de contraste, n'est pas la seule qu'on rencontre

chez les plantes. Elle n'est pas même indispensable puisqu'il existe des végétaux, universellement acceptés comme tels (champignons et autres) qui en sont complètement privés.

Dans ces formes parasites ainsi qu'on les a appelées, le fonctionnement général se rapproche singulièrement du règne animal (respiration, nutrition, calorification, etc.) et d'autant plus que l'on s'adresse à des espèces anatomiquement plus simplifiées. En sorte qu'à l'extrême de la série, la comparaison s'établit entre le protoplasma végétal et le sarcode, qu'il est impossible de distinguer l'un de l'autre. C'est donc l'identité, du moins jusqu'à nouvel ordre. Là est le noeud de la question surtout s'il est vrai, comme on l'a dit maintes fois déjà, que tous les êtres organisés ne sont que des modes variés dans le développement de cette *matière vivante*.

A partir de ce point, par simple apparition de la cellulose (appareil et produit spécialisé), le règne végétal se sépare du règne animal, et à mesure que les appareils se perfectionnent, que les fonctions se localisent, les différents types d'êtres organisés se succèdent dans la nature.

Telle est la donnée théorique. Elle domine comme on voit la question toute entière, et montre que les considérations physiologiques devront partout nous servir de guide, puisqu'il est bien entendu que la chimie biologique s'appuie sur la

physiologie dont elle est comme une dépendance.

Prenant donc l'ensemble des phénomènes chimiques chez les végétaux et chez les animaux, nous chercherons à en dégager les différences et les analogies, en les rapportant aux fonctions physiologiques qui président à leur formation.

Et si les propriétés du protoplasma nous étaient mieux connues, c'est lui que nous eussions pris comme point de départ dans cet exposé.

L'état actuel de la science ne nous permet pas de marcher d'une manière aussi méthodique.

Procédant inversement, nous établirons d'abord le parallèle entre les types élevés dans les deux règnes.

Alors s'accusent nettement les deux parties de cette étude : les *Differences* et les *Analogies*.

Nous évitons d'ailleurs le morcellement à l'infini, en groupant les faits dont nous aurons à parler, par fonctions physiologiques, dont l'ensemble penche tantôt vers les analogies, tantôt du côté des différences.

Ceci posé, voici l'agencement des deux Parties. Au premier rang des Differences, nous trouvons la Fonction chlorophyllienne, dont il est impossible de révoquer en doute l'influence maîtresse sur le développement de la vie à la surface du globe.

Nous l'étudions d'abord en elle-même, puis dans ses agents, et enfin dans ses conséquences.

Nous passons ensuite à la Nutrition propre-

ment dite. Ici nous quittons les végétaux pour constater chez les animaux élevés les différences provenant de la localisation des fonctions.

Puis, l'examen des produits de Désassimilation nous conduit aux organismes inférieurs et là nous retrouvons le terrain commun, le protoplasma, qui nous mène aux Analogies.

Cette Seconde Partie présente naturellement la disposition inverse.

Commençant par les organismes inférieurs, elle montre dans les ferment et les champignons proprement dits, etc., tout un groupe de végétaux dépourvus de chlorophylle et dont la nutrition touche par plusieurs points à ce que l'on a vu chez les animaux.

Puis, les phénomènes de la Maturation des fruits, ceux du Développement des bourgeons, ceux de la Germination ainsi que ceux de la végétation à l'abri de la lumière, apportent successivement leur contingent.

Il en est de même des observations récemment réunies sous le nom de Carnivorisme des plantes.

Nous incrivons enfin, mais sans les développer, les faits nombreux et importants qui concernent la Respiration et la Calorification dans les deux règnes, et nous terminons par quelques mots sur les animaux à chlorophylle. en rattachant à ce paragraphe la formation par voie de synthèse,

dans le règne animal de substances fort importantes et nouvelles (hémoglobine ; lécithines, etc.) ce qui constitue une véritable Elaboration de principes immédiats.

Le cadre, une fois tracé par la physiologie, c'est à la chimie que nous avons demandé de le remplir.

Toutes les fois que nous l'avons pu, nous avons cherché à dégager le phénomène fondamental qui est toujours, comme on sait, d'ordre physico-chimique.

C'est alors que nous nous sommes trouvé en présence d'un nombre de travaux réellement prodigieux. Malheureusement, les difficultés inhérentes à ce genre de recherches sont telles que la plupart des résultats demeurent controversés, encore à l'heure actuelle.

Nous nous attacherons, autant que possible, à ne mettre en avant que ceux qui réunissent le plus grand degré de probabilité, en même temps que nous nous garderons d'affirmations tranchées ou trop hâtives.

Persuadé, de plus, que la difficulté de cet exposé consiste surtout à le faire court, nous nous sommes efforcé de résumer les choses, et même parfois d'une manière schématique, renvoyant, pour le détail, aux travaux originaux qu'un Index, encore incomplet cependant, permettra de consulter dans la plupart des cas.

On voit comment nous avons compris notre tâche. Il nous reste à dire, en terminant, que nous avons puisé à pleines mains dans les excellents ouvrages de MM. Würtz, Robin, Gavarret, Baillon, Schutzenberger, Math. Duval et Arm. Gautier.

Nous devons, en outre, des remerciements particuliers à ce dernier savant, qui a bien voulu nous mettre à même de compléter en quelques points, par des résultats inédits, ses remarquables publications sur la chlorophylle.

Aussi tenons nous à lui en témoigner ici notre sincère et respectueuse reconnaissance.

PARALLÈLE
ENTRE
LÉS PHÉNOMÈNES CHIMIQUES
DANS LES VÉGÉTAUX & DANS LES ANIMAUX.

PREMIÈRE PARTIE.

DIFFÉRENCES.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA FONCTION CHLOROPHYLLIENNE.

Au premier rang des dissemblances que nous aurons à signaler dans ce parallèle, se place la fonction chlorophyllienne; les autres différences sont relativement d'ordre secondaire. Et nous verrons, qu'au point de vue de la résultante, cette fonction est tellement prédominante que les phénomènes qu'elle tient sous sa dépendance ont pu pendant longtemps être confondus avec l'ensemble des fonctions de tout le règne végétal.

PRUNIER. 183.

2

C'est ce qu'un court historique fera mieux saisir, en même temps qu'il donnera un aperçu des faits les plus essentiels dont il convient de tenir compte.

Historique. — L'étude première des phénomènes de la nature vivante a conduit dès l'abord à séparer l'un de l'autre les deux règnes animal et végétal. Cette séparation même est devenue plus profonde à mesure que la science a fait des progrès et que la physiologie animale concentrant uniquement ses efforts sur l'étude des animaux, s'est ainsi isolée de plus en plus de la physiologie des plantes.

A l'origine, en effet, la médecine devait chercher à connaître avant tout les propriétés du corps humain et de celui des animaux. Et une fois la science des animaux distinguée et séparée en principe de la science des végétaux, il a été d'autant plus difficile de revenir sur ce qui une fois pris que les premières découvertes en physiologie, et les plus éclatantes, ont paru tout d'abord consacrer définitivement l'opposition fonctionnelle entre les deux règnes.

Aussi est-ce seulement dans ces derniers temps qu'une pléïade de savants éminents est parvenue à séparer la respiration proprement dite de la fonction chlorophyllienne, et à mettre en lumière les analogies qui existent entre les animaux et les végétaux et non plus seulement les différences.

Il serait facile de remonter jusqu'au moyen âge

et de trouver dans l'œuvre de Van Helmont, par exemple, des expériences d'un haut intérêt sur le développement des végétaux. Nous mentionnerons seulement, sans nous y arrêter, ces observations, dont l'auteur ne pouvait saisir encore la portée; de même aussi celles qui sont dues à Bonnet, de Genève, si remarquables qu'elles soient.

Nous arrivons donc à Priestley, d'illustre mémoire, l'adepte persévérant des idées de Stahl.

C'est à partir de 1772 environ que Priestley, dans son *Traité des différentes espèces d'air*, s'est occupé des différentes doctrines au moyen desquelles on essayait, à cette époque, de rendre compte de la permanence de la composition de l'atmosphère, en tant que milieu respiratoire.

Priestley, après avoir renversé la théorie du comte de Saluces, basée sur l'action des froids de l'hiver, montre que la combustion d'une lumière, tout aussi bien que la respiration animale, rend irrespirable l'air contenu dans une cloche. Mais si dans ce milieu vicié on introduit une plante, celle-ci, loin de manifester un trouble quelconque, végète et se développe avec un surcroît d'énergie. Il y a plus, cet air primitivement irrespirable a retrouvé, après le passage de la plante, la propriété d'entretenir la respiration des animaux, et l'on peut ainsi, en alternant convenablement, répéter et prolonger indéfiniment cette expérience capitale.

Les contemporains de Priestley, vivement impressionnés par sa découverte, en firent sortir presque à l'instant même la théorie de l'antagonisme respiratoire dans les deux règnes.

Cette théorie, qui paraissait l'expression d'une des grandes harmonies de la nature, était cependant prématurée, et même au fond inexacte. L'expérience célèbre de Priestley n'était pas elle-même bien connue ni possédée dans toutes ses conditions.

Il convient en effet d'ajouter qu'elle ne réussissait pas d'une manière constante et que, un peu plus tard, Priestley reprenant ses expériences, ne trouva plus les résultats aussi nets. Parfois même il eut à constater que la plante s'était comportée de la même façon qu'un animal. De là des perplexités dont il sortit en déclarant *mauvaises* les expériences qui n'avaient pas réussi. Il les rejeta donc, et n'accepta définitivement que celles qu'il appela les *bonnes* c'est-à-dire les premières.

Ici, nous ferons, avec Cl. Bernard, une réserve au point de vue de la méthode. Il n'y a pas de mauvaises expériences. Elles sont toutes bonnes pourvu qu'on en sache déterminer exactement les conditions. Or c'est précisément l'une des plus importantes qui avait échappé à Priestley ; à savoir l'influence prépondérante de la lumière sur le sens du phénomène.

Et c'est là ce que démontra Ingenhouz en 1787, dans une série d'expériences décisives.

En même temps apparaissait un élément nouveau dans la question puisque Ingenhouz attribua la production de l'oxygène à la décomposition de l'eau. Conclusion trop absolue évidemment puisque l'acide carbonique n'entre pas ici en ligne de compte; mais nous verrons qu'après avoir été contredite à l'origine, et considérée même comme dénuée de tout fondement, cette opinion a repris faveur à la suite de travaux plus récents, lesquels tendent à faire admettre que l'eau contribue, en partie du moins, à la production de l'oxygène dans la fonction chlorophyllienne.

Senebier eut ensuite le mérite de reconnaître la nature du gaz produit dans ces circonstances et rapporta la formation de l'oxygène à la décomposition de l'acide carbonique; manière de voir adoptée et développée dans une série de travaux les plus remarquables par Th. de Saussure en 1804, qui établit peu de temps après que l'oxygène n'est pas moins nécessaire à la vie de la plante qu'à celle de l'animal. L'étude attentive de la germination, celle de la manière dont se composent les plantes vertes placées dans l'obscurité lui prouva dès cette époque qu'il y a, dans ces cas divers, identité de la fonction respiratoire chez les animaux et les végétaux.

Les travaux de ces savants éminents ont ensuite été complétés par MM. Liebig et Boussingault. Mais on admettait toujours que la respiration végétale était l'inverse de la respiration animale et qu'elle lui faisait équilibre dans la nature.

En y regardant de plus près, on ne tarda pas à observer des faits nombreux en contradiction avec cette explication trop hâtive.

Lynk d'abord, puis Meyen, avaient commencé de distinguer la respiration proprement dite de la fonction chlorophyllienne. Mais c'est à un savant français M. Garreau que revient l'honneur d'avoir, en 1851, nettement posé le principe de la séparation et établi par des expériences précises que, même au soleil, les plantes vertes dégagent de l'acide carbonique. — Il a montré, en outre, que le dégagement de l'acide carbonique augmente dans une certaine mesure avec la température. Ces analogies, avec la respiration animale, M. Garreau n'hésite pas à les rapporter à la matière azotée vivante, au protoplasma, puisqu'ils apparaissent et disparaissent avec lui. — Les recherches de M. Garreau ont été appuyées par celles de plusieurs observateurs et aussi par les nombreux travaux de M. Corenwinder qui a poursuivi l'étude de la question depuis une vingtaine d'années.

Développant et continuant les recherches de Saussure sur la germination et de M. Boussingault sur la respiration des feuilles, M. Corenwinder

montre que les jeunes végétaux commencent à respirer comme des animaux, et cela avec d'autant plus de netteté qu'il y a moins de corpuscules chlorophylliens; mais à mesure que les feuilles verdissent, la production d'oxygène augmente et masque la production respiratoire de l'acide carbonique.

En même temps que les substances hydrocarbonées augmentent, les matériaux azotés diminuent en proportion relative dans les cellules à chlorophylle, ils paraissent émigrer vers les organes où se forment les cellules nouvelles, accompagnés dans cette migration par le phosphore qui, après l'évolution d'un organe axile, se concentre soit dans les graines, soit dans les bourgeons où le cycle des phénomènes vitaux va se reproduire à nouveau.

En résumé, à l'opposition harmonique des deux règnes, au point de vue respiratoire, il faut substituer l'unité fonctionnelle dans toute la nature vivante et cette théorie n'est pas inférieure, il s'en faut, au point de vue philosophique, à celle qu'elle semble destinée à remplacer.

Le contraste a été établi ensuite sur le terrain chimique, à propos de la composition centésimale qui diffère notablement dans les deux cas.

Nous mentionnons seulement ici, au point de vue historique, cette opinion dont les faits relatés dans notre étude donneront l'explication.

Ce qui a pu contribuer à étayer cette manière

de voir, se rapporte en définitive à la fonction chlorophyllienne elle-même.

C'est alors que le dualisme mettant à profit les notions modernes sur la théorie mécanique de la chaleur et le principe de la transformation de l'énergie, a voulu infuser en quelque sorte un sang nouveau à la doctrine de l'antagonisme entre les végétaux et les animaux. Ici, nous devons le dire, le terrain est plus solide.

Dans cet ordre d'idées et pour en arriver de suite à l'aphorisme sous lequel la doctrine a été formulée par un esprit éminent : « Le végétal est « produit par l'élévation d'un poids ; l'animal par « la chute de ce poids. » Formule saisissante à coup sûr, mais comparaison mal établie.

Il est impossible, en effet d'admettre, sans restriction ni réserve, que l'animal soit un fourneau dans lequel s'opère la combustion du végétal.

Un instrument qui détruit et simplifie ce que le végétal forme ou complique.

Une machine où la force de tension accumulée par le végétal, se transforme en mouvement, chaleur, force vive, travail. Et les conséquences multiples et variées à l'infini qu'il est facile d'en tirer.

Tous ces énoncés et bien d'autres encore du même ordre ne sauraient établir un antagonisme entre le végétal et l'animal qui, en l'absence de la lumière, fonctionnent pareillement et parallèle-

ment, oxydent, transforment chimiquement, dirigent et assimilent physiologiquement d'une façon toute semblable les substances élaborées par la fonction chlorophyllienne ou actions analogues, et dont les êtres vivants sans exception profitent au fond de la même manière.

Là est l'opposition et non ailleurs.

Disons donc plus exactement :

La fonction chlorophyllienne et les actions semblables élèvent le poids. Les végétaux et les animaux utilisent ensuite la chute du poids.

Il y a simplement question d'adaptation à un milieu donné.

Ceci posé, voyons ce qu'est en principe la fonction chlorophyllienne telle qu'on l'admet de nos jours.

Fonction chlorophyllienne proprement dite.

Nous ne devons, dans cette étude chimique, indiquer que fort incidentement ce qui a trait à la physiologie pure. C'est pourquoi nous signalerons en passant seulement la profonde différence qu'il est indispensable de faire entre la matière colorante, le pigment chlorophyllien, généralement désigné sous le nom de *chlorophylle*, et la chlorophylle vivante, physiologique, qui n'est autre que du protoplasma imprégné de pigment, que ce protoplasma soit amorphe ou plus ordinairement figuré et constituant pour une même

plante une sorte d'élément anatomique de dimensions et d'aspect constants, qui dès lors devient comparable au globule sanguin ou *hématie* des animaux; d'où la désignation récemment proposée de *chlorophylle*, pour ces éléments figurés du règne végétal.

