

La Revue scientifique de la France et de l'étranger

Bd.: 1876/77,2 = Sér. 2, Jg. 6, T. 12 = T. 19

Paris 1877

4 Per. 16 ek-1876/77,2

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11353219-6

paraître, lorsqu'on l'administre à l'intérieur, les états morbides dont le malade est affecté.

Cette méthode de thérapeutique un peu hasardée a fait beaucoup de tort à la théorie de M. Burq; aujourd'hui il est parvenu à attirer sérieusement l'attention sur ses expériences. Physiciens, chimistes et physiologistes, appelés par M. Charcot, étudient la question avec ardeur; il en sortira certainement quelque chose, tant au point de vue de la science pure que de la pratique et de la thérapeutique.

N'y a-t-il qu'un phénomène attribuable à l'électricité ou à une force physique ou chimique analogue? — ou bien intervient-il un phénomène *vital*, puisque ce mot signifie tout ce que la science d'aujourd'hui ne sait pas rattacher à ces forces élémentaires? — Espérons que bientôt l'expérimentation, maniée par des mains aussi habiles, nous fournira à ce sujet des données concluantes.

— Voici des chiffres d'un grand intérêt, que nous trouvons dans le journal de la *Société de statistique de Paris*. Ils ont trait à la fécondité des mariages en France et à l'étranger, et prouvent malheureusement de la façon la plus incontestable que nous venons sous ce rapport au dernier rang des nations de l'Europe :

Si l'on considère mille femmes mariées et âgées de quinze à cinquante ans, on constate en France 173 naissances annuelles, en Angleterre 268, en Allemagne 275, etc.

Mais ce qui est plus attristant encore, c'est la diminution progressive, constatée par des chiffres officiels, de la fécondité des mariages français. — A quoi attribuer cette décroissance de la population? — L'auteur de l'article où nous trouvons ces chiffres, M. Léon Vacher, député de la Corrèze, n'y trouve qu'une explication rationnelle: c'est la division croissante de la propriété immobilière en France, et il en cherche la preuve dans la statistique. — C'est là une question intéressante et qui mérite une étude approfondie.

— La *Washington Gazette* rend compte d'une curieuse application industrielle des momies égyptiennes. Il paraît que le bitume dans lequel ces momies sont conservées se prête merveilleusement à la préparation d'une couleur particulière tirant sur le brun et fort appréciée des peintres. La fabrication de cette couleur par ce procédé se pratique beaucoup en Europe aussi bien qu'en Amérique. L'industrie est plus intéressée qu'on ne le croit à l'exhumation de toutes ces antiquités dont on ne semble guère se préoccuper jusqu'ici en dehors du monde des archéologues. Il est plus d'un produit empirique aujourd'hui perdu, plus d'un procédé oublié que quelque vieux monument pourra nous révéler un jour ou l'autre.

— ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT. — M. le ministre des travaux publics, répondant à une invitation qui lui avait été faite par les représentants de Reims, s'est rendu dans cette ville pour y voir, par lui-même, les essais qui s'y poursuivent depuis plusieurs mois en vue de l'épuration des eaux d'égout.

Il a visité le champ d'expériences, accompagné des sénateurs et de la plupart des députés de la Marne, de M. le préfet du département, de M. le maire de Reims et d'un grand nombre de conseillers municipaux, d'industriels et d'ingénieurs.

Les eaux d'égout y sont amenées par un canal à ciel ouvert qui se prolonge jusqu'à la Vesle, et le long duquel on a établi la rigole par laquelle s'écoulent les eaux épurées, ce qui permet d'apprécier de la manière la plus frappante le résultat obtenu.

Ce résultat paraît des plus satisfaisants.

Les eaux arrivent aux bassins d'épuration chargées de matières grasses et colorantes, de déchets de laine et de résidus de toute sorte qu'y jettent les usines de la ville.

A l'origine de ces bassins elles sont traitées par des réactifs qui déterminent la précipitation prompte et abondante des substances qui s'y trouvent mêlées; de telle sorte qu'après avoir serpenté dans une série de réservoirs où elles déposent les matières qu'elles tiennent en suspension, elles en sortent à l'état limpide et à peu près complètement dépourvues, non-seulement de couleur, mais même de saveur.

Les auteurs du procédé évaluent à 0 fr. 007 au maximum le prix d'épuration de 1 mètre cube d'eau d'égout, et ce prix pourrait être réduit dans une assez forte proportion si les dépôts qui se forment dans les bassins et qui sont très-riches en azote trouvaient dans l'agriculture un débouché important.

Les essais d'épuration se font à Reims depuis assez longtemps et sur une assez grande échelle pour qu'il paraisse possible d'en apprécier aujourd'hui d'une manière assez exacte, non-seulement le mérite scientifique, mais la valeur pratique.

Le ministre a promis la création d'une commission spéciale char-

gée d'examiner le procédé pour en faire ressortir la valeur d'une manière exacte.

