
This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible.

Google™ books

<https://books.google.com>





A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

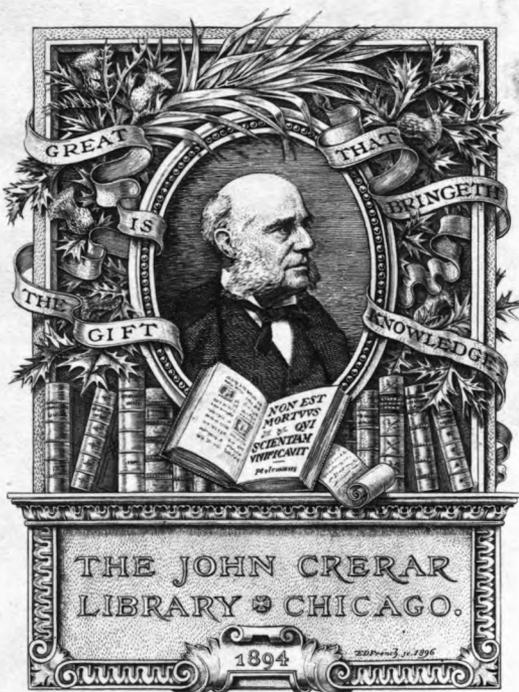
- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>

The John Crerar Library

Digitized by Google



DU
PROTOPLASMA
VÉGÉTAL

THÈSE

PRÉSENTÉE AU CONCOURS POUR L'AGRÉGATION

PAR

Le D^r J.-L. De LANESSAN.

PARIS
OCTAVE DOIN, ÉDITEUR
PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE
2, rue Antoine-Dubois, 2

—
1876

THE
JOHN SEAMAN
LIBRARY

A MON MAITRE

M. H. BAILLON

Professeur à la Faculté de médecine de Paris.

Témoignage de ma reconnaissance et de ma vive affection.

1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025

DU

PROTOPLASMA

VÉGÉTAL

CHAPITRE I^{er}.

CE QU'IL FAUT ENTENDRE PAR PROTOPLASMA VÉGÉTAL.

Rien de plus vague, rien de plus indéterminé que le mot *Protoplasma* si l'on s'en rapporte aux définitions des auteurs classiques. Chacun d'eux l'entend à sa façon, mais la plupart réunissent sous cette dénomination des substances qui cependant ne se confondent ni par leur composition chimique, ni par leurs propriétés physiologiques. « Le rôle du protoplasma dans la nature est immense, » proclament-ils, mais si nous leur demandons ce qu'ils entendent par protoplasma, nous obtenons des réponses comme la suivante, qui

De Lanessan.

581.811

461928¹

219933.

N 6 0 0

n'est qu'un reflet d'idées malheureusement trop répandues : « Quand on examine des cellules jeunes, soit animales, soit végétales, on voit qu'elles sont surtout constituées par un liquide azoté, plus ou moins filant et muqueux, composé d'une substance unissante, translucide et de granulations graisseuses et albuminoïdes » (1). Ainsi, mélange de substances graisseuses et desubstances albuminoïdes, de substance productrice et de matières produites, voilà, pour un trop grand nombre de physiologistes, ce qu'est le protoplasma, soit animal, soit végétal.

La plupart des auteurs qui se sont occupés de l'étude des cellules, tant animales que végétales, ont, en effet, étendu tellement le sens attribué au mot protoplasma, qu'il est devenu pour beaucoup d'entre eux synonyme de cellule lorsque cet élément est dépourvu de membrane d'enveloppe. C'est ainsi que M. Schultze (2) fait consister la cellule en deux parties seulement : le protoplasma, c'est-à-dire tout le contenu cellulaire, et le noyau. Les cellules sans enveloppe qui constituent les organes reproducteurs, soit asexués, soit mâles ou femelles, des végétaux inférieurs, sont, dans la plupart des ouvrages, considérées comme formées uniquement de protoplasma nu. Il en est de même des masses gélatineuses mobiles qui constituent, pendant une partie de leur existence, les portions végétatives des Myxomycètes, des Monères, etc. Toute cellule sans membrane, tout organisme non formé de parties distinctes et dépourvu d'enveloppes représentent ainsi, pour la plupart des naturalistes, du *protoplasma nu*, et dans toute cellule végétale pourvue d'une membrane d'enveloppe, le contenu est aussi du protoplasma. « La genèse de la cellule mieux connue, dit M. Roze, ayant attiré l'attention sur ce fait que, chez beaucoup d'Algues,

(1) CAUVET, *Du protoplasma*, thèse de la fac. de Montp. (1871), 4.

(2) SCHULTZE, *Ueber Muckelkapseln*, in *Arch. f. Anat. und Phys.* (1861), 1.

et même chez plusieurs Champignons, des organites sans membranes pouvaient exister pendant quelque temps sans se constituer en cellules, on se trouva dans la nécessité de reconnaître que certaine partie du végétal pouvait préexister sans être à l'état cellulaire. *Cette partie fort importante, puisqu'elle contribue à former la cellule en s'entourant d'une membrane, c'est ce l'on désigne sous le nom de protoplasma*, et ce qu'il me semble plus logique d'appeler *plasma* » (1). Ainsi le protoplasma, ou *plasma* de M. Roze, c'est toute la masse de substance qui préexiste à la formation de la membrane cellulaire, c'est en un mot la cellule jeune tout entière.

Si maintenant nous interrogeons sur le même sujet l'un des plus remarquables biologistes anglais, nous ne trouverons pas une réponse beaucoup plus satisfaisante. « J'ai traduit, dit M. Huxley (2), le terme *protoplasma*, définition scientifique de la substance qui va m'occuper, par cette périphrase : *la base physique de la vie*. » « Il existe, ajoute-t-il, une substance commune à tous les êtres vivants, et leurs infinies variétés sont dominées par une unité, non pas seulement idéale et théorique, mais encore réelle, physique et matérielle. » Par cette expression, *base physique de la vie*, M. Huxley nous donne du protoplasma une idée générale, assez juste, il est vrai, mais sûrement incapable de satisfaire les esprits positivement scientifiques. Lorsque M. Huxley essaie de préciser davantage ce qu'il entend par protoplasma, il s'exprime de la façon suivante : « Toutes les formes de protoplasma qui ont été examinées jusqu'à ce jour contiennent les quatre éléments suivants :

(1) ROZE, *De l'influence de l'étude des Myxomycètes sur les progrès de la physiol. végét.*, in *Bull. de la Soc. bot. de Fr.* (1872), 29.

(2) HUXLEY, *La base physique de la vie*. Confér. scient. d'Edimb., in *Rev. c. sc.*, VI, 314.

carbone, hydrogène, oxygène et azote, dans une union très-complexe, et toutes se comportent de la même manière en présence de divers réactifs. C'est à cette combinaison compliquée, dont la nature n'a jamais été déterminée avec exactitude, qu'on a donné le nom de protoplasma. En employant ce terme avec toute la réserve qu'impose *notre ignorance relative des choses auxquelles il s'applique*, nous pouvons dire avec vérité que tout protoplasma est semblable à la protéine ; ou bien, comme le blanc de l'œuf ou albumine est un des exemples les plus communs de la protéine à peu près pure, nous pouvons dire que toute matière vivante est plus ou moins semblable à l'albumine. » Si la définition physiologique du protoplasma donnée par M. Huxley a le tort d'être un peu trop vague, sa définition chimique me paraît au contraire trop étroite. Le protoplasma, en effet, n'est pas seulement composé de matières albuminoïdes plus ou moins analogues à l'albumine, comme le dit M. Huxley, mais encore de principes immédiats minéraux dont la présence est indispensable à la manifestation régulière de ses propriétés ; enfin les définitions de M. Huxley sont trop imparfaites, au point de vue anatomique, pour nous permettre de distinguer dans une cellule déterminée la substance protoplasmique de celles qui lui sont toujours associées.

Il serait trop long de citer ici tous les auteurs qui se servent du terme protoplasma en le précisant aussi peu, et pour lesquels les plasmodies mobiles des Myxomycètes, les spores ou zoospores nues des Algues, leurs anthérozoïdes, les cellules jeunes et dépourvues de membrane d'enveloppe sont constitués uniquement par du protoplasma, tandis qu'en réalité la substance protoplasmique est loin d'être à l'état de pureté dans tous ces corps. M. Robin a déjà protesté énergiquement contre cette manière d'envisager le protoplasma et la trop grande extension qu'on donne à ce terme : « Dans le cas, dit-il, de la formation d'un paroi pelli -

culaire superficielle autour de cette masse azotée solide ou demi-solide, comme l'ovule, certaines cellules épithéliales, etc. c'est cette masse (retenant son noyau dans son centre) qui se trouve être appelée *protoplasma* (protoplasma contenu dans les cellules de quelques auteurs). Pour ceux-ci, le corps cellulaire (creusé ou non de vacuoles à contenu fluide, comme dans les *Amibes*, etc.) prend le nom de *protoplasma libre* quand, la paroi cellulaire étant rompue, il s'est extravasé et gît ou se meut librement. La croyance que ce qu'il y a d'essentiel, de caractéristique dans l'état d'organisation, gît dans la forme des parties, est certainement une des causes qui ont conduit à confondre ainsi les substances et le corps des cellules sans cavité avec le protoplasma réel *fluide intra-cellulaire* (1). Nous verrons, en effet, que M. Robin réserve l'expression de protoplasma pour désigner la partie liquide du contenu cellulaire. « Il est même des auteurs, ajoute-t-il, qui se servent du terme protoplasma pour désigner les cellules, soit animales, soit végétales. Ce dernier terme devient ainsi, sous leur plume, synonyme du mot cellule (2). »

Le premier botaniste qui se soit servi du mot protoplasma et qui lui ait donné une signification assez précise, est H. Mohl (1843, 1846). « Si nous examinons, dit-il (3), à l'intérieur d'une cellule, le point où de nouvelles cellules vont se former et où se montrent déjà les nucleus cellulaires comme les centres des futures cellules, nous verrons que l'utricule qui va devenir utricule-mère ne renferme jamais un suc cellulaire aqueux et limpide, mais bien une matière incolore, visqueuse et entremêlée de granules très-petits; cette matière est disséminée en quantité plus ou moins considérable à travers la cavité de la cellule; elle est plus condensée autour du nucleus, et il en résulte très-souvent que le contour de ce dernier ne se montre

(1) CH. ROBIN, *Anat. et physiol. cell.*, 245.

(2) CH. ROBIN, *loc. cit.*, 248.

(3) H. MOHL, in *Bot. Zeit.* (1843, 1846); *Ann Sc. nat.*, ser. 3, VI, 85, 86.

que confusément et ne peut être vu nettement qu'à l'aide de l'iode. » Pour H. Mohl la cellule offre donc alors trois choses : l'utricule primordiale, un contenu mucilagineux et un nucleus. L'utricule primordiale et « la matière incolore, visqueuse, entremêlée de granules très-petits » qu'elle enveloppe sont-elles pour H. Mohl de même nature ? Ce point est, on le verra plus tard, important à préciser. « Il est bon de faire remarquer, dit H. Mohl, que, d'après les observations de MM. Mulder et Harting, *ni les nucleus, ni l'utricule primordiale ne peuvent être regardés comme formés de protéine*, puisque, si on les voit souvent pénétrés par cette substance, on en rencontre aussi qui en sont dépourvus et qui sont formés d'une substance, assez mal caractérisée encore, il est vrai, au point de vue chimique, mais différente des autres matières solides de la cellule. De même que, vers l'intérieur, il s'opère une séparation entre la matière visqueuse mêlée de granules et la substance solide du nucleus, de même, vers la périphérie, la formation de l'utricule primordiale paraît provenir également de ce fluide mucilagineux. » Ainsi, pour M. H. Mohl, l'utricule primordiale et le noyau proviennent, il est vrai, de la matière mucilagineuse qui remplit la cellule, mais ils en diffèrent par leur composition chimique, aussi bien que par leur consistance et leurs autres propriétés physiques. Il m'a paru nécessaire de citer à cet égard le texte précis d'H. Mohl parce qu'on trouve aujourd'hui dans tous les livres le terme *utricule azotée* employé comme synonyme d'*utricule primordiale* d'H. Mohl, tandis que ce botaniste déclare formellement accepter la manière de voir de Harting qui nie la nature protéique de l'utricule primordiale.

« Le contenu des jeunes cellules, dit Harting (1), est environné d'un sac membraneux propre (*utricule interne*) qui

(1) HARTING, *Rech. microchim. sur la nat. et le dévelop. de la paroi des cell. vég.*, in *Ann. sc. nat.*, sér. 3, V, 327.

adhère faiblement à la face interne de la paroi cellulaire. On la rencontre encore en cet état dans beaucoup de cellules plus avancées en âge, et dont les parois ne sont pas lignifiées; mais, après la lignification, cette membrane adhère fortement à la paroi et finit, dans beaucoup de cas, par disparaître complètement. La protéine se rencontre quelquefois parmi ses parties constituantes, *mais souvent aussi elle manque complètement. Les substances contenues dans l'utricule interne des jeunes cellules renferment, au contraire, toujours de la protéine.* La cellulose n'apparaît jamais parmi les parties constituantes de l'utricule interne. La membrane qui la compose est *formée d'une substance particulière, insoluble dans l'eau, l'alcool, les acides nitrique, chlorhydrique, sulfurique et phosphorique étendus d'eau, l'eau régale, les bromures et la solution concentrée de plusieurs sels.* La plupart de ces réactifs la font aisément apparaître par la contraction qui la sépare de la paroi cellulaire. » C'est sur cette opinion de M. Harting qu'H. Mohl s'appuie, dans le passage de son mémoire cité plus haut, pour nier l'identité chimique de son utricule primordiale et de la matière visqueuse qu'il contient. Il me paraît donc nécessaire d'insister sur l'erreur que commettent les botanistes modernes, lorsqu'ils attribuent à H. Mohl l'opinion que l'utricule primordiale est composée de protoplasma, tandis que ce botaniste réserve ce dernier terme pour désigner : « la substance demi-fluide, azotée, qui est répandue dans les cavités cellulaires » (1). « Ainsi qu'on l'a déjà reconnu, ajoutet-il, partout où des cellules doivent naître, ce fluide précède les premières productions solides qui indiquent les cellules à venir; nous devons donc admettre que *c'est lui qui fournit les matériaux pour la formation du nucleus et de l'utricule primordiale*; il se montre, en effet, dans les plus intimes rapports de position avec ces deux organes, et il réagit sur l'iode

(1) H. MOHL, *loc. cit.*, 86.

absolument de la même manière qu'eux ; dès lors, comme c'est son organisation qui amène la production des nouvelles cellules, je me crois autorisé à proposer pour lui le nom de *protoplasma*, qui se rapporte à sa fonction physiologique. » H. Mohl ajoute que le terme *protoplasma* est préférable à celui de *mucilage* (*Schleim*) employé par Schleiden « pour désigner cette substance, » parce que le mot mucilage est déjà appliqué à d'autres matières végétales très-différentes. Ainsi, je le répète pour H. Mohl, le *protoplasma* « fournit les matériaux pour la formation de l'utricule primordiale, » il réagit même d'une façon identique sur l'iode, mais cependant on ne doit pas le confondre avec cette utricule qui n'est pas protéique, qui est, comme dit Harting, « formée d'une substance particulière. » tandis que le *protoplasma* qui est contenu dans sa cavité « renferme, au contraire, toujours de la protéine, » comme dit encore Harting. Tout cela est bien peu d'accord avec ce qu'enseignent aujourd'hui les livres classiques. « Etroitement appliquée contre la face interne de cette membrane (la membrane cellulosique), dit M. J. Sachs (1), se voit une seconde couche également close de toutes parts, dont la substance molle et non élastique contient toujours des matières albuminoïdes ; cette substance a été appelée par Hugo Mohl, qui l'a découverte, du nom très-significatif de *protoplasma*. Dans l'état de la cellule que nous considérons ici, le *protoplasma* forme un sac enveloppé par la paroi cellulaire, et dans lequel s'étendent souvent d'autres portions de *protoplasma*, sous forme de lames et de cordons. » Je n'insisterai pas ici sur la composition chimique du sac, qui, depuis Harting, a été mieux étudiée, et dont la nature protéique a été constatée, grâce aux procédés plus sûrs de la chimie moderne. Je me bornerai à faire remarquer la confusion que M. J. Sachs fait entre l'utricule primordiale d'Hugo

(1) J. SACHS, *Traité de bot.*, trad. fr., 2.

Mohl et le protoplasma de ce botaniste. C'est donc avec raison que M. Robin (1) s'inscrit contre cette façon de faire des auteurs modernes; mais tandis qu'il étend la dénomination de protoplasma à toutes les substances liquides contenues dans l'utricule primordiale lorsque la cellule est parvenue à son état adulte, H. Mohl, au contraire, réserve ce nom pour la substance demi-fluide, visqueuse, qui existait au début dans la cellule, et qui fournit les matériaux de l'utricule primordiale et du noyau, tandis qu'il donne le nom de *suc cellulaire* au liquide qui s'accumule dans l'intérieur de cette substance pendant le développement ultérieur de la cellule. « Il se forme, dit-il (2), dans le protoplasma, des cavités, irrégulièrement distribuées qui se remplissent d'un suc aqueux. Ordinairement ces cavités sont, dans l'origine, petites et séparées par des couches épaisses de protoplasma; mais, dans d'autres cas, on observe, même de bonne heure, quelques cavités considérables, tandis que le reste de la cavité cellulaire est uniformément rempli de protoplasma granuleux. A mesure que la cellule vieillit, ces cavités se multiplient et grandissent..... Plus la cellule grandit, plus on voit ces vides, remplis d'un suc aqueux, s'étendre proportionnellement à la masse du protoplasma. Par suite, ils entrent en communication l'un avec l'autre; dès lors le fluide visqueux ne forme plus des cloisons complètes, mais bien des filaments plus ou moins épais, rayonnant à partir de la masse qui entoure le nucléus en manière d'atmosphère, vers la circonférence; ici ces filaments se courbent, se joignent entre eux, et forment de la sorte un réseau anastomotique plus ou moins complet. » Ainsi, en laissant de côté la membrane cellulosique dont nous n'avons pas à nous occuper ici, si nous résumons les idées d'Hugo Mohl sur la structure de la cellule, nous

(1) CH. ROBIN, *Anat. et phys. cell.*, 243 et suiv.

(2) HUGO MOHL, in *Ann. sc. nat.*, sér. 3, VI, 88.

voyons qu'il admet, dans cet organisme élémentaire, quatre parties distinctes : le *protoplasma*, qui préexiste aux autres parties, d'où le nom qu'il lui donne ; le *noyau*, produit par le protoplasma ; l'*utricule primordiale*, produite également par le protoplasma, mais différant de lui par sa nature chimique, et, enfin, le *suc cellulaire* liquide, accumulé dans la profondeur même du protoplasma, où il se creuse des cavités communiquant les unes avec les autres. Dans cette manière de voir il y a une grande part de vérité, mais aussi quelques erreurs qui ont été corrigées par des recherches plus récentes que je vais maintenant résumer.

Pour suivre le développement complet des parties intérieures de la cellule, on peut prendre les poils de l'ochrea des *Rumex*. Ils sont formés d'un seul plan de cellules allongées, disposées sur trois ou quatre rangées longitudinales, et d'autant plus jeunes qu'elles sont plus voisines de l'extrémité du poil. Dans un même poil il est ordinairement facile d'en trouver de tout âge, de sorte que l'observation des faits que je vais exposer est en même temps très-commode et très-rapide. La cellule jeune s'y présente avec une membrane cellulosique mince et transparente, exactement remplie par une substance visqueuse, incolore, contenant de petites granulations grisâtres, d'autant plus nombreuses que la cellule présente une activité plus grande. C'est cette masse qu'H. Mohl désignait, comme nous l'avons vu, sous le nom de protoplasma. Au centre de cette substance se trouve un noyau volumineux, dont les contours arrondis sont rendus très-nets par l'acide acétique ; il est clair, peu granuleux, et offre, dans sa partie médiane, un nucléole brillant. Le contenu hyalin de cette cellule offre toutes les réactions des surfaces albuminoïdes. Il est coagulé et contracté par l'alcool, coloré en jaune par la teinture d'iode, et accumule, après sa coagulation, les matières colorantes, etc. Il serait difficile d'en dire autant des granulations qui, à cause de leur petite taille, ne

peuvent être étudiées séparément, noyées qu'elles sont dans la matière visqueuse. Nos connaissances au sujet de la nature de ces granulations sont encore très-imparfaites. Elles paraissent ne pas obéir aux mêmes réactifs que la substance qui les contient, et certains auteurs les regardent comme de nature grasseuse. « Très-ordinairement, dit M. J. Sachs(1), le protoplasma en voie de végétation active, tout en étant par lui-même incolore et hyalin, est troublé par d'innombrables petits granules qui sont probablement de *très-petites gouttes d'huile*. » La présence de ces granulations dans le protoplasma, et particulièrement dans le protoplasma « en voie de végétation active, » est un fait important sur lequel j'aurai à revenir. Si ces granulations sont, comme il est probable, formées de substances grasses ou d'autres matières ternaires, elles représentent, en effet, bien certainement un produit de désassimilation du protoplasma. Le contenu cellulaire offre dans toute l'étendue de la cellule, la même structure anatomique, et il est impossible de distinguer, à ce moment, rien qui ressemble à l'utricule primordiale d'Hugo Mohl. Mais bientôt, pendant que la membrane cellulosique acquiert des dimensions plus considérables, on voit apparaître, dans différents points du contenu cellulaire, des gouttelettes d'un liquide clair, aqueux, incolore, qui refoulent autour d'elles la substance protoplasmique. Les cavités, ainsi formées dans le protoplasma granuleux, et désignées sous le nom de *vacuoles*, grandissent rapidement à mesure que la cellule grandit et que le liquide aqueux augmente; bientôt elles communiquent les unes avec les autres; le protoplasma, repoussé par le liquide clair qui les remplit, finit par ne plus former qu'une couche périphérique appliquée contre la face interne de la membrane cellulosique, et dont les divers points ne sont plus rattachés les uns aux autres que par des

(1) J. SACHS, *Tr. de bot.*, trad. fr., 51.

brides traversant la cavité cellulaire. Le noyau entraîné par le protoplasma est situé, soit dans la couche périphérique, soit dans les filaments que forme cette substance. Les filaments protoplasmiques ne tardent pas eux-mêmes, ordinairement, à disparaître, et le protoplasma n'est plus représenté que par une membrane plus ou moins épaisse, tapissant la face interne de l'enveloppe cellulosique, à laquelle on donne le nom de membrane ou *utricule azotée*. Quelques botanistes la nomment à tort *utricule primordiale*, la confondant avec ce que H. Mohl désignait ainsi. En comparant le développement de la cellule que nous venons d'exposer avec celui décrit par Hugo Mohl, il est facile de se rendre compte des modifications qu'il faut apporter à sa théorie pour la rendre conforme aux faits. Les quatre parties admises par Hugo Mohl se retrouvent bien dans la cellule que nous venons de décrire, mais toutes n'ont pas la même signification. Ce qu'Hugo Mohl désignait sous le nom d'*utricule primordiale* n'existe pas ici en réalité; mais nous retrouvons dans la cellule jeune la « matière incolore, visqueuse et entremêlée de granules très-petits, » qu'il désigne sous le nom de protoplasma. Seulement, cette matière visqueuse, au lieu de fournir la membrane interne de la cellule qui, d'après Hugo Mohl, « ne peut pas être regardée comme formée de protéine, » arrive à constituer elle-même cette membrane interne lorsqu'elle est refoulée par le « liquide aqueux » que nous devons, avec lui, désigner sous le nom de *suc cellulaire*. Si maintenant nous comparons la cellule jeune, telle nous l'avons décrite, avec la cellule adulte dont nous avons étudié le développement, nous voyons qu'elles ne diffèrent en réalité l'une de l'autre qu'en ce que la seconde possède un liquide aqueux (*suc cellulaire*) que la première ne possédait pas, et par la situation du protoplasma granuleux qui, dans la première, remplissait toute la cavité de l'enveloppe cellulosique, tandis que dans la seconde

elle ne forme qu'une simple membrane en dedans de cette dernière et autour du suc cellulaire.

Nous savons déjà d'une manière à peu près certaine, que les granulations contenues dans le protoplasma ne sont pas de la même nature que lui, et nous avons vu qu'elles représentaient très-probablement un de ses produits de désassimilation. M. Hanstein (1) a proposé, pour le mélange de protoplasma véritable et de granulations grisâtres, qui constitue l'utricule azotée, les cellules nues, etc., le nom de *metaplasma*, mais nous nous bornons à signaler ce nom sans l'adopter, pensant que la botanique est déjà beaucoup trop encombrée de dénominations pour le moins inutiles. Il nous reste à savoir quelle est la nature du suc cellulaire et du noyau. Nos connaissances à l'égard du suc cellulaire sont assez complètes pour que nous puissions nier sa nature protoplasmique et avoir des idées à peu près certaines sur son rôle physiologique. Nous trouvons, en effet, dans le suc cellulaire à la fois des produits venant du dehors, eau tenant en dissolution des sels minéraux et autres substances solubles; oxygène, etc., et des substances qui ont été fabriquées dans l'intérieur même du végétal, telles que tannin, sucre, huiles, matières colorantes dissoutes, acide carbonique, etc., dont beaucoup, sinon toutes, sont certainement des produits de désassimilation du protoplasma, comme les petites granulations contenues dans sa masse.

Nous pouvons donc regarder le suc cellulaire comme un liquide chargé à la fois des produits de nutrition nécessaires au protoplasma, des produits de désassimilation rejetés par cette substance et enfin de l'oxygène destiné à sa respiration. Le suc cellulaire nous offre ainsi la plus grande analogie avec le liquide sanguin ou lymphatique des animaux et pourrait avantageusement, en se plaçant au point

(1) HANSTEIN, *Sitzungsber. der niederrh. Gesellsch.*, in Bonn, 19 déc. 1870.

de vue de la biologie générale, être désigné sous le nom de *plasma*, si ce terme n'avait été employé pour désigner des choses différentes. Nous avons vu déjà que M. Roze proposait de l'appliquer au contenu cellulaire tout entier. M. J. Sachs lui donne un sens à peu près analogue, car il l'applique à la substance complexe qui remplit les jeunes cellules et qui forme les ovules, les spores, etc. « Il me semble, dit ce physiologiste (1), qu'on pourrait réserver le nom de protoplasma à la substance incolore *granuleuse*, souvent animée d'un mouvement de circulation ou de rotation et qui ne se rencontre (à l'exception du plasmodium) *que dans les cellules bien développées* et munies d'un nucleus et d'une membrane. On désignerait sous le nom de plasma la substance organique si compliquée qui se rencontre dans les zoospores, les ovules, le contenu des spores et des grains de pollen, et les tissus les plus jeunes de la tige et des racines. » Je ferai à l'égard des dénominations proposées par M. J. Sachs la même observation que j'ai adressée plus haut à celle de M. Hanstein, et je ferai remarquer encore que si M. J. Sachs appelle protoplasma toute la masse de substance *granuleuse* de l'uticule azotée, il faudra encore créer un autre nom pour la partie fondamentale, hyaline de cette substance à laquelle les granulations sont simplement surajoutées.

Le noyau, dont il nous reste à parler, se forme dans le protoplasma, subit les mêmes destinées que lui, se comporte à peu près de la même façon en face des réactifs, jouit des mêmes propriétés organiques et doit, par conséquent, être considéré comme de nature protoplasmique. Il se trouve cependant, incontestablement, dans un état d'agrégation moléculaire autre que celui de la masse protoplasmique qui l'entoure et peut être aussi présente-t-il quelques différences de composition chimique ainsi que le montre l'action différente exercée

(1) J. SACHS, *Physiol. végét.*, trad. fr., 366.

sur lui et sur le protoplasma par l'acide acétique qui fait pâlir, rend transparent et finit par dissoudre ce dernier, tandis qu'il rend le noyau plus net et plus brillant. Dans le noyau même, il faudrait peut être distinguer plusieurs parties : sa membrane d'enveloppe quand elle existe, son contenu et son nucléole qui, sans aucun doute, n'ont ni exactement la même composition chimique, ni la même structure physique ; mais nos connaissances à cet égard sont à peu près nulles et ne nous autorisent pas à séparer le noyau du protoplasma, particulièrement au point de vue physiologique qui est pour nous le plus important.

Dans la cellule telle que nous l'avons envisagée plus haut, le nom du protoplasma devra donc être réservé pour la substance hyaline, visqueuse, qui remplissait la cellule jeune et qui forme plus tard la membrane interne ou azotée et pour le noyau avec son nucléole ; tandis que nous regarderons comme très-différents les granulations et le suc cellulaire qui sont ou des produits de désassimilation destinés en partie à être repris par le protoplasma, ou des substances venant du dehors et pouvant servir à sa nutrition. Je ne parle pas de la membrane cellulosique qui, par sa composition, s'éloigne tellement du protoplasma qu'on ne peut hésiter à l'en distinguer. Nous verrons que, formée par ce dernier, elle en reste imprégnée ; ce qui lui permet de prendre un accroissement considérable qui ne cesse que lorsque le protoplasma disparaît de la cellule. A côté de la cellulose nous placerons l'amidon et l'inuline qui s'en rapprochent par leur composition chimique et dans la production desquelles nous aurons à rechercher le rôle qui incombe au protoplasma. Les molécules des grains d'amidon, comme celles de la cellulose, sont associées intimement à du protoplasma, ce qui rend facile à comprendre l'accroissement par intussusception dont ils sont le siège, d'après M. Nägeli. Beaucoup de cellules offrent encore des grains de chlorophylle et, quelques-unes, des cristoalloïdes

azotés. Dans le grain de chlorophylle, nous distinguerons soigneusement deux choses : la matière colorante qu'on peut enlever par l'alcool, l'éther, etc., et la substance à laquelle elle est fixée. Cette dernière est regardée par tous les botanistes comme de nature protoplasmique. Nous verrons, en effet, qu'elle en offre toutes les propriétés chimiques et physiologiques ; ce qui ne veut pas dire qu'il ne puisse exister entre le protoplasma de l'utricule azotée et celui des grains de chlorophylle quelques différences minimales, mais ces dernières sont trop peu importantes pour nous empêcher de les confondre, sachant que le protoplasma, comme toutes les substances où les principes albuminoïdes dominent, est soumis à des variations incessantes de composition et d'état moléculaire. La plupart des auteurs regardent aussi les cristaalloïdes comme de nature protoplasmique et n'en font qu'une forme particulière. Je ne parle pas des grains d'aleurone dont la partie albuminoïde rentre incontestablement dans la catégorie des substances protoplasmiques, tandis que l'autre, formée de substances minérales, n'a pas à nous occuper ici.

En résumé, les seules parties protoplasmiques de la cellule sont : l'utricule azotée, moins ses granulations, le noyau, la substance fondamentale incolore des grains de chlorophylle, la substance albuminoïde des grains d'aleurone et les cristaalloïdes ; la cellulose et les grains d'amidon étant, sans aucun doute, imprégnés par du protoplasma par lequel ils sont produits.

Il nous reste maintenant à déterminer ce qui, dans les végétaux inférieurs et les cellules nues, doit être considéré comme l'analogue de ce que nous avons nommé protoplasma dans la cellule des végétaux supérieurs. Examinons d'abord une cellule nue, par exemple la spore d'un *Fucus*. Elle est formée d'une masse sphérique de substance gélatineuse, parsemée de nombreuses granulations grisâtres et colorées en brun par un pigment soluble dans l'alcool. Cette substance nous offre nettement toutes les réactions caractéris-

tiques de celle que nous avons trouvée dans la cavité de la cellule jeune des plantes supérieures et doit comme elle prendre le nom de protoplasma; dans ses granulations, nous trouvons l'analogie des granulations de l'utricule azotée, et son pigment est le même que celui qui colore le protoplasma en grains des cellules que nous avons déjà étudiées. Les zoospores, tant sexuées qu'asexuées, et les anthérozoïdes d'un grand nombre de végétaux inférieurs nous offriront en outre des expansions filiformes, incolores, mobiles qui ont tous les caractères du protoplasma hyalin des cellules qui les portent et qui doivent être considérés comme de même nature. Dans les cellules nues, dont nous venons de parler, il ne sera pas rare non plus de rencontrer des grains d'amidon et de petites vacuoles pleines d'un liquide clair, analogue au suc cellulaire qui remplit l'utricule azotée des cellules adultes étudiées plus haut. Les caractères de toutes ces parties secondaires pourront varier pour ainsi dire à l'infini; mais la substance visqueuse et incolore qui forme la grande masse de la cellule conserve toujours les caractères essentiels du protoplasma. De ces cellules nues nous passons facilement aux grandes masses molles, mobiles, changeant de formes d'une façon incessante qui constituent les Myxomycètes. Nous y retrouvons, dans le *plasmodium* de ces êtres, la substance naturellement incolore, hyaline, coagulable par l'alcool, etc., que nous avons nommé protoplasma dans les cellules, et mélangées à elle, nous retrouvons aussi les granulations grisâtres, les particules de matières pigmentaires, et même les vacuoles avec suc cellulaire que le protoplasma nous a offerts dans ses formes précédentes.

Cette étude des divers états sous lequel se présente à nous la substance végétale nous a appris à connaître les caractères anatomiques de la matière à laquelle nous pensons qu'il faut réserver le nom de *protoplasma*. Il nous restera maintenant à déterminer ses propriétés physiques, chimiques, organiques

et le rôle qu'elle joue dans l'organisme végétal, rôle que sa nature et sa situation dans la cellule peuvent déjà nous faire prévoir. Nous nous bornerons pour le moment à dire que le protoplasma est la seule partie des végétaux qui jouisse de la faculté de se nourrir, de se reproduire, de se mouvoir, c'est-à-dire la seule qui offre cet ensemble de propriétés qu'on désigne sous le nom de *vie*, et que c'est lui qui produit toutes les autres parties du végétal.

CHAPITRE II.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU PROTOPLASMA VÉGÉTAL.

§ 1. — *Formes diverses sous lesquelles il se présente.*

Le protoplasma végétal envisagé comme nous venons de le faire, c'est-à-dire comme la seule partie vivante des plantes, peut se présenter à notre observation sous les aspects les plus divers, non-seulement dans des groupes différents de végétaux, mais encore dans un même groupe, chez un même individu et jusque dans un même organe, suivant les conditions extérieures ou les phases du développement. Nous distinguerons, à cet égard, le protoplasma vivant à l'état libre (1) de celui qui est entouré d'une membrane d'enveloppe. Ce dernier état

(1) Je prévien le lecteur qu'il m'arrivera fréquemment, dans le cours de ce travail, de me servir de ces expressions : protoplasma libre, protoplasma entouré d'une enveloppe, etc. On pourrait croire au premier abord que je tombe moi-même dans l'erreur que j'ai signalée au début du premier chapitre, mais j'avertis que je ne me servirai de ces expressions que pour abrégé le discours, et parce que je n'ai pas voulu inventer un mot nouveau pour désigner la substance que je regarde comme constituant seule le protoplasma.

est constant dans les végétaux supérieurs, tandis que parmi les Cryptogames, il n'est pas rare de rencontrer, soit des organes, soit des individus entiers qui sont constitués par de la substance protoplasmique nue et libre. Les Myxomycètes, dont l'étude a beaucoup éclairé l'histoire du protoplasma végétal, sont formés pendant la période végétative de leur existence par une substance gélatineuse, constituant parfois des masses très-volumineuses qui s'infiltrèrent dans les interstices des bois pourris ou du tan sur lesquels elles vivent. Cette matière n'est autre chose que du protoplasma libre et nu. Sa forme très-variable n'est souvent pas autre que celle des anfractuosités dans lesquelles elle se loge, mais est susceptible de subir des changements incessants et aussi variés que possible. Tantôt, d'une portion centrale plus ou moins arrondie partent en rayonnant de longs bras gélatineux qui vont s'appliquer sur les corps voisins et s'enfoncer dans les moindres fissures qu'ils présentent ; tantôt, la masse entière affecte la forme d'une boule arrondie ou bien celle d'une filet à mailles irrégulières, formées par l'enchevêtrement et la soudure intime de filaments gélatineux de protoplasma. Cet état amiboïde du protoplasma sur lequel j'aurai à revenir plus tard à cause des mouvements singuliers qu'il présente, se retrouve dans un assez grand nombre de végétaux inférieurs, mais il n'est pas le seul que puisse offrir le protoplasma nu. Il est au contraire beaucoup plus fréquent de voir la substance protoplasmique nue et libre affecter des formes déterminées et constantes pour un même végétal. Les organes reproducteurs mâles ou femelles des Cryptogames nous en offrent d'excellents exemples. Ainsi, le protoplasma nu qui forme la spore du *Fucus vesiculosus* se présente toujours sous l'aspect d'une sphère régulière, tandis que celui qui entre dans la constitution de l'anthérozoïde du même végétal a toujours la forme d'un ovoïde de très-petite dimension, avec deux prolongements filiformes mobiles ou cils vibratiles à l'aide desquels il

se meut dans l'eau et va à la recherche de la spore qu'il doit féconder. Le même fait se présente dans tous les groupes de Cryptogames et la forme du protoplasma nu qui constitue leurs organes reproducteurs est tellement constante dans un même groupe qu'elle suffit souvent pour le caractériser.