Ces corpuscules singuliers ont même la propriété de se mouvoir sous l'influence [de la lumière, (rayons très refrangibles), phénomènes qu'il faut rapporter sans nul doute au protoplasma lui-même (Borodin, Frank, Boehm, Famintzin, Sachs, etc.). Ces granulations chlorophylliennes sont seules actives physiologiquement et c'est à elles qu'il convient d'attribuer en principe la fonction tout entière.

Cette fonction d'ailleurs ne doit pas être rapportée à l'assimilation proprement dite comme on l'a écrit en Allemagne, — pas plus qu'à la respiration, puisque son résultat est la *préparation* par voie synthétique de matériaux utilisables ultérieurement par les êtres vivants. Il y a évidemment accroissement, accumulation, absorption de substances nouvelles, mais ce phénomène capital, point de départ de l'opposition admise comme nous l'avons vu entre les deux règnes, relève de la nutrition entendue dans le sens le plus large, à moins qu'on ne le considère comme un fait préliminaire et préparatoire aux phénomènes de la vie proprement dite.

Passons maintenant en revue les conditions dont l'influence est la plus accentuée.

L'influence de la température existe, mais elle varie suivant la nature des plantes. — Les faits connus ne sont pas assez nombreux pour donner lieu à des déductions générales. Nous en direns autant de la lumière artificielle, des expériences nouvelles sont nécessaires à cet égard.

L'influence de la *lumière solaire* directe ou diffuse est presque la seule sur laquelle on sache actuellement quelque chose de positif.

Nous pourrions faire entrer en ligne de compte l'électricité atmosphérique, mais nous renvoyons ce qui a trait à ce sujet à la page 48 où il est question de la fixation de l'azote atmosphérique.

Action de la lumière solaire. — Plusieurs auteurs, et J. Sachs en première ligne, admettent que, sous l'influence de la lumière, le corpuscule chlorophyllien élabore principalement ou même uniquement de l'amidon ; pendant la nuit l'amidon serait dissous puis transporté dans les diverses parties du végétal pour y être utilisé ou mis en réserve, en même temps qu'il y aurait formation des cellules nouvelles.

Cette question de la migration de la matière amylose étant purement physiologique nous la passerons sous silence, et nous chercherons de préférence à nous rendre compte du rôle de la lumière.

Les recherches entreprises par nombre de

savants pour élucider les conditions qui président à cette formation des substances ternaires n'ont pas conduit jusqu'à présent à des résultats concordants et définitifs.

Ces travaux ont eu surtout pour but d'étudier quelles sont, parmi les radiations lumineuses, celles qui sont efficaces pour provoquer la décomposition de l'acide carbonique.

Pour un premier groupe de savants, les rayons lumineux absorbés par les solutions de chlorophylle (rouge moyen, indigo et violet) ne sont pas ceux qui provoquent la décomposition de l'acide carbonique par les parties vertes des plantes (Sachs, Daubeny, Draper, Cloëz et Gratiolet).

Le maximum a lieu au contraire pour les rayons orangés, jaunes et verts qu'elle laisse passer presque tous (Pfeffer).

Ges expériences délicates dans lesquelles se superposent des effets complexes de nutrition, de respiration proprement dite, de décomposition d'acide carbonique, etc., sont difficiles à interpréter. Les méthodes elles-mêmes donnent prise à la critique.

Et d'ailleurs une partie de ces résultats ne sont pas admis par un second groupe de physiologistes auxquels sont dus les derniers travaux enregistrés par la science sur ce point intéressant.

C'est ainsi que relativement à l'influence des

divers rayons du spectre, M. P. Bert, conclu d'une première série de recherches :

1^o Que les rayons verts sont presque aussi nuisibles que l'obscurité complète;

2^o Que les rayons rouges le sont un peu moins ; leur influence se manifesterait principalement par l'elongation des organes ;

3^o Les rayons jaunes sont plus favorables que les rouges ;

4^o Les bleus seraient les plus favorables de tous. Quant au rouge extrême et au vert qui traversent les feuilles, ils doivent être considérés comme sans action.

Il y a comme on voit désaccord avec les conclusions formulées par les auteurs précédents.

Un savant russe, M. Timiriazeff, a repris dernièrement cette étude, et ses expériences le conduisent à faire coïncider le maximum de décomposition de l'acide carbonique avec la bande caractéristique d'absorption de la chlorophylle.

Dans les parties plus refrangibles du spectre la coïncidence est moins complète, ce qu'il explique par la dispersion très grande et la faible énergie des parties bleues et violettes.

Dans les rayons rouges voisins du spectre calorifique, qui traversent sans subir d'absorption les solutions de chlorophylle, on constate un *dégagement d'acide carbonique*.

L'auteur admet en définitive que « dans le phé-

« nomène de réduction de l'acide carbonique par
« les parties vertes des végétaux, les rayons so-
« laires agissent en raison de leur énergie et de
« l'absorption élective de la chlorophylle. »

Telles sont les conclusions de ce travail remar-
quable dont les résultats, comme on voit, pré-
sentent un degré de précision qu'on n'avait pas
atteint jusqu'alors.

M. P. Bert, reprenant et développant ses pre-
mières expériences, a reconnu d'abord que la vie
végétale persiste presque indéfiniment derrière
un verre rouge.

C'est donc dans le rouge que se trouve la partie
nécessaire et suffisante, conformément aux indi-
cations de M. Timiriazeff.

Mais M. Bert a été plus loin. Remplaçant les
verres colorés par une solution alcoolique de chlo-
rophylle incessamment renouvelée et d'épaisseur
très faible, il a vu que les plantes qui reçoivent la
lumière ainsi tamisée ne tardent pas à périr.

Il n'y avait cependant d'absorbée que la bande
rouge caractéristique.

Les résultats de M. Timiriazeff reçoivent donc
une confirmation manifeste.

Toutefois M. P. Bert fait remarquer que si les
rayons rouges en question sont indispensables, il
y en a d'autres encore qui sont utiles.

Dans ces mêmes rayons rouges, en effet, l'élon-
gation se fait seule en quelque sorte. Pour qu'il y

ait coloration des feuilles, les rayons bleus et violets sont indispensables et doivent correspondre aux bandes d'absorption signalées dans cette portion du spectre.

En résumé, d'après M. Bert, les rayons rouges produisent les réductions et la tension dans les tissus, tandis que les rayons refrangibles détruisent la tension et sont la cause de l'*héliotropisme*. La question paraît donc avoir fait un pas important vers une solution définitive.

Il est toutefois un point encore sur lequel il est bon d'appeler l'attention : à savoir, la différence qui sépare la chlorophylle en solution de la chlorophylle vivante, physiologique. Cette dernière, en effet, est privée de fluorescence, l'absorption restant sensiblement la même. On peut donc dire avec M. Wurtz que la chlorophylle vivante semble disposer de l'excès d'énergie correspondant.

C'est le moment maintenant de chercher à résumer le rôle de la lumière dans la fonction chlorophyllienne.

Nous appuyant d'une part sur les travaux que nous venons d'analyser et de l'autre sur les propriétés spectroscopiques de la chlorophylle telles qu'on les connaît d'après les observations de plusieurs physiciens parmi lesquels il convient de citer en première ligne Stokes. (V. p. 31 et suiv.).

Nous dirons que la chlorophylle puise dans la lumière solaire, par plusieurs bandes d'absorp-

tion, lesquelles, pour peu que l'épaisseur soit notable se réunissent en deux groupes :

Un premier groupe est situé dans le rouge, l'orange et le jaune jusqu'au vert. C'est le plus important.

Un second groupe s'étend dans le bleu et le violet.

La lumière qui traverse est formée par le rouge extrême, les rayons verts moyens et aussi la partie la plus refrangible du spectre.

Le rôle de ces radiations correspond peut-être à des fonctions autres que la chlorophyllienne.

C'est ainsi que le rouge extrême paraît être un excitant de la respiration (Timiriazeff).

Quant à la partie absorbée, la chlorophylle la conserve, et, à l'état physiologique, elle est employée à l'accomplissement de la fonction qui nous occupe, que cette utilisation ait lieu avec ou sans transformation des radiations absorbées dans la partie moyenne.

Cette transformation paraît cependant résulter de l'étude optique des solutions de chlorophylle qui sont fluorescentes comme nous l'avons dit plus haut.

Ces rayons diffusés épipoliquement, étudiés à leur tour, se divisent en deux groupes d'intensités fort inégales. Un groupe de *rayons rouges*, qui prédominent de beaucoup, et dont l'indice de réfraction est le même que celui de la bande rouge

d'absorption, c'est là le nœud de la question (physiologiquement la formation des matières ternaires paraît lui correspondre).

Quant au second groupe diffusé par fluorescence, il est formé de rayons *bleus* et *violets* fournissant une teinte mixte verdâtre. C'est là peut-être la partie signalée par M. Bert comme nécessaire à la production des parties vertes (pigment chlorophyllien).

Quoi qu'il en soit la chlorophylle fait donc provision de force vive aux dépens de la lumière solaire.

Cette force vive disponible que devient-elle ? Nous savons par expérience que l'acide carbonique est décomposé en même temps qu'une certaine quantité d'eau, et que l'oxygène se dégage.

Nous pouvons donc formuler ainsi la réaction, au point de vue pondéral, en une équation chimique; $n(C^2H^2O^6) = n(C^2H^2O^2) + nO^4$. Le premier membre pouvant être remplacé par $n(C^2O^4 + H^2O)$. Il va sans dire que cette réaction est essentiellement *endothermique*. Et si nous voulions chiffrer l'énergie absorbée dans ce phénomène fondamental, la thermochimie nous enseignera que pour chaque CO_2 détruit, la chaleur absorbée égale — $68C^16 + A$.

A étant la chaleur dégagée par l'union de l'oxyde de carbone avec l'hydrogène sous la forme d'hydrate de carbone $(C^2H^2O^2)^n$. (Berthelot).

PRUNIER. 183.

Cette valeur en effet varie avec le composé qui prend naissance dans la réaction.

Si c'est de la cellulose A = + 20 Calories, tandis que si c'est du glucose, la valeur de A se réduit à + 14 Calories.

Telle est, autant qu'il est possible de le savoir actuellement, la mesure de l'énergie empruntée au soleil et employée par la fonction chlorophyllienne à l'élaboration physico-chimique des matières hydrocarbonées ou, ce qui revient au même, à la *fixation du carbone*.

Les conséquences sont incalculables. Le tableau majestueux des phénomènes naturels avec antagonisme apparent en sort tout naturellement. Ce tableau a été fait de main de maître, et nous ne nous hasarderons pas à le refaire.

Nous bornant à énumérer les principales conséquences qui se rattachent à notre sujet, nous dirons seulement :

La matière organique ainsi formée au moyen des éléments minéraux et de la radiation solaire, les végétaux la mettent d'abord en œuvre. Ceux-ci deviennent ensuite la pâture des herbivores, qui servent d'aliment aux carnivores, lesquels restituent au monde minéral les éléments ramenés à l'état initial.

Ainsi s'explique l'équilibre dans la composition de notre atmosphère, et l'on voit aussi comment, en dernière analyse, toute chaleur, tout tra-

vail, toute énergie, toute vie animale ou végétale ainsi que les transformations infinies qui en découlent, proviennent en définitive du soleil.

L'influence des rayons solaires paraît se faire sentir à un autre point de vue encore, et qui peut se rattacher plus ou moins directement à la fonction chlorophyllienne. Il résulte en effet des travaux de MM. Dehéain, Corenwinder et autres observateurs, que sous l'influence de la lumière du soleil l'évaporation devient quatre ou cinq fois plus active qu'à la lumière diffuse, — toutes choses égales d'ailleurs. — Il y a là un ensemble de faits intéressants à élucider ultérieurement.

La formation des hydrates de carbone est-elle le résultat unique de la fonction chlorophyllienne? D'après certains, il faudrait y rattacher encore, au moins comme provenant également de l'activité du protoplasma, la production des albuminoïdes au moyen des composés ternaires et des corps azotés; cette synthèse nouvelle s'effectuant plutôt pendant la nuit et par conséquent en dehors de l'influence lumineuse. Il n'est pas besoin de faire remarquer que ces formations sont subordonnées à un phénomène purement physiologique (digestion ou assimilation).

Ces questions ne doivent pas nous arrêter longuement, non plus que la théorie de Pringsheim, laquelle donnerait pour rôle unique au pigment chlorophyllien de préserver en s'oxydant lui-

même le protoplasma d'une oxydation trop rapide; c'est donc le dernier seul qui décomposerait alors l'acide carbonique sous l'influence des rayons lumineux qui traversent la chlorophylle.

Ceci constitue comme on voit, toute une nouvelle explication des phénomènes et de la fonction elle-même.

Tout cela étant encore hérissé d'hypothèses, de même que la plupart des questions qui se rattachent au protoplasma, nous abandonnerons ce terrain sur lequel la chimie ne se sent pas encore appuyée par des données suffisantes, pour passer à l'étude des différents pigments qui concourent, en même temps que le protoplasma, à la fixation du carbone dans les tissus vivants.

On sait aujourd'hui que toutes les chlorophylles ne sont pas identiques, et nous verrons même que parmi les pigments qui contribuent à décomposer l'acide carbonique en présence de la lumière, il en est dont la couleur diffère nettement du vert et auxquels le nom de chlorophylle n'est plus applicable. Cette notion d'ailleurs n'a rien de surprenant en théorie, puisque la caractéristique spectrale de la chlorophylle est dans le rouge.

Pigment des phanérogames ou Chlorophylle ordinaire.—Malgré les nombreux travaux dont elle a été l'objet, la nature de la chlorophylle n'est pas connue d'une manière définitive.

C'est Pelletier et Caventou qui ont introduit dans la science le nom de *chlorophylle* pour la substance verte des feuilles, appelée aussi *chromule*.

Verdeil, qui y admettait la présence du fer, la préparait en précipitant par la chaux une solution alcoolique de feuilles contusées, neutralisant par un acide et reprenant par l'éther.

La chlorophylle a été ensuite étudiée par M. Fremy qui a, le premier, admis que c'était un corps complexe formé, d'après ses expériences, d'une solution bleue la *phyllocyanine* et d'une substance jaune, la *phylloxanthine*. La dernière cristallisable, toutes deux insolubles dans l'eau.

L'agent employé était un mélange d'éther et d'acide chlorhydrique.

Les travaux de Kraus, au moyen de l'alcool et de la benzine, marchent dans le même sens. Toutefois, M. Conrad fait observer qu'il y a, dans ce cas, hydratation de la matière primitive.

L'action des alcalis donnerait aussi un corps jaune et l'autre bleu (Ludwig et Kromayer).

Mais nous allons voir que tant que nous ne serons pas en présence de substances définies chimiquement, les choses vont aller se compliquant de plus en plus.

M. Filhol à son tour a dédoublé la matière colorante verte des feuilles en quatre substances: un corps brun, azoté, insoluble dans l'alcool et cristal-

lisable, un corps jaune, non azoté, soluble dans l'alcool, un corps bleu soluble dans les acides, et un corps jaune séparé du dernier au moyen de l'éther. Les deux derniers paraissent très voisins sinon identiques avec les deux substances étudiées par M. Frémy.

M. Sorby est également partisan, et plus largement encore, de la pluralité des matières colorantes dans la chlorophylle. Il les groupe autour de trois substances principales : la chlorophylle jaune, la chlorophylle bleue et la chlorofuscine ou chlorophylle brune, dont la réunion constituerait la chlorophylle ordinaire. Il admet qu'on peut les séparer au moyen des dissolvants et les obtenir avec leurs propriétés optiques spéciales. Toutefois l'influence des agents chimiques, alcalis et acides surtout, les transforment en substances nouvelles donnant des spectres où les bandes ont changé de place. Ces substances acidifiées étant susceptibles, dans certains cas, de régénérer, par neutralisation, la substance initiale avec son spectre primitif. Pour ce savant il existe un pigment type dont les transformations constituerait les nombreux pigments décrits antérieurement dans les plantes et dans les animaux (1).