— Dans la séance du 3 janvier 1877, M. l'amiral Paris, président sortant, a fait connaître à l'Académie des sciences l'état où se trouve l'impression des divers recueils en cours de publication. Nous extrayons de son rapport le passage suivant relatif aux *Mémoires de l'Académie* :

« Le tome XXXIX, divisé en deux parties, est réservé aux travaux de M. Chevreul. La première partie renferme des recherches chimiques sur la teinture; treize feuilles de ce mémoire sont tirées. L'imprimerie n'a plus de copie.

» La deuxième partie contient les mémoires dont les titres suivent : 1° D'une erreur de raisonnement très-fréquente dans les sciences du ressort de la philosophie naturelle qui concernent le concret; 2° La science devant la grammaire: huit feuilles; 3° L'enseignement devant l'étude de la vision: quatorze feuilles; 4° L'explication de nombreux phénomènes qui sont une conséquence de la vieillesse: quarante feuilles.

» Cette deuxième partie se terminera par l'histoire des principales opinions que l'on a eues de la nature chimique des corps de l'espèce vivante.

» L'imprimerie a épuisé sa copie. »

— L'Académie royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique (classe des beaux-arts) vient de publier le programme de ses concours pour 1878 :

Sujets littéraires. — Première question: Rechercher les origines de l'école musicale belge. Démontrer jusqu'à quel point les plus anciens maîtres de cette école se rattachent aux chanteurs français et anglais du XII^e, du XIII^e et du XIV^e siècle.

Deuxième question: Faire l'histoire de la céramique au point de vue de l'art, dans nos provinces, depuis l'époque romaine jusqu'au XVIII^e siècle.

Troisième question: Faire l'histoire de l'école de gravure sous Rubens. Donner un aperçu historique sur les éditeurs des produits de cette école et sur l'exploitation commerciale contemporaine qui fut faite de ces gravures dans tous les pays.

Quatrième question: Déterminer les caractères de l'architecture flamande du XVI^e et du XVII^e siècle. Indiquer les édifices des Pays-Bas dans lesquels ces caractères se rencontrent. Donner l'analyse de ces édifices.

La valeur des médailles d'or, présentées comme prix pour chacune de ces questions, est de 1000 francs pour la première et pour la quatrième, et de 800 francs pour la deuxième et pour la troisième.

Sujets d'art appliqué. — Peinture: On demande le carton d'une frise décorative qui serait placée à 5 mètres du sol dans un monument public, et représentant les phases successives du travail de la pierre depuis son extraction de la carrière jusques et y compris sa mise en œuvre dans la construction des édifices.

Le carton aura 0^m,75 de haut sur 2^m,25 de développement.

Un prix de 1000 francs sera décerné à l'auteur de l'œuvre couronnée.

Gravure: Un prix de 600 francs sera accordé à l'auteur de la meilleure gravure qui aura paru du 1^{er} janvier 1877 au 1^{er} septembre 1878, et exécutée en taille-douce, en eau-forte, en manière noire ou en aqua-tinte, d'après un maître ancien ou moderne de l'école belge.

Les cartons et gravures ne seront admis que complètement terminés et devront être remis au secrétariat de l'Académie avant le 1^{er} septembre 1878.

— D'après le *Tour du monde*, une compagnie américaine se propose de peupler le lac Supérieur de loups marins qu'elle transporterait d'Alaska. On pense que l'eau du lac est assez froide pour eux. La compagnie va demander au congrès américain et au parlement canadien l'adoption d'une loi défendant de tuer ces animaux pendant vingt ans, après quoi ils se seront assez acclimatés et multipliés pour qu'on leur fasse la chasse.

— M. le docteur Jaccoud, récemment nommé professeur de pathologie interne à la Faculté de médecine, a commencé son cours mercredi dernier, à trois heures. Plus de deux mille élèves se pressaient dans le grand amphithéâtre, dans les couloirs et jusque dans les cours de l'École pour applaudir le sympathique professeur; un grand nombre l'ont même accompagné à la sortie au milieu des acclamations les plus enthousiastes.

Le propriétaire-gérant: GERMER BAILLIÈRE.

REVUE SCIENTIFIQUE

DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

REVUE DES COURS SCIENTIFIQUES (2^E SÉRIE)

DIRECTION : MM. EUG. YUNG ET ÉM. ALGLAVE

2^E SÉRIE — 6^E ANNÉE

NUMÉRO 33

10 FÉVRIER 1877

LA CHIMIE DES PLANTES (1)

Quelle que soit l'analogie de composition élémentaire, de structure et même de fonctions que l'on puisse établir entre les animaux et les plantes; quelque rapprochement que l'on puisse faire entre la vie de la fleur, le développement de l'embryon durant la germination, et la vie animale; quelque inextricable même que soit l'assemblage des deux règnes aux limites extrêmes qui comprennent les êtres inférieurs, un grand fait général domine toute l'histoire des végétaux phanérogames : ils vivent d'eau, d'acide carbonique, de nitrates, de sulfates, etc., et fabriquent avec ces matériaux chimiquement saturés les principes organiques les plus complexes. Quelle est l'archée de cette vie végétale? Par quels intermédiaires les substances minérales passent-elles à l'état de sucres, de tannin, de bois, de graisses, de matières protéiques? Quelles sont les lois de cette chimie des plantes? Telles sont les questions délicates que je me propose d'aborder dans cet article. Elles me préoccupent depuis longtemps, et peut-être le lecteur trouvera-t-il quelque intérêt à me suivre sur ce terrain vierge qui nous réserve, je crois, bien des surprises et bien des découvertes.