Lorsque le protoplasma se revêt d'une membrane d'enveloppe, c'est encore sa forme qui détermine celle de la cellule nouvelle, et toutes les modifications d'aspect, de dimensions dans un sens ou dans un autre que celle-ci présentera ensuite, seront dues uniquement à des modifications analogues dont le protoplasma est le siège, la membrane s'accroissant dans le sens où le protoplasma lui-même s'accroît et restant stationnaire dans les points où il conserve sa forme et ses dimensions primitives. Il suffit de suivre le développement d'une zoospore de *Vaucheria sessilis* et du filament auquel elle donne naissance pour comprendre le rôle important du protoplasma dans la détermination de la forme des éléments anatomiques. La zoospore, après sa sortie de la cellule-mère était elliptique, formée de protoplasma nu ou couverte de cils vibratiles qui ne sont que des prolongements de son protoplasma. Bientôt elle perd ses cils et le protoplasma sécrète une enveloppe très-mince de cellulose dans laquelle il s'enferme, mais qu'il imprègne molécule à molécule, comme nous le verrons plus tard. Il ne tarde pas à s'allonger et à prendre la forme d'une massue, sa membrane le suivant dans son accroissement, comme la coquille d'un mollusque s'agrandit à mesure que l'animal lui-même augmente de taille. Bientôt le protoplasma donne naissance latéralement à un bourgeon qui refoule devant lui la paroi cellulaire et ne tarde pas à se présenter sous l'aspect d'un cylindre plus ou moins allongé, revêtu par une couche de cellulose qui se moule sur ses formes. Quels que soient les développements ultérieurs du protoplasma de ce filament de *Vaucheria*, ses formes ne seront jamais que la conséquence des formes du protoplasma

lui-même, la membrane restant toujours passive. Il est loin d'en être ainsi dans toutes les plantes. On comprend, en effet, que lorsque la membrane cellulosique parviendra à acquérir une épaisseur considérable, comme cela se produit dans la plupart des cellules des végétaux pluricellulaires, la forme qu'elle possédera à ce moment ne pourra plus être modifiée, le protoplasma ne pouvant pas exercer sur elle une pression assez considérable pour la déformer. Nous la verrons alors prendre des formes qui ne sont plus en rapport apparent avec celles du protoplasma, mais nous savons qu'elle est encore imprégnée de celui-ci, et qu'en définitive c'est lui qui est toujours l'architecte. Dans les végétaux pluricellulaires, une autre cause viendra mettre obstacle au développement dans tel ou tel sens du protoplasma, je veux parler de la pression que la membrane dont il est entouré subit de la part des cellules voisines. Dans la profondeur d'un organe jeune, d'une racine ou d'un bourgeon, par exemple, toutes les cellules ont une forme polyédrique à peu près semblable, les masses protoplasmiques qui les forment étant comprimées les unes par les autres et ne pouvant pas s'accroître dans un sens plus que dans les autres; à la superficie de l'organe, au contraire, le protoplasma ne trouvant du côté de l'extérieur aucune résistance, est susceptible de s'allonger librement, en repoussant devant lui sa membrane, et les cellules épidermiques pourront, en se développant ainsi, se transformer en poils tubuleux cylindriques ou étoilés, simples ou composés. Il m'a semblé qu'il n'était pas sans intérêt d'entrer dans ces quelques considérations, que tous les auteurs négligent, et peut-être y aurait-il des recherches curieuses à faire dans cette voie, dont je dois me borner ici à indiquer la direction. Dans tous ces cas, nous avons envisagé le protoplasma remplissant en entier la cavité cellulaire. Mais nous savons déjà que dans la cellule complètement développée, il n'en est jamais ainsi, et nous avons vu que, par suite du développement du suc cellulaire dans la pro-

fondeur de sa masse, le protoplasma prenait bientôt la forme d'un sac (*utricule azotée*), appliqué contre la face interne de la membrane cellulosique, et dont partent des cordons protoplasmiques anastomosés qui en rattachent certains points les uns avec les autres. Quoique cette forme utriculaire soit habituelle dans les cellules adultes, elle n'est pas absolument constante. Sans parler ici des petites masses protoplasmiques isolées, plus ou moins volumineuses et de formes variables, qui se revêtent de matière colorante et constituent les grains de chlorophylle, on voit dans quelques cas le protoplasma affecter des formes particulières. Dans un grand nombre de fruits bacciformes, le protoplasma se présente sous l'aspect de sacs arrondis (*vésicules séveuses*), au centre desquels s'accumule du suc cellulaire, souvent coloré en rouge, en violet, en jaune, et sur lesquels nous reviendrons plus tard. Dans un grand nombre de graines sèches, riches en fécule, en huile, en aleurone, on trouve aussi, au milieu de ces substances de réserve, des masses à formes cristallines et protéiques, que M. Nägeli et la plupart des botanistes regardent comme de nature protoplasmique.

Quelle que soit la forme affectée par le protoplasma, et qu'il vive libre ou au contraire enfermé dans une membrane cellulosique, ses propriétés et son rôle restent les mêmes. La forme n'est donc ici, comme toujours, qu'un caractère de deuxième ordre auquel nous ne devons attacher qu'une importance médiocre

§ 2. *Coloration.*

Le protoplasma végétal est naturellement incolore et hyalin, mais il ne se présente que rarement à nous dans un état de pureté parfaite. Il contient presque toujours un nombre considérable de fines granulations qui sont probablement de nature grasseuse et qui lui donnent une couleur blanc grisâtre. Il est, en outre, fréquemment mélangé de granules de matière

colorante qui lui prêtent leur teinte. C'est à des granules de ce genre que les plasmodies des Myxomycètes doivent leur coloration. Enfin, les petites masses protoplasmiques qui constituent la portion vivante des grains de chlorophylle sont imbibées de pigments colorés solubles dans l'alcool, qui les font paraître vertes, brunes, jaunes, rouges ou bleues, suivant la nature des pigments; mais, en dissolvant les pigments, on s'assure facilement que le corps protoplasmique lui-même est parfaitement incolore. On sait d'ailleurs que les grains de chlorophylle sont entièrement formés avant que la matière verte apparaisse et qu'on peut, en plaçant la plante dans l'obscurité, déterminer leur décoloration sans pour cela détruire leur forme, pourvu que la privation de lumière ne soit pas trop prolongée.

§ 3. *Propriétés endosmotiques du protoplasma végétal.*

Pendant la vie comme après la mort, le protoplasma jouit de propriétés endosmotiques et exosmotiques énergiques à l'égard de l'eau et des substances qu'elle tient en dissolution. C'est là, ainsi que nous le verrons plus tard, une des conditions importantes et nécessaires de son accroissement. Lorsqu'on place dans l'eau une cellule pleine de protoplasma, on voit le liquide pénétrer graduellement par endosmose dans la cavité de la cellule à travers la membrane cellulosique, refouler ensuite le protoplasma qu'elle détache de la paroi, puis pénétrer lentement dans l'intérieur même de ce dernier où elle s'accumule en donnant lieu à des vacuoles semblables à celles qui se produisent pendant l'accroissement de la cellule. Le même fait a été bien observé par Hugo Mohl sur les rubans spiralés du protoplasma coloré en vert du *Spirogyra*. Lorsqu'on coupe ces rubans dans l'eau, on les voit se gonfler en divers points, devenir noueux et il est facile de s'assurer que chacune de ces nodosités est constituée par une couche

périphérique de protoplasma avec sa chlorophylle et au centre par des gouttes de liquide incolore, entourées d'une couche de substance muqueuse également incolore. Nous verrons plus bas quelles conclusions Hugo Mohl (1) et d'autres botanistes tendent à tirer de ces faits. Il nous suffira, pour le moment, d'y voir une explication expérimentale des phénomènes qui se produisent naturellement dans la formation des vacuoles. Celles-ci sont dues évidemment à la pénétration dans l'intérieur du protoplasma qui d'abord remplit la jeune cellule, de gouttelettes de séve qui peu à peu s'accumulent en certains points, refoulant autour d'elles le protoplasma comme l'eau le refoule dans les expériences que je viens de citer et finissant par le réduire à l'état d'une simple utricule. Cette interprétation est encore nettement confirmée par l'expérience suivante de M. Nägeli (2). Il comprime assez fortement un filament de *Spirogyra orthospira* pour que, sans endommager la paroi, il détermine la rupture des points de contact qui existent entre le ruban de chlorophylle et l'utricule protoplasmique. On voit alors les rubans de chlorophylle se rompre en plusieurs fragments qui s'arrondissent, s'imbibent de suc cellulaire et se transforment en vésicules. Ce pouvoir endosmotique du protoplasma par rapport à l'eau et aux substances diverses qu'elle tient en dissolution existe, ainsi que je l'ai dit plus haut, à la fois pendant la vie et après la mort. Les substances colorantes, même parfaitement solubles, sont seules soumises, au point de vue de l'endosmose et de l'exosmose, à des conditions différentes, ainsi que l'a montré le premier M. Nägeli (3).

Pendant la vie, le protoplasma n'absorbe pas la plupart des matières colorantes, tandis qu'après sa mort, non content

(1) In *Bot. Zeit.* (1855), 97.

(2) NÄGELI, *Pflanzenphys. Unters.*, I, 11.

(3) NÄGELI, *loc. cit.*, I, 5.

de les absorber, il les accumule dans sa masse de façon à se colorer plus fortement même que la solution avec laquelle il a été mis en contact. M. Nägeli a montré que lorsqu'on place une cellule incolore vivante dans une solution de sucre colorée avec du suc de fruit, on voit la solution traverser la membrane cellulosique sans la colorer, puis s'accumuler entre elle et le protoplasma qu'elle refoule. Celui-ci d'abord, ne se colore pas ; c'est seulement après qu'il a été tué qu'on voit la matière colorante s'accumuler dans sa masse ainsi que dans le noyau, la membrane cellulosique restant elle-même toujours incolore. Les cellules se comportent de la même façon vis-à-vis des solutions faibles de teinture d'iode et de la solution de cochenille dans l'acide acétique; le protoplasma ne se colore qu'après sa mort, mais alors sa coloration devient plus foncée que la solution. La coloration jaune que lui donne alors la solution d'iode est caractéristique. Lorsqu'on met des cellules renfermant du tannin dans une solution d'acétate de fer, la coloration noire ne se montre dans le protoplasma qu'au bout d'un certain temps, après qu'il a été tué par le réactif ou la suppression de nutrition (2). Des expériences récentes de M. Baillon (1) ont mis très-nettement en lumière l'impossibilité dans laquelle se trouvent les cellules vivantes d'absorber certaines matières colorantes même très-solubles. Des bulbes de Jacinthe, plongeant par l'extrémité intacte de leurs racines dans une solution de matière colorante des fruits de *Phytolacca deccanda* ont pu se développer complètement et fleurir sans absorber la moindre parcelle de matière colorante, tandis que les racines absorbaient l'eau de la solution pour subvenir au développement de la plante; l'absorption de la matière colorante elle-même ne s'effectuait que lorsqu'on faisait plonger dans l'eau la portion inférieure du bulbe. « Ce n'est donc pas, dit M. Baillon, la

(1) BAILLON, in *Compt. rend. Ac. sc.* (1874); *Dict. Bot.*, art. ABSORPTION.

(2) J. SACHS, *Physiol. végét.*, trad. fr., 474.

racine intacte de la Jacinthe qui peut absorber le **suc rouge** du *Phytolacca*. C'est la surface cicatricielle du bulbe, c'est-à-dire une véritable solution de continuité. Et toutefois, point bien digne d'être noté, ce n'est pas la cicatrice elle-même qui, à son état normal, semble absorber la matière colorante. Sans doute, son tissu est constitué de telle façon que si le contact prolongé d'un liquide ne le *désorganise* pas plus ou moins, l'absorption ne peut se faire. Car dans un certain nombre de nos expériences, avec cette surface en contact continu avec le liquide rouge, dans des bulbes dont l'entier développement des feuilles et des fleurs s'est fait dans une carafe, il n'y a pas même eu absorption de la matière colorante. »

Nous verrons plus bas, en parlant de la nutrition du protoplasma, que ces faits sont très-importants, non-seulement au point de vue des matières colorantes elles-mêmes, mais encore en ce qui concerne l'absorption par le protoplasma végétal des matériaux tenus en dissolution dans l'eau ou dans le suc cellulaire en contact avec lui. L'observation directe des cellules vivantes des fruits, des pétales colorés, etc., confirme pleinement les expériences que je viens de citer.

J'ai parlé plus haut des vésicules secondaires qu'on trouve dans les fruits; elles sont formées d'une mince paroi protoplasmique et contiennent un liquide teinté en rouge ou en violet plus ou moins foncé, qui donne au fruit sa coloration. Un examen un peu attentif de ces vésicules montre que leur paroi est parfaitement incolore, malgré le liquide coloré qu'elles contiennent; tout le protoplasma de la cellule est d'ailleurs parfaitement incolore. Cette impossibilité dans laquelle se trouve le protoplasma vivant d'absorber la plupart des matières colorantes, nous explique pourquoi les liquides colorés contenus dans les cellules, n'en sortent pas aussitôt qu'on met celles-ci dans l'eau, mais seulement au bout d'un certain temps. Ces matières colorantes étant contenues dans des vésicules protoplasmiques, ou tout au moins dans l'utricule protoplasmique

qui tapisse la face interne de la membrane cellulosique, ne pourront sortir de la cellule, c'est-à-dire traverser l'utricule azotée, qu'après la mort du protoplasma. L'étude de ces faits nous amène naturellement à nous demander de quelle façon la chlorophylle et les pigments bleus ou rouges qui lui sont associés dans quelques plantes se trouvent fixés aux grains protoplasmiques ; mais cette question n'est, je crois, pas encore résolue. Si la chlorophylle est directement associée au protoplasma de la même façon que les matières colorantes dont nous venons de parler lui sont associées après sa mort, nous devons voir dans le protoplasma vivant une affinité pour la matière verte et quelques autres pigments égale à sa répulsion pour les autres matières colorantes. De même qu'il n'absorbe ces dernières qu'après sa mort, de même aussi il n'abandonne la chlorophylle qu'après avoir été tué par l'alcool dans lequel cette dernière est soluble. Je pense que des recherches intéressantes pourraient être faites sur cette question. Nous verrons du reste en parlant de la nutrition du protoplasma que pas plus la sortie des substances solubles que l'entrée de ces substances ne sont soumises chez lui, pendant la vie, aux simples lois physiques de l'endosmose et de l'exosmose, sa composition chimique jouant un grand rôle dans la production de ces phénomènes. M. de Seynes (1) a signalé récemment la propriété qu'a le protoplasma vivant de certains cryptogames d'absorber des matières colorantes. Le *Penicillium glaucum* développé sur de l'urine absorbe sa matière colorante avec beaucoup d'intensité. « C'est la partie ordinairement hyaline du protoplasma qui se charge de cette matière colorante.... Il paraît difficile d'admettre que les colorations des Bactéries en jaune, rouge ou brun, aient une autre origine que la matière colorante des cellules sur lesquelles ces microphytes sont implantés..., on est conduit à

(1) In *Bull. Assoc. fr. pour l'avanc. des sc.* [1874], 414.

se demander si les *Vibrio synxanthus* et *syncyanus* sont la cause de la coloration jaune ou bleue du lait, ou s'ils ne font qu'absorber les matières colorantes du lait. »

§ 4. *Constitution physique moléculaire du protoplasma végétal.*

Le protoplasma végétal est une substance à demi fluide, un peu visqueuse, ne se dissolvant pas dans l'eau, mais se laissant pénétrer lentement par elle. Après la mort il se coagule, son volume diminue, sa densité augmente considérablement, il devient dur et résistant, de mou et gélatineux qu'il était pendant la vie. Sa densité paraît du reste varier non-seulement d'une plante à l'autre, mais sans aucun doute, d'une cellule à l'autre et dans la même cellule d'un moment à l'autre de son existence, suivant qu'il est plus ou moins riche en eau. Sa consistance et sa richesse en liquide paraît également ne pas être la même dans les divers points de sa masse. Sans parler du noyau qui par d'autres caractères encore se distingue de la masse protoplasmique qui lui a donné naissance et sur lequel j'aurai à revenir dans la suite de ce travail, Hugo Mohl (1), M. J. Sachs (2), etc., admettent que la portion centrale des masses protoplasmiques et même de celles qui constituent les grains de chlorophylle est plus riche en eau que les portions périphériques. Ils appuient leur opinion sur les faits, dont j'ai parlé plus haut, de formation de vésicules quand on met des grains de chlorophylle en contact avec de l'eau.

« La substance de la chlorophylle, dit M. J. Sachs (3), est

(1) HUGO MOHL, in *Bot. Zeit.* (1855), 97, 407.

(2) J. SACHS, *Physiol. vég.*, 472.

(3) J. SACHS, *loc. cit.*

pénétrée de part en part d'une solution plus abondante à l'intérieur que dans les couches moléculaires périphériques. Dans la cellule vivante, cette solution est avec la sève ambiante dans un état d'équilibre endosmotique ; au contact de l'eau, cet équilibre est détruit. La solution attire l'eau qui pénètre dans les interstices moléculaires et qui, à mesure qu'elle avance, est attirée avec plus de force, puisque la solution est plus abondante à l'intérieur. Par ce fait, la cohésion diminue et finit par être vaincue ; une fissure se manifeste ; elle se remplit immédiatement du liquide contenu dans les interstices moléculaires voisins et prend peu à peu l'aspect d'une vésicule entourée d'une membrane endosmotique et pleine d'une solution concentrée. Elle augmente peu à peu en diamètre par endosmose, et tout en se dilatant, repousse de tous côtés la masse de protoplasma. La chlorophylle paraît composée de deux substances, l'une moins dilatable et intimement unie à la matière verte ; l'autre muqueuse, incolore, qui se masse autour de la vacuole, se dilate avec elle, tandis que la première ne cédant pas, est irrégulièrement écartée ; avant la formation des vacuoles, les deux substances étaient intimement mélangées. »

« Ces idées, ajoute M. J. Sachs, m'ont été suggérées par la formation des vacuoles dans les grains de chlorophylle dénudés d'amidon de l'*Allium Cepa*. » Je n'ai pas besoin de dire que je laisse à M. J. Sachs toute la responsabilité de son opinion, me bornant à faire observer qu'il me paraît peu logique pour établir que les portions centrales de la masse protoplasmique sont moins denses que les portions périphériques, de commencer par admettre à priori la proposition même qu'il s'agit de démontrer.

Le même physiologiste a émis sur la structure moléculaire du protoplasma végétal, une théorie que je me bornerai à reproduire sans la discuter. « L'hypothèse, dit-il, (1) que la

(1) J. SACHS, *Physiol. vég.*, 469, 470.

substance organique du protoplasma et de la chlorophylle se présente sous la forme de *molécules imperméables en elles-mêmes, mais pouvant par suite de l'imbibition s'envelopper de couches liquides plus ou moins épaisses*, est le seul moyen de rendre compte d'une manière satisfaisante de différents faits ; elle nous explique pourquoi, en même temps que le volume augmente avec l'eau d'imbibition, la cohésion diminue ; pourquoi les molécules finissent par devenir si mobiles les unes autour des autres, que le protoplasma très-riche en eau offre beaucoup des qualités d'un liquide sans pourtant en devenir jamais un.... Il ne faut pas non plus se représenter cette structure moléculaire comme celle d'un squelette spongieux, dans les mailles duquel l'eau vient se loger ; cette hypothèse est rendue impossible par le fait même de la mobilité des molécules, les unes sur les autres. La seule supposition qui nous reste maintenant, accompagnée d'une *vraisemblance suffisante* est donc celle qui représente le *protoplasma comme composé de molécules isolées, séparées les unes des autres par des enveloppes aqueuses plus ou moins épaisses*. Je ne puis pas encore dire grand'chose de la forme de ces molécules ;... *il me paraît cependant certain qu'elles ne sont pas sphériques*. Si elles avaient cette forme, leurs forces d'attraction, soit pour l'eau, soit pour les molécules voisines, seraient égales dans tous les sens ; la forme extérieure de tous ces organismes montre que leur croissance (par intussusception) dépend dans différentes directions de forces variables, dont l'origine serait inexplicable avec des molécules sphériques. »

Cette théorie est simplement celle de M. Nägeli, relativement à la structure des grains d'amidon, des parois cellulaires et des cristaalloïdes albumineux transportée par M. J. Sachs au protoplasma végétal. « Les substances organiques, dit M. Nageli (2), sont composées de molécules cristal-

(1) NÄGELI, *Botan. Mittheil*, in *Sitzungsb. der K. baier. Akad. der Wiss.* (1862), 203.

lines, irréfingentes (elles-mêmes formées d'un nombre considérable d'atomes), groupées suivant des règles fixes. A l'état sec elles se touchent toutes les unes les autres ; à l'état humide chacune est entourée d'une couche d'eau. Toute substance organisée est donc le siège d'une double cohésion, l'une qui unit les atomes dans une molécule comme dans un cristal, et l'autre qui unit les molécules entre elles. »

§ 5. — *Elasticité du protoplasma végétal.*

Cette propriété est rendue manifeste par des expériences faciles à répéter et sur lesquelles M. Nägeli (1) a attiré, le premier, l'attention des botanistes. Lorsqu'on place des cellules intactes dans un réactif indifférent, mais avide d'eau, comme la glycérine ou le sirop de sucre, il s'établit entre le suc cellulaire de la cellule et le réactif un échange endosmo-exosmotique dans lequel l'exosmose prenant le dessus le suc cellulaire traverse les parois de l'utricule protoplasmique et de la membrane de cellulose pour aller se mélanger à la glycérine. L'utricule protoplasmique, ainsi en partie vidée, se contracte, abandonne la face interne de la paroi de cellulose et, d'après M. Nägeli, sans former de plis, c'est-à-dire en vertu de sa contractilité, les divers points de sa surface se rapprochent du centre de sa cavité. Mais si alors on ajoute de l'eau, celle-ci pénétrant par endosmose dans l'intérieur de l'utricule protoplasmique, on verra cette dernière se dilater peu à peu et, au bout de peu de temps, reprendre son diamètre primitif. L'élasticité du protoplasma est, comme nous le verrons plus tard, une des conditions nécessaires des mouvements qu'il effectue. Après s'être raccourcie en vertu de sa contractilité, si la substance contractile ne jouissait pas de la propriété physique d'élasticité, elle conserverait

(1) NÄGELI, *Pflanzenphys. Unters.*, I, 2.

indéfiniment la position acquise ; grâce au contraire à son élasticité elle reprend, après la contraction, les dimensions qu'elle possédait auparavant. Peu d'expériences ont été faites encore au sujet de l'élasticité du protoplasma végétal et je pense qu'il y aurait là encore de curieuses recherches à faire. On ignore notamment si le protoplasma, au moment où il se contracte, rejette au dehors une partie de son eau pour la reprendre ensuite lorsqu'en vertu de son élasticité, il reprend son volume primitif ; la possibilité de ce fait semble admise par M. J. Sachs : « La diminution de surface de l'utricule primordial, dit-il (2), est probablement liée avec la perte d'une partie de l'eau que contiennent ses tissus ; mais les observations directes manquent à cet égard. » Je serais moi-même peu porté à admettre cette opinion. Nous savons, en effet, que la contraction d'un muscle n'est nullement accompagnée d'une perte de substance de ce muscle et qu'il conserve pendant la contraction le même volume qu'il offrait auparavant. Pourquoi n'en serait-il pas de même du protoplasma végétal ?

§ 6. — *Analogie des propriétés physiques du protoplasma végétal avec les propriétés de même ordre du protoplasma animal.*

Dans le règne animal comme dans le règne végétal, nous trouvons vers les degrés inférieurs de l'échelle des êtres qui, comme les Myxomycètes, sont réduits à l'état des masses protoplasmiques libres et nues, se modifiant sans cesse dans leur formes. Il me suffira de rappeler le groupe des Monères et particulièrement le *Batybius Hæckelii*, trouvé par Huxley dans les profondeurs de l'Océan, où il forme d'immenses colonies mobiles à formes insaisissables.

(1) J. SACHS, *Physiol. vég.*, trad. fr., 471.

Je n'ai pas besoin non plus de rappeler que, chez les animaux supérieurs, certaines cellules sont formées de petites masses protoplasmiques nues et susceptibles de changer sans cesse d'aspect. Je n'ai pas besoin de revenir ici sur le sens que j'attache à l'expression de protoplasma, en parlant soit des animaux inférieurs, soit des cellules nues des animaux supérieurs. Je me suis déjà suffisamment expliqué à cet égard dès le début de ce travail et j'ai montré que ces êtres et ces cellules sont loin d'être formés, comme l'écrivent la plupart des auteurs, uniquement par du protoplasma. Les petites masses protoplasmiques nues et ciliées des plantes ne manquent pas non plus de représentants dans les animaux; il me suffira de citer les spermatozoïdes et les cellules épithéliales. Pour ces dernières, il est vrai, les auteurs ne sont pas d'accord au sujet de la nature des cils vibratiles; les Allemands les considérant comme de nature protoplasmique, tandis que M. Robin les regarde comme une dépendance de la membrane (1). Nous trouvons dans un grand nombre de cellules animales la forme utriculaire du protoplasma que nous avons signalée dans les cellules adultes des plantes. Je me bornerai à citer les cellules adipeuses dont le protoplasma, refoulé par un liquide gras, analogue par sa formation au suc cellulaire des plantes, ne constitue plus qu'une utricule mince, contenant dans son épaisseur le noyau et enveloppant la graisse. Aucune différence n'existe donc au point de vue de la forme entre le protoplasma végétal et le protoplasma animal. On peut en dire autant pour ce qui concerne la coloration. Dans l'un et l'autre groupe d'êtres, le protoplasma est naturellement incolore, mais est ordinairement rendu grisâtre par la présence de nombreuses granulations de très-petite taille. Dans l'un et

(1) CH. ROBIN, *Anat. et phys. cell.* — Cette discussion n'existant qu'au sujet des cils vibratiles des animaux, je n'ai pas à y entrer ici et me borne à renvoyer le lecteur au texte et aux figures de M. Ch. Robin, dont les arguments paraissent d'ailleurs très-probants

l'autre aussi il peut être diversement coloré par des pigments. Chez les animaux, les cellules épithéliales brunes des mamelons chez le blanc, de la peau entière chez les nègres, les chromoblastes des poissons, des reptiles, des Batraciens, etc., sont les analogues des cellules vertes, jaunes, brunes, rouges ou bleues des végétaux dont le protoplasma doit aussi sa coloration à des pigments surajoutés. Une analogie plus importante encore existe au point de vue des propriétés endosmotiques entre les deux formes de protoplasma ; le protoplasma animal n'étant pas plus que le protoplasma végétal susceptible d'absorber les matières colorantes pendant la vie, mais les accumulant au contraire après la mort. Tout ce que j'ai dit plus haut à cet égard, en parlant du protoplasma végétal, s'applique exactement au protoplasma animal. Je n'y insisterai donc pas davantage. L'élasticité est également une propriété commune aux deux protoplasmas. Je me bornerai à signaler le peu de recherches faites chez les animaux, comme chez les végétaux en ce qui concerne l'élasticité du protoplasma lui-même. Enfin, nous sommes aussi complètement ignorants de la structure moléculaire intime du protoplasma végétal que de celle du protoplasma animal. Je me bornerai à conclure de ce rapide parallèle, qu'au point de vue des propriétés physiques, il nous est impossible de constater aucun caractère différentiel permettant de séparer le protoplasma végétal du protoplasma animal.

CHAPITRE III.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DU PROTOPLASMA VÉGÉTAL.

§ 1. — *Composition immédiate.*

La composition chimique du protoplasma végétal est à peu près complètement inconnue et d'ailleurs très-difficile à déterminer, parce qu'elle varie considérablement, non-seulement dans les différentes cellules, mais encore dans un même élément anatomique, par suite des échanges incessants qui se produisent entre le protoplasma et le milieu ambiant. Des principes nouveaux sont sans cesse absorbés et assimilés, tandis que d'autres sont désassimilés et rejetés. Tout ce qu'on en peut dire, c'est que cette substance est un mélange de divers principes immédiats albuminoïdes avec des principes inorganiques, parmi lesquels l'eau occupe la première place. Nous verrons plus loin que les réactions du protoplasma ne peuvent laisser aucun doute sur sa nature protéique qui, en effet, n'a été méconnue par personne. On ne pourrait pas en dire autant des principes immédiats inorganiques qui entrent dans sa composition ; ils semblent être négligés par un certain nombre d'auteurs, quoique cependant ils ne soient pas moins nécessaires que les premiers, et qu'ils jouent également un rôle fort important dans la vie du protoplasma. On sait, par exemple, qu'un certain nombre d'animaux ou de végétaux tombent dans une inertie complète et paraissent privés de vie pendant un temps fort long lorsqu'on les dessèche, tout en conservant la faculté de recouvrer toutes leurs propriétés physiologiques lorsqu'on leur rend l'eau nécessaire. Il faut bien distinguer cette eau unie molécule à molécule aux parties solides du protoplasma de celle qui entre dans la constitution de ces dernières. La nutrition de la ma-

tière organisée qui compose le protoplasma, ne différant « dans les diverses espèces d'éléments anatomiques que par sa rapidité, son énergie et par la nature des principes enlevés aux plasmas *selon la composition moléculaire des espèces d'éléments dont il s'agit* » (1), il serait de la plus haute importance non-seulement de connaître la composition élémentaire de la substance protoplasmique dans les diverses espèces d'éléments anatomiques, mais encore de savoir quel est dans ces éléments l'arrangement moléculaire des principes immédiats qui entrent dans leur composition chimique. Ce sont là autant de desiderata qu'il me suffira d'indiquer. Je ne parle pas ici du noyau, dont la composition chimique diffère certainement, à quelques égards toujours, de celle du protoplasma qui lui donne naissance, mais est également peu connue.

§ 2. — Réactions chimiques du protoplasma végétal.

Lorsqu'on traite le protoplasma, soit de l'utricule azotée, soit des grains de chlorophylle, par l'acide nitrique chaud ou froid, qu'on le lave ensuite soigneusement, puis qu'on le plonge dans l'ammoniaque ou la potasse, on le voit prendre la couleur jaune caractéristique de la xantho-protéine. Ce réactif, employé par M. J. Sachs (2), sur les grains de chlorophylle préalablement décolorés par l'alcool de l'*Allium Cepa* et du *Solanum tuberosum*, agit de la même façon que sur l'utricule protoplasmique, et montre bien ainsi l'identité qui existe entre le protoplasma des grains de chlorophylle et celui de l'utricule azotée. Le nucleus des mêmes plantes, traité de la même façon, lui a donné des résultats analogues (3).

(1) CH. ROBIN, *Anat. et physiol. cell.*, 492.

(2) J. SACHS, *Physiol. végét.*, trad. fr., p. 338.

(3) *Id.*, p. 339.

Par l'acide azotique seul, d'après M. Lortet (4), « les anthérozoïdes du *Marchantia*, les spermaties du *Valsa nivea* et de quelques lichens prennent une légère teinte jaune, que ne nous ont pas présentée les spermatozoïdes des animaux. »

Traité par le sulfate de cuivre en solution concentrée, puis lavé à l'eau et mis en contact avec la potasse, le protoplasma prend une belle teinte violette.

Le nucléus ne manifeste pas aussi nettement cette réaction.

L'acide chlorhydrique colore par l'ébullition le protoplasma en rose ou en violet. Lorsqu'on le traite par l'acide sulfurique, puis par une solution de sucre, il se colore en violet.

Le réactif de Millon (dissolution acide de nitrate mercurique) lui donne, avec l'aide de la chaleur, une couleur rouge foncé.

L'acide sulfurique colore le protoplasma et le nucléus en rose rougeâtre ou en brun, puis les dissout assez rapidement.

D'après M. Lortet (4), l'acide sulfurique, « après quelques secondes, rend les filaments des anthérozoïdes et des spermatozoïdes si pâles, qu'on ne peut plus les apercevoir. » « La cellule-mère, qu'on trouve assez souvent sur le porte-objet, est dissoute très-rapidement et disparaît sans laisser de trace. »

« L'acide phosphorique, du poids spécifique de 1060, ne dissout pas en deux heures les grains de chlorophylle. Les nucléi des tubercules de l'*Helianthus tuberosus* changeaient considérablement d'aspect dans le même temps, mais n'étaient pas dissous; par contre, ceux d'un très-jeune fruit de *Cucurbita* disparaissaient en une demi-heure » (2).

Le protoplasma et le nucléus des fruits de Courge, sont, d'après M. J. Sachs, dissous en deux heures par l'ammoniaque; la neutralisation par l'acide acétique avec addition ultérieure d'iode, les précipite en une masse jaune et granuleuse (3).

(1) LORTET, *Rech. sur la fécond. et la germinat du Preissia commutata*, 52.

2) LORTET, *id.*, 51.

d'après le même physiologiste, les grains de chlorophylle ne subissent pas le même effet sous l'action de ce réactif. « Après une immersion d'une heure, les grains de chlorophylle avaient encore leur forme ; mais ils avaient pris un aspect spongieux et offraient de nombreuses vacuoles. Après neutralisation par l'acide acétique et addition d'iode, ils avaient toujours la même netteté de contours, mais étaient colorés en brun. » Les noyaux du bulbe d'*Allium Cepa* « étaient complètement dissous après une heure d'immersion dans l'ammoniaque ; si toutefois ils avaient été auparavant coagulés par l'alcool, l'ammoniaque était impuissante à les dissoudre. »

La potasse en solution concentrée agit énergiquement sur le protoplasma de l'utricule, les grains de chlorophylle et le noyau ; elle leur fait subir au bout d'un temps fort court une transformation qui les rend solubles dans l'eau. Ce réactif peut, à cause de cette propriété, rendre des services importants dans l'étude des tissus végétaux. « Après trois quarts d'heure d'immersion, dit M. J. Sachs, les grains de chlorophylle, dans des sections minces de jeunes feuilles, avaient encore leur forme et leur couleur ; lorsqu'on ajoute de l'eau, ils se réduisent en un mucilage vert homogène ; en neutralisant avec de l'acide acétique et ajoutant un peu de solution d'iode, on obtient comme résidu de la chlorophylle une masse granuleuse d'un jaune brun. Dans d'autres cas, ajoute ce botaniste, au bout de trois quarts d'heure de séjour dans la potasse, les grains de chlorophylle étaient réduits en une masse huileuse, remplie de vacuoles, qui se dissolvait dans l'eau et se précipitait sous l'influence de l'acide nitrique et de l'iode. » J'ajouterai, d'après mes propres observations, à ces indications sur l'action de la potasse, que son emploi dans les tissus jeunes est d'une grande utilité pour donner de la transparence et permettre de distinguer, sans faire de coupe, les formes d'éléments situés assez profondément, lorsque les parois de ces derniers ont une consistance

plus grande que celle de leurs voisins. Lorsque les tissus sont plus âgés, on arrive au même résultat en faisant chauffer, jusqu'à ébullition, la préparation plongée dans la solution concentrée de potasse. Dans tous ces cas, la potasse agit en dissolvant les parties protoplasmiques des éléments, et aussi en faisant subir aux parois cellulaires une transformation qui les rend plus transparentes. Les faits que j'ai observés contredisent cette assertion de M. Sachs (1) que, lorsqu'on « laisse séjourner dans une dissolution concentrée de potasse des cellules dont le protoplasma est doué d'une forme caractéristique, cette forme se conserve pendant des semaines. »

L'acide acétique rend d'abord le protoplasma transparent, puis le dissout; mais en même temps, il rend le noyau et le nucléole plus visibles. Ce réactif indique ainsi nettement la différence qui existe, au point de vue de la composition chimique, entre la substance du noyau et celle du protoplasma.