(1) Pour le savant anglais, la chlorophylle des phanérogames qui représente l'état le plus avancé, et les autres pigments indiqués ci-dessus, avec la manière verte des bourgeons non encore soumis à l'action de la lumière, constituent une série dans laquelle les états

C'est ainsi que dans les Floridées on rencontre une matière rouge ou *phycoérythrine* qui se dissout dans l'eau et laisse voir la chlorophylle verte (Rozanoff).

Dans les Fucacées, c'est un pigment brun (*phycophéine*) qui voile la chlorophylle.

Dans les Diatomées, les Nostochinées etc., c'est la *phycoxanthine*, ou matière colorante jaune, qui accompagne la chlorophylle. Toutes ces matières proviendraient de la chlorophylle.

Pingsheim à son tour considère le pigment chlorophyllien comme une espèce chimique définie dont la phylloxanthine et la phyllocyanine de MM. Fremy et Kraus ne seraient que des dérivés; de même l'*étioleine* (matière colorante des plantes étiolées), l'*anthoxanthine* des fleurs jaunes, la *phycoérythrine* des Floridées, ainsi que leur pigment vert qu'il distingue de la chlorophylle ordinaire. Nous aurons à revenir sur ce point à propos des différents pigments chlorophylliens.

Caractères spectroscopiques. — L'aspect fluoresent des solutions de chlorophylle est bien connu. Quand on projette un spectre solaire sur une solution concentrée, on voit se produire sept bandes rouges brillantes situées aux endroits où Kraus a signalé sept bandes d'absorption dans le

transitoires mènent à l'état parfait; de même que l'hémoglobine existe à l'état incolore; et, par gradations, s'élève à l'hémoglobine des animaux supérieurs.

spectre. En outre, quand on examine la nature de ces bandes fluorescentes, on voit que la lumière qui les compose n'est sensiblement autre que celle qui correspond par son indice de réfraction à la première bande d'absorption située entre les lignes B et C (Stokes.)

Nous avons indiqué déjà les travaux de Stokes et de Kraus sur le spectre d'absorption de la chlorophylle. Nous devons signaler maintenant ceux de M. Chautard qui a repris en 1874 l'étude optique des solutions chlorophylliennes.

Cet auteur admettrait volontiers que le pigment est formé de deux substances séparables par dialyse. De là superposition de systèmes de bandes d'absorption variables avec la réaction et la dilution du dissolvant, sauf la raie formée au milieu du rouge, que l'auteur regarde comme tout-à-fait fixe et caractéristique. Elle est encore perceptible pour des solutions alcooliques au dix-millième.

L'auteur signale, en outre, des *raies surnuméraires* des *raies accidentelles*, temporaires ou permanentes, etc., qui varient avec la concentration et sont plus ou moins distinctes. L'épaisseur augmentant, ces raies ou bandes d'absorption se confondent en deux bandes larges, dont la plus grande recouvre la presque totalité des rayons les plus refrangibles, tandis que, dans le rouge, la bande spécifique très nette, placée entre les raies B et C.

de Frauenhofer, se rapproche et finit par rejoindre les bandes estompées situées dans le jaune, l'orange et le vert dont l'intensité va décroissant (Pringsheim, Kraus, Sachs, Timiriazeff, etc.)

On a longtemps admis et nié tour à tour que le fer entre dans la composition de la chlorophylle. Il paraît en tout cas démontré qu'il favorise sa formation. On sait, en effet, que E. Gris, renouvelant à un autre point de vue l'expérience par laquelle Franklin montra l'influence du plâtrage sur les prairies, a fait voir que sur une feuille de plante chlorotique, on peut tracer, avec une solution ferrugineuse, des caractères qui apparaissent bientôt en vert foncé sur un fond jaune pâle. L'examen microscopique prouve alors que les corpuscules chlrophylliens ont pris naissance en grand nombre dans les parties devenues vertes.

Quant aux propriétés de la chlorophylle, sauf les solubilités, elles sont peu connues, ce qui n'a rien d'étonnant puisque la chlorophylle en solution n'est pas une espèce distincte. Aussi peut-on dire que presque toute son histoire chimique est à peine ébauchée.

Il est pourtant une propriété de ce pigment qu'il est important de noter, bien qu'elle soit d'ordre négatif. En l'absence du protoplasma, la chlorophylle ne saurait décomposer l'acide carbonique. Ce fait, admis déjà par les physiologistes, a été établi chimiquement par les travaux de

M. Gautier, travaux inédits dont nous sommes autorisés à consigner ici les résultats.

Ce savant s'est d'abord préoccupé de séparer aussi vite que possible la chlorophylle du protoplasma, sans lui faire subir de modifications sensibles. Et voici ce qu'on peut constater dans ces conditions.

Après l'avoir extraite de la plante au moyen de l'alcool, si l'on vient à émulsionner immédiatement le produit avec de l'eau privée d'oxygène, on peut ramener ainsi la dilution à être comparable à celle qui existe dans la feuille. Si maintenant on fait agir des solutions d'acide carbonique plus ou moins étendues, jamais, quelles que soient les circonstances où l'on se trouve placé, on ne constate le dégagement de trace d'oxygène. Ce qui revient à dire que le pigment chlorophyllien non altéré, et simplement isolé du protoplasma, ne décompose pas l'acide carbonique. — (Communication verbale de l'auteur).

Nous avons vu que la majeure partie des pigments colorés a été envisagée comme constituant des dérivés de la substance normale. Reste donc à savoir ce qu'est cette substance elle-même, et nous devons dire qu'on est loin d'être fixé sur ce point.

Son espèce chimique n'est pas encore définie. Il semble que le produit naturel soit un mélange, ainsi que nous l'avons dit. Jusqu'à ces derniers

temps, non seulement la fonction chimique, mais la composition élémentaire de la chlorophylle était inconnue. On ignorait également si l'azote, si le fer entraient ou non dans la constitution de sa molécule. Des travaux récents, portant sur la partie principale du pigment chlorophyllien, sont venus éclairer cette question. A cet égard, la science a un progrès important à enregistrer, progrès dû principalement aux travaux de M. Gautier sur la chlorophylle cristallisée, qu'il a obtenue sous cet état dès 1877, et qui n'est autre chose que la partie principale du pigment chlorophyllien. C'est ce qu'il nous reste maintenant à exposer brièvement.

Chlorophylle cristallisée.

Au point de vue chronologique, il faut mentionner d'abord les observations microscopiques de M. Trécul, en 1865, qui a vu se produire sur les corpuscules chlorophylliens du *Lactuca altissima* des aiguilles cristallines vertes, solubles dans l'alcool.

Et les expériences de M. Filhol, qui est parvenu, en 1874, à dédoubler la chlorophylle des monocotylédons en une substance jaune, et un corps brun, fluorescent et cristallisable.

Mais c'est seulement depuis les publications de M. Gautier que l'étude de la chlorophylle est entrée dans la phase chimique à proprement parler;

et les résultats obtenus déjà font prévoir que nous saurons prochainement à quoi nous en tenir sur cette matière si intéressante.

Indiquons d'abord comment on la prépare.

Voici, extrait du Mémoire de ce chimiste, inséré aux *Comptes-Rendus*, séance du 17 novembre 1879, le mode opératoire à employer pour obtenir la chlorophylle cristallisée :

« Pour obtenir la chlcrophylle, je prends des feuilles vertes d'épinards, de cresson, etc., que je pile dans un mortier, en ajoutant à la pulpe un peu de carbonate de soude jusqu'à presque neutralisation du jus, puis je soumets à une forte pression. Je délaye ensuite le marc dans de l'alcool à 55° et je comprime de nouveau énergiquement. Je reprends alors la matière ainsi épuisée à froid par de l'alcool à 83°. La chlorophylle se dissout, ainsi que les cires, les graisses, les pigments. La liqueur est filtrée et mise en contact avec du noir animal en grains, au préalable lavé et porté à une température suffisamment élevée.

« Au bout de quatre à cinq jours, il s'est empêtré de la matière colorante verte; la liqueur est devenue jaunâtre ou brunâtre, elle contient toutes les impuretés. On la décaute, on recueille le noir dans une allonge fermée par du coton, et on lave à l'alcool à 65°. Celui-ci s'empare d'une substance jaune cristallisable, déjà signalée comme accompagnant généralement la chlorophylle et qui

paraît en rapport intime de composition avec elle.

« Sur le noir ainsi privé du corps jaune ou n'en contenant que des traces, on verse de l'éther anhydre ou mieux de l'huile légère de pétrole qui ne dissout pas la matière jaune. Ces dissolvants s'emparent de la chlorophylle et donnent une liqueur verte très-foncée qui, par une lente évaporation à l'obscurité, fournit la chlorophylle cristallisée. »

Ce corps se présente en aiguilles aplatis, souvent rayonnées, de consistance un peu molle, et pouvant atteindre un demi-centimètre de long.

Les plus petits cristaux sont verts par transparence, d'autres offrent une belle teinte lilas.

L'auteur les rapporte au système du prisme rhomboïdal oblique. A la lumière diffuse ils passent au vert jaunâtre et se décolorent au bout d'un temps assez long. La substance est alors devenue incristallisable. L'auteur est conduit à rapprocher la chlorophylle de la bilirubine.

Enfin il établit l'absence du fer et assigne au produit la composition centésimale suivante :

$C = 73,97; H = 9,80; Az = 4,15; O = 10,33.$

Phosphates et cendres 1,75.

Ces chiffres doivent être rapprochés de ceux que M. Hoppe-Seyler a indiqués en septembre 1879 comme se rapportant à la *chlorophyllane*, substance cristalline extraite par lui de l'herbe épuisée

par de l'éther. C=73,4; H=9,7; Az=5,62; O=9,57;
Ph=1,37; Mg = 0,34.

Les résultats de l'auteur allemand, postérieurs à ceux du chimiste français, s'en écartent un peu comme teneur en azote 4,15 (Gautier) 5,62 (Hoppe-Seyler). M. Gautier fait remarquer à cet égard que dans un cas le produit provenait des dicotylédones, dans l'autre des monocotylédones et qu'il se pourrait parfaitement bien que les deux pigments fussent différents l'un de l'autre.

Les résultats analytiques de M. Gautier ont reçu d'ailleurs la vérification la plus complète par les expériences de M. Rogalski, qui a opéré sur une chlorophylle provenant du *Lolium perenne*.

Cette chlorophylle lui a donné les mêmes chiffres, notamment en azote, que ceux qu'on trouve dans le travail du savant français.

Pigment chlorophyllien des cryptogames.

Nous avons vu déjà que plusieurs auteurs s'accordent à considérer le pigment chlorophyllien comme complexe, et nous avons eu occasion, à cet égard, de donner un aperçu des vues de M. Sorby, en particulier, sur ce point important.

C'est principalement chez les cryptogames que l'on constate des différences sensibles entre la chlorophylle ordinaire et celle des Floridées (Pringsheim) des Fucacées (Millardet) et aussi des Fougères (Gautier).

Dans ce dernier groupe de plantes, le pigment chlorophyllien présente des propriétés qui les séparent nettement de celui des dicotylédones par exemple.

Nous devons à l'obligeance de M. Gautier la connaissance de quelques expériences inédites qui établissent cette séparation, et que nous sommes heureux de pouvoir publier ici. Dans le cours de ses nombreuses recherches sur la chlorophylle, ce chimiste a été amené à s'occuper de la chlorophylle de Fougère.

C'est alors qu'entre autres choses il a pu constater qu'il est impossible de manier cette chlorophylle à la lumière, même diffuse, sans la voir se détruire presque instantanément, et passer, par oxydation à l'état d'un composé rougeâtre assez semblable, quant à l'aspect, à ce qu'on obtient avec la chlorophylle ordinaire; mais l'oxydation se produit dans un laps de temps cinquante fois au moins plus court quand il s'agit de chlorophylle de Fougère (Gautier, Communication verbale).

Cette sensibilité du pigment, dans certaines catégories de végétaux, paraît appropriée au milieu dans lequel il est destiné à exercer son action.

On sait, en effet, que beaucoup de plantes décomposent l'acide carbonique non plus à la lumière directe ou diffuse du plein jour, mais sous l'ombrage plus ou moins épais des forêts (cryptogames nombreux), dans des grottes obscures, ou bien

au fond de la mer où n'arrive qu'une bien faible
lueur de jour.

De là, et fatallement pour ainsi dire, la nécessité
de variétés nombreuses dans la sensibilité à la
lumière des différents pigments chlorophylliens.

Pigment rouge. — Il ne paraît pas nécessaire, *a priori*, que le pigment qui accompagne le corpuscule dans lequel s'effectue la décomposition de l'acide carbonique, soit de couleur verte.

Bien que la science ne soit pas très riche d'obser-
vations à ce sujet, nous pouvons citer, en dehors
des faits signalés par M. Sorby, ceux que M. de
Quatrefages a publiés relativement à une *matière
colorante rouge* qui décomposait l'acide carboni-
que.

Il a rencontré cette substance dans une algue
draguée à une certaine profondeur aux environs de
Saint-Waast. L'examen microscopique n'a signalé
aucune trace de matière verte. Les corpuscules
chlorophylliens étant remplacés par des grains
analogues, mais de couleur rouge. Cette algue dé-
composait néanmoins l'acide carbonique.

On voit ici un pigment rouge fonctionner comme
les pigments verts, et ce que nous avons dit des
propriétés optiques fournit l'explication théorique
du phénomène.

Quant aux faits relatifs à la chlorophylle ani-
male, on les trouvera à la fin de la seconde partie.

CHAPITRE II.
ÉLABORATION DES MATIÈRES ORGANIQUES PAR LES
VÉGÉTAUX.

Nous venons de voir ce qu'est en principe la fonction chlorophyllienne, et nous avons passé en revue les propriétés les plus saillantes de ses principaux agents; disons à présent quels en sont les résultats, autant du moins que la chimie biologique pourra nous en rendre compte.

Ceci revient à chercher, d'une part, sous quelle forme les éléments minéraux pénètrent dans l'organisme végétal, puis se fixent dans ses tissus, et d'autre part les transformations qu'ils subissent pour arriver à constituer les nombreux principes immédiats que nous offre le règne végétal, en commençant par ceux qui servent de substances alimentaires.

Fixation du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène. — Nous ne comprenons pas ici, bien évidemment, l'oxygène fixé par la respiration.

Ce sujet nous est déjà en partie connu, il nous reste seulement à donner quelques développements au point de vue chimique.

C'est donc l'acide carbonique et l'eau qui fournissent les éléments minéraux des substances ternaires. Mais sous quelle forme le carbone de l'acide carbonique est-il fixé? Est-ce à l'état d'élé-

ment, est-ce sous une autre forme? La première opinion a été soutenue à l'origine par de Saussure qui niait la décomposition de l'eau dans la fonction chlorophyllienne. Les expériences classiques de M. Boussingault ont montré que l'oxygène provient, en partie au moins, de la décomposition de l'eau. Dès lors il devient probable que le carbone, au lieu de s'isoler en nature, passe à l'état d'oxyde de carbone dont les propriétés bien connues viennent à l'appui de cette manière de voir. L'équation fondamentale de la page (25) est la traduction de cette interprétation, pour le moins vraisemblable. Ainsi prennent naissance les matières ternaires, et plus particulièrement les hydrates de carbone.

Liebig arrivait au même point par un chemin un peu différent. Il remarquait que l'acide carbonique et l'eau se trouvant en présence, il pouvait se former par élimination d'oxygène, et suivant les quantités des corps entrant en réaction, soit l'acide formique $C^2H^2O^4$, soit l'acide oxalique $C^4H^4O^8$, etc.; et ultérieurement, la réduction se poursuivant toujours, les aldéhydes qui se rattachent aux acides. Nous retrouvons de la sorte le terme ($C^2H^2O^4$), l'aldéhyde formique, entre autres.

Et ces aldéhydes, seconde phase de la réduction, peuvent jouer un rôle important.

Rien ne prouve en effet que les glucoses $C^6H^{12}O^6$,

ne prennent pas naissance par polymérisation de l'aldéhyde formique sextuplée, ou par la combinaison de composés intermédiaires. C'est chose classique d'ailleurs que la facilité avec laquelle les aldéhydes se polymérisent et compliquent leur molécule. Et, suivant les affinités qui entrent en jeu, des corps à fonctions mixtes en dérivent très-facilement. Nous citerons dans cet ordre d'idées l'aldol de M. Wurtz, qui est à la fois aldéhyde et alcool, comme le glucose.