I

FABRICATION DES PRINCIPES IMMÉDIATS NON AZOTÉS

Avant d'aborder le problème chimique lui-même, qu'on me permette de rappeler rapidement quelques notions d'anatomie et de physiologie végétales qui sont indispensables pour l'intelligence de la partie spéciale de mon sujet.

La vie élémentaire de la plante se passe dans la cellule. Celle-ci est essentiellement formée d'un protoplasma granuleux organisé, d'abord homogène et plein dans sa jeunesse, qui s'entoure, en général, d'une membrane cellulosique, et se creuse d'une cavité ou sac cellulaire. Cette cavité va sans cesse en augmentant de diamètre et repousse à l'extérieur le tissu protoplasmique. A mesure que la cellule vieillit, le protoplasma s'amincit, se résorbe ou disparaît en partie, tandis que le suc, ou séve cellulaire, s'enrichit en matériaux organiques qui de là pourront postérieurement émigrer dans d'autres parties du végétal. Durant toute cette période d'activité la cellule vivante est le siège de trois principales fonctions : 1^o elle fabrique des matières organiques, grâce aux substances minérales que lui apporte sans cesse la circulation générale de la plante ; 2^o elle se nourrit et respire, c'est-à-dire qu'elle se détruit et se reproduit moléculairement, pendant qu'elle fonctionne en se servant des sucres nutritifs à sa portée, et tout en absorbant de l'oxygène et dégageant de l'acide carbonique ; 3^o elle se reproduit, c'est-à-dire qu'elle passe à certaines de ses molécules la puissance de vivre, de croître et de se reproduire comme elle.

La fonction de nutrition et de respiration, et celle de reproduction, et des fonctions plus obscures chez les végétaux, telles que la sensibilité, la contractilité, etc., sont communes aux plantes et aux animaux : c'est par elles qu'on a rapproché avec raison les deux règnes ; elles sont essentiellement d'ordre vital et ne doivent pas nous préoccuper ici. Mais cette série d'actes par lesquels la cellule fabrique de toutes pièces la substance organique dont elle vivra ou fera vivre d'autres parties du végétal, constitue une fonction tout à fait propre aux parties vertes des plantes. L'organe de cette fonction est la granulation chlorophyllienne, et la force matérielle que met en jeu cet instrument compliqué pour décomposer l'eau et l'acide carbonique réside dans les vibrations lumineuses.

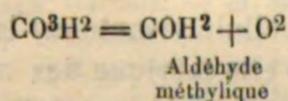
Je ne ferai pas l'historique, si souvent reproduit, de cette découverte. Priestley, Ingenhousz, Senebier, Th. de Saussure, etc., ont successivement concouru à démontrer que sous l'influence de la lumière les parties vertes des plantes fabriquent

(1) Conférence du samedi, faite au laboratoire de M. Wurtz, par M. A. Gautier.

avec de l'acide carbonique des matières combustibles et dégagent de l'oxygène à peu près en volume égal à celui de l'acide carbonique disparu. Quoique plus tard Garreau, Boussingault, Sachs et d'autres aient démontré qu'en même temps qu'elle agit comme organe de réduction par ses cellules chlorophylliennes, la plante consomme aussi de l'oxygène et dégage de l'acide carbonique à l'obscurité et même à la lumière, ce fait dans lequel consiste la vraie fonction respiratoire des plantes, et qui résulte de la nutrition moléculaire et du fonctionnement vital du protoplasma, n'en laisse pas moins en évidence ce résultat définitif, que les végétaux transforment en matières organiques combustibles les principes minéraux saturés d'oxygène.

Cette fonction singulière a pour organe, disions-nous, la granulation chlorophyllienne, petite masse de protoplasma saturé d'une matière verte qui paraît ne pas être combinée à la substance albuminoïde qui lui sert de substratum, car on peut l'en extraire sous l'influence d'une foule de dissolvants neutres. C'est dans le grain de chlorophylle seulement que se fabriquent à la lumière les matériaux qui serviront d'aliment à la plante, matériaux que le protoplasma digérera et organisera dans les parties obscures du végétal, ou durant la nuit. On sait, en effet, que les parties vertes seules décomposent l'acide carbonique et dégagent de l'oxygène, tandis que dans les parties jeunes protégées contre la lumière, telles que les bourgeons, naissent incessamment des cellules nouvelles qui, dans le végétal pris dans son entier, se forment surtout pendant la nuit aux dépens des matériaux accumulés dans le jour par la fonction chlorophyllienne (1).