L'alcool coagule le protoplasma végétal; il le fait contracter et le rend dur et résistant. On l'emploie avec avantage pour rendre visible l'utricule azotée qui, dans certaines cellules, est tellement amincie qu'on ne peut pas reconnaître sa présence par l'observation simple.

Les acides minéraux agissent de la même façon sur le protoplasma, c'est-à-dire qu'ils le coagulent, le font contracter et le durcissent.

La teinture alcoolique d'iode, après avoir coagulé le protoplasma et déterminé sa contraction par l'alcool qu'elle contient, le colore en jaune plus ou moins foncé (2).

D'après M. Lortet (2), la teinture d'iode iodurée colore légèrement en jaune les spermaties des Champignons et des Lichens.

(1) J. SACHS, *Botan.*, trad. fr., 54.

(2) LORTET, *Rech. sur la fécond. et la germinat. du Preissia commutata*, 53.

L'hydrate de chloral exerce, d'après M. Mussat (1), sur le protoplasma végétal, une action analogue à celle de l'alcool, mais qui est poussée plus loin encore, car il détermine son fractionnement. « Sous l'influence de l'hydrate de chloral en solution aqueuse, dit M. Mussat, et au bout d'un temps variable suivant le cas, le protoplasma perd de sa transparence ; une coagulation évidente s'y opère. Peu après, la masse protoplasmique, si elle remplissait toute la cellule, commence à se contracter, et on aperçoit un vide plus ou moins considérable se faisant entre la paroi cellulaire et le coagulum en voie de formation. Celui-ci se rassemble peu à peu vers le centre de la cellule, où il affecte des formes qui varient naturellement avec la figure de cette dernière. Dans le cas où le protoplasma contient des corpuscules solides d'un certain volume, il peut devenir, sous l'influence du réactif, le siège d'une sorte de fractionnement plus ou moins irrégulier. Il semble alors que chacun de ces petits corps joue le rôle d'un centre d'attraction, et c'est autour de lui que la coagulation continue à s'opérer. Chaque masse, en s'isolant, prend une forme arrondie ou ovoïde. »

« L'acide chromique, en solution claire, teint en jaune et durcit les spermatozoïdes et les anthérozoïdes. » (Lortet) (2).

La chaleur détermine toujours la coagulation du protoplasma végétal lorsqu'elle dépasse une certaine limite variable suivant les espèces. Nous reviendrons plus tard sur ce fait en étudiant l'action des agents extérieurs sur les propriétés physiologiques de cette substance.

Je ne reviendrai pas ici sur les faits d'absorption de matières colorantes dont j'ai parlé dans le chapitre précédent. Je me bornerai à rappeler que certaines de ces matières, mises en contact avec le protoplasma, nous permettent de reconnaître

(1) MUSSAT, in *Bull. de la Soc. Linnéenne de Paris* (mars 1874), 2.

(2) LORTET, *Rech. sur la fécond. et la germinat. du Preissia commutata*, 52.

de suite s'il est vivant ou mort, tandis que tous les réactifs chimiques dont je viens de parler, commençant par le tuer, ne peuvent nous donner aucun renseignement sur son état physiologique.

§III. — *Analogies qui existent entre les propriétés chimiques du protoplasma végétal et celles du protoplasma animal.*

L'analogie des résultats obtenus par l'action des réactifs permet de supposer qu'il existe une ressemblance à peu près complète entre le protoplasma végétal et le protoplasma animal, en ce qui concerne les caractères d'ordre chimique. L'alcool, les acides minéraux, la chaleur, le chloral, qui coagulent le protoplasma végétal en le faisant contracter et en le rendant dur et résistant, exercent une action tout à fait identique sur le protoplasma animal. Ce dernier est également coloré en jaune par l'action successive de l'acide nitrique et de la potasse ou de l'ammoniaque; en violet par le sulfate de cuivre et la potasse; en rose par l'acide chlorhydrique; en violet par l'acide sulfurique et le sucre; en rouge foncé par le réactif de Millon; il est également dissous par la potasse; en un mot, le protoplasma animal obéit aux mêmes réactifs que le protoplasma végétal et, par suite, peut être considéré comme formé de principes immédiats, sinon identiques, du moins fort analogues. On peut admettre qu'il n'existe pas plus de différence entre le protoplasma végétal, envisagé dans la généralité des végétaux, et le protoplasma animal, considéré également dans l'ensemble du règne animal, qu'il n'en existe entre le protoplasma de deux êtres déterminés, pris dans un même règne, ou même entre le protoplasma de deux éléments anatomiques appartenant à deux tissus différents d'un même individu. Au point de vue des caractères d'ordre chimique, nous ne pouvons donc, pas plus qu'à celui des caractères d'ordre physique, distinguer deux espèces de protoplasma

CHAPITRE IV.

PROPRIÉTÉS ORGANIQUES DU PROTOPLASMA VÉGÉTAL.

Nous avons dit, dès le début de ce travail, que le protoplasma soit animal, soit végétal, était essentiellement caractérisé par son *état d'organisation*, c'est-à-dire suivant la définition de M. Robin (1), « que sa matière, quelle qu'en soit la diversité formelle, résulte de l'union moléculaire en proportions différentes de principes immédiats, tant coagulables que cristallisables, d'origine organique et d'origine minérale, associés en un tout, temporairement indissoluble bien que d'une faible stabilité, chimiquement parlant. Or, tant que ce tout reste placé dans certaines circonstances de température, d'humidité, etc., il est en voie incessante de rénovation moléculaire ». Dans les chapitres précédents, nous avons étudié le protoplasma *mort*, c'est-à-dire modifié de telle sorte qu'il n'offre plus le mouvement incessant de rénovation moléculaire dont parle M. Robin. Nous avons à étudier maintenant les phénomènes qui se produisent en lui pendant l'état de *vie* et nous devons nous demander d'abord ce qu'il faut entendre par *état de vie*. « Un corps vivant, a dit De Blainville (2) est une sorte de foyer chimique où il y a à tout moment apport de nouvelles molécules et départ de molécules anciennes; où la combinaison n'est jamais fixe (si ce n'est dans un certain nombre de parties véritablement mortes, ou de dépôt), mais toujours pour ainsi dire *in visu*; d'où mouvement continu plus ou moins lent et quelquefois chaleur. La vie est donc le résultat d'une sorte de combinaison chimique ou mieux

(1) CH. ROBIN. *Anat. et physiol. cell.*, 2.

(2) DE BLAINVILLE. *De l'organism. des animaux* ou *Principes d'anat. comp.*, 16.

le moment de la tendance à la combinaison qui se répète pendant un temps plus ou moins long et avec une énergie plus ou moins forte. Ou bien la vie est l'acte ou le résultat d'une combinaison *in nisu*, successivement répétée. » Dans cette définition, De Blainville indique nettement l'une des propriétés les plus importantes de la matière, celle qui apparaît la première et disparaît la dernière, celle dont l'intégrité est la condition indispensable de la manifestation de toutes les autres, je veux dire la *nutrilité* ; il indique aussi le mouvement moléculaire et la production de chaleur qui sont les conséquences de la mise en jeu de cette propriété, mais il laisse de côté toutes les autres propriétés qui sont l'apanage de la matière organisée dite vivante. M. Robin indique beaucoup plus nettement les caractères de cette matière. » Indépendamment de ces propriétés (d'ordre mécanique, physique, chimique), dit M. Robin (3), la matière organique amorphe ou figurée est le siège d'un certain nombre de manifestations qui ne peuvent être ramenées par l'analyse à aucune des propriétés des corps bruts, bien que celles-ci soient la condition d'existence de ces manifestations. L'ensemble de ces actes constitue ce qu'on entend par *propriétés d'ordre organique, biologique ou vital*. Ces propriétés de la substance organisée sont au nombre de cinq et ont reçu les nom de *nutrilité, évolutilité, natalité, contractilité et névrilité*. » « La nutrition, le développement, la génération, la contraction et l'innervation ne s'observent, ajoute plus bas M. Robin (4), que sur la matière organisée et encore faut-il qu'elle se trouve placée dans certaines conditions, les unes extérieures dites de milieu, les autres intérieures, corrélatives aux précédentes et concernant l'homogénéité de l'association moléculaire caractéristique de l'état d'organisation. Ces conditions de relations réciproques remplies, la

(1) CH. ROBIN, *loc. cit.*, 152.

(2) CH. ROBIN, *loc. cit.*, 153.

manifestation des propriétés de la substance organisée a lieu sans aucune autre intervention du dehors. C'est dans ce sens, mais dans celui-là seul, qu'on peut dire que toute cellule est spontanément active. » Si nous essayons de résumer dans une courte énonciation les notions contenues dans les deux propositions de M. Robin et développées par lui dans ses divers travaux, mais particulièrement dans son *Anatomie et physiologie cellulaires*, nous dirons que la *vie* est l'ensemble des propriétés de la matière organisée (nutrilité, évolutilité, contractilité, névrilité), c'est-à-dire de la matière parvenue à l'état d'association moléculaire le plus complexe que nous connaissons et placée dans des conditions favorables de milieu extérieur et intérieur. Nous trouverons dans cette proposition les éléments de l'étude que nous avons à faire des propriétés d'ordre du protoplasma végétal. Passant en revue successivement chacune des propriétés indiquées plus haut, nous rechercherons d'abord si elles appartiennent au protoplasma végétal, puis les conditions de leurs manifestations et l'action qu'exercent sur elles, les milieux tant extérieurs qu'intérieurs. Ces propriétés sont ordinairement divisées par les physiologistes en deux groupes sous les noms de *propriétés végétatives* comprenant la *Nutrilité* et l'*Évolutilité* qui comprend la *Natalité* de M. Robin, et *propriétés animales* qui sont la *Contractilité* et la *Névrilité* de M. Robin, ainsi désignées parce qu'on a cru longtemps qu'elles appartenaient uniquement aux animaux. Nous conserverons dans ce travail cette division, tout en montrant ce qu'elle peut avoir de trop absolu. Le protoplasma étant la seule partie vivante des végétaux, faire l'étude complète de ses propriétés végétatives et animales ce serait étudier la physiologie générale tout entière du règne végétal. On comprendra facilement que nous n'ayons pas la prétention d'entreprendre ici ce gigantesque travail. Nous nous bornerons donc à tracer les grandes lignes de la question, en nous efforçant seulement d'en mettre en

saillie les points les plus importants et d'exposer les résultats récents qui nous paraîtront offrir quelque intérêt au point de vue de la physiologie générale des végétaux.

SECTION I. — Propriétés végétatives du protoplasma végétal.

I. Nutrilité.

« La nutrilité, dit M. Robin (1), est la propriété qu'a toute substance organisée, amorphe ou figurée, placée dans un milieu convenable, de présenter continuellement et sans se détruire un double acte de *composition assimilatrice* et de *décomposition désassimilatrice* simultanées. » La *nutrition* est la manifestation de cette propriété. Son accomplissement régulier est une condition indispensable de la conservation des autres propriétés que possèdent les êtres vivants. Dès que la nutrition cesse de s'accomplir, toutes les autres propriétés organiques disparaissent et l'on dit que l'être est *mort*. Le protoplasma végétal, comme toute substance organisée vivante, ne peut donc manquer de posséder cette propriété et lui seul représentant toute la portion vivante des végétaux, lui seul aussi, parmi les diverses matières qui entrent dans la composition de ces êtres, sera le siège des phénomènes de nutrition. Toute désassimilation se fera dans le protoplasma végétal et toute assimilation s'effectuera aussi dans la profondeur de sa masse. Dès que l'on a connu les organismes inférieurs dont j'ai eu bien des fois déjà l'occasion de parler et qui sont à peu près uniquement composés de matière protoplasmique, on n'a pu avoir le moindre doute sur la propriété que possède cette substance de s'accroître en empruntant au milieu ambiant des matériaux étrangers à elle-même, des aliments qui, se modifiant dans la profondeur de sa masse, se transformaient

(1) CH. ROBIN. *Anat. et physiol. cell.*, 477.

rapidement en une substance semblable à la substance protoplasmique préexistante, c'est-à-dire étaient assimilés.

En ce qui concerne les végétaux plus élevés en organisation, l'ignorance des propriétés du protoplasma a dû être beaucoup plus prolongée. La voie de ces recherches fut ouverte par Mirbel (2), montrant que les végétaux, même les plus élevés en organisation, étaient composés par l'agrégation d'*utricules* ou *cellules* (1809), et formulant plus tard cette proposition qui est le point de départ de la biologie moderne, « que ces cellules ou utricules sont autant d'*individus vivants* jouissant chacun de la propriété de croître, de se multiplier, de se modifier dans certaines limites, travaillant en commun à l'édification de la plante dont elles deviennent elles-mêmes les matériaux constitutifs. « *La plante est donc un être collectif* » (3).

Il restait à déterminer quelle était la partie de la cellule dans laquelle se produisaient les phénomènes de nutrition. Mirbel paraît l'avoir compris ; mais il faut arriver une époque tout à fait moderne pour trouver des faits absolument démonstratifs établissant que la nutrition s'effectue dans le protoplasma et nous pouvons ajouter, sans craindre de nous tromper, dans le protoplasma seul, quoique les phénomènes d'accroissement soit des grains d'amidon, soit de la paroi cellulosique des cellules, puissent faire croire que ces portions du végétal soient également douées de la propriété de se nourrir. Nous verrons plus tard, en étudiant la production de ces parties, que leur accroissement ne peut avoir lieu que si elles sont en contact avec le protoplasma, et que

(1) MIRBEL. *Exposition de la théorie de l'organisation végétale* [1809], 124.

(2) MIRBEL. *Examen critiq.*, in *Compt. rend. Ac. sc.* [1838] I, 151. Je n'ai pas besoin de rappeler que si les cellules en se réunissent en nombre plus ou moins considérable constituent, comme dit Mirbel, un être collectif, il leur arrive aussi de vivre isolément et de constituer des êtres unicellulaires.

c'est ce dernier qui leur donne naissance et déterminé leur augmentation de masse. Enfin, la démonstration de cette proposition, aujourd'hui admise par tout le monde, que le protoplasma est la seule partie de la cellule capable de se nourrir, c'est-à-dire d'assimiler des matériaux étrangers, en les transformant en sa propre substance, se trouve dans ce fait que toute cellule dépourvue de protoplasma, comme celles du vieux bois, du liège, etc., cesse de s'accroître, et que lorsqu'on détermine, par l'alcool, les acides minéraux, ou tout autre agent, la coagulation du protoplasma, d'une cellule ou d'un organisme inférieur, on fait cesser en même temps toute manifestation de la nutrition dans cette cellule ou ce végétal. Nous pouvons donc sans hésiter admettre que dans les végétaux, à quelque groupe qu'ils appartiennent, 1° c'est, comme l'a dit Mirbel, la cellule qui se nourrit; 2° que dans la cellule c'est le protoplasma seul, tel que nous l'avons entendu dans la première partie de ce travail, qui jouit de la propriété de nutritivité, que c'est en lui seul que s'effectue la nutrition.

§ 1. — *Phénomènes de nutrition dont le protoplasma est le siège.*

Sans m'occuper, pour le moment, des moyens à l'aide desquels chaque cellule est mise en contact avec les matériaux nécessaires à sa nutrition, je me bornerai, laissant la parole à M. Robin, à tracer la série des phénomènes dont l'ensemble compose cet acte : « Il y a, d'une part, dit M. Robin (1), pénétration endosmotique de principes immédiats, phénomène physique par lequel ils se répandent, molécule à molécule, dans l'épaisseur de la substance de chaque cellule (intussusception), puis il y a combinaison de ces principes à ceux de cette substance et formation de composés nouveaux sembla-

(1) CH. ROB., *Anat. et physiol. cell.*, 482.

bles ou non à ces derniers, à l'aide de ceux qui viennent de pénétrer. C'est là le fait caractéristique de l'*assimilation*, c'est-à-dire de ce phénomène par lequel des principes deviennent semblables à ceux qui existaient dans l'élément anatomique ; mais le phénomène précédent, la pénétration endosmotique, est la condition de l'accomplissement de celui-ci.

« Il y a, d'autre part et simultanément, *formation et dissolution de principes différents des premiers, ce qui caractérise la désassimilation*, mais avec issue exosmotique de ces composés comme condition physique de l'accomplissement de ce phénomène. »

Le protoplasma étant le siège réel et unique des phénomènes nutritifs, ainsi que nous l'avons exposé plus haut, c'est lui qui accomplira les actes successifs énumérés dans ce résumé de la nutrition : absorption de principes immédiats nouveaux, assimilation de ces principes pour augmenter sa masse, et simultanément désassimilation d'une partie de ses principes constituants, puis élimination des produits formés dans cet acte de dénutrition. Une partie des principes immédiats absorbés, puis assimilés par le protoplasma, forment par leur ensemble ce qu'on a désigné sous le nom d'aliments; une autre partie, représentée seulement par l'oxygène, a pour rôle de déterminer l'oxydation de certains principes du protoplasma, en donnant lieu à des produits de désassimilation, parmi lesquels se place en première ligne l'acide carbonique, qui seront rejetés par le protoplasma. On a donné plus particulièrement le nom de *respiration* à l'absorption par le protoplasma de l'oxygène gazeux avec rejet simultanément d'acide carbonique. Pour donner une idée exacte de la nutrition du protoplasma, il faudrait étudier successivement en détail chacun des actes dont nous venons de parler ; mais on comprendra que je n'essaie pas d'entreprendre ici ce travail ; je me bornerai donc à en indiquer, en quelque sorte, le canevas, en insistant plus particulièrement sur l'analogie ou les diffé-

rences qui existent à ce point de vue entre le protoplasma animal et le protoplasma végétal.

Lorsque le protoplasma est libre et nu, comme dans les cellules reproductives des végétaux inférieurs ou dans les plasmodies des Myxomycètes, les phénomènes d'absorption et d'élimination s'effectuent facilement par tous les points de sa surface, et l'échange nécessaire à la nutrition qui doit s'effectuer entre lui et le milieu ambiant, est pour ainsi dire direct. C'est donc dans ces organismes inférieurs qu'il faudrait de préférence étudier les phénomènes de nutrition pour avoir une idée exacte de la façon dont elle s'accomplit, et c'est malheureusement ce qui n'a pas encore été fait d'une façon satisfaisante, les botanistes et les chimistes qui se sont occupés de ces questions, ayant surtout porté leur attention sur les végétaux supérieurs où cependant, comme nous allons le voir, les phénomènes élémentaires sont beaucoup plus difficiles à observer. De là sans doute le peu de progrès sérieux qui ont été faits dans l'étude de cette partie de la physiologie des végétaux. Des expériences instituées jusqu'à ce jour sur les végétaux des divers groupes on peut cependant tirer cette conclusion que le protoplasma végétal, tel que nous l'avons défini dans le premier chapitre de ce travail, se nourrit et respire de la même façon que le protoplasma animal, en un mot, que les phénomènes nutritifs sont les mêmes dans l'un que dans l'autre. Si cette analogie paraît détruite dans un grand nombre de végétaux, cela ne tient pas à ce que la nature même du protoplasma végétal change dans ces plantes, ni à ce que les phénomènes intimes, dont il est le siège, se modifient, mais seulement à ce qu'à la substance propre s'ajoute une matière essentiellement différente, la chlorophylle, dont les propriétés et le rôle particulier masquent aux yeux inattentifs les propriétés et le rôle du protoplasma lui-même.

Nutrition du protoplasma végétal incolore. — Nous allons
De Lanessan.

passer rapidement en revue les quelques faits connus concernant la nutrition des végétaux inférieurs dépourvus de chlorophylle et aussi celle des parties des végétaux supérieurs dont le protoplasma est également incolore. On sait que tous les végétaux et parties de végétaux dépourvus de chlorophylle, champignons, vibrioniens, graines en germination, etc., exigent une alimentation organique. De nombreuses expériences ont montré, par exemple, que le *Saccharomyces Cerevisiæ* ne peut ni se multiplier, ni se nourrir en l'absence de matières hydrocarbonées; M. Pasteur (1) a, en outre, constaté que le champignon semé dans un liquide albumineux et dépourvu de matières ternaires, continue à se nourrir et se multiplier à l'aide des matières albuminoïdes avec lesquelles il est en contact. Dans ce cas, le végétal, on le voit, ne se nourrit pas autrement que l'animal. Il absorbe et assimile des aliments azotés tout préparés. Il serait fort intéressant de connaître exactement quelles sont, parmi les substances azotées, celles qui peuvent ainsi jouer directement le rôle d'aliments pour le protoplasma végétal. M. Mayer a montré que si certaines substances albuminoïdes sont incapables de nourrir directement la levûre de bière, cela tient uniquement à l'absence de diffusibilité à travers les membranes organisées des cellules; car les produits diffusibles formés par la digestion des animaux et susceptibles d'être assimilés par eux, tels que la peptone et la syntonine, constituent une excellente alimentation pour ce même végétal. Parmi les substances azotées non albuminoïdes, quelques-unes, comme l'urée, l'acide urique, la guanine, sont aussi de bons aliments pour la levûre de bière; tandis que d'autres, comme la créatine, la créatinine, la caféine, l'asparagine, etc., ne sont que peu ou point utilisées. Il est probable, que les meilleurs aliments de ce champignon sont « des composés azotés *analogues aux*

(1) PASTEUR. *Bull. Soc. chim.* [1861], 80.

peptones qui jouissent de la propriété de passer par osmose à travers les membranes » (2). Il ne faut pas oublier que les *peptones* sont précisément les produits de transformation des substances albuminoïdes fabriquées dans notre tube digestif pour notre propre alimentation, et que, si la levûre de bière ne peut pas assimiler l'albumine du blanc d'œuf dans son état naturel, nos propres éléments anatomiques n'en ont pas davantage le pouvoir.

Le mode de nutrition des graines incolores en voie de germination, celui des bourgeons encore enfermés dans les écailles qui les mettent à l'abri du monde extérieur et dont les cellules ne possèdent que du protoplasma incolore, est tout à fait analogue à celui des êtres inférieurs dont nous venons de parler. Les premiers développements de l'embryon peuvent se faire sans qu'il emprunte rien au monde extérieur que de l'eau distillée. Pour former de nouvelles cellules, le protoplasma de la jeune plante emprunte alors ses matériaux de nutrition aux cotylédons ou à l'albumen avec lesquels il se trouve en contact, et ces matériaux sont un mélange de substances albuminoïdes et de substances ternaires qu'il absorbe directement pour sa nutrition. Tout protoplasma incolore possède donc incontestablement la propriété qu'ont les animaux, de se nourrir directement de matières organiques, soit ternaires, soit quaternaires. Mais le protoplasma végétal incolore possède encore une autre propriété celle de fabriquer des matières albuminoïdes, à l'aide des substances ternaires et d'azotates. Des expériences nombreuses ont montré, en effet, que les sels ammoniacaux et les matières ternaires sont suffisants au développement de la levûre de bière et qu'à l'aide de ces corps, le végétal fabrique les matières albuminoïdes qui sont assimilées par ses cellules. Cependant, la levûre de bière se développe beaucoup plus rapidement, si « au lieu d'am-

(2) SCHUTZENBERGER, *Des fermentations*, 74.

moniaque pour aliment azoté on se sert d'une matière albuminoïde appropriée, comme celle du raisin, du jus de betterave, ou la partie soluble de la levûre de bière ordinaire. (1) » M. Raulin a démontré le même fait à l'aide de nombreuses expériences sur l'*Aspergillus* dont il tire, entre autres, les deux conclusions suivantes, qui seules nous intéressent en ce moment: « J'ai montré, dit-il, (2) que pour obtenir sûrement, en six jours, 25 gr. de cette mucédinée à 1/2 près, il importe de réunir un certain nombre d'éléments favorables à la végétation. Les éléments physiques sont: une température de 35° C, un air humide convenablement renouvelé, des vases peu profonds. Les éléments chimiques sont: oxygène de l'air, eau, 1500; sucre, 70; acide tartrique, 10; ammoniaque, 2,0; acide phosphorique, 0,4; acide sulfurique, 0,25; silice, 0,03; potasse, 0,4; magnésie, 0,2; oxyde de zinc, 0,04; oxyde de fer, 0,03. Le poids total de plante obtenu dans ces conditions ne s'écarte pas beaucoup du rendement théorique maximum que pourrait donner la même quantité de matières nutritives, il est supérieur au poids de mucédinée qui peut se développer, à égales quantités de matières nutritives, sur un liquide organique naturel. »

De quelques expériences faites par M. Van Tieghem il semblerait résulter aussi que l'embryon de la Belle de nuit peut végéter dans une pâte d'amidon à laquelle on ajoute des nitrates et des phosphates minéraux, mais les expériences de ce botaniste sont trop imparfaites pour avoir une importance réelle. « Les embryons de Belle de nuit, dit-il (3), empâtés avec une pelote de pâte ferme, composée de fécules de pomme de terre délayée avec une solution saline contenant principalement des nitrates et des phosphates en diverses proportions, ont

(1) PASTEUR, in *Ann. de chim. et de phys.*, sér. 3, LVIII, 382, 384.

(2) RAULIN, *Etud. chim. sur la végét.*, in *Ann. sc. nat.*, sér. 5, XI, 286.

(3) VAN TIEGHEM, *Recherch. physiol. sur la germin.*, in *Ann. sc. nat.*, sér. 5, XVII, 222.

constamment poursuivi leur développement, sensiblement plus loin qu'avec de la fécule délayée dans l'eau distillée. Plusieurs fois même j'ai réussi à obtenir ainsi le début du développement de la gemmule. » Nous ne pouvons, dis-je, attribuer une grande valeur à cette expérience car M. Van Tieghem cite précédemment un certain nombre de faits montrant que l'embryon, livré à lui-même, atteint un certain développement, et aussi parce que nous ne sommes pas certain que la fécule employée fût entièrement dépourvue de matière azotée.

Je n'en dirai pas autant des expériences faites par le même botaniste et par M. Lemonnier (1) sur les Mucorinées, dans lesquelles ils font développer les Champignons dans un liquide qui ne contient que des principes minéraux : nitrate de chaux, phosphate de potasse, sulfate de magnésie, nitrate de potasse et eau. Ce liquide, employé seul ou avec addition de sucre a donné à ces botanistes les mêmes résultats ; les Mucorinées s'y sont normalement développées. Tous ces faits montrent bien que si le protoplasma végétal incolore peut se nourrir directement à l'aide des corps albuminoïdes comme les animaux, il possède aussi la faculté de produire, à l'aide des corps minéraux et des corps ternaires, les matières albuminoïdes qui entrent dans sa constitution élémentaire. Mais ne perdons pas de vue que son développement se fait toujours moins bien dans ces dernières conditions que lorsqu'il trouve à sa disposition des matières albuminoïdes. Les expériences de M. Hanstein (2) sur le développement des bourgeons incolores confirment pleinement cette manière de voir. On sait que le corps ligneux des grands végétaux est spécialement affecté au transport des matières non azotées, tandis que les matières azotées circulent dans la partie corticale des rameaux. Or, M. Hanstein a fait voir que si l'on enlève à de jeunes rameaux

(1) VAN TIEGHEM et LEMONNIER, *Recherch. sur les Mucor.*, in *Ann. sc. nat.*, sér. 5, XVII, 266.

(2) HANSTEIN. *Die Milchsafg.*, 55.

un anneau d'écorce avant l'épanouissement des bourgeons, ceux-ci se développent au-dessous de la blessure mieux qu'au dessus; et si l'anneau ne se trouve qu'à un ou deux pouces du sommet du rameau, les bourgeons placés au-dessus meurent sans se développer. Il conclut de l'ensemble de ses expériences que l'amidon, le sucre, etc., contenus dans la sève du bois au printemps « ne suffisent pas au développement des parties nouvelles et qu'il faut évidemment que l'écorce fournisse aussi la sève *protéique* si abondante dans certaines de ses cellules et qui ne se trouve jamais dans le bois. » Nous avons vu le même fait signalé par les expérimentateurs en ce qui concerne la levûre de bière, etc. Cette propriété spéciale, ce besoin pour ainsi dire qu'ont les végétaux à protoplasma incolore de matières albuminoïdes toutes formées pour leur alimentation nous explique pourquoi ils sont tous parasites. Nous venons de voir que, d'après les expériences de Hanstein, les bourgeons incolores sont de véritables parasites de la plante verte qui les a produits; incapables de fabriquer les matériaux albuminoïdes nécessaires à leur nutrition, ils les empruntent aux parties du végétal sur lequel ils vivent, qui jouissent de la faculté de les former. Nous pourrions en dire autant des fleurs, des racines et de toutes les cellules du végétal qui, étant dépourvues de matière verte, ne peuvent pas décomposer l'acide carbonique. C'est par un parasitisme analogue que le grain de pollen peut vivre pendant un temps souvent fort long et prendre l'accroissement si considérable qui, dans certaines plantes, est nécessaire pour qu'il puisse aller se mettre en contact avec le sac embryonnaire et accomplir son rôle physiologique. Sur le stigmaté et dans la profondeur du tissu conducteur du style, le protoplasma du boyau pollinique absorbe les aliments azotés contenus dans les cellules avec lesquelles il se trouve en contact. Nous passons ainsi facilement aux organismes parasites, aux champignons qui ne peuvent vivre que sur d'autres êtres parce qu'ils

ne trouvent que dans les cellules de ces derniers les aliments azotés sans lesquels le protoplasma végétal incolore, pas plus que le protoplasma animal, ne peut vivre. On peut bien, en effet, dans le laboratoire, en s'entourant de mille précautions, et peut-être en commettant certaines erreurs dont les expériences ne sont que bien difficilement exemptes, arriver à faire végéter pendant quelque temps des champignons en ne leur donnant que des matières minérales, mais la nature ne nous offre pas de ces faits que peut-être nous serions en droit de contester. Lorsque, par exemple, M. Pasteur voit la levûre de bière se développer dans un liquide qu'il croit être purement minéral, sommes-nous absolument certains qu'il n'y a pas un certain nombre de ces petits êtres qui succombent aux conditions défavorables de l'expérience et donnent leurs cadavres en pâture à leurs voisins affamés ?

Respiration du protoplasma végétal incolore. — Les phénomènes respiratoires dont les cellules à protoplasma incolore sont le siège, sont connus depuis le commencement de ce siècle et assimilés aux phénomènes de même ordre qui se produisent dans les animaux, c'est-à-dire absorption d'oxygène et rejet d'acide carbonique. Je n'y insisterai pas ici.

Depuis l'époque où De Saussure a établi le premier (1) la nature de la respiration des organes incolores, de très-nombreuses et incontestables expériences sont venues confirmer sa manière de voir et l'absorption d'oxygène gazeux avec exhalation simultanée d'acide carbonique, sont aujourd'hui des faits si universellement admis que je ne crois pas devoir y insister. Dans ces dernières années, M. Pasteur a signalé quelques faits qui, tout en laissant intacte dans le fond la théorie de la respiration des organismes végétaux incolores, tendraient cependant à faire admettre que certains d'entre

(1) *Rech. chim. sur la végét.*, 195, 196.

eux non-seulement ne respirent pas l'oxygène à l'état de gaz libre, mais encore sont tués par lui. Il a désigné ces êtres sous le nom *anaérobies* tandis, qu'il nomme *aérobies* ceux qui respirent l'oxygène de l'air. Il admet, en outre, que certains d'entre eux peuvent indifféremment vivre dans l'air atmosphérique en y absorbant de l'oxygène gazeux ou bien dans un liquide complètement dépourvu d'oxygène en empruntant ce gaz aux matières fermentescibles renfermées dans le liquide.

La première communication faite par M. Pasteur (1), concernant la fermentation butyrique, est résumée par lui dans ces deux propositions : « 1^o le ferment butyrique est un infusoire ; 2^o cet infusoire vit sans oxygène libre. » Disons d'abord, sans y insister, que l'infusoire de M. Pasteur est, comme l'a fort bien démontré M. Robin (2), de nature végétale, et que par suite son étude rentre bien dans notre sujet. La description que M. Pasteur lui-même en donne ne peut d'ailleurs laisser aucune doute sur le groupe auquel il appartient. Cet infusoire est une bactérie, comme il est facile de s'en assurer par l'examen des figures qu'en donne l'auteur (3). Quant à sa deuxième proposition, M. Pasteur l'appuie de la façon suivante : « Il serait trop long de dire comment je me suis arrangé pour que les liquides où ces infusoires vivent et pullulent par myriades ne renferment absolument pas d'oxygène libre dans leur intérieur ou à leur surface, ce que j'ai d'ailleurs soigneusement constaté..... Non-seulement ces infusoires vivent sans air, mais l'air les tue. Que l'on fasse passer dans la liqueur où ils se multiplient un courant d'acide carbonique pendant un temps quelconque, leur vie et leur reproduction n'en sont au-

(1) *Comp. rend. Ac. sc.*, LII, 346.

(2) *Journal d'Anat.*, (1873).

(3) *Compt. r. Ac. sc.*, LVIII, 143, f. 13, 14, 15.

unement affectées. Si, au contraire, dans des conditions exactement pareilles, on substitue au courant d'acide carbonique un courant d'air atmosphérique, pendant une ou deux heures seulement, tous périssent, et la fermentation butyrique liée à leur existence est aussitôt arrêtée. » Voici maintenant ce que dit à propos de la même fermentation M. Hoffmann (1) : « Le résultat de mes observations paraît en opposition avec les conclusions de M. Pasteur qui attribue expressément la formation de l'acide butyrique à une forme particulière de Bactérie, à un *Vibrio*, en même temps qu'il annonce que ce *Vibrio* est tué par l'oxygène de l'air. D'après mes expériences, au contraire, presque toutes les espèces de Bactéries que j'ai éprouvées sous ce rapport et notamment celles de la chair pourrie, aussi bien que les micro-et mésobactéries ou vibrions très-agiles du magma butyrique, meurent aussitôt que par un lut imperméable on empêche l'accès de l'air autour d'elles. »

Je n'ai pas besoin d'insister sur la contradiction formelle qui existe entre les faits exposés par M. Hoffmann et les théories de M. Pasteur ; cela m'entraînerait beaucoup plus loin que ne le comportent les limites de mon sujet. On pourra, d'ailleurs, d'après les contradictions que je viens de signaler entre ces deux observateurs, juger de la difficulté attachée à la solution du problème que M. Pasteur considère comme résolu ; et, en attendant que des faits nouveaux viennent confirmer ceux qu'il a présentés jusqu'à ce jour, je ne pense pas que la division établie par lui, au point de vue de la respiration, parmi les végétaux inférieurs incolores puisse être maintenue.