Les matières résineuses, à leur tour, peuvent se former aux dépens des aldéhydes par élimination d'eau. Enfin l'action de l'ammoniaque, sur un corps aldéhydique, peut donner naissance à des composés azotés (alcaloïdes ou analogues), toujours avec élimination d'eau.

C'est ainsi que se produit l'hydrobenzamide d'où l'on peut passer à l'amarine. C'est ainsi que l'aldéhyde butyrique et l'ammoniaque ont conduit M. H. Schiff à préparer un isomère de la cicutine. Notons enfin la formation probable de l'acide citrique aux dépens de l'acétone ou d'un dérivé, conformément à la belle et récente synthèse de MM. Grimaux et Adam.

Nous arrivons ainsi à envisager la déshydration comme un procédé important de synthèse organique, conformément aux inductions générales formulées par M. Gautier dès 1874, et nous avons vu que dans la nature, les radiations so-

laires favorisent l'évaporation de l'eau, en même temps que le dégagement d'oxygène (Gueltard, Deherain). La déshydratation accompagnerait donc la décomposition de l'acide carbonique dans ce grand phénomène naturel.

Ce n'est pas tout, car parmi les substances ternaires, nous n'avons pour ainsi dire tenu compte jusqu'à présent que des hydrates de carbone : glucoses, sucres, dextrine, gomme, amidon, cellulose, etc., qui représentent les produits déshydratés et polymérisés des premiers. La déshydratation de ces substances quand elle dépasse H_2O par molécule de sucre, est peut-être le mécanisme par lequel on passe de la série grasse à la série aromatique.

M. Gautier a fait remarquer en effet que le glucose peut donner naissance par perte d'eau à des corps tels que la phloroglucine, type d'une classe nouvelle récemment constituée par lui, celle des *Glucines* dont il a découvert et décrit plusieurs termes nouveaux. — Il a d'ailleurs vérifié que le sucre chauffé à 200° se déhydrate et fournit un corps voisin de l'acide pyrogallique avec un peu de pycocatéchine.

Ces vues générales de M. Gautier sont aussi en parfait accord avec les expériences de l'auteur de ce mémoire, qui a établi que la quercite donne naissance par simple déshydratation à l'hydroquinone d'où l'on passe à la quinone.

Tel serait le mécanisme principal de la formation des substances ternaires avec excès de carbone, dont les principaux se rattachent à la série aromatique. La classe des glucosides naturels formerait d'ailleurs à cet égard la meilleure des transitions.

Ces systèmes de réactions donnent l'explication générale de la formation de presque toutes les matières ternaires, en y joignant toutefois leurs inverses, car il doit se produire une série d'équilibres résultant de l'antagonisme entre les énergies lumineuses, calorifiques ou électriques d'une part, et de l'autre les énergies chimiques proprement dites qui convergent toujours vers le principe du travail maximum (Berthelot).

Quant aux composés avec excès d'hydrogène (mannite et isomères, corps gras, etc.), ils prendraient naissance aux dépens des hydrates de carbone (glucose par exemple), par hydrogénéation pure et simple. (Fermentation visqueuse donnant naissance à la mannite, etc).

Cette réduction pouvant d'ailleurs conduire dans d'autres circonstances jusqu'aux substances binaires, huiles essentielles et carbures variés.

Par quels agents s'effectuent ces réactions et transformations successives, c'est ce que nous ne sommes pas en mesure d'expliquer dans le détail. Nous pouvons remarquer toutefois que certains sels neutres alcalins, de potasse et non de soude (Michaël et A. Kopp), paraissent jouer le rôle de déshydratants.

M. Lieben, en effet, a montré que le formiate de potassium déshydrate l'aldéhyde ordinaire et la transforme en aldéhyde crotonique. $2(\text{C}^{\circ}\text{H}^{\circ}\text{O}^{\circ}) - \text{H}^{\circ}\text{O}^{\circ} = \text{C}^{\circ}\text{H}^{\circ}\text{O}^{\circ}$.

Fixation de l'azote. — Nous savons déjà que les composés ternaires (aldéhydes ou autres) peuvent, en présence de l'ammoniaque et par déshydration, donner naissance à des matières azotées.

L'ammoniaque, en effet, est l'une des formes sous lesquelles l'azote pénètre dans les plantes. Pour Liebig même, dès 1841, c'était l'une des principales.

Ce corps existe en petite quantité dans l'atmosphère à l'état de carbonate, ou encore combiné aux acides azotés. La décomposition des matières organiques en fournit beaucoup, en même temps que des corps intermédiaires qui peuvent servir à la nutrition des plantes parasites (c'est-à-dire dépourvues de chlorophylle), champignons ou autres. Les travaux de Davy, Isidore Pierre, Lawes et Gilbert, Kuhlmann, etc., ont établi ce point important.

M. Pasteur nous a fait voir que l'azote de la levure en fermentation peut être emprunté aux sels ammoniacaux exclusivement.

L'influence fertilisante des azotates n'est pas douteuse non plus, et l'industrie des engrâis chimiques les utilise dans une large proportion.

Il est bien entendu que non seulement les azo-

tates réduits à l'état de sels ammoniacaux par les composés organiques sont utiles à la végétation, mais aussi les azotates en nature, ainsi que l'ont établi les expériences de M. Boussingault sur des plantes cultivées dans un sol totalement exempt de matières organiques. Il est bon toutefois d'ajouter que la plante réduit ces azotates après les avoir absorbés et les ramène à l'état assimilable pour ses organes. Cette élimination d'oxygène, d'ailleurs, doit être complète, car on n'a jamais signalé dans les végétaux la présence de combinaisons nitrogénées (analogues au fulmicoton ou à la nitro-benzine). On sait en effet que tous les composés azotés de l'organisme vivant se rattachent aux ammoniaques composés ou aux amides.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur l'action fertilisante des sels ammoniacaux, non plus que des azotates; ce sujet nous paraît se rattacher plus particulièrement à la chimie agronomique; il nous entraînerait trop loin.

Reste à savoir si l'azote libre, l'azote de l'air peut se fixer sur les végétaux? Ici nous nous trouvons encore en présence de résultats contradictoires, en apparence du moins.

M. Ville soutient que les végétaux peuvent assimiler l'azote de l'atmosphère.

Les dernières expériences de M. Boussingault sur ce sujet, exécutées avec cette précision qui lui

est habituelle, vont en sens contraire. Il en est de même de certaines expériences de MM. Gilbert et Lawes.

Les expériences de M. Cloëz, dans lesquelles l'azote de l'air, oxydé par les corps poreux du sol, en présence d'autres matières oxydables et de substances alcalines, passe à l'état d'azotates dont la plante extrait l'azote, ces expériences, dis-je, représentent une forme *indirecte* d'assimilation de l'azote de l'air. Elles sont surtout importantes au point de vue des jachères et de la nitrification, mais c'est là un sujet que nous n'avons pas à développer.

Il s'agit simplement d'expliquer, relativement à la fixation de l'azote atmosphérique, comment on a pu arriver de part et d'autre à des conclusions opposées, en partant d'expériences individuellement exactes.

C'est M. Berthelot qui a fait la lumière sur ce point en montrant qu'on laissait de côté l'influence d'une cause prépondérante à cet égard, celle de l'électricité atmosphérique.

Rappelons d'abord les faits expérimentaux sur lesquels s'appuie M. Berthelot.

Nous laisserons de côté les expériences de laboratoire dans lesquelles la fixation de l'azote sur les matières végétales ternaires a été obtenue au moyen d'appareils condensateurs à haute tension électrique et à potentiel variable. Sauf les cas

d'orage — et c'est là une exception — elles ne rentreraient pas dans le cadre de notre sujet.

Il en est autrement quand on se met en présence de tensions très faibles, avec un potentiel fixe.

Ces conditions sont très voisines, sinon identiques, avec celles que réalise l'électricité de l'atmosphère. M. Berthelot a vu aussi l'azote se fixer au bout d'un temps plus ou moins long sur la dextrine ou la cellulose (papier à filtre), pour former un *composé amié* qui se détruit au-dessous du rouge, avec dégagement d'ammoniaque, en présence de la chaux sodée.

Ces essais où la lumière ne jouait aucun rôle, ainsi qu'on s'en est assuré comparativement, ne sont pas infirmés par la production de quelques moisissures constatées au cours des expériences, puisqu'il résulte des observations de M. Boussingault que ces végétaux ne peuvent fixer l'azote atmosphérique.

M. Berthelot a fait plus. Pour aller au fond des choses et montrer que l'électricité atmosphérique est capable de fixer l'azote sur les principes immédiats des végétaux, il a opéré au moyen d'une tension électrique qui n'était autre que la différence de potentiel existant entre la surface d'un sol gazonné, et une couche d'air située à deux mètres plus haut.

C'est donc bien là l'électricité de l'atmosphère. Sans nous attarder à décrire les appareils, disons

immédiatement que les expériences ont duré un peu plus de deux mois (du 29 juillet, au 5 octobre 1876). Au bout de ce temps, dans tous les tubes sans exception, il y a eu fixation d'azote.

Une particularité curieuse, c'est que dans deux tubes, dont l'un contenait de l'azote pur, l'autre de l'air, il y a eu production de taches verdâtres (provenant sans doute de germes introduits avant la fermeture des appareils). Dans ces tubes, la fixation de l'azote a été notablement plus forte, probablement sous l'influence des corpuscules chlorophylliens dont on retrouve ici la puissante action physiologique. En tout cas, on voit nettement mise en évidence, l'influence d'une cause à peine soupçonnée jusqu'aux expériences de M. Berthelot.

On se bornait en effet à tenir compte des coups de foudre provoquant la formation des azotate et azotite d'ammoniaque dans l'atmosphère, tandis qu'ici c'est une action nouvelle, incessante, qui détermine la fixation directe de l'azote sur les matières ternaires des tissus végétaux. Et comme cette fixation est proportionnelle aux surfaces elle peut, chez les végétaux, atteindre des proportions en quelque sorte illimitées.

Il semble donc qu'on peut maintenant expliquer comment M. Boussingault n'a jamais pu constater la fixation de l'azote atmosphérique dans ses expériences où l'influence électrique n'in-

tervenait pas. Cela n'ôte rien, au contraire, ni à son habileté proverbiale ni à sa grande autorité en ces matières.

Dans ces conditions nouvelles, nombre de faits jusqu'ici inexplicables deviennent au contraire parfaitement naturels. Nous rappellerons, avec M. Berthelot, la fertilité indéfinie des sols qui ne reçoivent aucun engrais comme les prairies des hautes montagnes d'Auvergne (Truchot). Les expériences de MM. Lawes et Gilbert, à Rothamsted, dans lesquelles des récoltes de légumineuses contenaient plus d'azote qu'il n'y en avait dans la semence, le sol et les engrais réunis, etc.

Nous eussions cité les expériences relatives aux cultures sous grillage métallique si cette question n'était encore controversée.

Sans entrer dans l'historique de ce sujet qui remonte d'ailleurs fort loin (Ingenhouz, Bertholon, Solly, etc.), nous dirons que les expériences de M. Berthelot ont eu lieu dans des conditions de précision bien supérieures. Elles nous paraissent de nature à frayer la voie et à guider les explorateurs dans l'étude de ces phénomènes, étude dont l'importance compense les difficultés.

Fixation de matières minérales. — Nous entendons par là les sels et les matières fixes, tels que les sels alcalins, les sels de chaux et de magnésie, les phosphates, la silice, etc.

Plusieurs sont indispensables à la formation des

albuminoïdes et à la multiplication des cellules.

Les sels alcalins sont très répandus dans les végétaux, chlorures, azotates, sulfates, etc., ainsi que des sels à acides organiques, tartrique, citrique, malique, oxalique, etc.

Toutefois la potasse l'emporte de beaucoup sur la soude, qui est pour ainsi dire exceptionnelle (Péligot, Deherain, etc.), à l'inverse de ce qu'on rencontre chez les animaux.

C'est à l'état de sulfates que semble se faire la fixation du soufre nécessaire aux tissus des plantes.

Le phosphate de chaux, qui paraît aussi jouer un grand rôle dans la chimie des végétaux, pénètre à l'état de dissolution à la faveur de l'acide carbonique, et contribue à l'élaboration des albuminoïdes par le protoplasma. En sorte qu'il existe une sorte de proportionnalité entre la quantité d'azote et celle des phosphates dans les aliments (Boussingault).

Nous rappellerons également que la multiplication des cellules de la levure de bière a pour condition la présence du phosphate de chaux (Pasteur).

Cette nécessité du potassium est évidente, par exemple, dans les aliments du sarrasin (Nobbe), et probablement aussi du calcium qui pénètre dans le règne végétal à l'état de bicarbonate ou de sulfate.

La magnésie se rencontre à l'état de phosphate et nous avons vu que les phosphates accompagnaient le protoplasma dans ses migrations vers les organes où la prolifération des cellules est en activité ou imminente.

Le chlore des chlorures doit aussi figurer parmi les éléments, dont l'utilité est générale.

Parmi les éléments non indispensables aux végétaux nous citerons la silice bien qu'elle soit très répandue. Elle existe dans les tissus épidermiques des graminées, cypéracées, équisétacées, et sous un état de combinaison tel qu'une solution bouillante de soude au centième est incapable de la dissoudre. Nous la retrouvons fermant dans les bambous des concrétions nommées *tabaschirs*, et, dans les équisétacées, tout au moins, M. Duval Jouve la considère comme un produit d'excrétion.

Le lithium se rencontre également dans beaucoup de plantes (Bunsen).

Le cuivre existe dans les cèdres, les pins, l'orange (Commaille), etc., on a trouvé l'aluminium dans les lycopodiacées, et d'autres métaux encore tels que le manganèse et même le zinc dont l'action sur la *viola tricolor* est si manifeste, etc., etc.

Des faits qui précèdent on pourrait encore rapprocher l'action des solutions métalliques considérées comme poison des plantes. — Ce sujet intéressant étant actuellement plus physiologique

que chimiquement connu, nous ne croyons pas devoir faire autre chose que de l'indiquer ici.

CHAPITRE TROISIÈME.

DIFFÉRENCES TIRÉES DES AUTRES FONCTIONS.

Nous venons de voir quelle est la prépondérance de la fonction chlorophyllienne et comment elle imprime son cachet sur l'ensemble du règne végétal. Cherchons maintenant dans les autres fonctions les différences à relever, toujours au point de vue de la chimie biologique.

Un fait primordial domine ici la question.

La localisation des fonctions (nous allions dire la division du travail) est bien moins développée chez les végétaux que chez les animaux. Aussi ne trouve-t-on pas les appareils généraux que l'on rencontre chez les types élevés de la série animale (appareil respiratoire, appareil central d'impulsion pour la circulation, appareil digestif, appareil de la bilation, et de l'urination, de l'innervation, etc., etc.), les fonctions sont plus ou moins mêlées et confondues. Nous n'avons, bien entendu rien à dire ici des fonctions de relation, qui se superposent chez l'animal aux fonctions de végétation proprement dites.

Si l'on joint à cela l'empreinte toute spéciale

que la présence de la cellulose donne aux fonctions de la cellule (assimilation et désassimilation principalement) on aura une idée des dissemblances profondes et générales qui séparent les deux règnes.

Il existe donc, à l'origine et dès que la paroi de la cellule est formée, une différence primordiale suivant que cette enveloppe est cellulosique ou non. M. Robin, qui insiste avec raison sur ce point de vue, a donné en même temps le moyen de distinguer si la cellule en question appartient à la série animale ou à la série végétale.

Le réactif est l'ammoniaque, qui ne peut dissoudre la cellulose ou substances analogues, tandis que les principes immédiats animaux disparaissent complètement dans les mêmes conditions.

Nous devons donc tracer dès à présent une première ligne de démarcation.

Ces différences, comme on voit, sont surtout d'ordre physiologique et par suite, en dehors de notre cadre; elles ne retentissent pas moins et d'une façon très-directe sur la manière dont les principes immédiats, dont nous avons vu la formation, se comportent et se transforment chez les représentants élevés des deux catégories d'êtres vivants.