On n'a pas donné d'explication de cette remarquable propriété réductrice de la granulation verte. On tend à penser seulement que, sous son influence, l'hydrate normal d'acide carbonique $\text{CO} < \begin{matrix} \text{OH} \\ \text{OH} \end{matrix}$ est dédoublé suivant l'équation



et que l'aldéhyde COH^2 en se sextuplant peut donner le sucre $\text{C}^6\text{H}^{12}\text{O}^6$, lequel à son tour par duplication ou triplication et perte d'eau donnerait la cellulose $\text{C}^{18}\text{H}^{30}\text{O}^{15}$; que de l'oxydation de ces corps résultent sans doute les graisses et les acides; qu'enfin sous l'influence de l'ammoniaque provenant de la réduction des nitrates se formeraient, aux dépens des radicaux précédents, les divers alcaloïdes végétaux et les matières albuminoïdes. Ce sont là autant d'hypothèses d'autant plus faiblement appuyées qu'on n'a pu encore en réaliser directement aucune par les procédés chimiques ordinaires.

Étudions attentivement les faits eux-mêmes. Lorsque le végétal est conservé dans l'obscurité, sa chlorophylle verte disparaît, mais elle peut reparaitre très-rapidement, surtout dans les parties exposées à la lumière; toutefois, dans les cellules végétales étiolées qui doivent verdier, la substance qui peut donner naissance à la chlorophylle existe, car il suffit de les traiter par de l'acide sulfurique pour les voir instantanément se colorer en vert (Sachs). D'autre part, prenons cette

chlorophylle verte et soumettons-la à l'action de l'hydrogène naissant: elle se décolore, et se recolorera plus tard à l'air à la façon de l'indigo. Il existe donc une modification de la chlorophylle, soit plus pauvre en oxygène, soit plutôt plus riche en hydrogène, que nous appellerons *chlorophylle blanche*, douée d'une aptitude singulière à réduire les corps oxygénés. La chlorophylle verte et la chlorophylle blanche sont entre elles dans les rapports de l'indigo bleu et de l'indigo blanc ou de la quinone et de l'hydroquinone. On sait du reste que l'arbutine et la salicine se rencontrent à côté de la chlorophylle dans les feuilles et les bourgeons de beaucoup de plantes; et que la salicine et l'arbutine donnent, sous l'influence des acides étendus et de certains ferments, l'une de la saligénine et du sucre, l'autre de l'hydroquinone et du sucre. Or l'hydroquinone, qui possède deux atomes d'hydrogène de plus que la quinone, se transforme très-aisément en cette dernière substance par oxydation, en réduisant des corps assez stables. Une solution d'hydroquinone versée dans l'acétate de cuivre le réduit à l'état d'acétate de protoxyde, et en précipite l'oxydure à l'ébullition en se transformant elle-même en quinone par perte de H^2 . Par son pouvoir réducteur et par la propriété qu'elle a de s'unir à l'hydrogène naissant et de céder aussi aisément son hydrogène aux corps oxydés, la chlorophylle incolore ressemble donc entièrement à l'hydroquinone, et l'on vient de dire que ces substances ou leurs dérivés immédiats se retrouvent souvent côte à côte dans les mêmes cellules végétales.

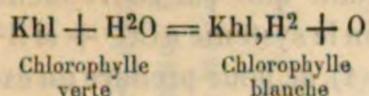
D'autre part, on ne saurait douter que dans les cellules chlorophylliennes des plantes, l'eau ne soit décomposée. En effet, on sait que toutes les parties non vertes du végétal absorbent de l'oxygène et dégagent de l'acide carbonique le jour et la nuit. Or malgré le jeu continu de cette vraie fonction respiratoire, corollaire et complémentaire de la fonction nutritive, le volume d'oxygène exhalé par le végétal est presque égal et quelquefois supérieur à celui de l'acide carbonique disparu. Pour que cette égalité ait lieu, il faut que dans les parties vertes de la plante considérées séparément il y ait fabrication d'un volume d'oxygène supérieur à celui qui est contenu dans le volume d'acide carbonique disparu, de toute la somme des volumes d'oxygène consommé et d'acide carbonique produit par la respiration, c'est-à-dire par la combustion proprement dite des parties non chlorophylliennes du végétal. En un mot, il faut que l'eau soit décomposée par la granulation chlorophyllienne, puisque le volume d'oxygène exhalé par elle est toujours plus grand que le volume de celui qui est contenu dans tout l'acide carbonique qu'on lui fournit.