Nutrition des végétaux à protoplasma coloré par la chlorophylle. — Les phénomènes nutritifs qui se produisent dans les végétaux à protoplasma coloré par de la chlorophylle sont beaucoup plus compliqués et beaucoup moins connus que ceux

(1) In *Ann. sc. nat.*, sér. 5, XI.

dont nous venons de parler. Notre ignorance à cet égard doit être attribuée en grande partie à la confusion regrettable que les botanistes ont faite et font même encore entre les phénomènes nutritifs proprement dits dont la conséquence est une augmentation de masse du protoplasma des éléments anatomiques et les phénomènes respiratoires qui ont pour résultat la désassimilation de la substance protoplasmique. M. J. Sachs (1), par exemple, réservant le terme d'*assimilation* pour désigner la réduction de l'acide carbonique opérée par la matière verte, admet que « les organes dépourvus de chlorophylle n'assimilent pas » et regarde les végétaux supérieurs dont le protoplasma est coloré en vert par la chlorophylle comme ayant une alimentation à peu près exclusivement minérale.

En examinant les faits avec un peu plus d'attention, il est facile de voir que la réduction de l'acide carbonique n'a rien de commun avec le phénomène que les biologistes s'accordent à désigner sous le nom d'assimilation ; c'est-à-dire « le phénomène par lequel une espèce de corps qui a pénétré moléculairement dans l'organisme par une voie quelconque, s'unit et devient semblable aux espèces qui constituent la substance de celui-ci, et participe aux actes qu'il accomplit (2.) » Bien loin d'être un fait de cet ordre, la réduction de l'acide carbonique par la chlorophylle, sous l'influence de la lumière, est un phénomène purement chimique dans lequel « le carbone devient libre momentanément et l'oxygène se dégage. Il paraît très-probable qu'au moment où le carbone se dégage de l'oxygène dans un état spécial inconnu, il s'unit aux éléments de l'eau pour constituer un hydrate de carbone (amidon, sucre?) ou tout au moins un corps qui pourra se convertir en ces principes

(1) *Traité de Bot.*, trad. fr., 821.

(2) SCHUTZENBERGER, *Ferment.*, 86.

par des transformations ultérieures (1). La formation des hydrates de carbone par le protoplasma vert des plantes sous l'influence du soleil est si bien un phénomène d'ordre chimique que M. Schützenberger a pu produire « un véritable hydrate de carbone défini à l'aide de matières minérales et par un procédé analogue à celui qu'emploient les végétaux, puisqu'il consiste essentiellement dans la mise en liberté du carbone en présence de l'eau » (2). En mettant en liberté le carbone et déterminant la formation chimique des hydrates de carbone, la chlorophylle ne fait donc pas autre chose que *préparer* pour la plante un aliment organique qui lui est nécessaire ; mais l'acte accompli n'est pas un phénomène d'ordre biologique ; il n'a rien de commun avec l'assimilation, et le mode d'alimentation des végétaux supérieurs ne paraît plus différer de celui des végétaux inférieurs. Il est probable en outre qu'une partie des matières ternaires qui sont produites dans les feuilles, s'y transforme sur place en matières azotées. Parmi les composées les plus simples qui peuvent se former dans les organes verts sous l'influence de la lumière M. Wurtz place en effet les aldéhydes « qui peuvent, dit-il, (3) prendre naissance par la réduction incomplète de l'acide carbonique et de l'eau » et dont certaines, sous « l'action de l'ammoniaque, peuvent donner naissance à des matières azotées, à des alcaloïdes. » On sait d'autre part que lorsqu'on chauffe des nitrates avec du glucose, les nitrates sont réduits, et qu'il se forme des composés riches en azote, et l'expérience a montré que les végétaux croissant sur des terrains riches en nitrates et en alcalis sont ceux qui produisent le plus facilement de grandes quantités de matières albuminoïdes ;

(1) ROBIN et LITTRÉ, *Dict.*, 420.

(2) SCHÜTZ., *Ferment.*, 87.

(3) WURTZ, *Elaborat. des mat. org.*, dans le règne végétal, in *Rev. scient.*, (30 nov. 1872), 508.

« on peut donc penser, dit M. Gauthier (1), que sous influence des rayons solaires, les hydrates de carbone réagissent sur les nitrates et probablement aussi sur les sulfates qu'ils puisent dans le sol, les réduisent et s'unissent à l'ammoniaque et aux sulfures qui en résultent, pour former les diverses matières albuminoïdes. »

En admettant cette manière de voir, deux actes d'ordre purement chimique se passeraient dans les feuilles vertes : 1° fabrication des matières ternaires résultant de la mise en liberté du carbone sous l'influence de la lumière et de la combinaison de ce corps avec les éléments de l'eau ; 2° formation de matières albuminoïdes solubles, soit par l'action de l'ammoniaque sur des aldéhydes, comme le suppose M. Wurtz. soit par l'action des nitrates sur d'autres corps ternaires. Le rôle des organes verts et particulièrement des feuilles, rôle *purement* chimique, serait donc simplement de préparer, à l'aide de matières minérales du sol et de l'atmosphère et sous l'influence de la lumière, des principes immédiats ternaires et albuminoïdes destinés à l'alimentation du protoplasma des divers éléments anatomiques de la plante entière. Les matières minérales prises par les racines dans le sol et par les feuilles dans l'atmosphère ne représentent donc pas les aliments des végétaux pourvus de chlorophylle, comme on le répète partout, mais seulement les matériaux nécessaires à la préparation des véritables aliments. La chlorophylle accomplit sous l'influence des rayons solaires, non pas une fonction physiologique, mais un acte purement chimique, et la nutrition intime du protoplasma des plantes vertes ne peut être distinguée de celle que nous avons étudiée dans les végétaux et les cellules incolores ; les actes préparatoires de la nutrition sont seuls différents (2).

(1) *Chimie appliq. à la physiol.*, I, 257.

(2) Nous pourrions ajouter que les plantes à chlorophylle peuvent.

Respiration des végétaux qui possèdent du protoplasma coloré par la chlorophylle. — L'analogie que nous venons de constater au point de vue des phénomènes intimes de la nutrition entre les végétaux à protoplasma incolore et les plantes à chlorophylle existe également au point de vue de la respiration, cette fonction étant caractérisée chez les uns comme chez les autres par l'absorption d'oxygène et l'élimination d'acide carbonique. Mais tandis que la respiration des plantes ou des organes incolores est connue depuis fort longtemps, il faut arriver à une époque toute récente pour trouver des faits établissant d'une façon exacte la nature des phénomènes respiratoires qui se produisent dans les plantes vertes. On admit d'abord que les plantes à chlorophylle respiraient en absorbant l'acide carbonique et en rejetant l'acide carbonique; puis on constata que pendant la nuit, leur respiration ressemblait à celle des animaux et enfin les expériences de M. Garreau établirent que, pendant le jour, comme pendant la nuit, sous l'action des rayons solaires, comme à l'ombre, les organes verts absorbaient constamment de l'oxygène et rejetaient de l'acide carbonique. On reconnut dès lors que ce qu'on appelait autrefois le respiration diurne des plantes était un phénomène d'un ordre tout différent dont le but, comme nous l'avons exposé plus haut, était la création de matériaux destinés à l'alimentation du protoplasma des cellules.

Je me bornerai à rappeler ici que le protoplasma de quelques animaux (*Hydra viridis*, *Euglena viridis*, etc.) est, comme celui des végétaux dont nous parlons, coloré en vert par de la chlorophylle qui lui donne également la propriété de décomposer l'acide carbonique sous l'influence des rayons lumineux.

« La réduction de l'acide carbonique, dit M. Cl. Berpeut-être, se nourrir directement de substances organiques. Voy. à cet égard : J. SACHS, *Physiol. vég.*, 142. — HOOKER, *Addr. to the Brit. Assoc.* [1874]. — DARWIN, *Insectivorous plants* [1875]. — MORREN, in *Moniteur belge* [janv. 1876].

nard (1), n'appartient qu'à certains éléments du végétal, à la chlorophylle, dont la faculté spéciale, immanente à sa substance, se manifeste seulement lorsque cette substance est soumise à l'influence solaire Au contraire, le phénomène inverse, qui consiste en une absorption d'oxygène et un dégagement d'acide carbonique, dépend d'une propriété générale propre à toute cellule organisée et appartenant à tout ce qui vit. Ce phénomène est entièrement semblable chez le végétal à l'acte respiratoire que l'on observe chez les animaux. Il mérite seul le nom de respiration dans les deux règnes. » Ajoutons que la partie de la cellule qui respire est le protoplasma seul; que lorsque le protoplasma meurt, la respiration cesse, et nous comprendrons que la respiration doit être identique chez tous les êtres vivants, puisque le protoplasma est le même chez tous. Nous pouvons, en revanche, nous étonner de voir tous les livres classiques maintenir encore aujourd'hui une différence profonde entre la respiration des végétaux et celle des animaux, et, parmi les végétaux, entre la respiration des organes verts et celle des organes incolores, entre celle de la nuit et celle du jour.

Pour terminer l'histoire générale de la nutrition du protoplasma végétal, il nous resterait à étudier de quelle façon et dans quelles conditions se produit l'absorption des matières assimilables et de l'oxygène par le protoplasma végétal, les phénomènes intimes de l'assimilation, puis la nature des produits de la désassimilation du protoplasma et la façon dont ils sont éliminés, enfin la production de chaleur et parfois de phosphorescence qui accompagne les phénomènes chimiques intimes de la nutrition et de la respiration. On comprendra que les limites de ce travail nous mettent dans la nécessité de passer rapidement sur chacun de ces points dont un certain nombre d'ailleurs ne sont encore que peu ou point élucidés. Nous laisserons de côté, pour en parler plus tard, tout ce qui con-

(1) *L'Unité vitale dans les deux règnes*, in *Rev. scient.* [oct. 1873], 339.

cerne la formation, le rôle dans la vie du végétal, et l'élimination des produits de désassimilation du protoplasma.

Absorption. — Cet acte dont le protoplasma est le siège et grâce auquel les principes immédiats nutritifs et l'oxygène pénètrent dans sa masse, était considérée autrefois comme un simple phénomène physique. Nous avons vu déjà en étudiant les propriétés physiques du protoplasma, que cette opinion ne peut être admise aujourd'hui, et qu'il existe, notamment au point de vue de l'absorption de certaines matières colorantes, une différence profonde entre le protoplasma vivant et le protoplasma mort, c'est-à-dire entre le protoplasma jouissant de cet état d'agrégation moléculaire particulier et inconnu qui caractérise la vie et la même substance dans un état moléculaire différent. Pendant la vie, l'absorption n'est pas toujours la même pour deux masses protoplasmiques différentes, ce phénomène étant modifié par les propriétés chimiques des principes immédiats très-variables, comme nous le savons, qui entrent dans la composition du protoplasma. Celui-ci semble ainsi faire une sorte de choix qualificatif et quantitatif parmi les principes solubles qui sont en contact avec lui ; mais ce choix ne s'effectue « que d'après sa composition immédiate, mais nullement d'après des propriétés électives autres que celles qui dépendent de cette composition (1). » Nous savons, en effet, que le protoplasma peut absorber, non-seulement des substances indifférentes, mais encore des substances nuisibles et même mortelles, mais il n'en absorbe toujours que des quantités en rapport avec sa composition et n'absorbe que telle ou telle substance laissant les autres de côté. Tous ces faits n'ont, du reste, été que peu étudiés sur le protoplasma lui-même, les observateurs qui se sont occupés de ces questions, agissant sur des végétaux entiers dont les cellules contiennent, avec le protoplasma, du suc cellulaire, de la cellulose, de l'amidon, etc.,

(1) CH. ROBIN, *Anat. et physiol. cellulaire*, 491.

qui prennent part également aux phénomènes d'endosmose et peuvent les modifier profondément. Il me paraît donc inutile d'insister sur les recherches qui ont été faites dans cette voie, d'abord par de Saussure (1), puis par un grand nombre d'autres observateurs (2). Je me bornerai seulement à faire remarquer que, même dans le cas d'absorption par des organes complexes, comme les racines et les feuilles, c'est certainement le protoplasma qui joue le rôle le plus important, car ce sont les parties les plus jeunes qui toujours manifestent le pouvoir absorbant le plus considérable, c'est-à-dire celles aussi dans lesquelles le protoplasma est le plus abondant et le plus actif. Les conditions de l'absorption par le protoplasma ne sont pas non plus les mêmes lorsqu'il est libre et nu, comme celui des plasmodies des Myxomycètes, des organes reproducteurs des végétaux inférieurs, etc., ou lorsqu'il est enfermé dans une membrane d'enveloppe. Dans le premier cas, l'absorption des matériaux nutritifs de l'oxygène s'effectue directement, tandis que dans le second, ces principes doivent traverser d'abord la membrane cellulosique. Enfin, les conditions de l'absorption diffèrent encore, suivant que le protoplasma appartient à un végétal unicellulaire ou à un organisme plus compliqué. Dans ce dernier cas, les matériaux puisés dans le sol par les racines, dans l'atmosphère par les feuilles, modifiés, élaborés dans ces dernières, circulent dans les interstices des éléments anatomiques et se mélangent au suc cellulaire dans lequel le protoplasma les absorbe et dans lequel aussi il rejette la partie soluble de ses produits de désassimilation.

Assimilation. — Cet acte par lequel le protoplasma transforme en une substance semblable à la sienne et jouis-

(1) *Rech. chim. sur la végét.* [1804].

(2) Voy. RÉVEIL. *De l'act. des pois. sur les plantes* [1865]. — J. SACHS, *Physiol. végét.*, trad. fr., 183.

sant des mêmes propriétés, les matériaux nutritifs qu'il a absorbés, nous est complètement inconnu. Je me borne donc à le signaler.

Production de chaleur. — Elle accompagne, chez tous les êtres vivants, les différents phénomènes chimiques dont ces êtres sont le siège; mais le fait ne fut constaté dans les végétaux, pour la première fois, qu'en 1777, par Lamarck qui signala, sans la mesurer, une élévation considérable de la température dans la spathe de l'*Arum italicum* au moment de la floraison. Les recherches ultérieures d'un grand nombre d'observateurs (1) enrichirent ensuite la science de nombreux faits de même ordre et montrèrent que les fleurs, les fruits, les graines en germination, les organes foliaires, la couche herbacée de la tige, en un mot toutes les parties vivantes des végétaux produisaient de la chaleur. Il ne peut entrer dans le cadre de notre sujet de citer ces observations. Nous nous bornerons à signaler le rapport constant qui existe entre l'élévation de la température et l'activité des phénomènes respiratoires et nutritifs. Dans les parties vieilles des végétaux, telles que le bois, la moelle, le liège, dont les cellules ne contiennent plus de protoplasma, on ne constate pas d'élévation de la température. Dans les parties jeunes, au contraire, celle-ci est toujours manifeste. Elle est plus considérable encore dans les fleurs qui sont le siège de phénomènes respiratoires plus intenses, et dans ces organes, elle atteint son maximum au moment où ils manifestent le plus énergiquement leurs propriétés physiologiques, les parties les plus chaudes étant toujours celles qui dégagent le plus d'acide carbonique (2). Le dégagement de chaleur est aussi plus fort dans l'oxygène pur que dans l'air et presque nul dans l'azote

(1) Voy. GAVARRET, *De la chaleur produite par les êtres vivants*, 320. — J. SACHS, *Physiol. végét.*, trad. fr., 316 et suiv.

(2) DUTROCHET, *Mém. sur les relat. qui exist. entre l'oxyg. consom., etc.*, in *Ann. sc. nat.* [1851], XVI, 23.

et l'acide carbonique. La température paraît atteindre son maximum au moment de la fécondation et au niveau des anthères, et d'après M. J. Sachs (1), l'amidon qui était très-abondant disparaît pendant le temps de la fécondation. L'élévation de la température peut alors, on le sait, dans le spadice du *Colocasia odorata*, dépasser de 6 à 11 degrés la température ambiante. D'après M. Worming, dans le spadice du *Philodendron Lundii*, c'est au niveau des staminodes, point où la croissance s'effectue, que la température s'élève le plus. Je n'ai pas besoin de rappeler que dans les graines, la température commence à s'élever au début de la germination et devient d'autant plus forte, d'après Gœppert (2), que la germination est plus rapide..

Parmi les causes productrices de cette chaleur, nous devons signaler les phénomènes de désassimilation dont le protoplasma est le siège, mais ces phénomènes ne sont certainement pas les seuls qui soient accompagnés de dégagement de calorique et ils ne jouent probablement, même à cet égard, qu'un rôle peu considérable. Il faut voir la source de la plus grande partie du calorique développé par les plantes dans l'oxydation des matières ternaires, amidon, inuline, graisses, etc., et des hydrures de carbone, essences, résines. etc., qui eux-mêmes sont probablement, sinon en totalité, du moins en partie, des produits de désassimilation du protoplasma. On sait, en effet, que les graines les plus riches en amidon ou en graisse, sont aussi celles qui, pendant la germination, développent le plus de chaleur (3) et que l'amidon existe en grande quantité dans les inflorescences des *Arum* qui, au moment de la floraison, produisent beaucoup de calorique. « La consommation d'oxygène, dit M. Gavarret (4),

(1) *Physiol. végét.*, trad. fr., 319.

(2) *Ueber die Wärmeentw. in den lebenden Pflanzen*. Wien, 1832.

(3) GÖEPPERT, *Ueber Wärmeentwick. in den lebend. Pflanz.* Wien, 1832.

(4) *De la chal. prod. par les êtres vivants*, 538.

est toujours en rapport direct avec la température propre de la fleur ou de la portion de fleur mise en expérience. »

« La chaleur produite par les végétaux, ajoute-t-il (1), est la conséquence immédiate des réactions chimiques provoquées, entretenues par la radiation solaire et nécessaires à la formation de ses tissus. Ainsi, à quelque période de son développement que la plante soit parvenue, qu'on l'étudie pendant la germination ou pendant la végétation dans ses parties vertes ou dans ses organes de reproduction, toujours on trouve que chez elle, comme chez l'animal, *les phénomènes physico-chimiques de la nutrition sont les vraies sources de la chaleur qu'elle produit.* »

Phosphorescence.— Dans quelques végétaux, de même que chez certains animaux, les phénomènes respiratoires dont le protoplasma et ses produits sont le siège, s'accompagnent d'un dégagement de lumière qu'on a désigné sous le nom de *phosphorescence*. Ce fait a été signalé par M. Fabre (2), dans l'*Agaricus olearius*, par M. Tulasne (3) dans les *Agaricus igneus* d'Amboine, *noctilucens* de Manille, *Gardneri* du Brésil. Plusieurs auteurs déjà anciens avaient signalé le même fait dans les *Rhizomorpha*. M. Fabre compare la phosphorescence de l'Agaric de l'Olivier à une lumière douce, blanche et tranquille, analogue à celle du phosphore dissous dans l'huile. Cette phosphorescence disparaît avec la vie ; elle est accompagnée d'un dégagement d'acide carbonique plus considérable que celui qui se produit quand la plante ne brille pas. Elle s'éteint dans l'hydrogène et l'acide carbonique. La phosphorescence est donc en rapport direct avec la respiration, ainsi qu'on le constate chez les animaux qui jouissent de cette pro-

(1) *Loc cit.*, 344.

(2) *Rech. sur la phosph. de l'Agaric de l'Olivier*, in *Ann. sc. nat.* [1855], IV.

(3) In *Ann. sc. nat.* [1848], IX, 338.

priété. M. Tulasne (1) indique dans les Rhizomorphes des faits qui amènent à la même conclusion ; il a vu, en effet, que les fentes et les crevasses de ces végétaux manifestent une phosphorescence plus vive quand elles ont été mises en contact avec l'air pendant vingt-quatre heures. D'autres observateurs, notamment Meyen, ont constaté que la phosphorescence du *Rhizomorpha* augmente dans l'oxygène et disparaît dans le vide et les gaz impropres à entretenir la respiration. Ce phénomène consécutif à la respiration la phosphorescence a donc son point de départ, comme la chaleur, dans le protoplasma ou dans les substances qu'il produit et nous ne sommes pas étonné de la voir disparaître quand meurt le protoplasma. Il ne faut pas confondre cette phosphorescence respiratoire avec celle qui se produit dans la putréfaction des matières végétales, quoique le point de départ de cette dernière soit aussi dans des phénomènes chimiques.

§ 2. — *Influence des agents extérieurs sur la nutrition du Protoplasma végétal.*

Je ne m'occuperai pour le moment que des modifications apportées par les agents extérieurs (lumière, chaleur, électricité, gaz, poisons, etc.) à la nutrition générale du protoplasma végétal, laissant de côté, pour y revenir plus tard, tout ce qui concerne l'influence de ces agents sur la reproduction du protoplasma, ses mouvements, sa sensibilité, et la production de chacun des produits auxquels il donne naissance.

Lumière. — L'influence de cet agent sur la nutrition et la respiration du protoplasma paraissent différer beaucoup, suivant que celui-ci est incolore ou au contraire pourvu de chlo-

(1) *Loc. cit.*, 349.

rophylle ; les végétaux ou organes de végétaux dont le protoplasma est incolore pouvant se développer complètement dans l'obscurité la plus profonde, tandis que les parties vertes exigent pour leur évolution normale l'action d'une quantité plus ou moins considérable de lumière. Mais, en revanche, tandis que les plantes à organes verts possèdent en elles-mêmes la puissance nécessaire pour fabriquer, avec l'aide de la lumière, des aliments organiques, dont les matériaux sont les principes inorganiques du sol et de l'atmosphère, les plantes à protoplasma incolore ne jouissant pas de cette propriété se trouvent dans la nécessité d'emprunter leurs aliments tous formés à d'autres organismes, c'est-à-dire de vivre en parasites.

Dans un même végétal, les cellules incolores se comportent de même par rapport à celles qui possèdent de la chlorophylle ; elles peuvent bien se développer et se multiplier dans l'obscurité, mais à la condition que les autres parties de la plante leur fournissent les aliments qu'elles sont incapables de fabriquer elles-mêmes. M. Sachs établit même, au point de vue du rôle joué par la lumière dans la végétation, une distinction assez marquée entre les parties vertes qui sont destinées à la production des principes assimilables, et les parties incolores qui sont plus spécialement destinées à la production de parties nouvelles ; les premières prenant toujours « une position plus favorable pour recevoir les rayons du soleil, tandis que les secondes (bourgeons, cambium, etc.) tendent à s'entourer d'enveloppes opaques propres à les protéger contre l'influence directe de la lumière..... Si, ajoute-t-il, la transparence et la simplicité des tissus rend ces précautions inutiles, alors il semble y avoir une division du travail par rapport au temps ; les matières propres à la croissance étant produites plutôt pendant le jour et les nouveaux organes pendant la nuit. » De nombreux faits paraissent donner raison à cette manière

(1) *Physiol. végét.*, 32.

de voir. Il est certain, en effet, que les organes et tissus dans lesquels le protoplasma accroit sa masse et se segmente avec le plus de rapidité, comme les bourgeons foliaires et floraux, les extrémités des racines, la couche cambiabile, sont presque toujours mis à l'abri de la lumière par des enveloppes plus ou moins opaques, et qu'aussitôt que ces enveloppes tombent, les couches les plus superficielles des éléments anatomiques cessent souvent de se multiplier pour se borner à croître en dimension. M. J. Sachs (1) a signalé dans le *Cactus speciosus*, le *Tropæolum majus*, etc. la formation de racines adventives sur des portions aériennes lorsqu'on les place dans l'obscurité, tandis que le même fait ne se produit pas sous l'influence de la lumière. D'après M. de Bary (2), les spores des *Peronospora macrocarpa* et *infestans* germent plus vite dans l'obscurité qu'à la lumière. Ce fait explique en partie le développement très-rapide de ce champignon sur les pommes de terre placées dans les caves et autres lieux obscurs. Dans les fleurs et peut-être même les fruits, le développement paraît être complètement indépendant de la lumière, sauf en ce qui concerne les parties vertes. D'après M. J. Sachs (3), des boutons nés dans l'obscurité ou éloignés de la lumière alors qu'ils sont encore très-jeunes, achèvent leur développement d'une façon normale dans l'obscurité la plus profonde, pourvu qu'on les place dans des conditions, telles qu'ils puissent continuer à recevoir les aliments produits dans les portions vertes de la plante. Dans ces conditions, le calice et les carpelles ne se colorent pas, mais atteignent leurs dimensions normales ; « la corolle et les étamines ont, non-seulement leur aspect ordinaire, mais encore exécutent les mouvements qui les caractérisent. La corolle se ferme et s'ouvre, les anthères laissent

(1) In *Verh. d. Leopold.*, XV, I, 513.

(2) In *Ann. sc. nat.*, sér. 4, XX, 36, 37.

(3) *Ueb. den Einfl.*, in *Bot. Zeit.* [1864]; *Ueb. die Wirk. der Licht.*, in *Bot. Zeit.* [1865].

échapper les grains de pollen qui sont tout à fait normaux et les stigmates sont prêts à les recevoir; les ovules peuvent être fécondés, mûris et même devenir des graines capables de germer. » Je n'insiste pas d'avantage sur ces faits qui montrent suffisamment que le protoplasma incolore se nourrit et respire normalement dans l'obscurité et jouit du plein exercice de toutes ses facultés. Il ne faudrait pas croire cependant que la lumière soit absolument et toujours inutile à la nutrition du protoplasma incolore de toutes les plantes.

Tandis que les organes incolores se développent normalement dans l'obscurité, il est loin d'en être de même des parties vertes; mais ici il est important de bien distinguer les divers faits qui se produisent. Lorsqu'on place une plante verte dans l'obscurité, on ne tarde pas à la voir s'étioler, se décolorer et finalement mourir. Faut-il attribuer à l'absence de lumière la mort du protoplasma qui survient alors? Non certainement. Nous savons, en effet, déjà que certains organes, naturellement verts lorsqu'ils sont exposés au soleil, peuvent atteindre un très-grand développement dans l'obscurité la plus profonde. Les feuilles de certaines plantes bulbeuses nous en offrent un excellent exemple. Grâce à la tendance qu'ont les bulbes de tulipe à s'enfoncer toujours plus profondément dans le sol, on sait que leurs feuilles peuvent arriver à atteindre jusqu'à un mètre et plus de longueur avant d'arriver à la lumière. Le développement de leurs cellules, la nutrition, la respiration, la multiplication du contenu protoplasmique des cellules se sont donc effectués très-normalement dans une obscurité complète. C'est que le bulbe, gorgé de matériaux nutritifs accumulés pendant la saison précédente, a fourni au protoplasma les aliments organiques qui lui sont nécessaires. Que ceux-ci viennent à être épuisés avant que les feuilles aient pu atteindre la lumière, et le protoplasma de leurs cellules, ne pouvant plus se nourrir, mourra. Si, au contraire, elles peuvent percer le sol, elles se trouvent en contact avec la lu-

mière, la chlorophylle se produit et colore en vert leur protoplasma qui, aussitôt, commence à fabriquer de nouveaux aliments pour les parties situées dans l'obscurité. Lorsqu'on place une plante verte dans l'obscurité, la mort de son protoplasma, qui ne tarde pas à subvenir, est donc simplement causée par l'inanition et non par la privation même de lumière. A quelque plante et à quelque organe qu'il appartienne, le protoplasma continue à assimiler et à respirer de la même façon dans l'obscurité et à la lumière; seule, la fonction chlorophyllienne, qui a pour but de créer les aliments assimilables, cesse de s'effectuer dans l'obscurité.

Lumière colorée. — L'influence des divers rayons du spectre sur les végétaux a été étudiée par un très-grand nombre d'observateurs, mais presque tous se sont placés exclusivement au point de vue de la décomposition de l'acide carbonique, et les plantes vertes ont été uniquement, je crois, jusqu'à ce jour, l'objet de recherches de ce genre. Il serait sans doute intéressant d'étudier au même point de vue les plantes à protoplasma incolore; car nous ne savons presque rien de ce qui concerne l'influence que la lumière colorée exerce sur les phénomènes de nutrition intime du protoplasma, qu'il faut bien distinguer, comme nous l'avons démontré plus haut de la fonction chlorophyllienne, et qui ne peuvent par suite être étudiées que sur du protoplasma incolore.

Des recherches faites successivement par MM. Daubeny (1), Hunt (2), Draper (3), Cloez et Gratiolet, J. Sachs (4) etc., sur les plantes vertes, il semble résulter d'une façon générale, que les rayons les plus réfringents, c'est-à-dire les rayons

(1) *On the action of light*, in *Philos. Transact.* [1836], I, 149.

(2) In *Bot. Zeit.* [1864], 355.

(3) In *Biblioth. univ. de Genève* (1844), LIV, 391.

(4) *Wirkung. farbiger. Lichts auf Pflanzen*, in *Bot. Zeit.* [1864], XXII, 64, 69, 353, t. 13.

chimiques, bleu, indigo, violet, sont les moins favorables à la décomposition de l'acide carbonique par la chlorophylle, les rayons éclairants jouissant seuls de la propriété de déterminer cette action. Les rayons jaunes seraient les plus puissants et sous leur action, la décomposition de l'acide carbonique se ferait aussi bien que dans la lumière blanche. D'après M. Draper, les rayons les plus extrêmes du spectre, rouge d'un côté et violet de l'autre, seraient sans aucune influence sur la fonction chlorophyllienne. M. Daubeny avait également signalé auparavant l'absence d'action exercée par la lumière rouge qu'il obtenait à l'aide du vin de Porto. D'après M. J. Sachs, les plantes croissant derrière une solution bleue cessent de se développer lorsque la germination est terminée, tandis que dans les rayons jaunes, il y a formation de nouvelles feuilles ; « ce qui, dit-il, implique la création qu'une certaine quantité de matière organique ». D'après M. Lürssen, l'action prolongée de la lumière rouge détruit la structure moléculaire du protoplasma dans les poils glanduleux des *Urtica* et des filets staminaux du *Tradescantia virginica*, en agissant à la façon des courants électriques et des variations considérables de température. La lumière bleue agirait au contraire de la même façon que la lumière blanche mais moins puissamment. Des recherches faites récemment par M. Bert (7) sur les plantes vertes, il résulte : 1° que les rayons verts sont presque aussi nuisibles à ces plantes que l'obscurité complète ; 2° que les rayons rouges le sont un peu moins ; mais sous leur influence, les organes subissent une élongation considérable sans atteindre un diamètre correspondant ; 3° que les rayons jaunes sont plus favorables que les précédents ; 4° que la lumière bleue est également plus favorable que les rayons verts, rouges et jaunes. M. Bert fait observer que les rayons rouges et verts traversent

(1) *Influence des diverses couleurs sur la végétation*, in *Bull. Soc. bot. fr.*, XVII, 107.

sant les feuilles ne peuvent avoir aucune influence sur leurs éléments. En définitive, le problème de l'action de la lumière colorée sur la nutrition des plantes est loin d'être résolu par ces observations contradictoires et reste pour ainsi dire entier, les auteurs n'ayant pas suffisamment distingué dans leurs expériences les divers actes qui s'accomplissent dans les cellules végétales, actes qui n'exigent certainement pas tous les mêmes conditions et ne sont pas modifiés par les mêmes agents. S'il est vrai, par exemple, que les rayons chimiques soient sans action sur la décomposition de l'acide carbonique par la chlorophylle, c'est-à-dire sur la préparation des aliments de la plante, il n'est nullement démontré qu'ils n'agissent pas sur la nutrition ou la respiration du protoplasma. Nous avons vu, en effet, que d'après M. J. Sachs, les graines germent bien dans la lumière bleue, mais n'y forment pas de feuilles, c'est-à-dire ne fabriquent pas de nouveaux aliments, tandis que, d'après M. Lurssen, la même lumière est presque aussi favorable aux poils de *Tradescantia*, dont le protoplasma est incolore, que la lumière blanche. La question reste donc à peu près entière.

Température. — Nos connaissances au sujet de l'influence qu'exerce la chaleur sur la nutrition et les divers phénomènes d'ordre organique dont le protoplasma est le siège sont un peu plus complètes que celles qui concernent l'action de la lumière ; mais ici encore les botanistes n'ont pas suffisamment distingué les divers éléments du problème, ce qui, joint à l'ignorance, dans laquelle la plupart se maintiennent, des principes généraux de la biologie, rend très-obscures les expositions de ces faits qu'on trouve dans la plupart des ouvrages classiques. L'accomplissement des divers phénomènes de nutrition, d'évolution, de reproduction, de motilité, etc., dont le protoplasma est le siège, est toujours accompagné de mouvements moléculaires d'autant plus énergiques que ces phéno-

mènes se produisent eux-mêmes avec une rapidité et une intensité plus considérables. Ces mouvements moléculaires exigeant pour se produire (comme tout mouvement) une quantité de calorique d'autant plus grande qu'ils sont plus énergiques et plus rapides, et, d'autre part, les réactions chimiques qui s'accomplissent dans les cellules végétales ne développant, comme nous l'avons dit plus haut, qu'une quantité toujours faible de chaleur, il est facile de comprendre que le protoplasma ne pourra entrer en activité que lorsque le milieu ambiant lui fournira la somme de chaleur nécessaire pour l'entretien de cette activité. Nous ne serons pas étonnés, après cela, de voir que telle fonction exige pour s'accomplir une température plus ou moins élevée que telle autre, et que, plus une fonction exigera d'activité dans les mouvements moléculaires, plus aussi elle nécessitera de chaleur, et nous trouverons naturel, par exemple, que la température exigée par une jeune plante pour produire des cellules nouvelles, à l'aide d'aliments fabriqués par elle-même, soit plus considérable que celle qui est nécessaire pour que l'embryon subisse les premières phases de son développement, celles pendant lesquelles il emprunte aux cotylédons ou à l'albumen des matériaux nutritifs précédemment formés et accumulés dans ces organes. Ainsi, d'après les recherches de M. J. Sachs, tandis que le maïs germe à 9° 4 centigr., il ne commence à produire des matières alimentaires nouvelles qu'au dessus de 15° c. Au-dessous de cette température, la plantule cesse de se développer aussitôt après qu'elle a consommé les aliments contenus dans l'albumen de la graine. Dans la même plante, la chlorophylle apparaît entre des limites de température qui sont également différentes des limites assignées aux fonctions dont nous venons de parler ; les feuilles verdissent au-dessus de 6° c. et au-dessous de 15° centigr. Peu de recherches ont été faites jusqu'à ce jour dans le sens que je viens d'indiquer ; mais d'après les faits connus, nous

pouvons admettre avec M. J. Sachs (1) « qu'une plante n'a pas une limite supérieure et une température inférieure de température, mais que chaque fonction a des rapports particuliers avec la chaleur. » Cela explique pourquoi tel végétal des tropiques qui végète bien dans les pays tempérés n'y fleurit ou n'y fructifie cependant jamais, parce que la température ne s'y élève pas jusqu'au niveau nécessaire pour l'accomplissement de ces fonctions ; cela nous explique aussi pourquoi les plantes succombent plus facilement sous l'influence des variations de température lorsque celles-ci se produisent alors que le protoplasma est en grande activité, pourquoi, par exemple, le bourgeon endormi de la vigne peut subir pendant l'hiver des froids très-rigoureux sans en ressentir la moindre atteinte, tandis qu'au printemps, lorsque toutes ses cellules sont en pleine activité, un abaissement beaucoup moindre de la température suffira pour le tuer, les autres parties de la plante dans lesquelles la vie est moins active ne subissant aucun dommage.

Température extrême. — En dehors des limites générales propres à chaque végétal, un abaissement ou une élévation trop considérable de température déterminent toujours la mort du protoplasma. C'est là un fait commun à cette substance dans les deux groupes d'êtres vivants, mais rien n'est plus variable, chez les végétaux comme chez les animaux, que les limites extrêmes au delà desquelles la vie n'est plus possible. Le premier effet produit soit par une chaleur trop forte, soit par un froid trop intense, est une suspension des phénomènes de la vie organique, la sensibilité, le mouvement, l'évolution du protoplasma étant les premiers arrêtés, la nutrition elle-même devenant très-peu énergique. Si alors, l'abaissement ou l'élévation de la température continuent à se produire, la

(1) *Physiol. végét.*, trad. fr., 58.

nutrition elle-même est supprimée et la mort en est la conséquence.