La comparaison devrait porter sur les types élevés des deux séries, car c'est là que les différences s'accentuent et que l'adaptation aux milieux

intérieurs se fait avec une dissemblance plus accusée. Malheureusement les données expérimentales nous font presque toujours défaut.

On sait que les plantes les plus parfaites présentent une circulation double, un véritable milieu intérieur dans lequel vivent les éléments anatomiques.

Mais la similitude est loin d'être complète au point de vue chimique entre la désassimilation des plantes et celle des animaux.

Les substances azotées dans un cas fourniront les alcaloïdes (quinine, morphine, atropine, par exemple), dans l'autre, les corps du groupe urique, (l'acide urique, la créatine, l'urée, etc.).

Digestion. — Commençons donc ce relevé des dissemblances par la fonction digestive qui se rattache aussi à la nutrition.

C'est seulement dans les animaux que nous pouvons assister à la séparation fonctionnelle des divers agents digestifs, ainsi qu'aux premières transformations qui conduisent les aliments dans le sang par une absorption spécialisée dont les végétaux ne nous offrent que des vestiges. Inutile de rappeler que cette étude capitale relève en même temps de la question des fermentations solubles et même figurés. — Ces rapprochements seront d'ailleurs mis en lumière un peu plus tard.

Nous rattachons à ce sujet les particularités principales qui touchent les annexes du tube di-

gestif, (foie, pancréas, etc.), où nous voyons apparaître successivement une foule de fonctions physiologiques distinctes, dont les résultats offrent plus ou moins d'intérêt au point de vue chimique, suivant l'état de nos connaissances à cet égard.

Mais, comme le tube digestif sert en même temps d'appareil excréteur pour les produits ultimes de la désassimilation, nous insisterons en premier lieu sur les transformations qui précèdent l'assimilation proprement dite.

Les aliments des animaux sont au fond les mêmes que ceux des végétaux, ils appartiennent comme on sait, à différents groupes et subissent dans le tube digestif l'influence variée des milieux alternativement alcalins ou acides.

Avant d'être présentés à l'assimilation des éléments anatomiques et des tissus, ils doivent être ingérés d'abord, puis modifiés. Ces modifications qui précèdent l'absorption digestive ne sont pas en général très profondes, elles tendent pour la plupart, le plus souvent mais non toujours, à rendre solubles les matières qui ne le sont pas, ou du moins à les diviser de manière à rendre l'absorption possible et en même temps éliminer un résidu qui est ensuite excrété.

Une fois arrivées dans le sang, elles sont, ou bien assimilées définitivement par les éléments anatomiques, (et encore ici doit-on signaler un intermédiaire nouveau, le plasma transsudé qui

baigne les tissus et les éléments eux mêmes), ou bien déposées en réserve, ou enfin modifiées, détruites et entraînées au dehors par les sécrétions avec les produits de la désassimilation.

Nous devons ici envisager seulement les transformations chimiques des aliments et par suite de la digestion. Leurs dédoublements successifs par désassimilation seront envisagés à propos de cette fonction qui se complète d'ailleurs par l'étude des sécrétions proprement dites.

Il y a trois groupes principaux à considérer dans les aliments : 1^o Matières grasses. 2^o Hydrates de carbone parmi lesquels nous comprendrons les matières sucrées. 3^o Les composés albuminoides.

1^o Les matières grasses sont très peu modifiées et ce n'est pas sous l'état soluble, au moins pour la plus grande partie, que s'effectue l'absorption digestive qui les fait passer dans le chyle. Toutefois il y a un commencement de décomposition qui met à l'état libre des traces de corps constituants (glycérine, acides gras, etc.). Les éléments anatomiques s'emparent de ces matériaux, qu'ils trouvent dans le milieu intérieur, et l'on sait que les cellules adipeuses ne fixent que des corps gras de nature semblable à la leur.

Y a-t-il assimilation véritable des corps gras ? C'est un point douteux, mais qu'il ne nous appartient pas de traiter ici. En tout cas il y a, avec évidence, accumulation de matières de réserve dans

l'organisme. Phénomène important et qui se présente également à propos des hydrates de carbone de l'oxygène lui-même, etc. Notons seulement que si ces matières grasses venaient à faire défaut dans l'alimentation, les substances hydrocarbonées paraissent se modifier avec facilité dans l'organisme de manière à y suppléer. Et même, à la rigueur, les albuminoïdes peuvent en fournir, puisqu'il est possible d'engraisser des animaux nourris avec de la viande seulement.

2^e Les *hydrates de carbone insolubles* sont modifiés et rendus solubles par la digestion salivaire ou pancréatique, qui les verse sous cet état dans la veine-porte, laquelle les conduit dans le foie où s'opère une sorte de régularisation de la quantité de sucre qui passe dans le sang.

Cette fonction glycogénique du foie, découverte par Cl. Bernard, qui en a si admirablement élucidé tous les points essentiels, doit être considérée à plusieurs points de vue.

Il est probable que les *hydrates de carbone solubles*, servent de préférence à la production du glycogène, au moyen duquel la fonction est régularisée. Y a-t-il du sucre et des hydrates de carbone en excès dans la veine-porte, le foie les arrête au passage; de même que le glycogène ou amidon animal se transforme en glucose sous l'influence d'un ferment analogue à la diastase dès que le besoin s'en fait sentir.

Nous voyons donc ici manifestement réserve et accumulation de matière hydrocarbonée. Mais ce glycogène peut aussi se former aux dépens de certaines matières albuminoïdes, et le foie, à ce nouveau point de vue, se rapproche d'une autre glande, la mamelle, où le sucre de lait se produit lors même que les sujets en expérience sont nourris exclusivement avec de la viande (Dumas).

Cette destruction de la molécule albuminoïde dans le foie, avec formation de glycogène ou substance analogue, a pour corollaire la production de matières complémentaires dont nous trouverons la trace dans les produits biliaires d'une part, et de l'autre dans la formation d'urée, qu'il faut rapporter au foie d'après les travaux les plus récents. (Meissner, Murchison, Bouchard, Cyon, Brouardel, etc.)

On voit combien un organe unique, à fonction complexe, il est vrai, comporte de complications au point de vue de la chimie biologique. Et non seulement il en est ainsi à l'état normal, mais le fonctionnement de l'appareil, qui varie à l'état physiologique suivant la rapidité de la circulation sanguine, ou sous l'influence nerveuse, se modifie plus profondément encore aux différents états pathologiques. C'est évidemment en considérant de pareils ensembles de faits qu'on a pu dire qu'il existe comme « une chimie spéciale pour chaque glande. »

La formation de la bile, dans les animaux supérieurs, est aussi l'une des dissemblances qui découlent de la localisation et de la séparation graduelle des fonctions vitales.

Nous venons de voir que le dédoublement des albuminoïdes se présente, dans ce cas, sous un aspect spécial et distinct de l'oxydation, car en dehors du sucre et du glycogène et même de l'urée, ainsi que nous l'avons dit, il y a production d'acides biliaires dont la constitution est plus simple que celle des albuminoïdes. On les rattache à deux corps bien connus: au glycocolle, ou à la taurine. On connaît, en effet, l'acide glycocholique, l'acide taurocholique, dédoublables tous deux en acides cholalique et glycocolle ou taurine. Cet acide cholalique, privé d'azote, est monobasique et diatomique (Baumstarck). Il donne naissance à un dérivé que l'on a extrait des excréments, la dyslysine. C'est un produit déshydraté.

Nous ne dirons rien du glycocolle, sucre de gélatine ou acide acétamique; quant à la taurine, on l'avait d'abord envisagée avec Strecker comme l'amide isethionique, les travaux plus récents de Kolbe et Seyberth ont fait voir que c'est l'acide amido-glycol-sulfureux.

Notons enfin que la cholestérine, substance de nature alcoolique, paraît provenir de la désassimilation de la matière nerveuse. On la ren-

contre dans la bile. — Chez les animaux on a signalé en outre les acides *hyocholiques* chez le porc, l'acide *chenotaurocholique* de l'oie, etc.

Nous ne pouvons faire ici l'étude individuelle de chacun de ces corps et nous devons nous en tenir à indiquer leurs origines et leurs principales relations chimiques.

On rencontre en outre dans la sécrétion biliaire un groupe de matières colorantes fort intéressantes qui toutes proviennent du dédoublement de la matière colorante du sang ou *hématine*, après que l'hémoglobine elle-même s'est séparée en substance albuminoïde et matière colorante (*hématine*).

Ces matières colorantes biliaires sont : en premier lieu la *bilirubine*, matière colorante rouge, et la *biliverdine*, matière colorante verte, peut-être simplement dérivée de la première. On a encore décrit la *biliprasine*, la *bilifuscine*, la *cholépyrrhine* qui ne sont que des transformations, enfin la *cholécyanine* (Stockvis, Ritter), et la *bilicyanine* (Heynsius et Campbell), matières vertes ou bleues qui conduisent aux matières colorantes rencontrées dans l'urine.

Nous n'entrerons pas dans l'examen circonscrit, mais nous ferons remarquer qu'on a préparé l'*hydrobilirubine* au moyen de l'hématine; que d'autre part Maly l'a obtenue par l'hydrogénéation de la bilirubine naturelle par l'amalgame de sodium. Ces réactions établissent la filiation

chimique. L'hydrobilirubine ou urobilin se trouve elle-même dans l'intestin (Maly).

Ces relations étroites se retrouvent dans les formules représentant la composition centésimale.

La bilirubine ne diffère que par un excès d'hydrogène de l'hématine privée de son fer. Il peut donc y avoir substitution de l'hydrogène au fer.

La biliverdine serait un produit d'oxydation de la bilirubine, dont il faut rapprocher encore l'hématoidine de M. Robin (matière colorante des épanchements sanguins) qui ne serait autre qu'un isologue très-voisin, ainsi du reste que l'a vérifié Kolm.

3^e Matières albuminoïdes. Le canevas des phénomènes chimiques offerts par le foie, tel que nous venons de l'indiquer à grands traits, nous a conduit à mélanger un peu les groupes d'aliments et même à anticiper sur le dédoublement par désassimilation des albuminoïdes. L'examen du fonctionnement du pancréas (que nous réservons pour plus tard) nous eût entraîné de la même manière.

Nous allons maintenant arriver à l'étude de ce groupe si important qu'on désigne aussi sous le nom de matériaux plastiques. Leur origine première est végétale que ce soit de manière directe ou indirecte, sauf ce qu'on trouvera p. 96.

L'action fluidifiante de la pepsine ou *fermentation gastrique*, sur ces matières importantes n'est

pas bien élucidée encore, et les nombreuses recherches physiologico-chimiques (dont un grand nombre fort remarquables) exécutées sur ce point, laissent encore la place à des hésitations, ou plutôt à des expériences nouvelles.

Tout ce que l'on sait c'est que les albuminoïdes passent à l'état de peptones, après avoir traversé les états intermédiaires de dyspeptone, parapeptone, métapeptone.

Les peptones ont été dans ces derniers temps l'objet de nombreux travaux. Primitivement désignées sous le nom d'albuminose (Mialhe), elles ont été distinguées les unes des autres par Lehmann qui leur a donné leur nom actuel. C'est particulièrement la fibrine-peptone dont on s'est occupé jusqu'à présent, et qui est la mieux connue. M. Maly, puis M. Henninger ont étudié l'influence de la dialyse sur la purification, en même temps que la préparation recevait des perfectionnements notables. En somme ce sont des acides faibles, acides amidés, paraissant résulter de l'hydratation partielle des albuminoïdes. C'est la forme physiologique sous laquelle ces principes sont devenus assimilables par les tissus vivants.

A vrai dire, la formation des peptones n'est pas une dissemblance bien caractérisée entre les deux règnes que nous mettons en parallèle.

Nous verrons, en effet, figurer parmi les analogies la production des peptones par différentes plantes et dans des conditions variées.

Le pancréas offre, lui aussi, un exemple d'action multiple sur les aliments. On admet actuellement qu'il agit sur les trois groupes à la fois par trois substances distinctes :

1^o Un ferment capable d'émulsionner et de saponifier les corps gras (Cl. Bernard, Berthelot) et aussi la lécithine (Bokay). On n'est pas encore parvenu à l'isoler.

2^o Un ferment diastasique (Cl. Bernard) qui saccharifie la matière amylose, propriété qui a fait donner au suc pancréatique le nom de *salive pancréatique*. Ce ferment a été isolé par Conheim d'une manière analogue à celle qui sert à préparer la ptyaline de la salive.

3^o Enfin une substance appelée *trypsine* qui paraît attaquer les albuminoïdes, ou les peptones intermédiaires, pour les amener à l'état de peptones parfaites. Il agirait donc comme le suc gastrique avec cette différence que le milieu doit être alcalin et non acide comme celui de l'estomac.

A la longue, l'action paraît dépasser ce point et hydrater les albuminoïdes plus profondément encore (Kuhne), on a signalé la leucine, la tyrosine, l'acide aspartique.

Disons enfin que le pancréas contient un nombre considérable de ferments figurés et de bactéries parmi lesquels se rencontrent les corpuscules qui provoquent la fermentation putride (Nencki).

PRUNIER. 183.

9

sujet touche aux fermentations; il en sera question dans la seconde partie.

Nous arrivons à l'intestin grêle et au cæcum. On ne sait rien de bien précis sur l'action chimique du suc de l'intestin grêle. Les actions des liquides des portions antérieures se continuent. Toutefois il semble qu'il y ait saccharification de la féculle par le suc intestinal (Paschutin, Eichorst, Cl. Bernard).

Les excréments renferment les substances inattaquées ou réfractaires, avec les détritus de la désassimilation, et à ce point de vue il faut en rapprocher les *excrétions* proprement dites, résultant de l'action des appareils urinaire par exemple, et même respiratoire, (parmi les principaux).

Désassimilation. — Mais il convient de se placer à un point de vue plus général pour examiner dans leur ensemble les dédoublements des trois groupes d'aliments que nous avons admis, sous l'influence des actions diverses qu'ils rencontrent dans les deux règnes. Nous entrons ici dans l'étude du phénomène de désassimilation.

La désassimilation au point de vue biologique est le second terme du mouvement nutritif ou vital; au point de vue physiologique c'est la portion descendante de la courbe par laquelle on peut représenter les phénomènes chimiques qui se passent dans les éléments.

Portion ascendante : absorption, assimilation.
Portion descendante : désassimilation, expulsion.

L'essence même des phénomènes assimilateurs ou désassimilateurs nous échappe. Le résultat paraît, au point de vue physico-chimique, traduit par un emprunt de force vive aux aliments ingérés et assimilés lesquels ont accumulé l'énergie solaire. Là commence la chute du poids (Tyndal).

Bien que la lumière soit loin d'être faite sur toutes les phases de la désassimilation, il en est pourtant quelques-unes sur lesquelles on a dès à présent quelques indications positives.

Ces indications se traduisent par des différences ou des analogies, que nous devons enregistrer séparément. Pour que la comparaison portât d'une manière définitive il faudrait connaître dans le détail l'action comparée des différents agents sur chaque substance alimentaire, et dans les deux règnes. La science est loin encore de posséder un pareil ensemble de faits.

Placés ici au point de vue des différences, nous n'aurons pas à insister beaucoup sur les matières grasses, ni même sur les hydrates de carbone. Nous dirons seulement qu'à cet égard on ne connaît rien de bien tranché. En dehors de la synthèse des principes plus compliqués, leur rôle essentiel paraît être de contribuer à la respiration et à la calorification, et nous verrons qu'en tenant compte de ce qui résulte de la présence de la cellulose, les fonctions se retrouvent dans les deux

règnes avec leurs attributs et leurs caractères fondamentaux.

Passons donc au groupe des aliments azotés.

Ce serait maintenant le moment d'embrasser dans une vue d'ensemble le dédoublement des matériaux protéiques.

Bien que ce sujet soit loin d'être épuisé au point de vue chimique, on en peut cependant, dès à présent, envisager les phases principales, grâce à un ensemble de travaux récents dont les plus importants appartiennent, on doit le dire, à la science française.

Toutefois, comme nous avons eu déjà l'occasion d'exposer le côté chimique de la question, et que d'ailleurs elle fait le sujet d'une des Thèses présentées à ce concours, nous croirions faire double emploi, en entrant dans des développements circonstanciés. Nous nous bornons donc à tracer un schéma de l'ensemble.