C'est là un résultat absolu d'expérience qui n'est resté jusqu'ici obscur que parce qu'on n'a tenu compte que de l'égalité approximative des volumes d'acide carbonique disparu et d'oxygène exhalé, et surtout que l'on a confondu dans la même observation l'ensemble des produits gazeux résultant à la fois des fonctions respiratoire et chlorophyllienne.

Puis donc que nous savons d'autre part que sous l'influence de l'hydrogène naissant la *chlorophylle verte* passe à l'état de *chlorophylle blanche*, et que nous venons de voir qu'il est impossible d'échapper à cette conclusion que la chlorophylle verte décompose l'eau sous l'influence des rayons lumineux, si, pour simplifier nos équations, nous représentons la chlo-

(1) M. le professeur Marey a démontré que l'accroissement du végétal en hauteur n'a lieu que pendant la nuit, c'est-à-dire au moment où il dégage de l'acide carbonique, et vit à la façon de l'animal aux dépens des matériaux combustibles fabriqués durant le jour.

rophylle verte par le symbole Khl, la chlorophylle blanche par Khl, H², nous aurons :



Ainsi produite par la décomposition de l'eau, la chlorophylle blanche, en passant sous l'influence des rayons solaires son hydrogène aux corps réductibles, tels que l'acide carbonique, repassera à l'état de chlorophylle verte Khl, puis se rechargera d'hydrogène aux dépens de l'eau pour devenir encore réductrice et se recolorer, et ainsi de suite indéfiniment (1).

Cette décomposition de l'eau sous l'influence de la chlorophylle verte insolée est tout à fait l'analogue de la décomposition de l'eau par le chlore ou même par l'iode, à la lumière solaire, quoique dans ce dernier cas l'acide iodhydrique qui résulte de cette action puisse céder son hydrogène avec la plus grande facilité aux corps aptes à se réduire. Le fer d'ailleurs décompose facilement l'eau à la température ordinaire, et son protoxyde passe lentement au sein de l'eau à l'état d'oxyde magnétique en mettant l'hydrogène en liberté.

Remarquons encore ici que les rayons lumineux qui excitent le mieux la fonction chlorophyllienne sont les rayons orangés, tandis que les rayons verts n'ont sur le dégagement d'oxygène presque aucune influence. Or la lumière réfléchie par les plantes est la lumière verte; il faut donc que les rayons les plus actifs et les plus puissants au point de vue calorifique et mécanique se trouvant éteints ou absorbés par la granulation chlorophyllienne, celle-ci transforme toute leur force vive en action chimique. C'est à cette puissante source que la chlorophylle, apte d'ailleurs à s'hydrogéner, comme on l'a vu plus haut, puise l'énergie nécessaire pour décomposer l'eau qui la baigne et s'emparer de son hydrogène.

Le grain de chlorophylle à protoplasma albuminoïde contractile, doué de mouvements amiboïdes qu'excite la lumière, imprégnée d'une substance ferrugineuse, apte à former des combinaisons instables avec l'hydrogène, semble donc dans la plante être l'analogue de ce qu'est dans l'animal le globule du sang, à trame protéique mécaniquement unie à cette hémoglobine apte à s'oxyder et à se désoxyder avec la plus grande facilité en passant son oxygène à ces matières organiques oxydables que la chlorophylle avait réduites par un mécanisme de navette analogue, mais contraire dans son résultat.

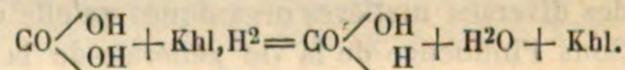
(1) On peut s'expliquer que dans l'obscurité la chlorophylle verte se décolore, quand on sait que la chlorophylle formée pendant l'insolation conserve son pouvoir réducteur dans l'obscurité durant quelques heures. La chlorophylle verte et la chlorophylle blanche ainsi produites peuvent s'unir pour former un corps incolore, à peu près comme de l'union de la quinone à l'hydroquinone, substances, on l'a vu plus haut, analogues aux chlorophylles, résulte la quinhydrone. On s'expliquerait ainsi l'observation faite par Sachs que les cellules chlorophylliennes blanchies à l'obscurité verdissent sous l'influence de l'acide sulfurique, cet acide dédoublant la combinaison précédente en chlorophylle verte et blanche. De même aussi la chlorophylle décolorée par les alcalis se dédoublerait par les acides dans les corps jaunes et bleus que M. Fremy a nommé phyloxanthine et phylocyanine. Mais ces hypothèses, qu'on les admette ou non, ne sont pas nécessaires à notre sujet.