Froid. — La rapidité des variations de température et l'état dans lequel se trouve le protoplasma au moment où il se trouve exposé à des températures extrêmes ont une influence considérable sur le mode d'action de ces dernières. De nombreuses plantes habitant les régions tempérées ou froides, qui normalement ne germent qu'au dessus de 0°, peuvent être amenées à une température inférieure; leur sève peut se transformer en glace et cependant la mort n'en sera pas la conséquence si l'on élève ensuite la température, non pas brusquement, ce qui tuerait la plante, mais lentement, de façon à ce que le dégel ne se produise que graduellement. M. Ch. Martins (1) a rapporté une observation intéressante de plantes gelant chaque nuit et dégelant chaque matin tout en continuant à fleurir. « Il constatait, dit-il, la formation de glaçons dans les cellules sans rupture de celles-ci. Le *Narcissus Tazetta*, au jardin de Montpellier, gelait toutes les nuits pendant l'hiver et dégelait le matin, mais continuait à fleurir. » Les racines et autres parties souterraines qui gèlent et dégèlent lentement avec les parties voisines du sol ne sont que rarement tuées par le froid, tandis que les parties aériennes qui sont exposées à un dégel plus rapide meurent d'autant plus facilement qu'à une nuit froide succède une journée un peu chaude. M. J. Sachs a montré que les cellules de morceaux de courge, de rave, de chou, etc., qu'on faisait geler par un froid de 4 à 6° centigr., mouraient toujours lorsqu'on élevait ensuite rapi-

(1) in *Bull. Soc. bot.*, XIX, 116. — M. Martins ne pense pas que le dégel ait une importance aussi considérable qu'on le croit généralement. Il ajoute que les plantes paraissent surtout sensibles au froid par rayonnement et non pas, comme les animaux, à celui que le vent détermine. Sur le haut d'une cathédrale, avec 4 degrés de moins, il a vu des plantes se porter mieux, grâce à leur exposition au vent, que sur l'appui d'une fenêtre où elles étaient abritées.

dément la température des tissus à 2 ou 3 degrés au-dessus de 0°, tandis que lorsqu'on les plaçait dans de l'eau à 0° ils se couvraient d'une couche de glace et se conservaient intacts lorsque le dégel survenait ensuite lentement. Aucune observation, malheureusement, ne nous donne de renseignements précis sur l'état qu'offre le protoplasma des cellules dans tous les cas dont nous venons de parler. Nous ne pouvons cependant pas passer ces faits sous silence, puisque la mort ou la vie de la plante ne sont autre chose que la mort ou la vie de son protoplasma.

La quantité d'eau contenue dans le protoplasma est aussi une des conditions importantes qui modifient l'action du froid sur lui. Plus il contient d'eau et plus l'action exercée par le froid sera énergique. « La faculté de chaque plante et de chaque partie de la plante, dit de Candolle (1), pour résister aux extrêmes de la température est en raison inverse de l'eau qu'elle contient. » On sait que les graines desséchées peuvent subir, sans en souffrir, non-seulement des abaissements considérables de température, mais encore des variations brusques ; lorsqu'au contraire elles sont riches en eau, leur protoplasma est facilement frappé de mort (2). Les parties herbacées, dont le protoplasma est gorgé d'eau sont plus facilement tuées par le froid que les parties dures et sèches. D'après Hugo Mohl (3), les racines à protoplasma riche en eau des hêtres et des cerisiers meurent à une température beaucoup moins basse que les parties aériennes dont le protoplasma est moins aqueux. Pour expliquer la mort des végétaux par le froid, certains auteurs ont admis que les cellules étaient déchirées par les glaçons, mais cette opinion, aujourd'hui à peu près généralement rejetée, n'est pas admissible. M. J.

(1) *Physiologie*, III, 1103.

(2) GOEPPERT, *Warmeenwick*, 43, 51.

(3) In *Bot. Zeit.* [1862], 32.

Sachs (1) explique la désorganisation du protoplasma qui succède à la gelée par les modifications physiques qui se produisent dans son état moléculaire sous l'influence du froid. Nous savons que pour ce physiologiste le protoplasma est composé de molécules solides, enveloppées de couches aqueuses « sous l'influence du gel, dit-il, les molécules de cellulose et de protoplasma perdent leur attraction pour l'eau et se séparent d'elle comme dans une solution un sel se sépare de la glace. L'arrangement moléculaire régulier est ainsi détruit, puisque l'eau qui s'écoule après le gel concourait auparavant à l'organisation intérieure de la cellulose et du protoplasma; la membrane ainsi désorganisée a perdu sa densité, et la sève renfermée à l'intérieur commence à s'échapper. On peut se représenter la cellule comme une vessie de colle d'amidon doublée à l'intérieur d'une couche d'albumine coagulée et complètement remplie d'eau. Après le dégel, soit la couche d'amidon, soit celle de l'albumine, deviennent poreuses, spongieuses et perdent une partie de leur eau de constitution; alors, le liquide renfermé à l'intérieur commence à couler à travers les membranes comme à travers un filtre. On peut également, d'après cette théorie, expliquer facilement le fait que les cellules gelées meurent ou ne meurent pas, suivant la rapidité du dégel. Au moment du gel, les atomes d'eau se séparent des atomes de substance sous l'influence de forces de cristallisation qui les groupent d'une certaine manière. Si le dégel n'est pas trop rapide, on peut penser que les mouvements moléculaires sont assez lents pour que les anciennes forces recommencent à agir; les molécules d'eau et de substance reprennent leur position première; mais si la fusion des cristaux est très-rapide, les mouvements moléculaires sont trop violents pour permettre à l'ancien arrangement de se réparer. »

(1) *Physiol. végét.*, trad. fr., 66.

A l'appui de cette théorie, ou, disons mieux, de cette hypothèse, M. J. Sachs, invoque ce qui se produit lorsqu'on fait geler du blanc d'œuf; on obtient ainsi une certaine quantité de liquide qui s'échappe de l'albumine et qui n'est pas coagulable; lorsque, d'autre part, on fait coaguler l'albumen par la chaleur, il se transforme en une masse spongieuse et sèche par la perte de ce liquide. On pourrait encore invoquer, à l'appui de la théorie, ce fait signalé plus haut, que les parties dont le protoplasma est aqueux, sont plus facilement tuées par la gelée que celles dont le protoplasma est desséché; mais M. J. Sachs lui-même avoue que « les observations directes manquent jusqu'à présent ». Les modifications apportées au protoplasma par la gelée sont, en effet, encore peu connues. D'après M. Kühne (1), le protoplasma des poils de *Tradescantia* soumis à l'action du froid se sépare en petites masses qui, si elles ne sont pas tuées, présentent des mouvements amiboïdes, puis se réunissent en réseau comme elles l'étaient auparavant; ou bien restent distinctes, se rétractent et absorbent les matières colorantes, ce qui indique qu'elles ont été tuées. Le protoplasma des *Æthaliium*, *Didymium* et autres Myxomycètes, conserve sa forme, d'après le même auteur, pendant le gel, puis tombe en pourriture après le dégel (2). M. Nægeli (3) a observé que dans les cellules gelées du *Spirogyra orthospira*, le protoplasma de l'utricule primordiale était irrégulièrement contracté et laissait sortir par exosmose une grande partie de la sève contenue dans sa cavité. Cette sortie de la sève à travers l'utricule azotée gelée est un fait constant. La sève serépendant alors entre les cellules, donne au tissu une très-grande mollesse. Les matières colorantes sortent aussi avec la sève dans laquelle elles étaient dissoutes.

(1) *Untersuch. über das Protopl.* [1864], 101.

(2) *Id.*, 88.

(3) *Sitzungsb. der K. baier. Akad. der Wiss. zu Munch*, [1861] *Bot. Mittheil*, 59.

Chaleur très-grande. — L'élévation trop considérable de la température détermine, comme le froid, la mort du protoplasma ; mais celui de certaines plantes paraît résister à des élévations considérables. Ehrenberg cite des *Eunotia* et des *Oscillatoria* qui vivent dans les sources chaudes d'Ischia, dont la température est de 81 à 85° centig. Lauder-Linsay parle de conferves croissant dans les sources de Laugarness (Islande), assez chaudes pour cuire un œuf en quatre ou cinq minutes. D'après M. Cohn, les eaux de Carlsbad offrent encore du *Leptothrix lamellosa* avec 54° C. et des Oscillaires avec 44° C., mais en général les eaux dont la température s'élève au-dessus de 40° C. ne contiennent plus de végétaux (1). Les limites supérieures de la température supportable sans que mort s'ensuive, varie du reste pour ainsi dire avec la plante et même avec chaque organe. La quantité d'eau contenue dans le protoplasma paraît également jouer un rôle important au point de vue de la résistance à la chaleur. Des graines desséchées peuvent, d'après M. J. Sachs, supporter une température de 60 à 70° C., pendant une heure sans perdre la faculté de germer, tandis qu'elles sont toujours tuées par la même température lorsqu'elles sont imbibées d'eau.

Ce physiologiste attribue la mort du protoplasma, sous l'influence d'une élévation trop grande de la température, à la même modification moléculaire que dans la mort par le gel. « Comme dans le cas précédent, dit-il, les changements visibles concernent seulement le protoplasma et rarement la cellulose ; c'est toujours un changement dans les propriétés physiques qui fait ressortir la destruction de la structure moléculaire » (2). M. Max Schultze (3) a montré que le protoplasma des cellules de divers poils meurt vers 45° C. Les

(1) J. SACHS, *Ueb. die ober. Temperat. der Weizens*, in *Flora*, 1864, n. 1.

(2) *Physiol. végét.*, 70.

(3) *Das Protoplasma der Rhizop. und der Pflanzellen* (1863), 48.

mouvements s'arrêtent et la substance protoplasmique se désorganise. Un fait fort intéressant et qui rapproche l'action exercée par la chaleur sur le protoplasma végétal de celle que le même agent exerce sur le protoplasma animal, c'est que la mort par l'élévation de température est plus rapidement produite dans un milieu liquide que dans l'air. D'après M. J. Sachs, certaines plantes supportent dans l'air une chaleur de 50 à 56° C, pendant dix à trente minutes, tandis que leur protoplasma meurt en dix minutes dans de l'eau à 45 ou 46° C. La coagulation du protoplasma est toujours la conséquence de la mort par la chaleur. On voit fréquemment, le protoplasma des poils soumis à une haute température se diviser en petites masses coagulées et contractées, mais si la température n'est pas assez élevée pour tuer le protoplasma, les petites masses formées par son fractionnement se meuvent pendant quelque temps à la façon des amibes, puis se réunissent les unes aux autres pour reconstituer un réseau semblable à celui qui existait auparavant. M. Kühne (1) a vu le protoplasma nu des Myxomycètes se coaguler à 40° C. en neuf minutes. Celui des poils de *Tradescantia* se segmente à 45° C. en fragments qui se meuvent d'abord isolément à la façon des amibes, puis se réunissent, et les courants de la masse totale se reforment. Si la température est trop forte, ces fragments se contractent et meurent. De même que dans la mort par le froid, le suc cellulaire sort de l'utricule azotée et le protoplasma lui-même absorbe les matières colorantes du suc cellulaire (2). La chaleur, on le voit, produit le même effet que le froid.

Electricité. — L'influence de l'électricité sur la nutrition du protoplasma est beaucoup moins connue que celle de la lumière et de la chaleur. Les notions que nous avons sur

(1) *Untersuch. über das Protopt.* (1864), 71.

(2) J. SACHS, in *Flora* (1864), 71.

ce sujet sont encore fort incomplètes. On peut, cependant, d'une façon générale, signaler une assez grande analogie entre l'action produite par cet agent sur le protoplasma végétal et celle qu'il produit sur le protoplasma animal. Tous les observateurs sont d'accord sur ce fait que les courants constants n'ont sur le protoplasma végétal qu'une action beaucoup moins intense que les courants induits (1). Ceux-ci, pour produire une action sensible, doivent avoir une certaine intensité. Les mouvements du protoplasma sont d'abord activés, ce qui semble indiquer un accroissement des phénomènes nutritifs; mais si l'intensité du courant augmente, ils ne tardent pas à être arrêtés et alors on observe, d'après les expériences de MM. Kühne (2), Max Schultze (3), Heidenhaim (4), des modifications du protoplasma assez analogues à celles qui sont déterminées par le froid et la chaleur. D'après Brücke dont les expériences étaient faites sur les poils de l'*Urtica urens*, le premier effet d'un courant faible était l'apparition d'un certain nombre de prolongements protoplasmiques à extrémité renflée, qui se détachaient de la face interne de l'utricule azotée et faisaient saillie dans la cavité de la cellule. Si alors on supprime le courant, ces prolongements rentrent dans l'utricule qui leur a donné naissance; mais si l'intensité de l'action électrique est augmentée, les prolongements se détachent de l'utricule et se fractionnent en petites masses coagulées et contractées; l'utricule elle-même se détache de la membrane cellulosique et se morcelle en petits fragments. Lorsque le protoplasma a été tué par l'électricité, il absorbe les matières colorantes contenues dans la sève. D'après M. Kühne, lorsqu'on place des poils de *Tradescantia* entre les électrodes, de façon que le courant les

(1) SACHS, *Phys. végét.*, 70.

(2) *Das Verhalt. der sog. Sitzungsb. der K. Akad. der Win. Wien* [1868] *Unters. über das Protopl.* [1864], 96.

(3) *Das Protoplasma der Rhizop.* [1863], 44.

(4) *Sudien das Physiol. Institut. zu Breslau* [1863], II, 64.

traverse dans leur petit diamètre, une partie seulement du protoplasma de la cellule est modifiée et se divise en petites pelotes sphériques, tandis que les autres portions du réseau conservent leur forme antérieure, ce qui semble indiquer une très-faible conductibilité de la part de la substance protoplasmique. Les expériences de M. Kühne montrent entre l'action des courants constants et celle des courants induits des différences assez grandes, non-seulement au point de vue de l'énergie, qui est, comme nous l'avons dit déjà, beaucoup moindre de la part des courants constants, mais encore en ce qui concerne les effets produits. Le contenu granuleux des cellules des poils de *Tradescantia*, traversés par le courant, s'accumule vers le pôle positif et la séve se colore en vert dans les cellules voisines du pôle négatif, tandis qu'elle devient rouge dans celles qui sont plus rapprochées du pôle positif. D'après M. Kabsch (1), les matières colorantes rouges sont toujours décolorées par les courants induits, et la teinte violette des pétales d'Ancolie, de Violette, de Campanule, devient, sous l'influence d'une étincelle, d'un bleu verdâtre plus ou moins foncé. Je n'insisterai pas davantage sur ces actions qui sont un peu en dehors de mon sujet. Quelques expériences de M. Blondeau confirment les précédentes et ajoutent une donnée de plus, en montrant que le protoplasma est d'autant plus sensible à l'action de l'électricité qu'il contient une quantité d'eau plus considérable, ce qui rapproche encore le mode d'action de l'électricité de celui de la chaleur et du froid. « Il nous paraît bien prouvé, dit M. Blondeau (2), que le courant d'induction ne produit l'effet d'un agent destructeur sur les organes des végétaux que lorsqu'en raison de la mollesse des tissus et de la grande quantité d'eau qui les imprègne, il peut se propager avec facilité dans leur intérieur;

(1) *Bot. Zeit.* [1861], 363.

(2) *Act. exerc. par le cour. d'induct, sur les végét.*, in *Compt. rend. Ac. sc.* [1867], LXV, 762.

mais il ne produit pas d'action sensible lorsqu'il agit sur des tissus solides qui opposent quelque résistance à son passage. Cependant, en augmentant l'intensité du courant, en prolongeant la durée de son action, les tissus des plantes ligneuses peuvent eux-mêmes être désorganisés et la plante être frappée de mort comme si elle avait été atteinte par la foudre. »

M. Blondeau a constaté que les courants induits appliqués sur les fruits hâtent leur maturation et que « les graines électrisées, dit-il, ont germé toujours plus tôt que celles qui ne l'avaient point été, le développement de la plante a été plus rapide, les tiges et les feuilles plus vertes et plus vigoureuses. »

Quelques graines de haricot électrisées germèrent la tête en bas et la racine en l'air, la gemmule entourée de ses cotylédons restant dans le sol, tandis que la racine se dressait dans l'air. « Ce fait, ajoute M. Blondeau, nous paraît avoir son importance, en ce sens qu'il nous donne quelque indication au sujet de cette tendance si inexplicable qui force les plantes à diriger leurs racines vers le centre de la terre. Cette tendance est si prononcée que tous les efforts que l'on fait pour la contrarier sont infructueux; cependant le choc électrique a suffi pour la vaincre, de la même manière qu'il eut interverti les pôles d'un aimant. D'après cela on serait tenté d'assimiler l'embryon à un petit aimant ayant sa ligne neutre et ses deux pôles, l'un chargé d'une espèce particulière de fluide qui dirigerait ses organes vers le centre de la terre et dont l'autre les porterait vers le ciel. » Il est bien entendu que je n'entends partager en aucune façon cette opinion dont je laisse toute la responsabilité à M. Blondeau, et que je ne cite les expériences de ce physiologiste, que parce qu'elles me paraissent contenir des faits intéressants, qu'il serait utile de les reproduire sur une plus large échelle et qu'elles montrent bien l'action puissante qu'exerce l'électricité sur les végétaux ou pour mieux dire sur le protoplas-

ma végétal qui est, comme nous le savons, la seule partie vivante de ces êtres.

Influence des gaz de l'atmosphère et de la pression atmosphérique sur le protoplasma végétal. — Nous n'avons pas besoin de rappeler que l'oxygène entraîne, par sa présence dans les tissus végétaux, une série de phénomènes de désassimilation avec production de chaleur, ce qui caractérise une fonction nécessaire de la substance organisée (respiration); que, d'autre part, l'acide carbonique est indispensable aux organismes à protoplasma coloré par la chlorophylle auxquels il fournit le carbone nécessaire pour la formation des aliments du protoplasma. Quant à l'azote de l'air, on sait qu'il ne joue, chez les végétaux comme chez les animaux, aucun rôle utile.

Nous nous bornerons à analyser quelques expériences récentes relatives à l'influence de la pression et de la dépression de l'air sur la vie des végétaux. M. Bert (1) résume comme suit ses recherches sur l'influence de la pression et de la dépression de l'air: 1° La trop faible tension d'oxygène asphyxie les graines comme les animaux, mais elle ne tue pas les graines et les empêche seulement de se développer. 2° La trop forte tension d'oxygène ralentit, puis arrête la germination, et enfin tue les graines qui ne germent plus quand on les ramène à l'air libre. Cette action correspond à une diminution dans la consommation de l'oxygène sous l'influence de l'air comprimé. 3° L'acide carbonique, quand sa tension augmente, ralentit, puis arrête la germination et finit même par tuer les plantes quand sa tension est suffisamment élevée. M. Boussingault avait déjà reconnu que l'acide carbonique pur n'est pas décomposé par les parties vertes, ou ne l'est que très-lentement, à moins qu'on ne le donne au végétal sous une pression très-faible.

(1) In *Biblioth. des Hautes études*, 1875.

Influence des poisons. — L'action des poisons sur les végétaux ou simplement celle des différents agents avec lesquels ils ne se trouvent pas habituellement en relation, est peu connue dans la plupart des cas, bien que d'assez nombreux observateurs se soient livrés à ce genre de recherches, parce qu'en général ils ont négligé l'étude des modifications apportées par ces corps dans le protoplasma lui-même. Pour Réveil (1), il n'existe, à part de rares exceptions, aucun rapport entre l'action des poisons sur les animaux et celle qu'ils exercent chez les végétaux. Les poisons minéraux corrosifs tantôt altèrent les tissus, détruisent la piléorhize, et font mourir la plante, en détruisant le rôle normal des racines, tantôt sont absorbés et tuent le végétal, sans lésion au moins apparente. Ce même auteur, reprenant des expériences déjà anciennes sur le chlore, a reconnu qu'une solution très-étendue de ce corps active la végétation, tandis qu'une solution concentrée, tue le végétal. Les sels de soude et de potasse, les arsenicaux, les chlorates, les iodates tuent promptement la plante à la dose de un ou deux millièmes. Les alcalis organiques peuvent être absorbés, mais leur action est variable. Le sulfate de quinine nuit à la végétation. La morphine, la nicotine paraissent n'avoir aucune influence. L'atropine enfin active la végétation et est un véritable engrais. L'alcool, l'éther, le chloroforme, sont des poisons très-énergiques. En somme, des nombreuses expériences de M. Réveil, on peut conclure ceci : Quand les poisons corrodent les racines il est bien difficile de savoir si la mort de la plante dérive de l'impossibilité où elle est de puiser ses aliments dans le sol, ou bien se trouve directement causée par l'action du poison. Quand les racines demeurent intactes, il est rare que les conséquences soient aussi fâcheuses que lors de leur destruction. Cette der-

(1) *De l'action des poisons sur les végétaux.* On trouvera dans cet ouvrage une bibliographie assez complète de la question.

nière observation doit mettre en garde contre la valeur des résultats obtenus et nous croyons que le sujet mériterait qu'on le reprit avec soin. Nous n'insistons pas davantage, avec intention, sur cette question parce qu'elle sera reprise à propos des mouvements du protoplasma et parce que les expériences faites à cet égard, portant ordinairement sur des végétaux ou des organes complets, ne nous fournissent aucune donnée sur ce qui concerne le rôle des poisons dans les phénomènes généraux de nutrition du protoplasma. C'est seulement en agissant sur des individualités protoplasmiques très-simples et observables directement qu'on pourrait arriver à des résultats utiles, au point de vue qui nous occupe, comme on en a obtenu déjà quelques-uns pour ce qui concerne l'influence de ces corps sur la contractilité et la sensibilité du protoplasma.

§ III. *Produits de désassimilation du protoplasma végétal.*

Le nombre des produits auxquels le protoplasma donne naissance est tellement considérable que nous ne pouvons songer à en faire une étude détaillée qui nécessiterait de trop longs développements. Nous n'oublions pas, en présence de l'immense quantité de matériaux qui sont à notre disposition, que le difficile est surtout de savoir nous borner. Jusqu'ici nous n'avons encore étudié le protoplasma et ses propriétés qu'au point de vue général, n'abordant le fait particulier que quand le détail devenait indispensable pour relier les phénomènes d'ensemble. C'est encore ainsi que nous allons procéder pour l'étude générale des produits du protoplasma. Et tout de suite, sans autre préambule, nous les scindons en deux catégories suffisamment tranchées : l'une, comprenant des principes tels que des essences, des acides, des sels, des corps neutres, des alcaloïdes, etc., dont l'histoire physiologique est encore à faire presque en son entier ; l'autre, renfermant des corps tels que le pigment chlorophyllien, l'amidon, les sucres, les graisses, la cellulose et ses dérivés, etc., sur la formation, et l'évolution

desquelles nous n'avons trop souvent encore que des notions incomplètes ou hypothétiques. Des produits de la première catégorie nous ne dirons, on le comprend, que peu de chose ; on en est encore à ignorer si beaucoup d'entre eux, les alcaloïdes, par exemple, se trouvent à l'état libre ou ne sont pas compris dans des combinaisons plus complexes. Tout se bornerait à une énumération sèche des procédés d'extraction, de propriétés physiques ou chimiques, totalement en dehors de notre sujet. Il n'en est pas de même des autres produits. Tout en nous en tenant autant que possible aux lignes générales, nous indiquerons les phases principales de leur évolution, en n'insistant guère que sur la partie anatomique de la question.

Suc cellulaire. — Le suc cellulaire représente à la fois un milieu et un produit. En tant que produit, son évolution n'est point difficile à suivre. Nous l'avons décrite, dans les cellules des Polygonées, avec suffisamment de détail pour n'avoir plus besoin d'y revenir ici. Disons, à ce propos, que l'on se tromperait grandement en affirmant que le suc cellulaire est le premier produit du protoplasma. Dans certains êtres unicellulaires, un grand nombre de zoospores, par exemple, les vacuoles destinées à renfermer le suc cellulaire, ne se montrent que tardivement. Est-ce à dire que, à cette période, le protoplasma ne produise rien ? Il vit ; donc il assimile et désassimile. Que les produits dérivés de cet échange nécessaire soient difficilement apercevables, nous en convenons, mais ils n'en existent pas moins sous une forme quelconque, et les granules très-fins, répandus dans toute la masse protoplasmique, granules de nature huileuse peut-être, sont probablement les premiers de ces produits. Quoi qu'il en soit, une fois formé, le suc cellulaire se manifeste comme un produit des plus complexes. Il varie, en effet, non-seulement avec chaque cellule, mais avec chaque point d'une même cellule. Ici, le protoplasma fabrique du pigment chlorophyllien ; à

côté, de l'amidon ; un peu plus loin, il abandonne des substances cristallines ; tout cela peut se passer dans un élément unique. Comment le suc cellulaire qui charrie des matériaux

PRODUITS DU PROTOPLASMA ET SUBSTANCES QUI LUI SONT ASSOCIÉES.

- 1^o Liquide contenant les produits solubles d'assimilation et de désassimilation. *Suc cellulaire.*
- 2^o Produit présidant, avec le concours du protoplasma, à l'élaboration de produits utilisables. *Pigment chlorophyllien.*
- 3^o

}	Produits	servant comme aliments dans la formation des nouvelles cellules	}	<i>Cristalloïdes.</i> <i>Aleurone.</i> <i>Gluten.</i> <i>Légumine.</i> <i>Asparagine.</i> <i>etc.</i>
		produisant de la chaleur par leur oxydation	}	<i>Amidon.</i> <i>Inuline.</i> <i>Sucres.</i> <i>Graisses.</i> <i>etc.</i>
- 4^o Membrane utriculaire cellulosique.
- 5^o Produits dérivés de la cellulose

}	<i>Cuticule.</i> <i>Cire.</i> <i>Gommes.</i> <i>Mucilages.</i> <i>Pectose.</i> <i>etc.</i>
---	---
- 6^o Produits de désassimilation dont l'évolution et le rôle sont imparfaitement connus.

}	<i>Tannin.</i> <i>Résines.</i> <i>Caoutchouc.</i> <i>Huiles essentielles.</i> <i>Alcaloïdes.</i> <i>Acides végétaux.</i> <i>Matières colorantes.</i> <i>etc.</i>
---	---

si divers et abandonne chacun d'eux à l'endroit qui lui convient, pourrait-il présenter partout une composition uniforme ? Sa constitution varie également suivant l'âge du végétal. Peu abondant au début, mais gorgé de matériaux, il augmente

peu à peu de quantité, repousse le protoplasma contre la membrane d'enveloppe et, à mesure que ce dernier perd de son activité primordiale, on constate que l'appauvrissement du suc va lui-même croissant. Finalement, quand meurt le protoplasma, le suc cellulaire a disparu et se trouve remplacé par de l'eau dans laquelle on ne rencontre plus guère que des matières minérales en suspension.

Pigment chlorophyllien. — Ce paragraphe ne comporte nullement l'étude du protoplasma chlorophyllien. La segmentation en grains, nous l'avons vu précédemment, n'est qu'un degré de l'évolution du protoplasma dans certaines cellules. Mais le pigment chlorophyllien est un produit du protoplasma au suprême degré. Non point cependant un produit simple, comme on l'a cru longtemps. Les grains protoplasmiques étiolés sont en effet colorés en jaune, de même que ceux des très-jeunes feuilles qui n'ont point encore subi l'influence de la lumière. Plongées dans l'alcool, les feuilles jaunées ou étiolées abandonnent un pigment jaune que M. Frémy a nommé la Phylloxanthine (1). Ce chimiste a reconnu également que le pigment vert n'était que de la phylloxanthine plus un pigment bleu qu'il a appelé Phyllocyanine. Il a avancé que les deux pigments confondus dans la chlorophylle pouvaient être dissociés, et les expériences ne laissent pas de doute sur ce sujet. Du reste, ces deux composants du pigment chlorophyllien se manifestent dans des circonstances totalement différentes. La phylloxanthine peut se former dans l'obscurité, tandis que, à part quelques cas très-rares (cotylédons des Conifères), il faut, pour que le protoplasma élabore la phyllocyanine, la lumière solaire, ou tout au moins une lumière artificielle suffisante. Le pigment jaune apparaît à une température

(1) E. FRÉMY, *Recherches sur la matière colorante verte des feuilles*, in *Compt. rend. Ac. sc. L.*, 405-412.

relativement basse, tandis que le pigment bleu ne se surajoute qu'à une température comparativement élevée. La phylloxanthine apparaît probablement, le fait n'est pas hors de conteste, sans l'intervention du fer, métal tellement indispensable pour parachever le verdissement des feuilles qu'en frottant une moitié de feuille étiolée avec une solution d'un sel de fer; Eusèbe Gris (1) a pu obtenir le verdissement de cette moitié, tandis que l'autre gardait sa teinte d'un blanc jaunâtre. Constitué par ces deux matières si distinctes, le pigment chlorophyllien, que l'on peut extraire par l'alcool, représente le produit mis en œuvre par le protoplasma pour aboutir à l'assimilation du carbone et à la formation des hydrates de carbone, combinaisons sur lesquelles nous insistons plus loin. Sans chlorophylle, point d'amidon, suivant la plupart des physiologistes. Nous ne savons jusqu'à quel point cette proposition doit être acceptée sans restriction dans sa forme brutale. Ce qui est certain, c'est que l'on rencontre parfois dans les éléments des feuilles des granules d'amidon en dehors des corps chlorophylliens et que beaucoup de cellules incolores en contiennent. Puisque les animaux font du glycogène ou amidon animal sans chlorophylle, nous ne voyons pas pourquoi le protoplasma végétal, qui ne diffère par rien d'essentiel du protoplasma animal, ne pourrait jouir des mêmes propriétés. Il paraît certain néanmoins que, dans l'immense majorité des cas, c'est par l'entremise du pigment vert et sous l'action de la lumière, que le protoplasma élabore l'amidon. Plongée dans l'obscurité, le protoplasma chlorophyllien perd à la fois son pigment et la propriété qu'il a d'éliminer l'oxygène et de décomposer l'acide carbonique.

Chez les Floridées, la couleur verte des grains de chlorophylle se trouve masquée par un pigment rouge, soluble dans l'eau froide, et qui, en se dissolvant, permet à la plante d'ap-

1) E. GRIS, *De l'act. des comp. ferrug. solub. sur la végét.*, 1843.

paraître avec la teinte verte des plantes à chlorophylle (1). Dans les Fucacées, M. Millardet a également mis en évidence la chlorophylle qui se trouve dans les cellules, mélangée avec un pigment nouveau qu'il a nommé Phycophéine (2). Toutes ces algues, nonobstant les matières colorantes qui peuvent voiler la chlorophylle, dégagent, comme les parties vertes des végétaux supérieurs, de l'oxygène éliminé dans les mêmes circonstances.

Produits azotés destinés plus spécialement à la nutrition du protoplasma. — Ces produits peuvent se diviser en deux catégories : les uns, comme le gluten, la légumine, l'asparagine, se présentent dissous dans les cellules ou tout au moins à l'état amorphe ; les autres, comme les cristalloïdes et l'aleurone, sont figurés. Tous concourent au même but ; entassés comme réserves dans certaines cellules ou dérivant de ces mêmes réserves, ils sont transportés vers les tissus à protoplasma incolore et utilisés comme aliments plastiques par les jeunes organismes protoplasmiques. Le gluten, mélangé intimement avec les différentes substances intra-cellulaires dans les céréales, est constitué par de l'azote, de l'oxygène, du carbone, de l'hydrogène et une petite quantité de soufre. Son évolution ascendante n'a pu être suivie, et de son emploi comme « aliment plastique » du protoplasma, on ne pourrait guère dire que ceci : insoluble normalement dans l'eau, il est dissous pendant la germination et transporté dans la plantule. La légumine n'a pas une histoire physiologique beaucoup plus complète (3).

Les produits figurés de nature azotée, qui seuls nous intéressent, sont, avons-nous dit, les cristalloïdes et l'aleurone.

(1) ROSANOFF, in *Compt. rend.*, LXII, 1866.

(2) MILLARDET, in *Compt. rend.*, 22 fév. 1869.

(3) PFEFFER, *De l'infl. de la lum. sur la régénér. des matières albuminoïdes aux dép. de l'Asparagine form. pend. la germin.*, in *Ann. sc. nat.*, sér. 5 XIO, 391.

Cristalloïdes. — Dans beaucoup de graines, au milieu d'un protoplasma presque toujours riche en huile, on rencontre des corps d'apparence cristalline, de nature azotée, dont la composition est peu différente en somme de celle du protoplasma ambiant. Ces corps, regardés généralement comme du protoplasma véritable, me paraissent être plutôt des produits du protoplasma, au même titre que le gluten et la légumine et ne sauraient être, en aucune façon, considérés comme constitués en entier par le protoplasma actif de la cellule qu'ils habitent. Ce dernier, durant leur accroissement, les pénètre, les façonne, et tout porte à croire qu'il agit avec eux comme nous le verrons se comporter vis-à-vis des grains d'amidon, et non autrement. L'étude du cristalloïde mérite d'ailleurs une attention sérieuse à tous égards. Si par son apparence cristalline, il se rapproche des vrais cristaux, il s'en éloigne par la variation de ses angles qui, sur les cristalloïdes d'une même cellule, peuvent différer de 2 ou 3 degrés. Certains réactifs accentuent même ces variations, qui peuvent alors, sur un même cristalloïde, aller jusqu'à 15 ou 16 degrés. Mais la différence capitale git dans la façon dont se forment les cristalloïdes et les cristaux. Imprégnées, nous l'avons dit, par le protoplasma qui travaille ici sur place, les molécules des cristalloïdes sont peu à peu élaborées et déposées par lui. Les cristalloïdes établissent un passage entre les substances amorphes et les substances cristallisées; aussi leur importance majeure ne saurait échapper à personne.

Aleurone. — Le grain d'aleurone est constitué par une substance albuminoïde, analogue à celle qui entre dans la composition des cristalloïdes. Il prend, sous l'action de l'azotate acide de mercure, une teinte rouge brique, qui y décèle la présence de principes azotés. A son degré de complication le plus élevé, il est formé (Ricin) : 1° par un cristalloïde semblable à ceux que nous venons de décrire; 2° par une gangue albuminoïde amoi

phe qui enveloppe le cristalloïde ; 3° par de petits corps appelés globoides ou albines, isolés ou réunis, placés à l'une des extrémités du grain ou même dispersés sur son pourtour ; 4° par une membrane générale d'enveloppe, de nature azotée, qui se différencie le plus souvent avec assez de netteté des substances qu'elle renferme. Elle est fréquemment creusée, sur toute sa surface extérieure, de fovéoles ou petites fossettes polygonales, serrées les unes contre les autres en une sorte de réseau. L'albine est une sphérule de substances minérales dont la teinte laiteuse tranche parfois nettement sur le reste du grain ; elle déprime souvent la gangue albuminoïde qui la sépare du cristalloïde, s'enfonce légèrement dans cette gangue et apparaît comme enchatonnée par son extrémité.

Les grains d'aleurone ne sont pas toujours aussi complexes. L'albine peut manquer, ou bien exister seule, indépendamment du cristalloïde. La membrane d'enveloppe peut devenir indistincte ; le cristalloïde lui-même fait parfois défaut. Il en résulte, pour les grains aleuriques, une grande diversité de formes et de constitution. Toutes ces différences deviennent assez facilement explicables pour qui suit le développement d'un grain complexe, comme celui du Ricin, ainsi que l'a fait M. Pfeffer (1). Il a vu que, dans le contenu cellulaire fortement granuleux, apparaissent en même temps les globoides et les cristalloïdes, presque en contact les uns avec les autres, un ou plusieurs globoides à côté d'un seul cristalloïde. Au moment de la maturité de la graine, la gangue albuminoïde se limite nettement autour d'eux et la membrane d'enveloppe se différencie. Parfois le cristalloïde et le globoïde se trouvant à une distance trop considérable l'un de l'autre, le globoïde demeure en dehors du grain, lors de sa constitution définitive, et l'on obtient ainsi

(1) W. PFEFFER. *Untersuchungen über die Protein körner und die Bedeutung des Asparagins beim Keimen der Samen. Jahrbucher für Wissenschaftlich Botan. von Dr. U. Pringsheim, 1872, pp. 419-574.*

un mélange de globoïdes isolés et de grains aleuriques réduits à leur membrane d'enveloppe, à la gangue azotée et au cristalloïde.