On sait, en premier lieu, que les matières azotées des deux règnes sont très voisines dans leur composition et leurs propriétés chimiques (Liebig).

Le dédoublement physiologique chez les végétaux supérieurs a été peu étudié. Il est encore peu connu. Mais il doit différer sensiblement de ce qu'on rencontre dans l'économie animale. Il suffira de dire que les formes sous lesquelles on retrouve l'azote (alcaloïdes végétaux, aparagine, composés allyliques, etc.), diffèrent beaucoup des

composés du groupe urique, de la créatinine, de la xanthine et hypoxanthine, de l'urée, etc., etc., que nous allons retrouver chez les animaux.

Parlons donc de ceux-ci. — Pour bien saisir les phénomènes dominants, il convient d'abord de déterminer quelles sont les influences maîtresses qui entraînent le sens des phénomènes.

En résumé, nous voyons deux procédés principaux qui président à ces dédoublements multiples.

En premier lieu l'*oxydation*, en second lieu l'*hydratation*. Ils sont intimement connexes et simultanés, au sein de l'économie.

Leur action reçoit une vive lumière des travaux des chimistes, exécutés en dehors de l'organisme, et qu'il conviendrait de rappeler.

1^o Au point de vue de l'*oxydation*. — Travaux de MM. Béchamp, Ritter, Staedeler, Low et Tappeiner, et enfin Guckeberger, etc. — Puis au moyen du chlore, du brome, de l'eau régale ou de l'acide azotique. Résultats de MM. Mulder, Hlasiwetz et Habermann, Mülhaüser, Van der Pant, etc.

2^o L'*hydratation*, qui peut s'effectuer principalement soit en présence des acides, soit au moyen des alcalis.

(a). Par les acides étendus ou concentrés. Ritthausen et Kreusler, Hlasiwetz et Habermann, Knop, Otto, etc. Résultats de M. Schutzenberger.

(b). Par les alcalis concentrés, travaux de MM. Liebig, Wurtz, Gautier, Nencki.

(c). Alcalis étendus et plus particulièrement hydrate de baryte. Travaux des plus remarquables de M. Schutzenberger. Dédoublement de la molécule dans sa totalité.

Discussion des résultats. Formation d'ammoniaque et d'acides non azotés, ainsi que du pyrrol trouvé déjà dans la distillation sèche.

Masse principale formée d'acides amidés de la série grasse (Leucines, leucéines, acides à excès d'oxygène, etc.) Un peu de tyrosine (série aromatique) et aussi un peu de composés ternaires analogues à la dextrine.

La leucine, la tyrosine, le glycocolle, la butalacine, etc. sont des corps déjà rencontrés dans l'économie.

Tous ces résultats ont une importance de premier ordre. Non seulement au point de vue théorique la constitution des principes albuminoïdes est indiquée en principe, mais au point de vue physiologique on y trouvera les lumières les plus précieuses pour suivre dans l'économie l'influence de l'hydratation. Or, et c'est là un point que nous devons mettre en évidence, de même que nous avons vu la déshydratation avec absorption de chaleur jouer un rôle capital dans la formation des principes immédiats par les végétaux sous l'influence de la fonction chlorophyllienne (V. p. 43) rôle que nous avons retrouvé dans les premières phases de la digestion (fixation des peptones).

De même, et par contraste, l'hydratation joue un rôle tout aussi important au point de vue chimique et calorifique dans la désassimilation et les dédoublements successifs des albuminoïdes. Donc étude chimique des produits trouvés dans l'économie en tenant compte à la fois de l'oxydation et de l'hydratation. Cette étude sur les produits provenant des albuminoïdes, présente, à partir des peptones, pour aller au groupe urique une lacune que l'expérience n'a pas encore comblée. Peut-être ce point sera-t-il éclairé, au moins en partie, par l'étude des matières dites *extractives*, c'est-à-dire incristallisables. C'est un des désiderata de la science actuelle, qui compte déjà sur ce point des travaux nombreux parmi lesquels on peut citer en première ligne ceux de Chalvet et de Schottin, etc.

On arrive donc au groupe urique sur lequel on trouve les travaux si remarquables de MM. Baeyer, Dessaingues, Strecker, Claus et Emde, Grimaux, etc.

Puis vient le groupe des substances trouvées dans l'extrait de viande: carnine, guanine, dont les relations intimes avec la sarcine ou hypoxanthine, et la xanthine ou acide ureux sont bien connues (Strecker, Weidell, etc).

Enfin l'urée est un point de convergence de ces actions successives chez les animaux élevés.

On peut remarquer à ce propos que chez les oiseaux la série décroissante s'arrête à l'acide urique.

Il est bien entendu que des réactions ultérieures

de ces composés multiples, il peut provenir des corps formés secondairement comme les acides biliaires, l'acide hippurique des herbivores, etc.

Et ce n'est pas tout, car on a constaté la présence de l'*indol* ou de ses dérivés, soit dans le tube digestif, soit dans les urines.

Ce sujet nous ramène à l'étude des fermentations, car c'est principalement sous l'influence de la putréfaction qu'on a constaté la présence de l'*indol* et du *scatol*. (Voir seconde partie).

Les albuminoïdes contenant du soufre et du phosphore, il convient de compléter l'étude de leurs dédoublements par celle des formes sous lesquelles ces éléments sont expulsés de l'économie. C'est ainsi que pour l'élimination du soufre, l'hydrogène sulfuré, la taurine, la cystine, etc. sont à examiner en premier lieu.

De même, pour l'élimination du phosphore, il faut mentionner tout d'abord les phosphates de l'urine.

Un autre mode d'élimination des matériaux phosphorés sera indiqué à propos de la fermentation putride.

Les dédoublements des matières gastriques comprennent aussi les phénomènes dits de coagulation (tant chimiques que physiologiques).

Enfin l'histoire de l'hémoglobine, des lécithines et de leurs dédoublements en font également partie; mais il suffit d'indiquer ces aperçus sans y insister plus longuement, quant à présent.

SECONDE PARTIE.

ANALOGIES.

Notre étude nous a conduits à examiner les phénomènes de dédoublement par désassimilation des éléments sous l'influence des organismes inférieurs, ce qui nous amène aux confins physiologiques des deux règnes.

Trouverons-nous à cet endroit une ligne de démarcation scientifique? On n'en connaît pas jusqu'à présent.

Pour les uns il existe un règne *psychoditaire*, (Bory de Saint-Vincent, 1841) règne des *protistes* de Hœckel, où l'individualité se réduit à un globule de sarcode ou de protoplasma. Les *Monères*, les *Myxomycètes* en fournissent des exemples connus.

Déjà Lamarck, au siècle dernier, avait énoncé une hypothèse du même ordre.

Pour d'autres observateurs, la transition existe sur un même organisme. Flotow, cité par Hartmann, dit avoir observé que les cellules de l'*Hæmatococcus pluvialis*, d'abord purement végétales, se transforment dans des conditions appropriées en petits infusoires *Astasia pluvialis*, etc. L'analogie dans ce cas toucherait donc à l'identité.

Ainsi que nous le verrons plus loin, nous croyons que les faits les mieux observés ont lieu en sens inverse, c'est-à-dire du protoplasma ou sarcode à la cellule végétale, qui représente une phase plus avancée du développement. Si important qu'il soit, l'examen de ce sujet purement physiologique ne peut trouver place ici.

Nous voulons seulement marquer la transition entre les deux règnes.

Elle est en somme tout entière dans cette identité des propriétés du sarcode et du protoplasma végétal, qui domine toute la question.

Et s'il eût été possible de prendre pour point de départ le protoplasma lui-même, nous aurions de beaucoup préféré suivre, dans cet exposé, le développement fonctionnel et la localisation progressive des propriétés physiologiques, à mesure qu'on s'élève dans les deux séries.

Dans l'état actuel de la science, un tel ordre est encore prématuré. C'est pourquoi nous en avons forcément adopté un autre.

Le sarcode ou protoplasma, centre physiologique de tout ce que nous avons vu, est donc, au point de vue chimique, le terme le plus élevé dans la série des albuminoïdes. Cette matière vivante paraît formée d'un assemblage de principes immédiats de nature protéique. Il présente à la fois les fonctions et propriétés des deux règnes.

Nous le trouvons donc toujours à la base, mais

Il ne tarde pas à se spécialiser dans un sens ou dans l'autre, et c'est ce qu'il convient de dire en quelques mots.

La distinction entre ces organismes, végétaux ou animaux, est impossible dans les premières phases de leur existence. Présentant alors les mouvements sarcodiques des amibes (*Spores de Saprolegnia* ou autres), on ne possède pas de caractère discriminatif.

Mais dès que, devenue sphérique et immobile la spore a formée son enveloppe de cellulose, il est un caractère tranché tiré de l'action de l'ammoniaque qui fera cesser l'embarras.

Ce qui est cellulose ou dérivé (organisme végétal), résiste au réactif — les cellules animales au contraire sont dissoutes et liquéfiées sauf les granules graisseux ou amylocés que certains peuvent contenir (Robin).

Nous pouvons donc commencer sur ce terrain de transition l'étude des analogies entre les deux règnes. — Étude que nous poursuivrons, comme dans la première partie en passant en revue les fonctions principales, mais dans un ordre inverse. Sans changer de fonctions, nous allons donc examiner ce que la nutrition nous offrira, en la considérant d'abord dans les organismes végétaux inférieurs.

Fermentations. — Ici se présente une question préalable. Quelle est la nature des ferment

rés? — A quel règne appartiennent-ils? On sait la diversité des opinions qui sont actuellement soutenues. Les uns les classent dans ce règne à part des protistes, ou protorganismes intermédiaires entre les animaux et les végétaux.

M. Pasteur, dont les travaux sur ce sujet sont connus de tout le monde, les distingue en ferment figurés de nature animale (infusoires-ferments), et ferment de nature végétale. — Il semble que ce soit là une confusion, le ferment butyrique, par exemple, n'étant comme les autres vibroniens qu'une spore de champignon à l'état évolutif, avec mobilité (Robin).

La question des *aérobies* et *anaérobies* recevrait une solution semblable. Ce sont toujours des végétaux (Robin).

En tout cas, c'est un petit être, uni ou paucicellulaire, à protoplasma incolore, présentant au point de vue de l'assimilation une énergie remarquable et dont les résultats apporteront à ce parallèle un ensemble de faits dont nous devons tenir compte.

Par des raisons semblables à celles que nous avons exposées à propos des matières albuminoïdes, nous retiendrons seulement les choses principales sans entreprendre de descendre dans le détail.

De l'assimilation nous ne dirons, comme d'ordinaire, que peu de chose, mais la désassimilation doit être considérée par nous avec une plus grande attention.

Les fermentations elles-mêmes ne sont autre chose, en principe, qu'un cas particulier de la désassimilation en présence de cryptogames unicellulaires.

A chaque groupe de substances alimentaires pour le ferment, ou corps fermentescibles, répond une désassimilation (fermentation) spéciale.

Ici se retrouve notre division première des aliments, mais avec un degré de complication plus grand correspondant à la variété bien connue des fermentations. Nous nous bornons désormais à un simple aperçu.

Fermentation alcoolique. — Désassimilation en alcool, acide carbonique, etc., des sucres produits ou assimilés par le ferment (glucose, etc.).

Le composé ternaire fermentescible est, comme nous l'avons vu, formé avec une grande absorption de chaleur, c'est donc la désassimilation chez un végétal des hydrates de carbone endothermiques et d'une stabilité relativement faible.

Il convient d'y joindre pour le saccharose la mention du ferment soluble qui produit l'inversion (Berthold). Ferment retrouvé depuis dans la betterave (Cl. Bernard).

Dans ces temps derniers, l'étude des fermentations des composés ternaires s'est étendue à quelques corps de stabilité plus grande.

Nous indiquons donc, sans les décrire, les principales fermentations observées sur les ma-

tières ternaires, alcools, acides, etc., telles que la fermentation *lactique* du sucre de lait (distincte de sa fermentation alcoolique, ainsi que cela se passe également pour l'amidon et la gomme.)

Les fermentations *visqueuse* et *butyrique*.

La destruction de l'acide tartrique droit par des spores de *penicillium*, ce qui permet la séparation des deux acides tartriques (Pasteur).

La singulière fermentation qui donne la sorbine, laquelle n'existe pas dans le jus des baies de sorbier (Boussingault), — aux dépens de l'acide citrique ou malique ?

Les fermentations *acétiques* de l'alcool et aussi d'autres corps (acide mucique, par exemple).

La fermentation *succinique* aux dépens de l'asparagine et des corps du groupe malique, etc.

Enfin, les fermentations produites par les *schizomycètes* (Fitz) qui fournissent de l'alcool avec la mannite, la glycérine et l'érythrile.

Ces mêmes ferments attaquent les tartrate, glycératate, malate et citrate de chaux. Le succinate de calcium seul résiste, ce qui doit être la cause pour laquelle on le retrouve dans les résidus de fermentations.

Il y a en outre des phénomènes de réduction par formation d'hydrogène naissant, etc.

Ces quelques faits donneront une idée de l'importance de ce sujet.

Remarquons seulement que suivant les cas, ces

fermentations s'accompagnent ou non d'oxydation.

Fermentation putride. — Nous avons laissé les choses, dans notre première partie, au moment où les ferment s'emparent des aliments azotés, et l'on sait qu'en l'absence de la bile, la fermentation putride acquiert dans l'intestin un développement très avancé.

Quand la mort survient chez un animal ou même un végétal, sa substance azotée, qui n'a pas été restituée au milieu ambiant sous forme minérale par les phénomènes de désassimilation, l'est ordinairement par une autre voie qui n'est pas sans analogie. Tel est l'ensemble des phénomènes désignés sous le nom de *putréfaction* des matières protéiques.

Les expériences de MM. Béchamp, Tiegel et Nencki, tendent à faire admettre la présence des ferment figurés dans les tissus vivants (muscles, pancréas surtout). Nous devons donc examiner, au point de vue chimique, ce cas particulier de la désassimilation des albuminoïdes. C'est un dédoublement par hydratation et oxydation à la fois. Toutefois, M. Jeanneret paraît admettre que la putréfaction peut avoir lieu même à l'abri du contact de l'air, quoique, dans ce cas, elle soit notablement ralentie. En tout cas, les conditions générales de cette désassimilation végétale sont donc à placer dans les analogies et nous allons

voir que les produits formés viennent à l'appui de ce rapprochement.

Quelles sont, en effet, les substances principales que l'on a signalées dans ces circonstances ? La leucine et la tyrosine (Bopp), et quand il s'agit de la gélatine, le glycocolle.

Déjà M. Wurtz avait dit antérieurement que la fibrine, abandonnée à l'air pendant les chaleurs de l'été, se fluidifie rapidement et que dans la liqueur on trouve de l'albumine soluble.

Puis apparaissent le carbonate d'ammoniaque, les acides gras volatils, l'hydrogène sulfuré, l'hydrogène protocarboné et même l'hydrogène libre.

La formation de l'acide butyrique a été signalée par M. Wurtz, celle de l'acide valérique par M. Bopp. Mentionnons aussi l'indol (qui existe dans l'économie); il a été retiré des produits de putréfaction par Nencki et Kühne, et son homologue le scatol, signalé par Secrétan, a été retiré des excréments par Brieger.

Par le motif énoncé page 68, à propos des dédoublements des albuminoïdes, nous n'insistons pas sur les relations théoriques curieuses de ces corps, aujourd'hui bien connus (synthèse de l'indol par Baeyer), et qui paraissent intermédiaires entre les corps gras et les composés aromatiques.

Ces derniers apparaissent nettement avec la tyrosine, laquelle fournit du phénol en passant par l'acide paraoxybenzoïque (Nencki).

Les proportions d'acides gras volatils formées dans la putréfaction des matières albuminoïdes ont été déterminées par Baumann. Après quinze jours de fermentation à 40°, cent gr. de matière albuminoïde, ont fourni : ammoniaque, 8,94; acide carbonique, 3,06; acide butyrique, 44,06; leucine, 3,24; isoleucine, 0,57; résidu peptonique, 13. — La proportion d'acide butyrique est à noter.