Gueltard, en 1748, et M. Dehérain, de nos jours, ont montré que l'évaporation de l'eau par les plantes suit la loi de la décomposition de l'acide carbonique, et que la lumière jaune qui produit le dégagement d'oxygène le plus actif donne aussi, pour des températures égales, la plus grande exhalation d'eau. Ainsi, pour des feuilles de blé maintenues à 15 degrés, M. Dehérain a trouvé en une heure :

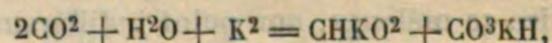
	I	II
Eau évaporée au soleil.....	0 ^{gr} ,168	0 ^{gr} ,182
A l'obscurité.....	0 001	0 003

L'extinction des rayons jaunes par la plante met donc à sa disposition une certaine quantité de force vive qui se transforme partiellement en chaleur latente de vaporisation, en même temps qu'elle permet à la chlorophylle de décomposer l'eau qui imprègne son protoplasma, et qu'elle tend à activer les actions chimiques dont la chlorophylle ainsi hydrogénée va devenir l'agent.

Or le végétal trouve à sa portée de l'acide carbonique à l'état d'hydrate CO³H², et agit sur lui comme un puissant réducteur en donnant très-probablement d'abord de l'acide formique :

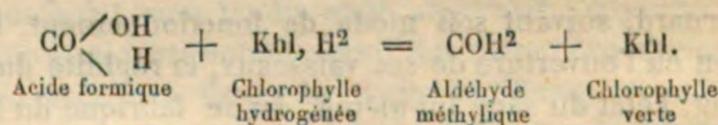


Cette réduction de l'hydrate d'acide carbonique sous l'influence de l'hydrogène naissant provenant de la chlorophylle hydrogénée est rendue très-probable par les considérations suivantes. Kolbe et Schmidt, en faisant agir sur l'acide carbonique l'hydrogène naissant provenant de la décomposition de l'eau par le potassium, ont obtenu du formiate et du bicarbonate de potasse :

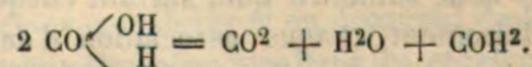


et Maly a obtenu ce même acide formique en faisant agir à froid sur le carbonate d'ammoniaque l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau par l'amalgame de sodium (*Bull. Soc. chim.*, t. VI, p. 59). D'ailleurs, on trouve l'acide formique dans beaucoup de plantes. On l'a signalé dans les feuilles de pin et de sapin, dans celles de rhubarbe, d'orties, dans les fruits de saponaire, les tamarins, etc.

A son tour l'acide formique provenant de la réduction de l'acide carbonique hydraté peut être réduit par le mécanisme précédent :



Ou bien deux molécules d'acide formique s'unissent en perdant de l'acide carbonique et de l'eau :



Cette décomposition peut avoir partiellement lieu sous cette dernière forme avec les formiates. J'ai chauffé à température assez basse du formiate de plomb mêlé de litharge. Il s'est dégagé de l'eau et de l'acide carbonique. La liqueur distillée dans de l'eau très-froide, saturée de litharge, puis distillée de nouveau avec précaution, m'a donné une liqueur d'odeur vive rappelant un peu l'acroléine, qui contenait un produit passant à basse température, réduisant légèrement le nitrate

d'argent ammoniacal à 100 degrés et jaunissant par la potasse. L'aldéhyde méthylique présente ces caractères (1).

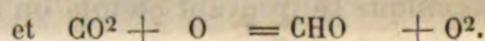
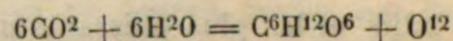
Remarquons maintenant que ce serait faire une hypothèse gratuite à laquelle rien n'autorise, que d'admettre que la chlorophylle hydrogénée ne réduit sous l'influence des rayons solaires que l'association d'eau et d'acide carbonique qui constitue l'hydrate normal $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Si en général pour 1 volume de CO_2 disparu apparaît 1 volume de O, on sait que le volume d'oxygène est en moyenne un peu inférieur à celui de l'acide carbonique, mais qu'il peut aussi, d'après les expériences de M. Boussingault, être un peu plus grand. J'ai fait remarquer de plus que la concomitance des deux fonctions respiratoire et chlorophyllienne enlève toute valeur aux remarques théoriques qu'on pourrait déduire de l'égalité de ces deux volumes. On doit donc, pour ne point faire d'hypothèse particulière sur la décomposition de l'eau et de l'acide carbonique dans les feuilles, admettre que la chlorophylle peut réduire par son hydrogène les associations d'eau et d'acide carbonique diverses que met à sa portée la vie de la plante. Et ceci va nous amener, par une voie bien imprévue, à nous expliquer l'influence de la texture et du fonctionnement vital du protoplasma de la cellule sur la production des diverses matières organiques qu'elle est apte à former. Sous l'influence de la vie générale de la plante, le système vasculaire et le milieu ambiant apportent sans cesse à la cellule une certaine quantité d'eau et d'acide carbonique; le protoplasma s'en empare et diffuse ce mélange suivant des lois qui sont spéciales à son tissu et à son fonctionnement vital. Il met ainsi à la disposition de la chlorophylle des associations d'eau et d'acide carbonique particulières à chaque cellule et à chaque instant de son mode de vie. Voilà la matière première que va travailler le grain de chlorophylle; elle va réduire ce mélange, non point indifféremment ou en totalité, mais *proportionnellement à cette quantité d'hydrogène libre que le rayon lumineux accumulera en un temps donné dans la masse de chlorophylle verte contenue dans la cellule*. On conçoit donc comment agit pour la production des matières organiques spéciales, d'un côté la *forme et le fonctionnement vital* du protoplasma, qui fera varier dans ses rapports le mélange $n\text{CO}_2 + m\text{H}_2\text{O}$; de l'autre, l'*action lumineuse*, dont le résultat final sera d'enlever à ce mélange une quantité d'oxygène plus ou moins grande. Il se passe ici un phénomène tout à fait analogue à la vie de la glande chez l'animal; comme l'a fait si bien observer notre illustre physiologiste Cl. Bernard, suivant son mode de fonctionnement, la contraction ou l'ouverture de ses vaisseaux, la rapidité du cours du sang, l'état du sang lui-même, ici se fabrique du lait, là du suc gastrique, ailleurs du sucre ou de la bile, et dans une glande unique elle-même peuvent se produire les réactions les plus variées.