Produits producteurs de calorique. — Les principaux produits de ce groupe, regardés aussi généralement comme destinés à l'accroissement de la membrane cellulaire, sont l'amidon, l'inuline, les sucres, les matières grasses, etc.

Amidon. — En envisageant plus haut le rôle du pigment chlorophyllien, nous avons exprimé quelques réserves relativement à la production exclusive de l'amidon par la chlorophylle. Il n'existe pas en effet une liaison nécessaire entre ces deux produits, puisque dans l'*Allium Cepa*, l'amidon est remplacé par de l'huile et que, dans l'*Aucuba japonica*, l'apparition de la fécule devance celle de la chlorophylle. Ces exceptions mises de côté, le protoplasma paraît toujours se servir de la chlorophylle pour produire l'amidon, du moins s'il faut en croire la plupart des botanistes qui regardent l'amidon accumulé dans les graines, les tubercules etc., comme provenant de la fécule produite par les feuilles et transportée à travers les tissus, sous des états d'ailleurs tout à fait inconnus, jusqu'aux organes d'emmagasinement. Le grain protoplasmique de chlorophylle étant, au début, presque parfaitement homogène, doit, théoriquement au moins, fabriquer des molécules amylicées en toutes ses parties. C'est d'ailleurs à peu près ainsi que les faits semblent se passer. Des granules à peine perceptibles, et chez lesquels par degrés les réactions bien connues de l'amidon deviennent manifestes, se groupent vers le centre du grain chlorophyllien, se réunissent et forment une masse, d'abord peu compacte, que le protoplasma, est-il besoin de le dire, pénètre intimement, façonne, épaissit, différencie par un travail sur place qui se prolonge jusqu'à l'entière édification du grain amylicé. Il est inutile de rappeler toutes les théories

erronées qui ont eu cours relativement à la structure de l'amidon, d'insister sur l'exclusivisme allemand qui veut à tout grain de fécule imposer un noyau solide, quand M. Trécul a démontré jusqu'à l'évidence que certains grains amylicés (*Elymus striatus*) étaient vésiculeux et que leur contenu liquide renfermait des flocons que l'on pouvait, facilement, voir se déplacer, sous le microscope. Puisque l'amidon est à l'état d'empois dans les cellules de l'albumen du *Cardamomum minus*, et dissous dans l'épiderme du *Gagea*, nous ne comprenons nullement la nécessité purement théorique d'admettre un noyau toujours relativement dur. La donnée fondamentale relativement à la structure de l'amidon est celle-ci : le grain d'amidon, pris dans son ensemble et durant la période formative, n'est point un dépôt brut dans lequel les molécules amylicées seraient séparées par des molécules d'eau, rares ici, abondantes là, d'où l'apparence de couches alternativement sombres et claires. Outre l'eau, il y a le protoplasma qui travaille à l'accroissement du grain par intussusception ; et rien ne prouve qu'il doive nécessairement construire tous les grains de la même manière, donner à tous un noyau solide plutôt qu'un noyau liquide. Les faits mieux observés font ici justice des opinions préconçues.

L'amidon qui s'accumule dans les réservoirs nutritifs, en dehors de toute influence chlorophyllienne, au moins immédiate, naît dans le protoplasma incolore des éléments de la même manière que dans le protoplasma pigmenté des organes chlorophylliens. Nous n'y insisterons donc pas, et quand nous aurons rappelé un dernier fait important, à savoir que l'action de certains réactifs (la salive, par exemple) montre le grain d'amidon constitué par deux principes : la granulose ou matière incrustante relativement soluble, et la cellulose qui forme en quelque sorte le squelette du corps amylicé ; quand nous aurons ajouté que, pendant la germination, les grains perdent d'abord leur granulose dont le squelette cellulosique appa-

raff comme déchiqueté par une dissolution irrégulière, nous en aurons fini avec l'étude d'ensemble que nous avons à faire de ce produit si répandu dans les végétaux.

Inuline. — Dissoute normalement dans le suc cellulaire de quelques plantes (*Dahlia*, *Helianthus annuus*, etc.), l'inuline ne vous arrêtera que peu de temps. Voisine de l'amidon et des sucres dont elle a la composition, elle est séparée facilement du suc cellulaire par le froid, la dessiccation, ou l'action prolongée des substances avides d'eau (alcool, etc.) Elle se présente alors, en général, sous forme de sphéro-cristaux, à éléments disposés suivant les rayons d'une sphère.

Les huiles, les sucres, etc., qui se rapprochent des corps précédents par leur composition, sont sans doute, comme eux, particulièrement utilisés pour produire de la chaleur. Beaucoup de botanistes les considèrent, ainsi que les précédents, comme servant, par leur transformation, à la production des membranes cellulosiques; mais ce sont là des vues de l'esprit qui ne sont appuyées sur aucun fait certain.

De la paroi cellulosique. — La cellulose qui constitue fondamentalement les membranes cellulaires, se présente rarement pure à notre observation. Dans les filaments de coton, les couches secondaires d'épaississement des fibres libériennes du chanvre, elle est encore imprégnée d'une très-légère quantité de matières ligneuses que l'on peut dissoudre d'ailleurs par le procédé de macération de Schultze. Complètement débarrassée de tout produit secondaire, la cellulose donne la même formule que l'amidon et l'inuline. Mais tandis que l'amidon, par exemple, bleuit par l'iode seul, la cellulose ne revêt en général la même coloration sous l'influence de ce réactif qu'après addition d'acide sulfurique. Parfois cependant, l'iode seul la bleuit, ce que l'on peut constater sur les cellules du Lichen d'Islande, de l'embryon du *Tamarindus*

indica, etc. La cellulose se confond alors en quelque sorte avec l'amidon. Pas plus que pour cette dernière substance, nous ne pouvons songer à nous appesantir, à propos de la cellulose, sur les épaissements et les différenciations de la paroi cellulaire. Ici encore, doit dominer cette notion générale que le protoplasma n'est point enfermé à l'intérieur de la membrane cellulosique comme par une muraille impénétrable. Il l'imprègne, sans nul doute, dans toute son épaisseur et jusqu'à ses limites extérieures. Comment, si l'on n'accepte pas cette manière de voir, interpréter la différenciation de cette membrane en plusieurs couches s'accroissant simultanément, mais de manières différentes et ayant des réactions distinctes? Comment surtout expliquer la production tardive et l'accroissement des protuberances régulières externes, celles de l'épine de beaucoup de grains de pollen, par exemple? Le protoplasma travaille sur place, nous tenons à le redire. Cette hypothèse, une fois acceptée, et elle est de celles qui s'imposent, l'interprétation des modifications les plus complexes, si difficile quand il fallait faire intervenir les différentes théories de l'apposition, devient presque facile. Le protoplasma, siège de mouvements et de courants nombreux, qui déjà individualise certaines portions de sa substance pour constituer avec elles les corps chlorophylliens, élabore dans son intérieur des produits figurés, tels que l'amidon et l'aleurone, peut sans nul doute former également; à la périphérie, la membrane cellulaire, l'épaissir et la modifier diversement, par de simples phénomènes d'intussusception. Il ne s'agit point ici, on le comprend, d'expliquer chaque cas particulier; nous ne pouvons que donner une idée générale de l'accroissement de la membrane cellulaire et nous estimons que, dans l'état actuel de nos connaissances, aucune autre n'est acceptable.

Nous laisserons de côté l'étude des produits qui résultent de la transformation régressive de la membrane cellulaire, comme à dessein déjà nous avons presque complètement né-

gligé celle des transformations que subissent dans les plantes l'amidon, l'inuline, les graisses, les sucres, etc. Nous nous bornerons à signaler la cuticule, les gommes, les mucilages qui sont les principaux produits de transformation de la cellulose.

Produits divers de désassimilation à évolution et rôle peu connus. — Dans cette dernière classe se rangent des produits tels que beaucoup d'alcaloïdes et la plus grande partie des acides végétaux, les résines, le caoutchouc, les huiles essentielles, des sels, des matières colorantes, le tannin, etc. On ignore à peu près le rôle que tous ces produits jouent dans les végétaux. On sait pourtant que le tannin, formé durant la germination d'un grand nombre de graines, demeure sans modifications dans les éléments où il a apparu, tandis que tous les autres composés que renferme la plantule subissent des modifications plus ou moins profondes. De là, l'idée ayant cours généralement que le tannin n'est qu'un produit rejeté. Dans beaucoup de fruits cependant, il disparaît à mesure que le sucre se montre et l'on pourrait peut-être admettre une certaine relation entre les deux corps. Le latex ne peut point, comme on le fait généralement aujourd'hui, être assimilé dans sa totalité à un liquide excrémental. Il ne faut pas oublier que, outre les produits spéciaux, comme le caoutchouc, renfermé dans les vaisseaux et cellules laticifères, on y trouve encore du suc cellulaire et des matières azotées, puisqu'ici encore, comme ailleurs, le protoplasma occupe sa place. L'amidon qui nous indique la présence certaine du protoplasma dans ce liquide que M. Trécul a comparé au sang veineux des animaux supérieurs, n'est point rare non plus dans le latex (Euphorbiacées). On a donc grand tort d'envisager le latex dans son ensemble, sans assigner à chacun des corps qui entrent dans sa constitution le rôle physiologique qui lui convient.

De l'évolution des produits salins nous ne connaissons guère que quelques-unes des réactions qui peuvent amener la formation de l'oxalate et du phosphate de chaux. Suivant M. Holzner, l'oxalate de chaux prend naissance quand l'acide oxalique, décomposant le sulfate de chaux, rend libre l'acide sulfurique et s'empare de la chaux. Ainsi formé, l'oxalate demeure à l'état cristallin dans la cellule où l'acide oxalique a pris naissance. Quant au phosphate de chaux, il est probable que les plantes peuvent le former aux dépens de la chaux et de l'acide phosphorique renfermés dans leurs tissus. M. Dehérain a observé que ces deux corps demeurent séparés tant que la matière albuminoïde reste soluble. La coagule-t-on par la chaleur, immédiatement il se précipite du phosphate de chaux. Mais ce n'est là qu'une réaction de laboratoire.

Nous bornerons là notre étude, car de tous les autres produits on ne connaît, comme le dit M. J. Sachs, « ni les relations avec les autres phénomènes de la nutrition, ni la signification physiologique dans la vie de la plante ».

Évolutibilité.

« Toute cellule qui se nourrit, dit M. Robin, est douée d'évolutibilité, c'est-à-dire de la propriété de grandir, s'accroître dans trois dimensions, avec ou sans changements graduels de sa figure et de sa structure, soit par formation, soit par disparition de quelques parties composantes, et elle a une mort ou décomposition. » Ayant établi déjà que, seul dans la cellule, le protoplasma jouissait de la propriété de se nourrir, il est inutile d'ajouter que seul aussi il possède la propriété d'évolutibilité, que l'accroissement des autres parties de la cellule n'est que la conséquence des phénomènes d'évolution

dont il est le siège. La membrane cellulosique, par exemple, qui donne à la cellule son apparence extérieure et sa solidité, ne s'accroît, soit en épaisseur, soit en étendue dans l'espace, qu'autant que le protoplasma qu'elle contient est lui-même en voie d'accroissement; dès qu'il disparaît, toute formation de nouvelles molécules de cellulose cesse. Le caractère essentiel de la substance vivante qui constitue le protoplasma, soit animal, soit végétal, est de subir, après sa naissance, une évolution dont la courbe générale est constante. Pendant une première période, elle s'accroît sans cesse; sa masse augmente de volume, l'assimilation étant chez elle plus énergique que la désassimilation, c'est-à-dire la quantité de matières absorbées et assimilées qui reste étant plus considérable que celle qui est désassimilée et rejetée. Cette première période de l'évolution du protoplasma peut être désignée sous le nom de période d'*accroissement*. Parvenue ainsi au sommet de la courbe de sa vie, la substance vivante s'arrête dans sa marche ascendante; les pertes deviennent égales aux gains, l'assimilation et la désassimilation s'équilibrent à peu près exactement; cette seconde période peut prendre le nom de période de *statu quo*. Sa durée est plus ou moins considérable; puis le protoplasma commence à descendre l'autre partie de la courbe; la désassimilation devient plus énergique que l'assimilation, les pertes sont plus grandes que le gain. C'est là la période de *décroissement*, au bout de laquelle se trouve la *mort*, caractérisée essentiellement par la perte de la nutritivité qui persiste seule jusqu'au dernier moment, et dont la disparition est suivie de la décomposition plus ou moins prompte de la matière organisée. Naissance, accroissement, statu quo, décroissement et mort, telles sont les phases par lesquelles passe toute masse protoplasmique individualisée, soit en une cellule d'un être pluricellulaire, soit en un végétal unicellulaire. Pendant qu'il parcourt ces étapes de son existence, le protoplasma se reproduit, c'est-à-dire donne naissance à de nouvelles individualités

protoplasmiques; parfois aussi, parvenu à une certaine période, il modifie tout à coup sa manière de vivre, abandonne l'enveloppe dans laquelle il était enfermé et va recommencer une existence nouvelle semblable à la première. On dit alors qu'il y a *rajeunissement*. Tels sont les faits que nous étudierons successivement, évitant les détails dans lesquels les limites de ce travail ne nous permettent pas d'entrer, et nous bornant à étudier l'évolution du protoplasma dans quelques-unes seulement de ses formes les plus importantes.

1° *Naissance.*

La première question qui se présente à nous est celle de la formation première du protoplasma végétal. La substance organisée, vivante, que nous désignons ainsi, a-t-elle toujours existé ou au contraire s'est-elle formée à un moment donné et se forme-t-elle encore spontanément par la combinaison de matériaux, soit inorganiques, soit organiques, et dans quelles conditions cette formation s'effectue-t-elle? Malgré toutes les discussions passionnées dont cette question a été l'objet, nous devons bien avouer qu'elle est encore presque aussi obscure qu'avant les premières recherches auxquelles elle a donné lieu.

Dans un milieu inorganique. — Nous nous bornerons, pour montrer l'ignorance dans laquelle nous sommes à cet égard, à reproduire les lignes suivantes, écrites par l'un des partisans les plus convaincus des doctrines transformistes, qui cependant ne peut admettre la doctrine de la génération spontanée de la matière organisée, dans un milieu inorganique ou *autogonie*, que comme une hypothèse plausible. « L'autogonie existe-t-elle? dit M. Hæckel (1). Est-il possible

(1) *Histoire de la création*, 300.

qu'un organisme naisse spontanément d'une matière n'ayant pas préalablement vécu, d'une matière strictement inorganique? Les essais d'autogonie n'ont, jusqu'à présent, donné aucun résultat positif.... Mais, de ces essais tentés ordinairement dans des conditions absolument artificielles, on n'est nullement autorisé à conclure, d'une manière générale, que la génération spontanée soit impossible. L'impossibilité du fait ne saurait s'établir. En effet, quel moyen avons-nous de savoir si, durant ces époques primitives, infiniment reculées, il n'existait pas des conditions tout autres que les conditions actuelles, des conditions au sein desquelles la génération spontanée était possible? » « Grâce aux progrès récents de la chimie et de la physiologie, ajoute l'auteur, ce qu'il semblait y avoir de mystérieux, de merveilleux dans ce phénomène tant contesté, et pourtant nécessaire, de la génération spontanée, tout cela s'est en grande partie ou même totalement évanoui. Quand, en 1828, à Göttingue, Wœhler tira artificiellement de corps purement inorganiques, de composés de cyanogène et d'ammoniaque, la substance purement organique qu'on appelle urée, on fut extrêmement surpris et étonné. Plus récemment, on a pu, grâce aux progrès de la chimie synthétique, obtenir artificiellement dans nos laboratoires, tirer de substances inorganiques, nombre de ces composés carbonés dits organiques, par exemple l'alcool, l'acide acétique, l'acide formique, etc. Aujourd'hui même, on obtient artificiellement nombre de composés carbonés très-complexes; aussi y a-t-il tout lieu d'espérer qu'on arrivera tôt ou tard à produire artificiellement, dans nos laboratoires, les plus compliquées de ces combinaisons, les composés albuminoïdes ou plasmatiques. Par là disparaît, en tout ou en partie, l'abîme que l'on supposait jadis exister entre les corps organiques et les corps inorganiques, et la voie est frayée à l'idée de la génération spontanée. » M. Hœckel trouve encore dans l'organisation si simple des Monères, ces êtres

dont la place est à peu près impossible à déterminer, qui sont formés uniquement d'un peu de protoplasma granuleux, à formes changeantes, un autre argument en faveur de son hypothèse. « La découverte de ces organismes, dit-il (1), met à néant la plus grande partie des objections élevées contre la théorie de la génération spontanée. En effet, puisque chez ces organismes il n'y a ni organisation, ni différenciation quelconque de parties hétérogènes, puisque chez eux tous les phénomènes de la vie sont accomplis par une seule et même matière homogène et amorphe, il ne répugne nullement à l'esprit d'attribuer leur origine à la génération spontanée. S'agit-il de *plasmagonie* ! (l'auteur désigne ainsi la naissance d'organismes dans une matière organisée préexistante.) Y a-t-il déjà un plasma capable de vivre ? Alors ce plasma a simplement à s'individualiser, comme le cristal s'individualise dans une solution mère. S'agit-il, au contraire, de la production de monères par véritable *autogonie* ? Alors il est nécessaire que le plasma, susceptible de vivre, la substance colloïde primitive se forme d'abord aux dépens de composés carbonés plus simples. Or, nous sommes en mesure, aujourd'hui, de produire artificiellement dans nos laboratoires chimiques des composés carbonés complexes de ce genre ; rien n'empêche donc d'admettre que dans la libre nature des conditions favorables à la formation de ces composés, puissent aussi se présenter. » « Grâce à ce fait, ajoute l'auteur, l'hypothèse de la génération spontanée acquiert assez de vraisemblance pour qu'on ait le droit de l'employer à combler la lacune existant entre la cosmogonie de Kant et la théorie de la descendance de Lamarck (2). Peut-être même, parmi les monères actuellement connues, y a-t-il une espèce qui, aujourd'hui continue à naître par génération spontanée ; c'est l'étrange *Bathybius*

(1) *Hist. de la créat.*, 303.

(2) *Philosoph. zool.* [1809].

Hæckelii, découvert et décrit par Huxley. Comme nous l'avons déjà vu, cette monère se rencontre dans les mers profondes, entre 12 mille et 24 mille pieds, et elle tapisse le fond de ces mers, soit de traînées plasmatiques réticulées, soit de masses de plasma irrégulières grandes ou petites. » Comme on le voit, même pour ce partisan convaincu de la génération spontanée et de la théorie de la descendance, la naissance du protoplasma, dans un milieu purement inorganique, n'est qu'une « hypothèse ». Or, comme l'a dit M. Robin (1), « il ne suffit pas à une hypothèse qu'elle soit simple pour qu'elle doive être acceptée ; il faut, avant tout, qu'elle soit vérifiable. » D'autre part, même en adoptant cette hypothèse, on ne pourrait guère admettre, avec M. Hæckel, que les Monères ont été les premiers organismes formés dans la matière inorganique, car nous savons que le protoplasma incolore ne jouit pas de la propriété d'assimiler directement, de transformer en matière organisée les matières inorganiques ; il serait plus plausible d'admettre que le premier protoplasma apparu dans le monde encore entièrement inorganique, était coloré par la chlorophylle, grâce à laquelle il a pu décomposer les quantités énormes d'acide carbonique répandues alors dans l'atmosphère, pour fabriquer avec le carbone de ce gaz et les matières minérales du milieu ambiant, de nouvelle matière organisée. On pourrait alors, toujours en se placant au point de vue des hypothèses admises par les transformistes, comprendre la formation des organismes à protoplasma incolore. Qu'une division s'effectue dans la masse protoplasmique verte primitive et donne lieu à la production d'une partie colorée et d'une autre partie incolore, celle-ci vivant aux dépens des matériaux organiques fabriqués par la première, pourra elle-même grandir et se multiplier aussi bien que la partie colorée qui lui fournit ses aliments. Nous arrivons ainsi aux

(1) *Anat. et physiol. cell.*, Introd., 33.

organismes qui constituent la plus grande partie du règne végétal et qui sont formés de deux espèces de cellules, les unes à protoplasma vert, que nous pourrions appeler les éléments nourriciers de l'individu, les autres, à protoplasma incolore, qui vivent pour ainsi dire en parasites sur les premières. Enfin, que ces éléments à protoplasma incolore se séparent complètement des premiers, et ils vont devenir la souche des champignons et des animaux qui, incapables de fabriquer eux-mêmes les aliments organisés dont ils ont besoin, sont condamnés, vis-à-vis des êtres à protoplasma chlorophyllé, au parasitisme le plus absolu. Mais, je le répète encore une fois, tout cela n'est que pure hypothèse, et j'ajouterai encore, avec M. Robin (1) : « Ceux qui, pour aimer la science, ont besoin des suppositions dans lesquelles on donne comme démontrée la chose même qu'il s'agit de rendre évidente, sont plus près de méconnaître la grandeur de la biologie que de la servir. »

Dans un milieu organisé. — A côté de l'hypothèse de la génération spontanée du protoplasma dans la matière inorganique ou autogénie de M. Hæckel, il existe, pour expliquer la naissance du protoplasma, une deuxième théorie désignée par le même auteur sous le nom de *Plasmagonie*, et plus communément désignée en France sous le nom d'*Hétérogénie*. D'après cette deuxième manière de voir, des organismes inférieurs, de petites masses protoplasmiques vivantes pourraient naître spontanément dans une matière organisée préexistante dont ils diffèrent, mais qui fournit les matériaux de leur organisation. Ce deuxième mode de formation de la matière vivante est admis par un plus grand nombre de savants que le premier, quoique les faits sur lesquels elle repose soient encore l'objet de très-vives contestations.

(1) *Anat. et physiol. cell.*, Introd., 35.

M. Frémy admet qu'il se forme de toutes [pièces dans les cellules des végétaux des corpuscules qu'il a désignés sous le nom de *Hémi-organismes* qui joueraient un rôle considérable dans la fermentation de l'orge, du vin, etc. « Je rappellerai, dit-il, que le tissu qui constitue le péricarpe du grain d'orge contient de petits globules organisés assez ténus pour ne pas passer à travers nos filtres et qui ont à peine 1/800 de millimètre de diamètre. Ces globules sont formés par une substance hémiorganisée vivante qui, au contact de l'air et de l'eau sucrée, se développe et donne naissance alors au ferment qui détermine l'altération des grains d'orge. » « J'ai trouvé, ajoute-t-il, ces globules qui constituent en quelque sorte des ferments rudimentaires dans les cellules épidermiques des fruits. » Je n'insisterai pas sur ces faits parce que les hémiorganismes de M. Frémy, ne me paraissent avoir aucun caractère assez déterminé et ne répondent à rien d'assez précis pour servir de base à la théorie dont nous parlons. A côté des hémiorganismes de M. Frémy, se placent les *microzymas* de M. Béchamp, sortes de granulations naissant dans les liquides organisés et les éléments anatomiques et pouvant, d'après cet auteur, donner, par leur agrégation, naissance à des Bactéries ou des Vibrions, de même que ceux-ci pourraient se résoudre ensuite en *microzymas* capables de reformer des Bactéries. Ces faits demandent également de nouvelles observations avant d'être admis dans la science. Les recherches faites par M. Trécul (2) sur les *Amylobacter* ont fourni à la théorie de l'hétérogénie des faits qui paraissent avoir une importance beaucoup plus considérable que les précédents et dont l'exactitude est admise par un certain nombre de savants. D'après M. Trécul, il se forme toujours, soit à la surface de l'épiderme ou des sections de tissus, soit dans les laticifères, soit

(1) *Sur les ferments* [1875], 118, 119.

(2) *Compt. rend. Ac. sc.* [1865], LXI [1867], LXV ; *Ann. sc. nat.*, sér. 5, VII, 220.

dans les cellules fermées des végétaux en putréfaction de petits organismes, « qu'en raison de l'amidon qu'ils contiennent et pour rappeler la ressemblance des formes cylindroïdes avec les bactéries, il croit utile de réunir sous le nom d'*Amylobacter*. » Ces êtres se formeraient de toutes pièces, sans aucun germe préexistant, à l'aide des matières organisées contenues dans les cellules. « Les *Amylobacter*, dit-il, ont toujours été de même type dans un endroit donné. Il sont tous ou cylindroïdes ou graduellement atténués d'un bout à l'autre, ou fusiformes, ou capités. Quand ils sont capités, la tête est, dans tous les individus, ou elliptique et la queue cylindrique, ou ovoïdes et la queue atténuée vers l'extrémité, ou bien la tête est globuleuse et la queue cylindracée » (1). Le développement de ces petits êtres a été suivi par M. Trécul dans l'intérieur même de cellules dont les parois n'offraient pas la moindre perforation. « J'ai vu, dit-il (2), le germe commencer lui-même par un petit point de substance jaunissant par l'iode, lequel grossissait jusqu'à ce qu'il eût acquis le volume et la forme elliptique ou globuleuse de la tête de l'*Amylobacter*, puis latéralement ou à l'un des bouts s'il était elliptique, naissait une queue. » M. Trécul décrit aussi le développement de ces petits êtres aux dépens du latex de certaines plantes. « J'ai en ce moment à ma disposition, dit-il, un bel exemple de la transformation du latex en *Amylobacter*. Dans un laticifère d'*Euphorbia Characias* le suc laiteux, après s'être coagulé, se divise en corpuscules elliptiques, dont bon nombre prennent déjà par l'iode, à des degrés divers, la teinte caractéristique de l'amidon. » Enfin, il décrit aussi leur genèse à la surface des cellules de segments de tiges en putréfaction. « Quand on met, dit-il, avec de l'eau, dans des flacons de 60 à 90 gr., des tronçons de tige d'*Helianthus tuberosus* fendus longitudinalement par la

(1) *Ann. sc. nat.*, sér. 5, VII, 222.

(2) *Id.*, 224.

moitié, l'eau pénètre le tissu, chasse le gaz qui remplit les méats de la moelle et bientôt les cellules superficielles mises à nu par la section et les méats voisins contiennent une multitude de globules extrêmement petits qui occupent à peu près toute la cavité des méats. Évidemment ces globules ne sont pas venus du dehors, car pour cela il faudrait que des globules semblables fussent répandus en innombrable quantité dans tout le liquide ambiant du flacon, ce qui n'est pas. Leur substance a été prise par le liquide aux cellules voisines. Ces granules ne tardent pas à s'allonger et à prendre la forme de cylindres qui, d'abord d'une grande ténuité, croissent en longueur et en épaisseur. Ces corpuscules sont alors jaunis par l'iode ; ce n'est que plus tard, quand ils ont acquis un volume plus considérable, qu'ils se colorent en bleu indigo par l'eau iodée » (1). A la surface de la cuticule de tronçons placés dans l'eau on voit ces mêmes organismes se former. « On n'aperçoit, dit M. Trécul (2), dans la substance superficielle de la cuticule, qu'une sorte de charin irrégulier d'une extrême délicatesse, qu'une grande attention peut seule faire remarquer. Mais au bout de 24 ou 36 heures, par un temps chaud, en août et septembre, de fins granules se dessinent à sa place, puis sur des étendues considérables ou sur des espaces très-limités ces granules semblent se vivifier. Ces granules s'allongent et les petits cylindres qu'ils forment se pressent les uns côte à côte quand ils sont nombreux, ou bien obliquement les uns par rapport aux autres... Les *Amylobacter* cylindroïdes primitifs naissent donc isolés les uns des autres ; mais après s'être allongés à un certain degré, quelquefois de très-bonne heure, d'autres fois seulement très-tard, ils se coupent en deux et les nouveaux formés se comportent de même » (3). Par ces faits que j'ai cru devoir exposer en détail, M. Trécul répond aux objections de M. Nylander

(1) Id., 225.

(2) Id., 227.

(3) Id., 227, 228.

qui, tout en admettant la formation de ces organismes dans des cellules parfaitement closes, pense qu'ils appartiennent au groupe des Bactéries et n'admet pas leur formation par hétérogénèse ; « car, pour cela, il faudrait d'abord, dit-il, connaître exactement toute l'histoire biologique des productions dont il s'agit et dont nous ne savons encore rien » (1). Si les faits décrits par M. Trécul sont exacts, et le rare talent d'observation de ce savant est un garant de cette exactitude, confirmée d'ailleurs par M. Robin (2), « l'histoire biologique » de ces êtres que réclame M. Nylander me paraît suffisamment faite, car, d'après M. Trécul « les granulations par lesquelles les *Amylobacter* commencent dans les macérations d'*Helianthus tuberosus* sont très-petites ; elles n'ont guère que 0^{mm} 0008 dans tous les sens » (3). « J'ajouterai, dit M. Trécul, qu'il n'est pas indispensable, comme le croit M. Nylander, de connaître toute l'histoire biologique d'un corps vivant pour admettre qu'il a été formé par hétérogénèse. *Il suffit pour cela de le voir naître* et de s'assurer qu'il n'est point un simple élément anatomique ; en un mot, qu'il est doué d'une existence propre. Or les *Amylobacter* étant quelquefois dotés d'un mouvement de translation et montrant assez fréquemment un mode de multiplication, doivent être considérés comme des êtres particuliers. D'un autre côté, comme ils sont formés par la modification d'une partie de la substance des plantes employées, souvent contenus à l'intérieur même de cellules dans lesquelles ils se développent, je conclus qu'il y a là une démonstration de l'hétérogénie qui, je crois, peut être définie ainsi : une opération naturelle par laquelle la vie, sur le point d'abandonner un corps organisé concentre son action sur quelques-unes des particules de ce corps, en forme *des êtres*

(1) Id., 220.

(2) *Traité du microscope*, 922, fig. 291 ; *Journal d'anatomie* [1875].

(3) *Ann. sc. nat.*, sér. 5, VII, 227.

tout différents de celui dont la substance a été empruntée» (1).

Que nous admettions ou non avec M. Trécul la théorie de l'hétérogénie telle qu'a définie ce savant, nous nous trouvons toujours en face de la question que nous nous sommes posée au début : comment s'est formée la première masse de substance protoplasmique ? Question à laquelle la science dans son état actuel ne nous fournit aucune réponse.

2° *Genèse de masses protoplasmiques nouvelles dans du protoplasma vivant.*

L'exemple le plus simple de cette formation de masses protoplasmiques nouvelles, aux dépens du protoplasma vivant, nous est fourni par les grains protoplasmiques chlorophylliens, qui représentent seulement une sorte de différenciation de certaines parties de la masse protoplasmique préexistante. Dans les bourgeons des tubercules de l'*Helianthus tuberosus*, ils sont produits par la division de la couche protoplasmique qui forme la membrane azotée, en petits fragments polyédriques. Dans la spore de l'*Osmunda regalis*, la masse protoplasmique qui enveloppe le noyau se divise aussi, au moment de la germination, en grains ovales. Dans la plupart des plantes, la genèse de ces grains est un peu différente ; on voit se former, dans les divers points de la masse protoplasmique, une sorte d'accumulation de particules plus denses qui ne tardent pas à former un corps de forme déterminée dont les contours deviennent de plus en plus nets et dont le volume augmente ensuite graduellement par voie d'assimilation.

La formation du noyau dans le corps protoplasmique préexistant est un phénomène d'ordre un peu plus élevé, car il constitue une véritable genèse spontanée, dans le protoplasma vivant et aux dépens de sa substance, d'une sorte d'organisme ayant une forme propre et jusqu'à un certain point un développement indépendant. Sa genèse est caracté-

(1) *Loc. cit.*, 230.

risée essentiellement par l'apparition, dans un point déterminé du protoplasma, d'un petit corps arrondi, hyalin, solide, qui se sépare nettement des parties voisines par un contour foncé, se différencie lui-même ensuite en plusieurs parties distinctes, (enveloppe, contenu, nucléole), mais reste néanmoins partie intégrante du protoplasma qui lui a donné naissance.

Dans le sac embryonnaire des Phanérogames, dans les sporanges des Champignons, etc., il se forme, également par genèse spontanée, dans l'intérieur et aux dépens d'un protoplasma vivant préexistant, des organismes nouveaux qui diffèrent des formations protoplasmiques précédentes en ce que leur existence est indépendante de celui qui leur a donné naissance. Dans le sac embryonnaire, avant la fécondation, on voit apparaître, par genèse, un certain nombre de noyaux autour desquels le protoplasma se condense pour former autant de petites cellules arrondies, à contours périphériques très-nets. Ces cellules nouvelles, enfermées dans le sac embryonnaire, entourées par le protoplasma qui remplit le sac, formées même, ainsi que nous l'avons dit, par l'individualisation de certaines portions de ce protoplasma, ont cependant une existence propre et un sort tout à fait différent de celui de la matière qui leur a donné naissance, quoiqu'elles ne sortent pas de la cavité dans laquelle elles sont nées. Dans les sporanges des champignons, du *Peziza confluens*, par exemple, c'est encore par une genèse semblable que naissent les spores, mais le sort ultérieur des cellules-filles est différent. A peine sont-elles formées qu'elles se revêtent d'une membrane d'enveloppe ; puis, la portion supérieure du sporange se déchirant, elles sortent de la cavité dans laquelle elles sont et vont vivre chacune d'une vie tout à fait indépendante, tandis que les portions de protoplasma non utilisées pour leur formation meurent et se décomposent. Les faits sont ici, on le voit, plus compliqués que dans le cas précédent, mais leur nature reste

au fond la même, aussi a-t-on réuni cette forme de la genèse du protoplasma constitué en cellule sous la dénomination commune : *Formation cellulaire libre*, à laquelle il me semblerait préférable de substituer celle de *Genèse intracellulaire*. La genèse de la cellule n'est pas toujours, dans ce cas, précédée de la genèse d'un noyau. Tandis, par exemple, que ce dernier précède la cellule dans le *Peziza confluens*, on n'en voit pas se former dans le *Peziza convexula*, où la masse protoplasmique représentant la cellule nouvelle s'individualise d'emblée. Le noyau n'est donc pas toujours, comme quelques auteurs l'ont pensé, le centre nécessaire de formation des cellules végétales.

3^o *Segmentation du Protoplasma pour former des individualités nouvelles.*

L'observation de ce qui se passe dans le zoosporange de certains Champignons, dans celui de l'*Achlya*, par exemple, nous donnera un excellent exemple de ce mode de formation d'individualités protoplasmiques nouvelles à l'aide d'une masse de protoplasma vivant. On voit, à un moment donné, le protoplasma granuleux qui remplit le sporange claviforme de l'*Achlya*, se diviser tout entier en petites masses polyédriques extrêmement nombreuses, contiguës les unes aux autres, devenant graduellement plus distinctes, puis s'arrondissant et formant en définitive autant de cellules nues nouvelles qui s'échappent de la cavité dans laquelle elles se sont formées. On a donné à ce phénomène le nom de *formation cellulaire par segmentation endogène*. Elle diffère des autres segmentations de protoplasma par ce fait que la membrane de la cellule-mère n'y prend aucune part. Dans certains cas de segmentation de ce genre on voit se produire, avant la division, autant de petits noyaux qu'il y aura plus tard de cellules; ce fait s'observe, par exemple, dans l'*Achlya lignicola*, mais il est loin d'être constant.