La gélatine, au bout de quatre jours, a donné : ammoniaque, 9,48; acide carbonique, 6,45; acides gras volatils, 24,2; glycocolle, 12,2; peptone, 19,4.

Nous ne quitterons pas ce sujet de la fermentation putride sans appeler l'attention sur les derniers résultats auxquels est arrivé un savant italien bien connu, M. Selmi.

Il ne s'agit pas seulement des *ptoamines* (1) déjà signalées par lui dans les cadavres, ou plutôt, en cherchant à se rendre compte de leur formation, il a expérimenté sur les blancs d'œufs et sur les jaunes d'œufs abandonnés à la putréfaction à l'abri de l'air. Des produits ainsi formés, il a pu extraire ensuite deux alcaloïdes.

Le premier est volatile et non toxique. Le second fixe, soluble dans l'éther, doué d'une saveur piquante, est très toxique. Son chlorhydrate cristallise et peut tuer une grenouille, à la dose de

(1) Ou mieux *ptomaines* (de πτωξ).
PRUNIER. 000.

trois centigrammes. Son action paraît se rapprocher de celle du curare.

De plus M. Selmi a fait voir que dans la putréfaction le phosphore des matières protéïques (du blanc d'œuf) se dégage à l'état de composés volatils qu'il distingue des phosphures d'hydrogène, et qu'il décèle en les transformant en acide phosphorique.

L'importance de ces phénomènes, que nous venons de présenter en abrégé, ramenée au point de vue du parallèle que nous avons à faire, ne saurait passer inaperçue. Les analogies de cette désassimilation végétale, avec celle que nous avons décrite dans les animaux supérieurs n'ont pas besoin d'être soulignées. Evidemment il y a quelques dissemblances, mais le fond des choses se rapproche beaucoup au point de vue chimique, et si, passant à des analogies d'un autre ordre, nous examinons les choses au point de vue philosophique, nous constaterons ici une sorte de réciprocité, de retour offensif du règne végétal exercé sur le règne animal.

Ce sont les animaux qui, d'ordinaire, se nourrissent des végétaux, ici, par un phénomène inverse, nous voyons les végétaux dits inférieurs prendre leur revanche. A l'état physiologique leur action se porte de préférence sur les aliments et sur les produits déjà désassimilés; à l'état pathologique et surtout après la mort, ce sont les tissus eux-

mêmes qui leur servent de pâture. Ce mécanisme, disons plus cet équilibre, a bien sa signification scientifique et philosophique.

Si le ferment peut assimiler l'urée, il donnera lieu à la fermentation dite ammoniacale, par désassimilation toujours, et production de carbonate d'ammoniaque.

On a même signalé des fermentations de corps amidés voisins de l'urée, quoique plus complexes. Il suffit d'avoir montré que les ferment peuvent utiliser même les rebuts abandonnés par la désassimilation animale.

Nous ne dirons qu'un mot non plus des fermentations pathologiques dites parasitaires, *actions pathogéniques des bactériens* (Maladies virulentes ou infectieuses). La nomenclature des bactériens, basée sur les espèces de maladies, est à refaire au point de vue du développement du végétal, lequel a lieu du reste sous des influences variables, et, dans ce cas, les conidies fournissent une fructification.

Il peut y avoir trouble général de la nutrition, par suite du développement anormal de ces organismes énergiques, mais il est difficile de concevoir la spécificité morbide de ces ferment qu'on n'a jamais constatés au commencement des maladies, mais à la fin et quand le sang est déjà altéré (Robin).

En résumé on a trop souvent admis à ce sujet le *post hoc ergo propter hoc*, et d'un phénomène de coïncidence on a déduit un principe de causa-

lité. De même pour la digestion de la cellulose par les *amylobacter* (Robin).

Ce qu'on vient de lire suffit pour poser la question des fermentations sur son véritable terrain. Nous n'en dirons pas davantage, et nous continuons notre parallèle en passant aux phénomènes de maturation des fruits, qu'il convient de rapprocher des fermentations.

Dans la *maturation des fruits*, d'une pomme par exemple, nous assistons à un ensemble de phénomènes du même ordre.

Les hydrates de carbone, et les substances asstringentes du fruit vert, sont successivement assimilées, puis désassimilées par les cellules du parenchyme, et passent successivement par l'état de sucre (glucose ou saccharose) puis la désassimilation se prononçant, le fruit blescit, c'est-à-dire passe à la fermentation proprement dite (formation d'alcool, d'acide carbonique et acétique, etc.), sans trace de ferment, ou plutôt ne différant que par le nombre des cellules actives. (Le Chartier et Bellamy). On sait en effet qu'un ferment est unicellulaire ou pauci-cellulaire (Robin), quand il fonctionne comme ferment, plus tard il s'organise en végétal multicellulaire.

Germination. — Un autre ensemble d'analogies, découle de l'observation de ce qui se passe pendant la germination.

Ecartant ici encore les considérations phy-

siologiques, nous porterons notre attention sur le rôle de l'oxygène dans la germination, et sur les modifications subies par les principes immédiats de la graine pendant la période germinative.

L'oxygène sert à la respiration de la graine, il est indispensable et produit de la chaleur (Saussure). Les actes intimes de la liquéfaction des hydrates de carbone et des matières grasses contenues dans l'albumen ou les cotylédons des graines, paraissent au fond de même ordre, chimiquement du moins, que ceux que l'on rencontre chez les animaux.

Prenons tout d'abord les matières grasses. D'après M. Fleury, pendant la germination la matière grasse diminue régulièrement tandis que le sucre augmente, ainsi que la cellulose.

Les expériences de M. Müntz appuient cette manière de voir. Ce chimiste reconnaît que la matière grasse répond à une double fonction ; en premier lieu elle sert de combustible respiratoire, et en second lieu elle fournit le glucose, point de départ des autres hydrates de carbone.

Au point de vue chimique, les résultats de ce travail se résument ainsi : 1^o Dédoublement de la matière grasse en glycérine et acides gras. 2^o Disparition de la glycérine à mesure qu'elle est mise en liberté. 3^o En sorte qu'à une certaine époque les acides gras libres existent seuls. 4^o L'embryon se

développant, l'oxydation lente de ces acides gras se produit.

Nous trouvons donc ici, et plus nettement qu'on ne l'a encore montré chez les animaux, le passage de la matière grasse à la matière sucrée ou amylacée. Voyons ce que devient ce second groupe d'aliments. C'est chose bien connue que les graines où se rencontre beaucoup d'amidon ou de féculle, sont munies d'un agent de transformation de la substance amylacée, qui fonctionne dès que la germination commence. Cet agent c'est la *diastase* dont la place dans la graine est admirablement appropriée à son action sur l'amidon.

Cette fermentation diastasique fait type.

Nous ne la décrirons pas plus que les autres. Nous allons seulement en indiquer les résultats principaux.

Pour ne parler que des travaux récents, on sait depuis ceux de M. Dubrunfaut, de M. Musculus (qui a beaucoup étudié la question seul, ou avec la collaboration de MM. Gruber, ou de Mering), ceux aussi de M. Bondonneau, de M. O. Sullivan, etc., on sait donc que l'amidon est considéré comme un polymère élevé de la formule $C^{12}H^{10}O^{10}$ formé par une série de déshydratations successives, au moyen de plusieurs molécules glucosiques.

Il y aurait ainsi, à partir de l'amidon physiologique, un amidon soluble, plusieurs dextrines

dont les derniers termes arrivent au maltose, puis au glucose, le tout par fermentation diastasique ou sous l'influence des acides. Dans cette série de corps on suit les formations intermédiaires en observant le pouvoir rotatoire dextrogyre, qui diminue de l'amidon soluble au glucose, pendant que le pouvoir réducteur sur la liqueur cupropotassique suit une marche inverse.

Le mécanisme chimique est l'*hydratation*. Tous ces faits sont remplis d'enseignements surtout quand on les rapproche de ce qui se passe dans la fonction glycogénique du foie.

Et non seulement on retrouve ici l'accumulation des matériaux de réserve, mais leur emploi s'effectue d'une manière analogue.

Nous ne pouvons quitter ce terrain des fermentations solubles dans les végétaux, et plus particulièrement des dédoublements qu'ils effectuent par hydratation, sans signaler au moins les faits tout semblables qui se rattachent à l'*émulsine* ou *synaptase*, qu'on rencontre dans les amandes.

C'est elle, en effet, qui provoque le dédoublement des glucosides tels que l'amygdaline, la salicine, l'hélicine, l'arbutine, la phlorizine, l'esculin, etc. Les végétaux à cet égard nous offrent un ensemble de faits connus, bien supérieur à ce qu'on trouve chez les animaux.

Un autre groupe pourrait encore être constitué par la *myrosine*, qui préside aux dédouble-

ments curieux des plantes antiscorbutiques. Le myronate de potasse est un glucoside, etc.

Disons encore que MM. Gorup-Besanèz et Will ont remarqué que les graines de vesce, germant dans l'obscurité, produisent non seulement de l'asparagine, comme l'avait déjà vu M. Boussingault, mais aussi de la leucine, laquelle dérive des albuminoïdes. Il résulte encore des expériences des mêmes auteurs qu'on peut extraire des graines en question un ferment énergique, soluble dans la glycérine, qui change à la fois l'amidon en glucose et les albuminoïdes en peptones.

Il en est de même pour les graines de chanvre, de lin et même pour l'orge germé. Cette dernière contient donc un ferment soluble, autre que la diastase. La fève germée serait dans le même cas (Van der Harst). Ces faits, des plus curieux, nous conduisent à ce qu'on a appelé le carnivorisme des plantes.

Carnivorisme. — C'est Darwin qui a appelé l'attention sur cette question par un remarquable travail sur les plantes insectivores.

De nouveaux faits ont été apportés par MM. Hooker, Gorup Besanze, Rees et Will, Van der Harst, Krauch, etc.

Les expériences ont porté surtout sur les *Drosera*, les *Darlingtonia*, les *Sarracenia* et les *Népenthès*. Dans ces dernières plantes, les feuilles présentent une sorte d'urne, munie d'un oper-

cule, tapissés à l'intérieur de glandes qui, dans l'urne fournissent un liquide digestif, tandis que l'opercule secrète une matière sucrée qui attire les insectes. Quand l'un d'eux a été attiré, puis enfermé par l'opercule, le liquide en question se produit et agit sur les tissus de l'animal — ou sur des albuminoïdes d'origine différente — pour les transformer en peptones. Il n'est besoin ici de commentaires d'aucune sorte.

La discussion de ces questions physiologiques n'est pas d'ailleurs de notre sujet, et les résultats ne sont pas tous acceptés sans réserves. Nous rapprocherons seulement de ces faits ce que nous ont appris MM. Wurtz et Bouchut sur le *Carica papaya*.

Déjà, les voyageurs avaient depuis longtemps relaté que, dans les pays d'origine, les feuilles et le suc du *Carica papaya* servent à ramollir les viandes, ce qui revient à dire, à commencer leur transformation en peptones. Dans ces temps derniers, les propriétés de ce produit végétal ont été expérimentées chimiquement et physiologiquement par les deux savants nommés plus haut.

Le suc du *Carica papaya* a été étudié par M. Wurtz au point de vue chimique. On en peut extraire un ferment soluble, azoté, la *papaïne* dont l'action se rapproche de la trypsine de Kühne que l'on trouve dans le pancréas. La dissolution

de la fibrine, par la papaïne, a lieu même en présence des acides prussique, borique ou phénique, ce qui exclut les ferment figurés.

Respiration. — A l'heure actuelle c'est chose universellement admise que la respiration proprement dite est la même chez les animaux et chez les végétaux, même exposés à la lumière.

L'analogie est surtout complète quant au phénomène fondamental, qui est une *oxydation*, et se traduit par absorption d'oxygène et dégagement d'acide carbonique. Nous n'avons pas à insister autrement. Chez les animaux supérieurs l'oxygène pénètre dans le sang en combinaison avec l'hémoglobine, c'est là une sorte de matière mise en réserve, comme nous avons eu occasion de le dire.

Quant aux appareils, ils diffèrent, comme on sait, beaucoup. Mais, sur ce point encore, il serait possible de trouver des transitions, et même des analogies, dans la manière par exemple dont les éléments anatomiques des animaux à trachées et à lacunes aériennes sont mis en contact avec l'oxygène de l'atmosphère, comme les cellules du parenchyme des feuilles.

Calorification. — On sait qu'elle a lieu dans les deux règnes, et proportionnellement à l'activité des phénomènes vitaux (nutrition principalement) c'est-à-dire d'après un mécanisme dont le principe est semblable.

Cette calorification, réglée chez les animaux éte-

vés ou à sang chaud, cesse, chez les animaux à température variable, d'être assez puissante pour lutter contre les déperditions extérieures. Mais il y a toujours excès sur la température du milieu ambiant.

De même, et toutes les fois que l'activité vitalé est énergique (protoplasma), il y a calorification chez les plantes. C'est ce que Lémarck fit connaître en 1777, en étudiant l'épanouissement du spadice de l'*arum italicum*. Les observations postérieures en ont, depuis, donné la mesure, ainsi que dans beaucoup de cas semblables (Dutrochet, Sausse, etc.).

Pendant la germination, le phénomène n'est pas moins évident (Gäppert). Partout, dans ces circonstances, suivant la parole de M. Dumas « la plante se fait animal ».

La calorification reconnaît plusieurs sources distinctes. Nous ne ferons que les énumérer.

A la fin du siècle dernier et au commencement de celui-ci, les découvertes capitales de Lavoisier, et de ses successeurs (Dulong, Despretz, Regnault, Reiset, Boussingault, Andral et Gavarret, etc.), sur la respiration animale, ont d'abord fait admettre comme source unique, l'oxydation respiratoire, opérée, simultanément avec la nutrition, par les éléments anatomiques des tissus.

Il y faut joindre, comme l'a fait voir M. Berthelot, les hydratations des éthers et composés ami-

dés, qui doivent entrer dans l'explication du phénomène pour une part déjà notable. Donnons un court résumé des travaux de ce chimiste sur ce point important de biologie générale.

Après avoir discuté les travaux antérieurs, M. Berthelot fait voir qu'il convient de se placer sur un terrain différent de l'oxydation pure et simple. Il importe de tenir compte de l'état réel des corps introduits et des corps rejetés (l'état initial de l'être vivant étant admis identique à l'état final.) Nous transcrirons simplement les énoncés des quatre théorèmes en lesquels se résume la théorie moderne de la chaleur animale.

« THÉORÈME I. — La chaleur développée par un être vivant, pendant une période quelconque de son existence, accomplie sans le concours d'aucune énergie étrangère à celle de ses aliments, est égale à la chaleur produite par les métamorphoses chimiques des principes immédiats de ses tissus et de ses aliments, diminuée de la chaleur absorbée par les travaux extérieurs effectués par l'être vivant.

« THÉORÈME II. — La chaleur développée par un être vivant, qui n'effectue aucun travail extérieur pendant une période donnée de son existence, accomplie sans le concours d'énergies étrangères à celle de ses aliments, est égale à la différence entre les chaleurs de formation (depuis les éléments) des principes immédiats de ses tissus et de ses

aliments réunis, au début de la période envisagée. et les chaleurs de formation des principes immédiats de ses tissus et de ses excréptions, à la fin de la même période.

« THÉORÈME III. — *État d'entretien.* La chaleur développée par un être vivant qui ne reçoit le concours d'aucune énergie étrangère à celle de ses aliments, et qui n'effectue aucun travail extérieur, pendant la durée d'une période à la fin de laquelle l'être se retrouve identique à ce qu'il était au commencement, est égale à la différence entre les chaleurs de formation de ses aliments (l'oxygène et l'eau étant compris sous cette dénomination) et celle de ses excréptions (eau et acide carbonique compris.)

« THÉORÈME IV. — *Travaux extérieurs.* La chaleur développée par un être vivant qui effectue des travaux extérieurs, toujours sans le concours d'une énergie étrangère à celle de ses aliments et sans éprouver de changement appréciable dans sa constitution chimique, peut être calculée d'après la différence qui existe entre la chaleur de formation de ses aliments, et celle de ses excréptions, diminuée d'une quantité équivalente au travail accompli. »

Ces énoncés embrassent la question tout entière; précisons ce qui se rapporte à l'oxydation, à la déshydratation et à l'hydratation dont la généralité et l'importance nous sont connues.