Nous allons donc admettre que, suivant chaque cellule et son état d'éclairement, chaque association d'eau et d'acide carbonique pouvant varier d'après le mode de fonctionnement du protoplasma dans des limites assez larges, est réduite par la chlorophylle hydrogénée. Nous allons chercher

les divers composés organiques qui pourront résulter de l'une de ces associations quelconques d'eau et d'acide carbonique, en admettant que par sa réduction grâce à l'hydrogène chlorophyllien le système $n\text{CO}_2 + m\text{H}_2\text{O}$ perde 1, 2, 3, ..., p atomes d'oxygène (1), et, pour prendre un exemple, nous allons appliquer cette considération à l'association spéciale de 3CO_2 à un nombre d'équivalents d'eau égal, supérieur et inférieur d'une unité au nombre d'équivalents de l'acide carbonique. Nous aurons, en faisant croître les quantités d'oxygène perdues sous l'influence de l'insolation (voy. le tableau en face):

De la réduction de $2\text{CO}_2 + (2 \pm 1)\text{H}_2\text{O}$ vont donc dériver: l'alcool, le glycol, l'aldéhyde ordinaire, les acides glycolique et glyoxylique, le glyoxal, l'acide oxalique, etc. En un mot tous les corps organiques ternaires peuvent se former par ce simple mécanisme de la désoxydation par le grain de chlorophylle, plus ou moins profonde suivant l'influence des rayons lumineux, des diverses associations d'eau et d'acide carbonique que le protoplasma laisse pénétrer jusqu'à l'organe de réduction que nous avons comparé à l'organe inversement oxydant des animaux, le globule rouge du sang.

Remarquons maintenant qu'il n'est pas nécessaire d'admettre que 4, 5, 6, etc., molécules d'acide carbonique soient à la fois décomposées par la lumière pour qu'il se produise un corps en C^4 , C^5 , C^6 , etc. Ainsi le glucose $\text{C}^6\text{H}^{12}\text{O}^6$ peut être produit soit par la décomposition de $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ avec perte de O^{12} , soit par la sextuplication du corps CH_2O , suivant les équations:

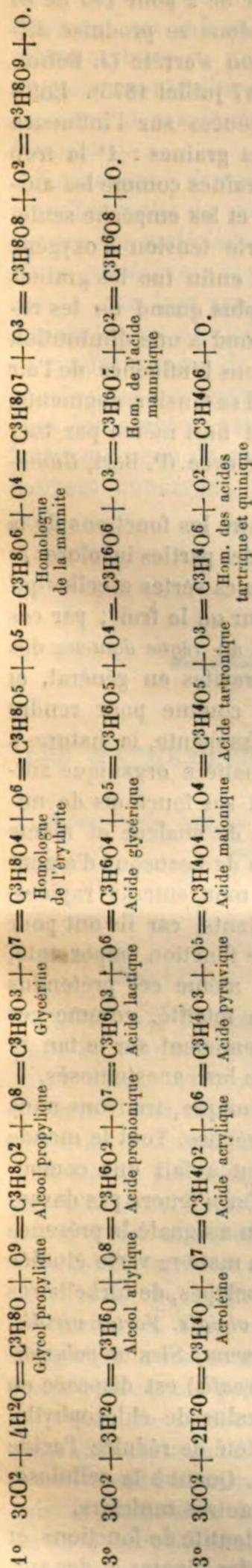


Ces deux équations, différentes en apparence, conduisent au même résultat, car la première peut être dédoublée en six fois l'action élémentaire exprimée par la seconde, et celle-ci permet de saisir qu'en se sextuplant cette action élémentaire donne du glucose à la place de l'aldéhyde méthylique. Il est aussi tout naturel d'admettre que deux molécules de glucose, le premier principe formé, et comme nous allons le voir, la matière première de presque tous les autres, puissent à leur tour perdre de l'eau pour constituer l'amidon $2\text{C}^6\text{H}^{12}\text{O}^6 = \text{C}^{12}\text{H}^{20}\text{O}^{10} + 2\text{H}_2\text{O}$. C'est ainsi que se passent sans doute les choses; car ce glucose, si abondant dans les jeunes feuilles au printemps, disparaît ensuite pour se retrouver plus tard à l'état de saccharose dans la racine ou d'amidon dans la graine.