Les cellules qui doivent donner naissance aux spores des

Equisetum offrent un autre mode de segmentation qu'a été bien étudié, et dans lequel le noyau joue un rôle important. Ces cellules sont constituées par une masse protoplasmique arrondie, granuleuse, contenant un gros noyau, et dépourvue de toute enveloppe. A un moment donné, on voit le noyau disparaître, se fondre pour ainsi dire dans la masse granuleuse du protoplasma. Bientôt deux nouveaux noyaux volumineux se forment, par genèse spontanée, à chacun des pôles de la sphère dont l'équateur est marqué par une zone plus granuleuse. Leur existence est de peu de durée ; on les voit se fondre, comme le premier, dans la masse commune, puis quatre noyaux nouveaux, plus petits, naissent de la même façon que les premiers. La masse protoplasmique [totale qui leur a donné naissance se divise alors en quatre cellules-filles, au centre de chacune desquelles se trouve un des nouveaux noyaux. On a donné le nom de *segmentation totale* à cette formation d'individualités protoplasmiques nouvelles, parce que la cellule-mère tout entière prend part à la division. Les Myxomycètes offrent des phénomènes de cet ordre qui sont d'un grand intérêt. Lorsque les conditions de milieu sont défavorables, on voit le plasmodium de ces champignons se partager en fragments de grosseur inégale, qui s'arrondissent et secrètent chacun une membrane d'enveloppe résistante dans laquelle ils restent enfermés jusqu'au retour des conditions de chaleur et d'humidité qui leur sont nécessaires.

Enfin, la segmentation peut se produire avec un protoplasma revêtu d'une membrane d'enveloppe, comme cela se voit dans la formation de tous les [tissus nouveaux des végétaux supérieurs, par exemple dans les bourgeons, les racines et dans la zone génératrice. Dans ce cas encore la division du protoplasma est ordinairement précédée de la disparition du noyau et de la genèse de deux noyaux nouveaux ; puis une ligne de séparation se prononce entre les deux moitiés de la cellule et une mince membrane de cellulose se formant

en ce point, sépare les deux individualités nouvelles qui, à leur tour, se segmenteront par le même procédé. Nous n'entrerons pas ici dans l'étude des différences de détail qui peuvent se produire pendant la segmentation des cellules pourvues d'une membrane ; il nous suffira de ne pas perdre de vue que le protoplasma étant la partie productrice de la membrane de cellulose, celle-ci ne joue dans la segmentation qu'un rôle secondaire. Mais, d'autre part, comme ses molécules sont intimement associées au protoplasma, elle pourra, dans certains cas de segmentation, acquérir une certaine importance ; c'est ainsi que sans la segmentation des cellules du *Spirogyra longata*, la paroi de cellulose forme, au niveau du point de division, une sorte de bourrelet circulaire interne qui semble couper en deux la masse protoplasmique. Il n'est pas rare que, dans les cas de segmentation, le noyau primitif, au lieu de disparaître avant la division, se segmente au contraire lui-même le premier en deux noyaux nouveaux, entre lesquels se fait la bipartition du protoplasma. M. Hanstein (1) a signalé ce fait dans la segmentation des cellules d'un certain nombre de Dicolylédones. Dans ce cas, le noyau, avant sa division, offre toujours deux nucléoles, quelquefois davantage.

4° Bourgeonnement du protoplasma pour former des individualités nouvelles.

Ce mode de formation de masses protoplasmiques nouvelles a été signalé dans les spores du *Saccharomyces Cerevisiæ*. A un moment donné, il se forme sur l'un des points de ces petits corps, un soulèvement de la membrane qui est repoussée par le protoplasma dont l'accroissement est plus rapide en ce point. Lorsque le mamelon ainsi formé a atteint une certaine taille, son protoplasma se sépare de celui de la spore,

(1) *Sitzungsb. der niederrh. Gesellsch. in Bonn* [déc. 1870], 230.

une production de cellulose se fait au niveau du point segmenté et la nouvelle cellule va vivre librement. C'est encore par un procédé analogue que se forment l'oogone et l'anthéridie des *Vaucheria*. Sur un point de la cellule unique qui constitue le filament végétatif de cette algue, le protoplasma bourgeonne, il repousse devant lui la membrane cellulosique qui finit par former une sorte de poche latérale dans laquelle s'accumule une grande quantité de protoplasma très-granuleux et fortement coloré, puis le protoplasma de ce bourgeon se sépare de celui du filament, une cloison de cellulose est produite entre les deux et le bourgeon est devenu une cellule nouvelle destinée à un rôle spécial, mais qui reste unie à celle qui lui a donné naissance. M. de Seynes (1) a signalé, sur les filaments de mycélium immergés du *Penicillium*, un bourgeonnement analogue destiné à produire un mycélium nouveau. Il se forme, en certains points du filament mycéliel immergé, des bourgeons qui forment bientôt des cellules sphériques volumineuses. Quelques-unes se détachent du filament qui les a formées et viennent flotter à la surface du liquide où elles s'allongent pour produire un nouveau mycélium. Elles représentent ainsi des sortes de bulbilles unicellulaires destinées à perpétuer l'individu.

5° *Formation d'une individualité nouvelle par réunion de plusieurs masses protoplasmiques distinctes.*

Les Myxomycètes nous offrent des exemples remarquables de ce mode de formation. Nous avons vu précédemment que, sous l'influence de conditions défavorables, le plasmodium de ces êtres se divisait souvent en masses distinctes qui s'enkystaient. Lorsque les conditions redeviennent favorables, chaque petite masse brise son enveloppe et, devenant mobile, va à la rencontre des autres avec lesquelles elle se fusionne

(1) *Bullet. Soc. bot. Fr.*, XIX, 107.

pour reformer le plasmodium primitif. C'est par un procédé analogue que se forme le premier plasmodium. De chaque spore sort une petite zoospore mobile, terminée à une extrémité par un long cil. Chacune des zoospores se multiplie d'abord par segmentation ; puis toutes les petites masses protoplasmiques ainsi formées prennent la forme amiboïde, marchent les unes vers les autres et se réunissent, se fusionnent en une masse protoplasmique unique, une individualité nouvelle dont les propriétés et le rôle sont très-différents, et qui prend le nom de plasmodium.

6° *Formation d'une individualité nouvelle par réunion de deux masses protoplasmiques.*

Le cas le plus simple de réunion de deux masses protoplasmiques pour en former une troisième jouissant de propriétés différentes de celles des deux premières nous est fourni par l'*Ulothrix serrata*. Le contenu protoplasmique de certaines cellules de cette petite Algue, se divise, à un moment donné, en deux demi-sphères qui s'écartent d'abord l'une de l'autre, puis se rapprochent et se confondent, de nouveau, en une masse unique qui, mise en liberté par la rupture de la paroi de cellulose de la cellule-mère, se développera en un individu nouveau. D'autres espèces du même genre offrent quelque chose d'analogue, mais avec un degré de complication de plus. Le protoplasma d'une cellule se divise également en deux masses distinctes, mais chacune de celles-ci prend une forme ovoïde, se munit de deux cils vibratiles, et devient une cellule distincte désignée sous le nom de zoospore. Ces deux zoospores s'agitent pendant quelques instants dans la cavité de la cellule-mère ; puis elles se rapprochent et se fusionnent, en perdant leurs cils, en une cellule unique qui, après sa mise en liberté, reproduira une plante semblable à celle dans laquelle elle est née. Dans les Volvocinées, un pas de plus est fait dans la même

voie. Deux cellules ciliées, deux zoospores issues d'une même cellule-mère, mises en liberté par la destruction de la membrane de cette dernière, s'agitent pendant quelque temps dans l'eau, puis se rapprochent et se fondent l'une dans l'autre pour constituer une nouvelle masse protoplasmique unique. Les *Pleurocarpus* nous font faire une étape nouvelle dans la même direction. Le filament végétatif de ces Algues est formé de cellules cylindriques placées bout à bout. Les contenus protoplasmiques de deux cellules superposées bourgeonnent et soulèvent devant eux leurs membranes cellulosiques. Les sommets des deux bourgeons ainsi produits vont à la rencontre l'un de l'autre et finissent par se toucher. Bientôt, la paroi cellulosique se détruit complètement au niveau du point du contact et il s'établit ainsi une communication directe entre les deux cellules. Pendant que ces phénomènes se produisaient, les protoplasmas des deux cellules s'avançaient l'une vers l'autre et finalement, ayant fait chacun la moitié du chemin, se réunissaient au niveau du point de communication des deux bourgeons pour former une cellule unique destinée à reproduire le végétal. On a donné à ce fait le nom de *conjugaison*. Dans les *Mesocarpus*, une conjugaison semblable se produit; mais les deux cellules qui bourgeonnent, au lieu d'appartenir à un même filament végétatif, c'est-à-dire à un même individu, appartiennent à deux filaments, à deux individus distincts qui se sont rapprochés l'un de l'autre et dont certaines cellules situées en regard l'une de l'autre ont bourgeonné et ont fusionné leurs bourgeons. Les masses protoplasmiques des deux cellules ainsi réunies se fusionnent, comme dans les *Pleurocarpus*, au niveau de la partie médiane du tube de conjugaison. Dans les *Spirogyra*, les premières phases de la conjugaison ressemblent à celles que nous venons de signaler dans les *Pleurocarpus*, c'est-à-dire que les bourgeons destinés à s'unir sont produits par des cellules appartenant à deux filaments différents, mais ici les deux masses protoplasmiques ne vont pas au devant l'une de l'autre. L'une des deux ne mani-

festes aucun empressement à sortir de sa membrane cellulosique dans le centre de laquelle seulement elle se contracte, tandis que l'autre traverse toute la longueur du tube de conjugaison pour venir se mélanger à elle. Les façons d'agir de ces deux individualités protoplasmiques sont tellement différentes que nous pouvons donner un nom spécial à chacune. Nous nommerons protoplasma mâle celui qui se déplace, et protoplasma femelle celui qui borne son rôle à l'attente. Quant à l'individualité nouvelle formée par la fusion, par la conjugaison de ces deux masses, on lui a donné le nom de *Zygospore*. Elle se développera, après sa mise en liberté, en un filament semblable à ceux qui ont produit les deux individus protoplasmiques que nous pouvons appeler ses parents. Avec le *Sphæroplea annulina* nous arrivons à une complication en apparence plus considérable, mais la nature intime des phénomènes reste la même. Dans les *Spirogyra*, les deux filaments étaient semblables et chacun contenait des cellules productrices de protoplasma femelle et des cellules productrices de protoplasma mâle; ici, au contraire, il y a deux espèces de filaments, les uns bruns, les autres verts, mais les cellules sont toutes semblables. Dans ces derniers, le protoplasma de certaines cellules se divise à un moment donné, en un certain nombre de corps ovoïdes et immobiles, tandis que dans les cellules du filament brun, le protoplasma se segmente en un grand nombre de petites masses ovoïdes, allongées qui, au niveau de leur extrémité la plus étroite, portent deux longs cils vibratiles. Les parois des cellules qui ont produit ces petites individualités mobiles se déchirant en certains points, celles-ci sortent, s'agitent dans l'eau et vont s'appliquer contre les filaments verts dont les cellules sont munies de pores. Elles pénètrent dans leur cavité par ces orifices et vont se mettre en contact, puis se fusionnent avec les masses ovoïdes protoplasmiques qu'elles contiennent et auxquelles nous donnerons le nom de cellules femelles ou, avec les auteurs, d'*oospores*, tandis que nous désignerons sous

le nom de cellules mâles ou *anthérozoïdes* les petits corps ovoïdes, ciliés et mobiles qui sont venus à leur recherche et se sont fusionnés avec elles. Quant à l'individualité nouvelle formée par la fusion du protoplasma mâle et du protoplasma femelle, elle produira, par son développement ultérieur, soit un filament mâle, soit un filament femelle, sans que nous puissions dire pourquoi de son développement sortira l'un plutôt que l'autre. Nous sommes arrivés avec ces êtres en face d'un problème dont la solution nous est encore absolument inconnue, celui de la sexualité. A mesure que nous nous élèverions dans la série des êtres, nous verrions, si les limites de ce travail nous le permettaient, des complications de plus en plus grandes se produire dans les détails de l'organisation, mais les éléments principaux de la reproduction rester toujours les mêmes : d'une part, un protoplasma mâle; d'autre part, un protoplasma femelle; le premier allant au-devant du second qui reste passif, se fusionnant avec lui, disparaissant dans sa masse, et l'élément femelle reproduisant ensuite un individu nouveau, chez lequel on retrouvera tous les caractères principaux des deux parents, mais tantôt avec une prédominance des caractères de l'un des deux qui fait qu'il sera mâle ou femelle, c'est-à-dire qu'il produira uniquement du protoplasma mâle ou [du protoplasma femelle, tantôt, au contraire, avec une sorte d'égalité d'action absolue de laquelle il résulte qu'il pourra produire, à la fois, du protoplasma mâle et du protoplasma femelle. La fusion des deux protoplasma qui caractérise la fécondation, la conjugaison du mâle et de la femelle, bien connue dans un] grand nombre de végétaux inférieurs, est au contraire tout à fait inconnue dans les Phanérogames où beaucoup d'auteurs} admettent encore qu'il y a seulement *contact* des deux, protoplasma au moment de la fécondation. Il est évident que dans l'état actuel de la science, nous ne pouvons admettre que ce simple contact soit suffisant pour produire la fécondation du protoplasma femelle; nous pensons qu'il est préférable d'avouer notre ignorance des

faits qui se produisent au moment de la rencontre du boyau pollique avec le sac embryonnaire.

7° — *Accroissement et décroissement du protoplasma végétal.*

Nous avons dit qu'après sa naissance, le protoplasma offrait une période d'existence pendant laquelle l'assimilation étant plus énergique que la désassimilation, sa masse s'accroît sans cesse. Pour étudier convenablement cette première phase de la vie du protoplasma végétal sous les diverses formes qu'il peut affecter, nous serions obligés d'entrer dans des détails que le temps assigné pour ce travail ne nous permet pas d'aborder. Nous nous bornerons donc, forcément, à passer en revue quelques faits principaux à l'aide desquels le lecteur pourra concevoir une idée de ceux que nous laisserons de côté. Dans certaines formes du protoplasma, la durée de la vie étant très-courte, la période d'accroissement est également d'une grande brièveté. Le protoplasma reproducteur mâle est, en général, dans ce cas, à peine formé, qu'il entre dans une activité énergique, court à l'organe femelle, et, s'il le rencontre, se fusionne avec lui. Sa vie a tenu tout entière dans quelques instants, et il serait difficile de dire où ont commencé et fini chacune de ses phases. Il n'en est pas de même du protoplasma femelle. Arrivé promptement à l'état de *statu quo* qui répond au moment de la fécondation, il reprend alors une activité nouvelle acquiert rapidement des dimensions considérables, se fractionne, et son activité se perpétuant dans les jeunes masses protoplasmiques auxquelles il donne naissance, on peut dire qu'il persiste indéfiniment dans la période d'accroissement.

Observons maintenant la zygospore de ce *Spirogyra* dont nous avons suivi plus haut la formation. Après sa sortie de la cellule-mère, elle s'enveloppe d'une membrane cellulosique, et reste pendant quelque temps dans un état de repos, de *statu quo*

absolument complet, sa taille n'augmentant ni ne diminuant. La vie est comme arrêtée chez elle. Ensuite elle manifeste tout à coup une activité considérable, elle s'allonge en un filament cylindroïde qui, lorsqu'il a atteint une certaine longueur, se divise en deux cellules distinctes placées bout à bout. De ces deux cellules, l'une restera de nouveau à peu près stationnaire, tandis que l'autre s'accroîtra rapidement, et lorsqu'elle aura atteint une certaine dimension, se divisera à son tour, etc. Dans la cellule terminale, le protoplasma se montrera ainsi toujours en activité, en période d'accroissement, tandis que dans les autres il reste dans un *statu quo* à peu près complet, la cellule n'augmentant pas sensiblement en dimension. Le protoplasma se présente alors à nous sous la forme d'un ou plusieurs rubans spiralés, colorés fortement par la chlorophylle. Cet état de *statu quo* pourra durer plus ou moins longtemps; puis surviendra une nouvelle période d'activité, correspondant au moment où la conjugaison est sur le point de se produire; le protoplasma abandonne alors sa forme spiralée, il se contracte au centre de la cellule s'il doit jouer le rôle passif et se porte vers le tube de conjugaison si au contraire il doit exercer l'action fécondatrice. Nous voyons qu'ici il y a des alternatives incessantes de *statu quo* et d'activité et qu'il n'y a pas manifestement de période de décroissement. Celle-ci surviendra cependant dans les cellules qui, pour une raison ou pour une autre, ne seront pas appelées à se conjuguer. Après une période d'état plus ou moins longue, l'activité de l'assimilation diminuera, tandis que la désassimilation continuera à se produire avec la même énergie et, finalement, la mort survenant, la cellule se détruira. Il n'y a pour ainsi dire pas un seul filament de *Spirogyra* sur lequel on ne puisse constater un certain nombre de cellules tombées dans cet état.

Cette alternative des diverses phases de l'évolution nous est offerte d'une façon encore plus manifeste par le protoplasma des Myxomycètes; mais ce que j'en ai déjà dit plus haut me dis-

pense d'y insister davantage. Un certain nombre de végétaux offrent des phénomènes de *rajeunissement* de leur protoplasma qui ne sont que l'exagération de ceux dont nous venons de parler et que, pour ce motif, j'ai laissés de côté quand j'ai étudié les divers modes de formation du protoplasma. Ces faits ont été bien étudiés par M. Pringsheim, sur les *Cedogonium*. Dans certaines cellules du filament qui constitue la partie végétative de cette Algue, on voit, à un moment donné, le protoplasma qui était dans la période du *statu quo* depuis un temps plus ou moins long, se contracter au centre de la cellule pour former un ovoïde assez régulier. Puis, les parois de la cellule-mère venant à se rompre, cette masse protoplasmique sort, s'entoure, au niveau de sa petite extrémité, d'une couronne de cils vibratiles, se meut pendant quelque temps dans l'eau, puis perd ses cils, s'entoure d'une membrane et germe, c'est-à-dire produit, par son allongement et son sectionnement, un filament nouveau. Il n'y a pas là formation d'un être nouveau différent du premier, mais seulement retour d'une individualité protoplasmique qui vivait dans le *statu quo* à la période d'accroissement et d'activité qui a caractérisé les premiers temps de sa vie. Des phénomènes de même ordre se produisent dans les végétaux supérieurs au retour de chaque saison chaude. Le protoplasma qui pendant l'hiver était tombé dans un engourdissement presque complet, reprend tout à coup une activité nouvelle. Les cellules jeunes qui pendant l'hiver avaient cessé de se diviser, de se multiplier, on peut presque dire de se nourrir, recommencent à se segmenter avec une grande énergie et des tissus nouveaux se forment en fort peu de temps. Je ne reviendrai pas ici sur les phénomènes qui se passent ensuite dans les cellules. J'ai déjà montré dès le début de ce travail de quelle façon le protoplasma qui remplissait d'abord la cavité entière de la membrane cellulosique arrivait à ne plus former qu'un sac appliqué contre la face interne de celle-ci et rempli de suc cellulaire. Nous avons vu aussi de quelle façon une par-

tie de sa masse donne naissance alors aux grains de chlorophylle lorsque la cellule appartient à des organes exposés à la lumière.

Je me bornerai à ne dire que quelques mots du *décroissement* que le protoplasma subit graduellement. Ces phénomènes sont un peu différents suivant qu'il appartient à un organe appendiculaire ou à l'axe. Dans les cellules des feuilles, le protoplasma, après avoir déployé pendant toute la saison chaude une activité considérable, tant sous la forme d'utricule azotée que sous la forme de grains chlorophylliens, décroît rapidement lorsqu'arrive le moment de la chute des feuilles. Les grains de chlorophylle perdent alors leur coloration, puis se désagrègent lentement, se résorbent; l'utricule azotée disparaît également peu à peu et l'on ne trouve plus bientôt dans la cellule que des cristaux calcaires résultant de la désassimilation des autres matériaux que contenait jadis la cellule. Dans la partie corticale des arbres qui constitue le liège et dans le bois, le protoplasma décroît aussi peu à peu, après des périodes d'accroissement et de *statu quo* qui relativement ont été courtes. Le noyau se résorbe peu à peu, l'épaisseur de l'utricule azotée diminue insensiblement et bientôt la cellule entièrement privée de protoplasma est réduite au squelette cellulosique qu'il a sécrété pendant sa vie. Elle ne peut plus servir que d'organe de soutien ou de protection, ou, comme celles du bois, de conduit pour l'air et les liquides. Ces quelques faits suffiront, je pense, pour donner une idée des divers modes d'évolution du protoplasma, qu'il serait d'autant plus intéressant d'étudier d'une façon complète dans chacun des états sous lesquels il se présente, que les phénomènes de cet ordre n'ont jamais encore été groupés au point de vue où nous nous plaçons. Ajoutons seulement que, contrairement à l'avis de quelques auteurs, le fait de produire une membrane d'enveloppe ne doit pas être regardé comme un phénomène de décroissement.

8° — *Mort du protoplasma végétal.*

Toute matière organisée, avons nous dit, aboutit fatalement à la mort et à la décomposition. Nous venons d'étudier ce que j'appellerai volontiers la mort naturelle du protoplasma végétal. Nous avons, à propos de la chaleur, du froid, de l'électricité, des poisons, signalé ce qui concerne sa mort violente, nous n'y reviendrons pas ici. Il serait intéressant de savoir quels sont les phénomènes qui se produisent en lui après la mort; mais à part les fractionnements de substance que nous avons étudiés à propos de l'action que le froid, la chaleur et l'électricité exercent sur lui, nos connaissances à cet égard sont à peu près nulles. Nous avons vu que M. Trécul le considérait comme donnant naissance pendant sa putréfaction à des générations nouvelles d'êtres organisés. Enfin nous devons dire que les phénomènes de décomposition dont il est le siège sont les mêmes que ceux qui se produisent dans la putréfaction des animaux. Nous n'avons pas besoin de rappeler que les champignons dont les cellules contiennent une grande quantité de protoplasma exhalent, pendant leur putréfaction, une odeur tout à fait semblable à celle qui se dégagent des tissus animaux dans les mêmes conditions. Enfin il est inutile d'insister ici sur ce fait que, sous l'influence de la décomposition du protoplasma végétal, les matières organiques que cette substance avait fabriquées pendant sa vie avec l'aide de la chlorophylle et du soleil retournent dans l'état inorganique d'où les avait tirées le protoplasma, de sorte que tout végétal qui meurt et se décompose représente, pour les animaux, une perte de matière nutritive égale à la somme de toutes les substances organisées qu'il contenait dans ses cellules au moment de sa mort, et pour les végétaux, une somme équivalente de travail à recommencer. Quant aux principes élémentaires qui entraînent dans sa composition, nous savons que pas un atome n'est détruit et qu'ils se retrouvent intégralement dans cet immense tout, le monde matériel, duquel rien ne peut être ôté, et auquel rien ne peut, non plus, être ajouté.

SECTION II. — Propriétés animales du protoplasma végétal.

Contractilité.

La *Contractilité*, c'est-à-dire la « propriété vitale élémentaire caractérisée par ce fait que l'élément qui en jouit se raccourcit dans un sens et augmente de diamètre dans l'autre alternativement », appartient-elle au protoplasma végétal ? telle est la question que nous devons essayer de résoudre.

Sans nous occuper, pour le moment, des opinions contradictoires admises à cet égard par les botanistes, nous nous bornerons à observer les phénomènes qui se produisent dans le protoplasma végétal envisagé successivement sous les formes diverses que nous lui connaissons, cherchant à reconnaître si la nature de ces phénomènes nous permet de les regarder comme des *contractions*, c'est-à-dire comme la manifestation de la contractilité telle que nous venons de la définir. Pour mieux établir le criterium de nos jugements sur cette difficile question, ajoutons avec M. Robin que « le résultat de la contraction est la *locomotion ou changement de place soit d'une ou de plusieurs parties du corps par rapport à une autre, soit de la totalité de ce corps par rapport aux objets voisins* » (1).

Les termes du problème étant ainsi posés et les moyens de solution étant bien établis, nous allons passer en revue les principales formes du protoplasma végétal que nous connaissons déjà, en partant des plus simples et des plus faciles à observer pour nous élever graduellement jusqu'aux plus compliquées et à celles dans lesquelles l'observation est plus délicate et expose à davantage d'erreurs. La masse protoplasmique granuleuse qui constitue le plasmodium des Myxomycètes formera le premier objet de notre examen. Les dimensions assez considérables que prend ici l'individualité protoplasmique rendent

(1) *Anat. et physiol. cell.*, 518.

l'observation aussi facile que possible et ne permettent aucune erreur. Si le temps est chaud et humide, nous verrons le plasmodium manifester les deux formes de locomotion que nous avons admises avec M. Robin, déplacement d'une ou plusieurs parties du corps par rapport aux autres et déplacement de la masse entière dans l'espace. Sur un point déterminé de la surface de ce corps voici une saillie qui se forme, qui grandit peu à peu et qui, ayant atteint une certaine longueur, émet elle-même de nouveaux prolongements. Nous pourrions voir ensuite ces sortes de bras rentrer les uns dans les autres et se confondre de nouveau dans la masse commune, tandis que, d'un autre côté, il s'en forme de semblables. Les saillies protoplasmiques nées ainsi de divers points de la masse commune pourront se mettre en contact les unes avec les autres et se fusionner pour former un réseau dont les mailles inégales s'étendent à la surface des corps voisins et les enlacent. Qu'une modification défavorable survienne alors dans l'état de l'atmosphère, les mailles de ce réseau se séparent les unes des autres, les filaments se raccourcissent et rentrent dans la masse commune qui se pelotonne pour ainsi dire sur elle-même. Dans tous ces phénomènes nous ne pouvons évidemment nous refuser à reconnaître une forme de la locomotion, celle qui consiste dans le déplacement « d'une ou plusieurs parties du corps par rapport à une autre. » Si les conditions sont favorables, nous ne tarderons pas à observer une autre forme de la locomotion, le déplacement du corps entier par rapport aux objets voisins. Nous verrons le plasmodium envoyer dans une direction déterminée une partie de sa masse, puis celle-ci glisser à la suite de ce prolongement sur lequel elle semble prendre un point d'appui. Par suite des mouvements de ce genre, le déplacement de la plasmodie pourra être considérable. Il arrive fréquemment à celle de l'*Æthaliium septicum*, qui vit sur le tan où elle forme des plaques parfois grandes comme la main, de grimper, en rampant, sur les plantes voisines jusqu'à plusieurs pieds de hauteur, et d'y étaler sur les

feuilles son réseau de bras anastomosés. On a désigné ces mouvements sous le nom d'*amiboïdes* parce qu'ils s'observent chez les Amibes. Enfin dans la substance même de cette masse, il s'effectue un troisième mouvement qui rentre dans la première forme de locomotion signalée plus haut, et qui consiste dans une circulation intérieure. La portion périphérique du plasmodium étant différenciée en une couche incolore, dépourvue de granulations, qui enveloppe non-seulement la masse principale, mais encore se prolonge autour de toutes les mailles du réseau, on voit au-dessous d'elle des portions granuleuses de protoplasma circuler dans la profondeur de la masse principale et des bras, en formant des espèces de courants dirigés tantôt dans un sens et tantôt dans un autre. On a désigné cette forme du mouvement protoplasmique sous le nom de *circulation*.

Il n'est pas nécessaire que nous insistions davantage sur ces phénomènes dont la nature ne peut être contestée, et qui nous conduisent à cette conclusion que le protoplasma des plasmodies des Myxomycètes est contractile. Frappé de cette propriété, M. de Bary (1) qui, le premier, a bien étudié les Myxomycètes, proposa de les classer parmi les animaux, mais cette opinion n'a généralement pas prévalu, et les Myxomycètes sont regardés aujourd'hui, à peu près par tous les botanistes et par M. de Bary lui-même, comme des Champignons, surtout depuis qu'il a été observé des phénomènes analogues chez d'autres végétaux de ce groupe, notamment dans les Cérastiées, par MM. Famintzine et Woronine, et dans les Chytridinées, par M. Cornu.

Une deuxième forme de protoplasma libre et mobile s'offre à nous dans les cellules reproductrices, soit asexuées, soit mâles ou femelles, d'un grand nombre de Cryptogames. Examinons, par exemple, la zoospore d'une Vaucherie, nous voyons qu'elle est constituée par une masse protoplasmique nue, gra-

(1) *Die Mycetozoen*, in *Zeitschrift f. Wiss. Zool.* (1859), X.
De Lanessan.

nuleuse, colorée en vert par la chlorophylle, et couverte de cils vibratiles ou petits prolongements très-grêles, incolores, qui s'agitent avec une grande rapidité et déterminent la natation de la zoospore dans l'eau. Nous trouvons, ici encore, les deux formes de locomotion de M. Robin: déplacement incessant des cils vibratiles, par rapport au reste de la masse protoplasmique et déplacement total de la masse, par rapport aux objets voisins. La nature contractile de ce protoplasma ne peut donc être niée, puisqu'il nous offre les phénomènes qui sont la manifestation de la mise en jeu de cette propriété. Ce que nous venons de dire des zoospores des *Vaucheria*, nous pourrions le répéter des anthérozoïdes et de toutes les zoospores des algues, chez lesquels le mouvement est déterminé par des filaments filiformes en nombre plus ou moins considérable. Lorsque ces cellules ne portent de cils qu'à une de leurs extrémités, celle-ci est ordinairement plus mince que l'autre et incolore; on lui donne le nom de rostre. Cette partie de la cellule se trouve toujours dirigée en avant pendant la locomotion. D'après M. Nægeli (1), ces petits organismes offriraient trois sortes de mouvements, les uns maintenant leur corps toujours en ligne droite et dans la direction du mouvement; les autres, décrivant une ligne spirale, dont chaque tour résulte d'une torsion autour de leur axe, d'autres enfin formant une ligne spirale avec leur extrémité antérieure, tandis que la postérieure reste droite dans la direction du mouvement, ou forme une spirale de moindre diamètre que celle de l'extrémité antérieure. Ce botaniste pense que les anthérozoïdes, dont les mouvements peuvent aussi affecter ces trois formes, qui sont ordinairement constantes dans un même groupe, suivraient toujours une ligne droite, si leur structure était exactement symétrique, et le milieu homogène. Il croit que toute déviation dans leur marche provient d'irrégularités dans leur structure ou de frottements inégaux, exer-

(1) *Beitrag. zur Wiss. Botan.*, II, 96.

cés sur leurs portions latérales, par le milieu dans lequel ils se meuvent.

De ces organismes protoplasmiques libres dans lesquels nous avons reconnu incontestablement les manifestations de la contractilité, nous pouvons passer aux masses protoplasmiques enfermées dans une membrane d'enveloppe, et nous y trouverons tous les phénomènes que nous ont offerts les plasmodies des Myxomycètes: mouvement de circulation, mouvements amiboïdes et même déplacement total de certaines portions individualisées. Les courants intra-cellulaires du protoplasma ont été étudiés dès le commencement de ce siècle, et je ne crois pas utile de les décrire ici en détail, d'autant mieux que leur nature varie, pour ainsi dire, avec chaque plante. De même que dans les masses plasmodiques des Myxomycètes, ces courants sont caractérisés par la locomotion de certaines portions du protoplasma dans l'épaisseur de l'utricule azotée et des filaments qui en partent. On a désigné ces courants par des noms différents, suivant la direction qu'ils affectent. Lorsque les particules protoplasmiques en mouvement suivent une direction unique, déterminée, autour de la cellule, et que leur marche est constante, on donne au phénomène le nom de *rotation*. Lorsqu'au contraire le courant est intermittent et se produit dans des directions qui diffèrent avec les diverses parties de la cellule, comme nous l'avons observé déjà dans les Myxomycètes, on lui donne le nom de *circulation*. Nous n'entrerons pas, je le répète, dans l'étude détaillée de ces faits qui, au point de vue général où nous sommes obligés de nous placer, n'ont pas grand intérêt pour nous, car ils varient, pour ainsi dire, à l'infini. Nous nous bornerons à rappeler que certains auteurs ont admis dans le protoplasma intra-cellulaire, dont nous nous occupons, comme dans le protoplasma libre des Myxomycètes, deux substances distinctes. L'une, formant la portion interne de l'utricule primordiale, et enveloppant les filaments protoplasmiques qui en partent, serait amorphe et hya-

line; l'autre, plus profondément située, granuleuse, serait le siège des courants dont nous venons de parler. Nous avons dit que certaines portions de protoplasma, enfermées dans une membrane cellulosique, offraient des mouvements analogues aux mouvements amiboïdes des Myxomycètes. M. Reichert (1) admet, en effet, que, sous l'influence du courant protoplasmique qui se produit, d'après lui, comme nous venons de le dire, dans la portion périphérique de l'utricule azotée, les particules protoplasmiques en mouvement subissent des changements de forme semblables à ceux qui se produisent dans la substance des amibes. Ajoutons que l'auteur admet que ces mouvements sont dus à une contractilité véritable du protoplasma. M. Hanstein (2) signale des mouvements de même ordre dans le noyau des cellules des poils de *Cucurbita*, *Pistia*, etc. Le noyau chemine, tantôt vite, tantôt lentement, dans les mailles du réseau protoplasmique qui traverse la cavité cellulaire, gagnant la paroi cellulaire contre laquelle il s'appuie et glisse, puis l'abandonnant pour se diriger vers les portions centrales de la cellule. Ces mouvements de déplacement sont tout à fait indépendants de ceux du protoplasma lui-même, dont les courants sont souvent dirigés en sens inverse de la marche du noyau. Indépendamment de ces mouvements de totalité, qui sont d'autant plus rapides que le suc cellulaire est plus aqueux, le noyau offre des modifications plus ou moins considérables de sa forme; il s'allonge dans le sens de la direction de sa marche; ses granulations se déplacent, et son enveloppe, tiraillée en divers sens par le protoplasma, forme des prolongements étoilés. M. Hanstein rejette comme cause des mouvements, soit du protoplasma, soit du nuclus, les phénomènes physiques et chimi-

(1) REICHERT, *Ueb. die Saftstr. der Pflanz.*, in *Arch. f. Anat. Physiol. und Wiss. Med.* (1867), 417-463.

(2) *Ueber die Beweg. der Zellkerns in ihren Berich. zum Protopl.*, in *Verhandl. der naturhist. Ver. der Preuss. Rheint. und Westph.* (1870). *Sitzungsb.*, 217-233.

ques qui ont été invoqués par certains auteurs, et les attribue à une propriété spéciale du protoplasma qu'il regarde avec raison comme un organisme vivant, analogue aux amibes libres. Indépendamment du noyau, dont les mouvements propres de déplacement total sont si bien décrits par M. Hanstein, d'autres portions du protoplasma intra-cellulaire offrent des mouvements de même ordre, d'un grand intérêt, je veux parler des grains de chlorophylle qui, comme nous le verrons à propos de la sensibilité, changent fréquemment de place sous l'influence d'agents extérieurs, notamment de la lumière.

Le protoplasma intra-cellulaire nous offre ainsi les deux modes de locomotion que nous avons constatés déjà dans les plasmodies des Mixomycètes et dans les organes reproducteurs des Cryptogames inférieurs ; il nous est donc impossible de lui refuser la propriété de contractilité dont il nous présente toutes les manifestations.

Comme il n'y a pour ainsi dire pas de plante dans les cellules de laquelle ces phénomènes n'aient été constatés, nous pouvons admettre que le protoplasma enveloppé d'une membrane cellulosique est toujours doué de la propriété de contractilité, mais il est des végétaux dans lesquels les manifestations de la contractilité sont très-évidentes et où les mouvements de déplacement total sont considérables, sans que nous puissions dire par quel mécanisme ils sont produits ; de sorte que la contractilité du protoplasma ne se manifeste plus à nous que par ses résultats sans que nous puissions la constater directement. Les Diatomées nous fournissent un excellent exemple de ce fait. Nous voyons ces petits êtres, dont le protoplasma est enveloppé d'une tunique rigide incrustée de silice, se mouvoir dans l'eau avec une assez grande rapidité, sans que nous puissions surprendre le mécanisme de cette locomotion. Nous pourrions en dire autant des Bactéries, des Oscillaires, etc., dont les déplacements en totalité sont également connus de tout le monde et nous indiquent une contractilité incontestable de leur proto-

plasma, sans que nous sachions encore par quel procédé s'effectuent les déplacements.