L'oxydation peut être directe, et la mesure s'en suit immédiatement; ou indirecte (oxyhémoglobine), et on aura la valeur par différence. Si l'oxydation est totale, la chaleur dégagée est la différence entre la chaleur de combustion des éléments du principe immédiat en question, et la chaleur de formation à partir des éléments. Un même poids d'oxygène fixé peut donc fournir un dégagement de chaleur variant presque du simple au double. Mêmes conséquences pour les oxydations incomplètes. Il faut donc établir individuellement toutes les équations.

Enfin il faut faire intervenir les *hydratations* (théorème VII), qui fournissent de la chaleur quand il s'agit d'éthers (corps gras), hydrates de carbone, amides (corps albuminoïdes) et même d'acides comme l'acide acétique anhydre par exemple.

Les *déhydratations* marchent en sens inverse (th. IX). Enfin les *dédoubllements* dans certains cas fournissent aussi de la chaleur. Exemple: le glucose, dédoublé en alcool et acide carbonique, dégage pour chaque molécule ($C_6H_{12}O_6$), 71 Calories.

Fonction chlorophyllienne. — Ce chapitre des analogies ne serait pas complet si nous ne pouvions y inscrire quelques faits ayant trait à la fonction chlorophyllienne. Le principal sans contredit, c'est le fonctionnement bien connu, et ani-

mal si on peut dire, des plantes ou parties de plantes privées de chlorophylle. Tous ces organes sont des parasites, pour nous servir d'un terme fréquemment employé, c'est-à-dire qu'ils prennent autour d'eux les principes immédiats préparés par l'action chlorophyllienne.

Les champignons sont bien connus à cet égard. Les bourgeons doivent être considérés de même, jusqu'au moment où ils ont eux-mêmes préparé leur pigment en quantité suffisante.

De même tous les végétaux dans la période germinative, ou plus simplement quand ils sont dans l'obscurité.

Mais il y a plus, certains animaux présentent parmi les principes immédiats de leurs tissus externes des substances, comme la *chitine* et la *tunicine*, qu'on peut rapprocher de la cellulose. Enfin quelques-uns d'entre eux sont pourvus de chlorophylle et possèdent la fonction chlorophyllienne. C'est ce qu'on va dire en peu de mots.

Pigment chlorophyllien des animaux. — Nous employons à dessein cette expression, peu correcte au point de vue grammatical, pour désigner les observations déjà nombreuses dans lesquelles on a constaté un pigment vert, dont toutes les propriétés se rapportent à celles de la chlorophylle.

C'est ainsi que MM. Schultze et Balbiani ont constaté la présence de granulations vertes chez différents polypes, turbellaires ou infusoires, (*Hy-*

dra viridis, *Euglena viridis*, *Vortex viridis*, *Mesostomum viridatum*, *Stentor polymorphus*, *Bursaria vernalis*, etc,), cette matière verte paraissant fonctionner comme la chlorophylle.

Dans ces temps derniers la question a été reprise par M. Geddes, à propos des Planaires vertes. Cet observateur a recueilli les bulles gazeuses produites par ces animaux sous l'influence de la lumière. Il y a constaté jusqu'à 52 pour cent d'oxygène. Il a vu, en outre, que cette véritable fonction chlorophyllienne, s'accompagne de production d'amidon, qui se colore par l'iode, dans les mêmes conditions que l'amidon végétal.

M. Sorby a étudié la matière verte d'un annélide du midi de l'Italie, la Bonnellie verte. Cette matière colorante, ou *Bonnelleine*, fournit la bande d'absorption rouge caractéristique. Toutefois l'auteur est porté à la distinguer de la chlorophylle des phanérogames à cause de la manière dont elle se comporte en présence des acides et des alcalis.

Dans tous les cas, le fonctionnement physiologique est le même.

Les conclusions de ses expériences sur les éponges vertes sont absolument les mêmes.

Enfin les animaux peuvent préparer de toutes pièces des substances qu'ils assimilent ultérieurement. Cette analogie nouvelle avec les végétaux nous la trouvons, par exemple, dans la formation

de l'hémoglobine au moyen des albuminoïdes principalement.

Cette formation synthétique n'est pas moins évidente à propos de la lécithine ou du protagon, etc., substances que les animaux établissent pour fournir aux besoins du système nerveux, et qu'on n'a pas encore rencontré positivement dans les végétaux. — La *bétaïne* et surtout la *protogane* de Scheibler n'étant pas admises jusqu'à nouvel ordre comme analogues des produits animaux avec lesquels on a voulu les identifier.

Il y a élaboration véritable de produits supérieurs et l'on sait que la constitution de ces corps si importants est connue chimiquement d'une manière presque complète. Mais ce n'est pas de leur constitution chimique que ressortirait l'analogie. Elle est tout entière dans la synthèse de ces produits au moyen des principes immédiats qui proviennent des aliments.

l'importance des substances chimiques dans les végétaux et dans les animaux. Cela dépend de la nature de l'organisme et de la nature des substances qui le composent. Les substances qui sont dans les végétaux et les animaux sont des éléments chimiques qui sont combinés entre eux pour former des substances complexes. Ces substances complexes sont utilisées par l'organisme pour maintenir sa vie et pour faire fonctionner ses différents organes. Les substances chimiques sont également utilisées pour faire croître et pour faire se développer les végétaux et les animaux. Les végétaux et les animaux sont donc des organismes vivants qui utilisent les substances chimiques pour leur survie et leur développement.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- PRIESTLEY. — Traité des différentes espèces d'air.
- TH. DE SAUSSURE. — Recherches chimiques sur la végétation, 1804.
- DUMAS et BOUSSINGAULT. — Statique chimique des êtres organisés, 1844.
- DUJARDIN. — Histoire des infusoires, Paris, 1841.
- BOUSSINGAULT. — Comptes-rendus. T. LXI, 1865. — T. LXIII, 1866.
etc. — Ann. de ch. et phys. T. LXVII et LXIX, 1838. — Économie rurale, 1851. — Agronomie. — Chimie agricole et physiologie, Paris, 1860.
- CH. ROBIN. — Anat. et phys. cellulaires, 1873. — Dictionnaire de médecine (Nysten). — Dictionnaire Encyclopédique (Dechambre). — Journal de l'Anatomie et de la Physiologie. — Traité des humeurs. — ROBIN et VERDEIL. — Chimie anatomique et physiologique. — Comptes-rendus de l'Institut.
- TRECOL. — Comptes-rendus de l'Institut. T. LXI, p. 435, 1865. —
Id. T. LXVII, p. 1158. — *Ibid.* LXXIV, p. 23, 1872. — *Ibid.* LX, p. 378 et p. 1035. — *Ibid.* LI, p. 621.
- BERTHELOT. — Essai de mécanique chimique, Paris, 1879.
- BAILLON. — Dictionnaire de botanique, Paris, 1876. — Comptes-rendus, 1874. — Société Linnéenne, 1880. — Adansonia.
- DE QUATREFAGES. — Comptes-rendus, 30 décembre 1878.
- WURTZ. — Chimie biologique, Paris, 1880. — Revue scientifique, 30 novembre 1872.
- ARM. GAUTIER. — Chimie appliquée à la physiologie, Paris, 1874.
- GAVARRET. — Phénomènes physiques de la vie, 1869, Paris.
- KUSS et M. DUVAL. — Physiologie, 1879.
- DAUBENY. — On the action of light, 1836.
- DRAPER. — Bibl. univ. de Genève, 1844.

- CLOEZ et GRATIOLET. — Comptes-rendus, T. XXXI, 1850.
CLOEZ. — Comptes-rendus, XLI, p. 915, 1855.
E. GRIS. — Act. des comp. ferrug. sol. sur la végét. 1843.
P. BERT. — Bull. soc. bot. franc. XVII, p. 107.
— Comptes-rendus, Acad. des scien. 15 septembre et 4 novembre 1878.
PAYEN. — Mém. des sav. étrangers, VIII, p. 209, 1843. — Comptes-rendus, LIII, 1861.
FREMY. — Ann. de ch. et phys. T. VII, p. 78.
FILHOL. — Comptes-rendus, Ac. sc. T. LXI, p. 371.
KRAUS. — Sitz ungsbericht: der phys. med. Soc. Erlangen, 1871.
CHAUTARD. — Ann. de ch. et phy. T. III, p. 5, 1874.
LIEBIG. — Ann. der Ch. und Pharm. CXXI, p. 177, 1864.
PASTEUR. — Ann. de ch. et de phys. — Comptes-rendus, T. LII, p. 346. — *Ibid.* LVIII, p. 145. — *Ibid.* T. LVI, p. 420 et 490.
— *Ibid.* T. LXXXVIII, p. 4217.
RAULIN. — Étud. chim. sur la vég. — An. des sc. naturel. (5) XI, p. 286.
FITZ. — Deutzch. chem. Gesell. T. XI, p. 1890 et T. XII, p. 474.
CL. BERNARD. — Unité vitale dans les deux règnes, 1873.
— Sur la chaleur animale, Paris, 1872.
— Leçons sur les liquides de l'organisme, Paris.
VAN TIEGHEM. — Ann des sc. nat. (5) VXII, p. 222.
— *Id.* et LEMONNIER. *Ibid.* (5) XVII, p. 266.
— Comptes-rendus, Acad. des sc., T. LXXXVIII, p. 209, etc.
MUNTZ. — Comptes-rendus, Ac. sc., T. LXXX, p. 180.
— Ann. de ch. et de phy. (4) T. LXXII, p. 472.
A. GAUTIER. — Chimie des plantes, Rev. scient., 1877. — Comptes rendus de l'Institut, 1879-1880. — Bulletin de la Soc. chimique, 1872-1880.
SORBY. — Proc. Roy. Soc., XXI, p. 442. — Journal of Linn. Soc., XV, p. 34, 1875.

- SCHUTZENBERGER. — Des fermentations. — Chimie physiologique, Paris, 1864. — Dict. de Wurtz. (Supplément.) Art. albuminoïdes. — Voir aussi les Comptes-rendus et le Bulletin de la Société chimique.
- ROZANOFF. — Comptes-rendus, T. LXII, 1866.
- PRINGSHEIM. — Monatsber der Berlin Akad, 1874-1875.
— Rev. int. des sc., p. 272, 1880.
- MILLARDET. — Comptes-rendus, 22 févr. 1869.
- HARTIG. — An. and phys. der Holzpflanzen, 1878.
- FAMINTZIN. — Ann. sc. naturelles (5), T. VII, p. 203, 1866.
- BORODIN. — An. sc. nat. (5), T. XII, p. 80.
- BÖEHM. — Sitz ungsb. Wien. Akad., T. XXII, p. 511, 1866.
- HOFMANN. — Ann. des sc. nat. (5), T. XI.
- FILHOL. — Ann. de ch. et de phys., T. XIV, p. 332.
— Mémoires de l'Ac. de Toulouse, 1874.
- GARREAU. — Ann. des sc. nat. (3), T. XIII, 1850. — *Ibid.*, T. XV, p. 5, et T. XVI, p. 271, 1851.
- HARNSTEN. — Chem. Centralblatt, T. IV, p. 206, 1872.
- HOPPE-SEYLER. — Deutsch Ch. Gesellsch, 1^{er} sept. 1879.
- ROGALSKI. — Rôle de la chlorophylle dans l'assimilation. — Thèses de la Faculté de Cracovie, juin 1879.
- TIMIRIAZEFF. — Comptes-rendus, mai 1877. — Assimilation de la lumière. — Saint-Pétersbourg, 1875. — Analyse spectroscopique de la chlorophylle. *Ibid.*, 1871.
- CORENWINDER. — Ann. de ch. et de phys. (3), T. LIV, 1858. — Comptes-rendus, T. LVII, 1863. — Mémoires de la Soc. des sciences de Lille, 1863-1864-1867.
- PFEFFER. — Ann. sc. nat. (5), T. XI, p. 391.
- GEDDES. — Comptes-rendus, décembre 1878.
- GAYON. — Comptes-rendus, janvier 1878.
- PELIGOT. — Comptes-rendus, T. LXV, p. 729, 1867.
- G. VILLE. — Comptes-rendus, p. 578, 1850, et aussi p. 464 et 650, 1852.

- BÆHNM.— Formation de l'amidon. — Acad. de Vienne, 1876.
- KUHNEMANN. — Deutsch. chem. Gesellich, 1865, p. 202.
- GORUP BESAN CZ.— Sitz ungsb. d. k. Akad. de Wiss., T. III, 1874.
- SCHIEBLER. — Jarhab. v. W. Korn, 1874.
- J. SCHELL. — Rôle de l'ac. tannique Kazan, 1874.
- DE LANESSAN. — Protoplasma végétal. Paris, 1876.
- NAUDIN. — Comptes-rendus, Ac. des sc. T. LXXXIX, p. 555, 1879.
- SOLLY. — Journal de la Société d'horticulture de Londres, 1845.
- DARWIN. — Insectivorous plants, 1875.
- F. DARWIN. — Analogies de la vie végétale et de la vie animale in. Rev. inst. des sciences, Paris, 1876.
- MUSSAT. — Soc. Linnéenne de Paris, mars 1874.
- MORREN. — Moniteur belge, Janv. 1876.
- H. EMERY. — Recherches sur l'étiollement. — Adansonia, 1863.
- DE FAUCONPRET. — Comptes-rendus, LVIII, 1864.
- LORY. — Ann. des sc. nat. (3) VIII, p. 158.
- DEHERAIN. — Comptes-rendus. Ac. des sc. T. LXIX, p. 381 et 929.
— — Ann. des sc. nat. (5) VII, p. 145.
— — Annales agronomiques.
- DEHERAIN et MOISSAN. — Ann. des sc. nat. (5) T. XIX.
— et LANDRIN. — *Ibid.* — (5) T. XIX, p. 258.
- MOISSAN. — Thèse de pharmacie, Paris, 1879.
- GORUP BESANEZ. — Ann. der chem. und pharm., T. CX, p. 95.
- BOPP. — *Ibid.*, T. LXIX, p. 30.
- JEANNERET. — Journ. für prälat, Ch. (2), T. XV, 1877.
- BRIEGER. — *Ibid.* (2), T. XVII, p. 124.
- SALKOWSKI. — Deutsch. chem. Gesell., T. XII, p. 648.
- BÉCHAMP. — Comptes-rendus, T. LXX, p. 863. — *Ibid.*, T. LXXIII, p. 1323.
- RITTER. — Bull. Soc. Chem. (2), T. XVI, p. 32.
- SECRETAN. — Arch. de la Bibl. univ. de Genève, 1876.

- MALY. — Journ. fur prakt. chem. (2), T. II, p. 97.
- HENNINGER. — Thèse inaugurale. Paris, 1878.
- ERLENMEYER et SCHAEFFER. — Journ. für prakt. ch., T. LXXX
p. 397.
- LOEW. — *Ibid.*, T. II, p. 289.
- HLASIWETZ et HABERMANN. — An. des ch. und pharm., T. CLXIX,
et T. CLIX, p. 304.
- OTTO. — *Ibid.*, T. CXLIX, p. 119.
- KNOP. — Deutsch. chem. gesellsch., T. III, p. 613 et 969.
- REVEIL. — Action des poisons sur les plantes. Paris, 1865.
- BAILLON — Adansonia, p. 328, 1860.
- NENCKI. — Fermentations de la gélatine et des albuminoïdes en présence du pancréas. Berne, 1876.
- SELMI. — Moniteur scientifique, p. 153, 1879.
- WURTZ. — Ann. de ch. et de phys. (3), T. XI, p. 258.
- CAUVET. — Journal de pharmac. (3), T. XIV, 1848.
- WURTZ. — Comptes-rendus, T. XC, p. 1379.
- WURTZ et BOUCHUT. — Comptes-rendus. Ac. des sc., T. LXXXIX,
p. 415.
- CHATIN. — Comptes-rendus de l'Institut.
- WITTMACK. — Qualités du latex de Carica papaya.
- Etc.

Paris Imp. — F. PICHON. — A. COTILLON & Cie, 37, rue des Feuillantines,
& 24, rue Soufflot.