De tous ces faits, sur lesquels nous n'avons pas le temps d'insister, nous croyons avoir le droit de conclure que le protoplasma végétal, sous quelque forme et dans quelque état qu'il se présente à nous, est toujours doué de la propriété de *contractilité*.

Beaucoup de botanistes se refusent à admettre cette opinion et cherchent à expliquer les mouvements du protoplasma par des phénomènes d'ordre purement physique ou chimique qui, au lieu d'être les causes réelles du mouvement ne sont, sans doute, que les conditions nécessaires de la mise en jeu de la propriété de contractilité dont est douée la matière organisée. Pour expliquer la production des courants que nous avons signalés dans l'intérieur des masses protoplasmiques, soit libres, soit enfermées dans des membranes cellulosiques, M. Hofmeister (1) invoque la variabilité du pouvoir d'imbibition; « Il faut supposer, dit-il, que le protoplasma est composé de particules microscopiques différentes et douées d'un pouvoir d'imbibition variable; toutes sont entourées de couches aqueuses; si la diminution et l'augmentation dans le pouvoir d'imbibition alterne régulièrement sur des séries continues de molécules, l'eau chassée des parties qui se trouvent dans la première de ces conditions, sera absorbée par celles qui se trouvent dans la seconde et sera ainsi mise en mouvement. Un arrangement convenable dans les séries de molécules pourra rendre possible la propagation du mouvement dans toute la masse du protoplasma. Pour les organes protoplasmiques dans lesquels les courants sont variables, il faut supposer des changements dans la direction suivant laquelle l'imbibition augmente et diminue. On explique ainsi facilement toutes les irrégularités des courants et l'on comprend comment, dans le plasmodium des Myxomycètes, certaines régions restent en dehors des courants; ce sont

(1) In *Flora* [1865], 10.

simplement des parties dans lesquelles le pouvoir d'imbibition ne varie pas. » Je ne ferai aucune remarque sur cette théorie qui ne peut être envisagée que comme une hypothèse dénuée de toute preuve. M. J. Sachs (1) a essayé de la compléter à l'aide de sa propre théorie hypothétique sur la structure moléculaire du protoplasma dont nous avons parlé dans la première partie de ce travail. M. Dippel (2) partage à peu près les mêmes idées et pense, comme les auteurs dont je viens de parler, que les causes des mouvements qu'on constate dans le protoplasma des cellules ne doivent pas être cherchées dans une contractilité propre à cette substance, mais dans les rapports physico-chimiques qui existent entre elle et les autres parties de la cellule ainsi que dans les courants mécaniques et peut-être électriques qui surviennent dans sa profondeur par suite des phénomènes chimiques et des diffusions qui s'y accomplissent.

M. Cohn (3) a également cherché à expliquer les mouvements des spores vertes dont nous avons parlé par des propriétés chimiques de ces corps. Il fait remarquer que ces organismes placés devant une source de lumière se meuvent toujours en ligne droite, en dirigeant vers la lumière l'extrémité antérieure hyaline de leur corps, tandis que la partie postérieure colorée en vert par la chlorophylle est tournée vers le point opposé. En second lieu, tandis que dans l'obscurité, ils tournent indifféremment de gauche à droite ou de droite à gauche, sous l'influence de la lumière, au contraire, le sens de la rotation reste toujours le même ; chez les Euglènes, la rotation a toujours lieu dans le sens du mouvement diurne de la terre. Pour expliquer ces phénomènes, M. Cohn admet que l'oxygène, mis en liberté par la chlorophylle sous l'influence de la lumière et particulièrement

(1) *Physiol. végét.*, trad. fr., 481.

(2) *Die Entsch. der Wandst. Protopl. in den Pflanz.*, in *Abhandl. der naturf. Gesellsch. zu Halle*, X.

(3) *Ueber die Gesetze des Beweg. des mikrosk. Pflanz. und Thier. unter Einfluss der Lichtes.*

des rayons chimiques, se dégage par l'extrémité postérieure des corps qui seule contient la matière colorante et pousse la petite masse dans la direction opposée. Cette théorie est appuyée par son auteur sur ce fait que les rayons chimiques seuls et particulièrement le bleu attirent fortement ces petits êtres, et aussi sur un phénomène analogue qui se produit lorsqu'on remplace les Euglènes par de petits fragments calcaires enduits d'un vernis résineux à l'une de leurs extrémités et plongés dans de l'acide chlorhydrique étendu. Cette Euglène artificielle produit, au niveau de son extrémité non vernissée, de l'acide carbonique qui en se dégageant pousse le corps en sens opposé et lui imprime un mouvement de rotation.

Je crois devoir laisser au lecteur le soin de prendre parti entre toutes ces théories qui me paraissent être purement hypothétiques, et, sans vouloir rechercher quelle est la nature intime de cette propriété que nous désignons sous le nom de contractilité, je me bornerai à rappeler que nous avons constaté dans toutes les formes du protoplasma végétal des phénomènes attestant hautement l'existence dans cette substance de la faculté de produire leur double mouvement de locomotion de certaines parties par rapport aux autres et de la masse totale par rapport aux objets voisins. Par là encore, le protoplasma végétal se confond avec le protoplasma animal. L'existence de la propriété de motricité dans le protoplasma végétal nous donne l'explication des mouvements, soit périodiques, soit accidentels, que nous présentent un grand nombre d'organes végétaux et dans l'étude desquels je ne crois pas devoir entrer ici.

*Influence des agents extérieurs sur la contractilité
du protoplasma végétal.*

Lumière. — On ne sait rien de positif au sujet de l'influence exercée par la lumière sur la motricité du protoplasma incolore. Il est permis cependant de supposer que les mouvements de ce

protoplasma n'exigent nullement pour se produire l'action de la lumière. Pour ce qui est des plantes vertes dont certains organes sont doués de mouvements, on a constaté que dans l'obscurité leurs mouvements se ralentissent et finissent même par cesser complètement. Si l'on attend trop longtemps, ils ne reparaissent plus quand on ramène la plante à la lumière.

Les mouvements des zoospores ne sont, d'après M. Nägeli, pas influencés, au point de vue de leur rapidité, par la lumière, mais ils le sont, comme nous le verrons plus bas, au point de vue de leur direction, et d'après M. Cohn, ce sont les rayons les plus réfringents, c'est-à-dire les rayons chimiques qui exercent seuls cette action, les autres n'ont pas plus d'action que l'obscurité. M. Borodin a montré que dans l'*Elodea canadensis*, les granulations de chlorophylle s'attachent à la paroi sous l'influence de l'insolation et qu'alors il s'élève de ces parois un courant protoplasmique qui fait défaut à la lumière diffuse. Le mouvement des granules n'est déterminé que par les rayons les plus réfrangibles du spectre. D'après MM. Rosanoff, Borscow et Lürssen (1), les rayons jaunes nuisent autant que les rayons bleus aux mouvements du protoplasma dans le *Tradescantia virginica* et les *Urtica* (1).

Chaleur. — Un grand nombre de faits bien observés démontrent l'influence considérable de la chaleur sur les mouvements du protoplasma. Les mouvements des Myxomycètes ne sont jamais plus actifs que quand la température de l'atmosphère atteint une certaine élévation qui ne doit cependant pas être trop considérable. Les courants du protoplasma, les mouvements des organes mobiles, etc., sont également activés par la chaleur lorsqu'elle se maintient dans de certaines limites. Les températures extrêmes, au contraire, qu'elles soient trop

(1) *Bull. Soc. bot. Fr.*, XVIII, bibliogr., 22.

élevées ou trop basses, arrêtent les mouvements du protoplasma en déterminant sa rigidité, puis sa mort (1).

Electricité. — Les courants énergiques constants ou induits déterminent l'arrêt soit momentané, soit définitif, du protoplasma, suivant leur degré d'intensité, mais il faut toujours, pour obtenir le même effet, que le courant constant soit plus énergique que le courant induit. D'après M. Jürgensen (2), lorsqu'on ouvre le circuit d'un courant constant qui traverse les cellules du *Vallisneria spiralis*, le mouvement, s'il n'était que ralenti, reprend assez vite sa rapidité antérieure, mais s'il était arrêté, il ne reparait plus.

D'après M. Kühne (3), sur une portion de Myxomycète soumise à un courant constant, on constate, au moment de la fermeture du circuit, une accélération du courant protoplasmique dirigé du pôle positif au pôle négatif et procédant par secousses. En ouvrant et fermant rapidement le circuit, on ne produit pas d'abord de changement visible dans les courants protoplasmiques, mais bientôt ils s'arrêtent complètement et le protoplasma est tué. Je n'insisterai pas davantage sur ces faits qui peuvent être résumés dans cette proposition : que les courants faibles ralentissent les mouvements du protoplasma et que les courants forts les détruisent. D'après M. Heckel, il y aurait ordinairement, avant la destruction de la motricité, une production de mouvements dans les organes mobiles (4).

(1) DUTROCHET. In *Compt. rend. Ac. sc.* [1857]. — NÆGELI, *Beitr. zur Wiss. Botan.*, II, 77. — MAX SCHULTZE, *Das Protoplasma der Rhizop.* [1863], 46. — J. SACHS, in *Flora* [1864], sér. 5.

(2) *Studien. Des Phytol. Instit. zu Breslau* [1864], I.

(3) *Unters. über das Protopl.* [1864].

(4) *Du mouvement végétal* [1875], 57.

Sensibilité.

Les quelques faits que nous avons analysés dans le chapitre précédent nous ont amené à la conviction que le protoplasma végétal est, comme le protoplasma animal, doué de contractilité. Nous devons maintenant nous demander s'il est capable de recevoir des impressions produites par les agents extérieurs et de réagir contre elles par des mouvements conscients ou inconscients; en un mot s'il est impressionnable et s'il est sensible, si sa sensibilité est consciente ou inconsciente. L'examen d'un certain nombre de faits nous éclairera à cet égard et nous permettra peut-être de résoudre ce difficile problème. Je choisirai ces faits autant que possible parmi des organismes constitués par du protoplasma libre et nu.

M. Nägeli (1) place des spores de *Tetraspora* dans un tube de verre haut de trois pieds, rempli d'eau et placé perpendiculairement de façon que la lumière ne puisse y pénétrer que par le fond; au bout de quelques heures toutes les spores se sont accumulées dans la portion inférieure et éclairée du tube; si, au contraire, il couvrait de papier noir le fond du tube, tandis qu'il laissait la lumière y pénétrer par l'extrémité supérieure, c'est vers cette dernière que se portaient rapidement les spores. M. Thuret (2) a constaté également que les anthérozoïdes des Fucacées se dirigent ordinairement vers la lumière; quelques-uns cependant faisant exception et, au contraire, la fuyant.

M. Lortet a constaté que les anthérozoïdes des *Marchantia* sont sensibles à la lumière et se dirigent vers elle : « Si l'on met, dit-il, dans un petit tube en verre blanc quelques mil-

(1) *Beitrag. zur Wiss. Botan.*, II.

(2) In *Ann. sc. nat.* [1851], XVI, 9.

liers d'anthérozoïdes, après quelques heures d'une immobilité complète, on voit d'une manière très-marquée qu'ils forment une *lactescence* bien plus intense du côté de la lumière que du côté opposé. Cette expérience peut être faite d'une autre manière et d'une façon bien plus saisissante. On prend un tube à analyse chimique, en verre, d'un petit diamètre, et long de deux décimètres environ; on le remplit d'une eau fortement-chargée d'anthérozoïdes, et on le pose horizontalement sur une table exposée à une vive lumière près d'une croisée; une moitié du tube est recouverte d'un papier bleu très-épais. Quelques heures après, si on l'examine attentivement, on voit que la partie du tube exposée à la lumière contient des anthérozoïdes en nombre infiniment plus considérable que celle qui était restée dans l'obscurité. » Les spermogonies du *Valsa nivea* ont offert à M. Lortet les mêmes phénomènes; « laissés, dit-il, en grand nombre dans un vase dont la moitié est dans l'obscurité, ils se dirigent du côté d'où vient la lumière et y forment une lactescence très-visible. » Cependant « la lumière ne paraît pas augmenter la rapidité de leurs mouvements; l'obscurité ne paraît pas les ralentir. La lumière artificielle n'a pas plus d'action sur eux que la lumière solaire (1) ». Ces recherches et celles de M. Itzigsohn (2) sur les spermaties des Lichens contredisent formellement l'opinion de M. Tulasne (3) qui regarde les mouvements des spermaties comme des mouvements browniens et montrent bien l'existence d'une sensibilité incontestable dans le protoplasma des végétaux, car les anthérozoïdes et les spermaties sont constitués par du protoplasma libre et nu. M. Lortet dit qu'au contraire il a toujours

(1) LORTET, *Rech. sur la fécond. et la germ. du Preissia Commutata* [1867], 44, 45.

(2) ITZIGSOHN, in *Bot. Zeit.*, VIII.

* (3) TULASNE, *Mém. pour serv. à l'hist. des Lichens*, in *Ann. sc. nat.*, sér. 3, XVII, 221.

trouvé les spermatozoïdes des animaux insensibles à la lumière.

Des recherches du même ordre, faites par M. Famintzin sur de petites Algues inférieures, les *Chlamydomonas* et *Euglena*, etc., offrent également un grand intérêt. Elles montrent que ces êtres, très-sensibles à la lumière, tantôt la recherchent et tantôt, au contraire, la fuient. Le *Chlamydomonas* et l'*Euglena* « portés dans une chambre s'accumulèrent vers le côté du vase le plus rapproché de la fenêtre. » Les mêmes êtres étant placés dans des soucoupes assez plates pour être éclairées dans tous les points de leur étendue par les rayons du soleil, « je recouvrais, dit l'auteur, d'une petite planche, les soucoupes sur les trois quarts environ de leur surface, laissant à découvert le côté le plus rapproché de la fenêtre. » Dans ces conditions, M. Famintzin constata les résultats qu'il résume de la façon suivante (1) : « 1° Le degré d'intensité de la lumière exerce une influence considérable sur la division et le mouvement de la masse verte ; mais l'effet produit est bien différent de ce qu'on a cru jusqu'ici. Ce ne sont pas les rayons directs du soleil qui excitent le plus vivement la locomobilité des *Chlamydomonas* et des *Euglena*, mais bien la lumière diffuse, ou la lumière de moyenne intensité. » L'expérience suivante démontre bien cette proposition. M. Famintzin place un mélange d'*Euglena* et de *Chlamydomonas* dans deux soucoupes semblables pleines d'eau filtrée. Les deux soucoupes étaient recouvertes d'une petite planche qui les couvrait aux trois quarts du côté le plus éloigné de la fenêtre. L'une des soucoupes fut ensuite placée à l'ombre, et l'autre au soleil. Dans les deux les Algues entrèrent vite en mouvement et se groupèrent, mais pas de la même façon. Dans la soucoupe mise à l'ombre, elles se portèrent toutes vers le bord voisin de la fenêtre ; dans celle qui était exposée au soleil, elles prirent

(1) FAMINTZIN, in *Ann. sc. nat.*, sér. 5, VII, 180.

rapidement la partie éclairée par les rayons solaires et allèrent former une bande transversale au niveau de la ligne d'ombre projetée par la planchette, c'est-à-dire à l'abri des rayons du soleil et dans la lumière diffuse. Ce mode d'agglomération se maintient tant que le vase reste exposé au soleil, mais dès qu'il est atteint par l'ombre que projettent les chassis des fenêtres, les Algues se portent vers le bord le plus voisin de la fenêtre, comme dans la soucoupe placée dès le début à l'ombre. »

M. Cohn avait déjà constaté la sensibilité des *Euglena viridis* à la lumière, mais il admet que l'*Euglena viridis* tend d'autant plus vers la lumière que celle-ci est plus intense; fait qui serait contradictoire des précédents si M. Cohn avait établi une distinction entre la lumière diffuse et la lumière du soleil, ce qui n'est pas indiqué dans ses expériences (1).

L'*Oscillatoria insignis* a offert à M. Famintzin des phénomènes identiques aux précédents. Cette Algue, dont la sensibilité à la lumière a été niée par M. Cohn (2), se dirige comme les précédentes vers la lumière diffuse et fuit les rayons directs du soleil, mais ses mouvements sont plus lents et par suite plus difficiles à constater (3).

« Les effets produits par la lumière sur les organismes verts sont, d'après M. Famintzin (4), dans une certaine mesure, sous la dépendance du liquide dans lequel ils se meuvent. Dans la soucoupe remplie d'eau de la mare filtrée et tenue à l'ombre, tous les individus se réunissent à la surface de l'eau, le long du bord le plus rapproché de la fenêtre et y forment une ligne verte. » Lorsque l'auteur, au lieu de se servir d'eau de la mare dans laquelle vivaient naturellement ses plantes, se servait d'eau de la Newa, le résultat n'était pas le même.

(1) COHN, *Jahresb. der sachs. Gesellsch.* [1863], 103.

(2) COHN, *loc. cit.*, 102.

(3) FAM., *loc. cit.*, 189.

(4) FAMINTZIN, in *Ann. sc. nat.*, sér. 5, VII, 180, 184.

Ces petits êtres paraissaient, pour la plupart, indifférents à la lumière ; un petit nombre d'individus seulement montaient à la surface de l'eau et se groupaient en deux lignes ou séries, dont l'une s'attachait à la paroi de la soucoupe la plus voisine de la fenêtre, c'est-à-dire éclairée, tandis que l'autre se fixait à la paroi opposée, la première cherchant la lumière, la seconde la fuyant ; mais le changement de milieu avait manifestement altéré, diminué la sensibilité du plus grand nombre. Ce fait n'a rien qui doive étonner le physiologiste qui sait bien que les propriétés de tout être vivant se manifestent d'autant mieux que cet être se trouve dans son milieu naturel. D'autres expériences de même ordre, faites par M. Cienkowski, tendent à montrer que la sensibilité des Algues à l'égard de la lumière se modifie avec les diverses périodes du développement de ces êtres. « Les jeunes *Volvox globator*, dit M. Cienkowski (1), s'assemblent dans la partie la plus obscure des vases où on les tient enfermés ; mais, lorsqu'ils sont sur le point de passer à l'état immobile, ils se dirigent vers la lumière. » D'après M. Cohn (2), le *Protococcus pluvialis* recherche la lumière pendant toute sa période végétative, et on le trouve alors à la surface de l'eau, mais au moment de la reproduction, il la fuit et gagne le fond des mares.

D'après M. Famintzin (3), la sensibilité de certaines algues par rapport à la lumière est tellement délicate qu'il suffit « de l'ombre d'un nuage qui passe sur le ciel pour changer le groupement de la masse verte. »

D'autres expériences du même botaniste montrent bien l'impressionnabilité par la lumière des grains protoplasmiques revêtus de chlorophylle. Voici comment il résume lui-même ses expériences : « 1° Les grains de chlorophylle exécutent

(1) CIENKOWSKI, cité par M. Famintzin, *loc. cit.*, 187.

(2) COHN, in *Nov. Act. Ac. S. L. C.*, XXII, 719.

(3) FAMINTZIN, *loc. cit.*, 188.

normalement et tous les jours, dans les cellules des feuilles du *Mnium*, un changement de position; ils occupent pendant le jour la face supérieure et la face inférieure de la cellule, et s'appliquent à leurs parois latérales pendant la nuit. 2° Cette migration de la chlorophylle s'effectue uniquement sous l'influence de la lumière. 3° La position des grains de chlorophylle ne se produit que par les rayons les plus réfrangibles de la lumière artificielle; la lumière jaune agit comme l'obscurité. 4° La migration des grains de chlorophylle est tout à fait indépendante de la position de la plante relativement à l'horizon et s'opère de la même manière, que les plantes soient verticales ou qu'elles soient horizontales » (1). M. Boehm avait déjà constaté des phénomènes analogues sur des feuilles de *Sedum* et de Saxifrage (2). Enfin M. Sachs (3), puis M. Borodin ont fait sur le même sujet des observations récentes d'un grand intérêt, parce qu'elles mettent vivement en relief la sensibilité du protoplasma. D'expériences faites sur le *Lemna trisulca*, le *Stellaria media*, le *Callitriche verna*, M. Borodine tire les conclusions suivantes: 1° Dans les parties vertes de divers Phanérogames, les grains de chlorophylle changent de position sous l'action de la lumière. 2° L'intensité de la lumière a sur la répartition de la chlorophylle une grande influence. 3° A la lumière diffuse du jour, les grains de chlorophylle couvrent les parois parallèles à la surface de l'organe; à la lumière directe du soleil, ils se portent rapidement sur les parois latérales. 4° Les Cryptogames, étudiées à ce point de vue, se comportent comme les Phanérogames. 5° Après une courte insolation, on trouve les grains de chlorophylle uniformément distribués sur les parois latérales; après une plus

(1) Id., Id., 203. — *Bull. Ac. sc. S. Petersb.*, 1866.

(2) BOEHM, in *Compt.-rend. Ac. Vienne* [1866], 22, 511.

(3) SACHS, *Ueber das abwech. Erbleich. und Dunkelwerden der Blätter bei wechs. Belleuch.*, in *Berichte der math. phys. cl. der K. Sächs. Gesellsch. der Wissensch.* [1859], 226.

longue action de la lumière solaire directe (trois quarts d'heure), ils forment des groupes isolés sur les parois latérales. (Je n'ai pu malheureusement étudier les Cryptogames à ce point de vue). 6° L'influence de la lumière du soleil est limitée à la partie insolée; elle pénètre bien cependant dans les couches profondes de la feuille, mais non dans une direction latérale. Deux cellules contiguës d'une même couche peuvent offrir une répartition entièrement différente des grains de chlorophylle. 7° La pâleur des parties vertes des plantes au soleil direct, comme l'apparition des images d'ombres de M. Sachs, résultent de ce changement de position des grains de chlorophylle. 8° A l'obscurité, les grains de chlorophylle de quelques Phanérogames (*Lemna Stellaria*) se portent de même sur les parois latérales. Ainsi, l'absence de lumière produit essentiellement la même répartition des grains de chlorophylle que la lumière solaire directe; seulement, l'action de cette dernière est plus vive et plus intense. 9° Tous les changements de position des grains de chlorophylle sont produits seulement par les rayons les plus réfrangibles de la lumière solaire »(1).

Il semble résulter de ces expériences que les grains de Chlorophylle se portent sur les parois latérales des cellules pour éviter l'action des rayons solaires à laquelle ils se trouvent directement exposés quand ils se trouvent répandus sur les parois horizontales des cellules; mais il est difficile de comprendre pourquoi ils effectuent le même mouvement lorsque la plante est placée dans une obscurité complète, et nous devons attendre que des faits nouveaux viennent nous fournir les éléments d'une interprétation convenable des phénomènes déjà connus. La seule conséquence incontestable, à mon avis, qu'on puisse en tirer pour le moment, est que le protoplasma des grains de chlorophylle, impressionné

(1) BORODIN, *De l'act. de la lum. sur la répart. des gr. de chloroph. dans les part. vert. des phanérog.*, in *Ann. sc. nat.*, sér. 5, XII, 80, t. I, II.

par les rayons lumineux, réagit à la suite de ces impressions par des mouvements ayant un but inconscient, mais déterminé: éviter l'impression produite par le rayon lumineux. Le pigment chlorophyllien lui-même n'est du reste pour rien dans le phénomène, car M. Frank (1) a constaté des changements de position sur des grains de chlorophylle étoilés et même de simples granules protoplasmiques.

Le même botaniste a signalé (2) dans les grains de chlorophylle, des mouvements d'un autre ordre, qui rapprochent ces petites masses protoplasmiques des cellules reproductrices des Cryptogames. Dans les feuilles d'une *Sagittaria sagittifolia*, qui croissait près d'une fenêtre, les grains de chlorophylle manifestaient une tendance très-prononcée à s'accumuler dans les points des cellules le plus fortement éclairés. Les grains de chlorophylle du prothallium de différentes Fougères et des feuilles du *Mnium rostratum* lui présentèrent la même tendance à se diriger vers les points le plus éclairés des cellules. Ces mouvements se manifestaient de la même façon avec les divers rayons du spectre. Le déplacement des grains de chlorophylle était accompagné, d'après M. Frank, de la formation de courants protoplasmiques ayant une direction déterminée. Si, au lieu de nous occuper seulement, comme nous venons de le faire, de la sensibilité de masses protoplasmiques dont les mouvements peuvent être suivis directement, comme les organes reproducteurs des Cryptogames et les grains de chlorophylle, et qui se manifestant sous nos yeux dans le photoplasma restent directement dans notre sujet, nous voulions chercher des manifestations de cette même propriété dans des organes entiers, nous n'aurions que l'embarras du choix; nous pourrions

(1) FRANK, *Berichte über die Verhandl. der Bot. sect. der 42 sten Vers. deutsch. naturf. und Aertz. in Dresers (Flora, n. 31, 492. — Bot. Zeit. [1868], n. 48, 828.*

(2) *Ueber lichtwärts sich bew. Chlorophyllk. in Bot. Zeit. [1871].*

parler du sommeil des feuilles, des organes qui se dirigent vers la lumière (*Heliotropium*) etc., et le siège du phénomène est si peu déterminé scientifiquement, quoi qu'il ne puisse pas être ailleurs que dans le protoplasma, et les faits de cet ordre sont si connus que je ne crois pas devoir m'en occuper ici. Je me bornerai à invoquer, en faveur de l'existence, dans le protoplasma végétal, d'une propriété tout à fait analogue à la sensibilité des animaux, les expériences de M. Bert (1) sur la Sensitive. Les feuilles de cette plante jouissent de deux espèces de mouvements, les uns spontanés et périodiques, caractérisés par ce fait, que les folioles primaires de la plante, après s'être abaissées spontanément pendant les premières heures de la nuit, se relèvent, avant le jour, bien au-dessus du niveau qu'elles conserveront pendant la période diurne, sans qu'on puisse invoquer pour expliquer ces phénomènes de périodicité, ni l'action de la lumière, ni celle de la chaleur. Indépendamment de ce mouvement spontané et périodique, on sait que la Sensitive possède la propriété de rabattre ses folioles les unes contre les autres et d'abaisser son pétiole principal, lorsqu'on excite directement, soit l'une des folioles, soit le pétiole commun, soit la tige, ou même sous l'influence d'une excitation à distance, comme l'ébranlement du sol produit par le passage d'une voiture ou d'un cheval, etc. M. Bert a démontré qu'à l'aide de l'éther et du chloroforme, on pouvait établir une distinction très-nette entre ces deux espèces de mouvements, ces substances supprimant le mouvement provoqué, que j'appellerais volontiers réflexe si la production de ces sortes de phénomènes n'était pas considérée comme exigeant l'existence d'un système nerveux, tandis qu'elles laissent subsister les mouvements périodiques spontanés. Cette action exercée sur la Sensitive, l'éther et le chloroforme l'exercent aussi, on le sait, sur les animaux, et nous trouvons là un nouveau motif d'affirmer

(1) *Recherch. sur les mouvements de la Sensitive*, in *Journ. anat. de Robin* [1867], 549.

que la sensibilité appartient au protoplasma végétal comme au protoplasma animal. « Les mêmes agents, dit M. Cl. Bernard (1), éteignent la sensibilité, abolissent la douleur dans l'être animé et détruisent la faculté de réagir dans le *Mimosa*. L'anesthésie végétale se produit par les mêmes moyens que l'anesthésie animale. » Tandis que la sensibilité de la Sensitive est éteinte par les mêmes agents qui suppriment la sensibilité des animaux, elle est excitée aussi par les mêmes excitants que la sensibilité animale : chocs, secousses, brûlures, substances caustiques, décharges électriques. Comme conclusion de ces faits dont il est inutile de multiplier ici le nombre, nous nous bornerons à citer les paroles de M. Cl. Bernard : « La sensibilité elle-même, condition préalable des manifestations de mouvement, n'est pas l'attribut exclusif des animaux. Beaucoup de plantes en sont douées à un degré plus ou moins éminent. »

Une nouvelle question se présente maintenant : La sensibilité du protoplasma végétal est-elle consciente ou inconsciente ? Dans tous les cas que nous avons cités plus haut, il est bien évident qu'on ne peut essayer de voir rien qui ressemble à une manifestation volontaire ; impressionnés par les vibrations lumineuses, par un choc, une étincelle électrique, etc., la zoospore, le grain de chlorophylle ou la feuille de Sensitive, réagissent par un mouvement toujours semblable à lui-même, et que nous pouvons comparer à ces contractions réflexes qui se produisent dans la patte d'une grenouille décapitée lorsqu'on la pince. La sensibilité, dans tous ces cas, est certainement inconsciente, mais, lorsque les anthérozoïdes d'un *Fucus* vont à la rencontre de l'oosphère pour lui imprimer le rapide mouvement de rotation pendant lequel ils la fécondent, lorsque l'anthérozoïde d'un *Monoblepharis*, à peine sorti de la cellule qui lui a donné naissance, se glisse le long des parois de l'oogone jusqu'à l'ouverture

(1) *Rev. scient.* [1873], 341.

(2) *Id.*, 340.

qui doit lui donner accès auprès de la cellule femelle, il est incontestable que ces organismes manifestent, comme le dit M. Cl. Bernard, « non-seulement la faculté de mouvement, mais le mouvement approprié à un but déterminé, les apparences, en un mot, du mouvement volontaire. »

Analogies entre les propriétés du protoplasma animal et celles du protoplasma végétal. — Conclusion.

Les analogies que nous avons signalées plus haut entre le protoplasma végétal et le protoplasma animal, au point de vue des propriétés physiques et chimiques, se retrouvent aussi complètes en ce qui concerne les propriétés d'ordre organique. Les phénomènes fondamentaux de la nutrition, de l'évolution, sont les mêmes dans les deux formes de protoplasma ; ils se nourrissent de la même façon, respirent de la même façon, et, si l'on a pu croire à quelque différence ou antagonisme entre les deux, cela tient uniquement à la présence dans le protoplasma de certains organes végétaux d'un pigment surajouté, la chlorophylle, dont les propriétés réductrices voilent les propriétés propres à la substance protoplasmique qui en est revêtue. Au point de vue de l'évolution, la ressemblance est encore aussi parfaite que possible ; la substance protoplasmique individualisée, soit animale, soit végétale, parcourant toujours, à partir de sa naissance, une courbe ascensionnelle d'abord, puis descendante, qui se termine par la mort et le retour de ses molécules au monde inorganique d'où elles étaient sorties. Les modes de reproduction sont les mêmes, et, enfin, nous avons vu que les propriétés dites animales, contractilité et sensibilité, appartenaient aussi bien au protoplasma végétal qu'au protoplasma animal. Nous pouvons ajouter que, dans les degrés inférieurs des deux règnes, alors que les individus sont réduits à une masse protoplasmique libre et nue, il est impossible de dire si cette substance est du protoplasma animal ou du protoplasma

végétal. Ainsi, analogie de structure, analogie de composition élémentaire, analogie de propriétés physiques, chimiques et organiques, tel est le résultat auquel nous conduit cette étude du protoplasma végétal, et nous pouvons formuler de la façon suivante les conclusions de notre travail : Il n'y a pas deux protoplasmas, l'un animal, l'autre végétal ; il n'y a pas deux matières organisées ; *l'animal et le végétal ne sont que deux formes de cette unité, la matière vivante ou protoplasma.*

TABLE DES MATIERES.

CHAPITRE I. — Ce qu'il faut entendre par protoplasma végétal....	1
CHAPITRE II. — Propriétés physiques du protoplasme végétal.....	18
§ 1, Formes diverses, 18; § 2, Coloration, 22; § 3, Propriétés endosmotiques, 23; § 4, Constitution physique moléculaire, 28; § 5, Elasticité.....	31
§ 6, Analogies des propriétés physiques du protoplasma végétal avec les propriétés du même ordre du protoplasma animal.....	32
CHAPITRE III.—Propriétés chimiques du protoplasma végétal....	35
§ 1, Composition immédiate, 35; § 2, Réactions chimiques.....	36
§ 3, Analogies qui existent entre les propriétés chimiques du protoplasma végétal et celles du protoplasma animal.....	41
CHAPITRE IV. — Propriétés organiques du protoplasma végétal... 42	42
SECTION I. — Propriétés végétatives.....	45
NUTRIBILITÉ.....	45
§ 1, Phénomènes de nutrition dont le protoplasma végétal est le siège, 47; Nutrition du protoplasma incolore, 49; Respiration du protoplasma incolore, 55; Nutrition des végétaux à protoplasma coloré par la chlorophylle, 57; Absorption, 63; Assimilation, 64; Production de chaleur, 65; Phosphorescence.....	67
§ 2, Influence des agents extérieurs sur la nutrition du protoplasma végétal.....	68
Lumière blanche, 68; Lumière colorée; Température, 74; Te péature extérieure; Froid, 77; Chaleur, 81; Electricité; Gaz de l'atmosphère et pression atmosphérique, 86; Poisons.....	87
§ 3, Produits de désassimilation du protoplasma végétal, 88; suc cellulaire, 89; Pigment chlorophyllien, 89; Produits azotés, 93; Cristalloïde, 94; Aleurone, 94; Amidon, 96; Inuline, 98; Paroi cellulosique, 98; Produits à évolution et rôle peu connus.....	100
EVOLUBILITÉ.....	101
Naissance, 103; N. dans un milieu inorganique, 103; N. dans un milieu organisé, 107; Genèse de masses protoplasmiques nouvelles dans du protoplasma vivant, 112; Segmentation du protoplasma pour former des individualités nouvelles, 114; Bourgeonnement du protoplasma, 116; Formation d'une individualité nouvelle par réunion de plusieurs masses protoplasmiques distinctes, 117; Formation d'une individualité nouvelle par fusion de deux masses protoplasmiques distinctes, 118; Accroissement et décroissement du protoplasma, 119; Mort du protoplasma végétal.....	125
SECTION II. — Propriétés animales du protoplasma végétal.....	127
CONTRACTIBILITÉ.....	127
Influence des agents extérieurs sur la contractilité.....	136
SENSIBILITÉ.....	139
Analogies qui existent entre les propriétés du protoplasma végétal et celles du protoplasma animal. — Conclusion.....	149

A la librairie O. Doin, 2, rue Antoine-Dubois.

- RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR LE SPASME DES VOIES BILIAIRES, à propos du traitement de la colique hépatique et sur l'ictère mécanique, par le D^r *Audigé*, ancien externe des Hôpitaux de Paris, in-8° de 60 pages, prix 2 fr. »
- DES ÉRUPTIONS CUTANÉES CONSÉCUTIVES AUX LÉSIONS TRAUMATIQUES. par *André Picaud*, docteur en médecine de la Faculté de Paris, Paris 1875, in-8° de 50 pages, prix 2 fr. »
- DE L'EMPLOI THÉRAPEUTIQUE DU PHOSPHORE, DANS QUELQUES AFFECTIONS DU SYSTÈME NERVEUX, par *Eugène Lemaire*, docteur en médecine de la Faculté de Paris. Paris 1875, in-8° de 110 pages, prix 2 fr. 50
- DE LA PNEUMONIE DANS LA GROSSESSE, par *Louis Ricau*, docteur en médecine de la Faculté de Paris. In-8° de 53 pages, prix 1 fr. 50
- DU TRAITEMENT DE LA FOLIE, PAR LE CHLORHYDRATE DE MORPHINE, par le D^r *Auguste Voisin*. In-8° de 54 pages, prix 1 fr. 50

S O U S P R E S S E

TRAITÉ DES MALADIES DES YEUX, par le D^r *Charles Abadie*, ancien interne des hôpitaux, professeur libre d'ophtalmologie.

Cet ouvrage comprendra un exposé complet des récentes découvertes ophtalmologiques et formera deux volumes contenant un grand nombre de figures originales dessinées d'après nature et intercalées dans le texte, ainsi que plusieurs planches hors texte en chromolithographie.

LE TOME I^{er} PARAÎTRA PROCHAINEMENT.

Paris. — A PARENT, imp. de la Faculté de Médecine, rue M.-le-Prince, 31.



581.811 N600 c.1

Du protoplasma vgtal



086 795 447

UNIVERSITY OF CHICAGO