Rien ne s'oppose à ce que l'on aille plus loin, et que l'on admette que beaucoup de corps de la série aromatique puissent se produire sous l'influence de la décomposition directe de $n\text{CO}_2 + m\text{H}_2\text{O} - p\text{O}$, aussi bien que par la déshydratation

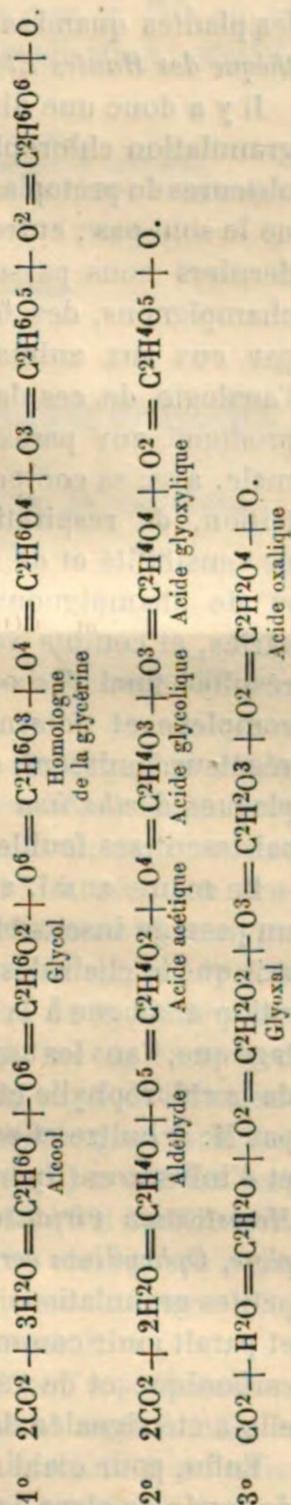
(1) Bien entendu que nous ne préjugeons rien dans ce qui va suivre sur les corps intermédiaires qui pourront se produire par la réduction de $n\text{CO}_2 + m\text{H}_2\text{O}$, ni sur le mécanisme successif de cette réduction. Que $n\text{CO}_2 + m\text{H}_2\text{O}$ soit réduit directement par H naissant de la chlorophylle, ou que l'aldéhyde méthylique CH_2O étant formée d'abord par la réduction de $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, le résidu $(n-1)\text{CO}_2 + (m-1)\text{H}_2\text{O}$ se réduisant à son tour de même, les deux aldéhydes viennent réagir ensuite l'une sur l'autre, ou que l'hydrogène naissant s'unisse à l'un des corps aldéhydiques déjà formés, etc..., ce ne sont là que des détails secondaires, et nous ne voulons ici nous occuper que du résultat final de la désoxydation graduelle de $n\text{CO}_2 + m\text{H}_2\text{O}$.

(1) M. Friedel et M. Wurtz ont l'un et l'autre obtenu de l'aldéhyde méthylique par la décomposition sèche du formiate de chaux. J'ai observé aussi dans cette réaction un produit odorant, cristallisé, soluble dans l'éther.

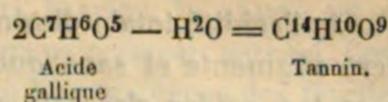
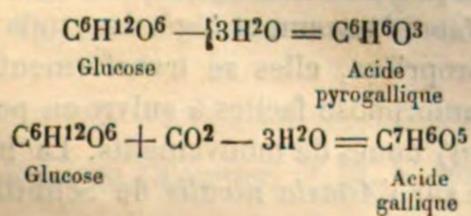


De cette association de 3CO_2 à $(3+1)\text{CO}_2$ et $(3-1)\text{CO}_2$ avec perte variable d'oxygène peuvent naître, on le voit, un grand nombre de matières organiques importantes dont plusieurs ont été rencontrées dans le suc cellulaire; tels sont: les alcools propylique, allylique, le glycol propylique, la glycérine, les homologues de l'érythrite et de la mannite, les acides propionique, acrylique, lactique, pyruvique, tartronique, les homologues des acides tartrique et quinique, etc.

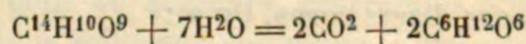
Si nous recherchons les corps qui peuvent dériver de l'association $2\text{CO}_2 + (2 \pm 1)\text{H}_2\text{O}$, nous aurons également :



des sucres avec perte d'eau et union à l'acide carbonique. C'est ainsi que l'on a :

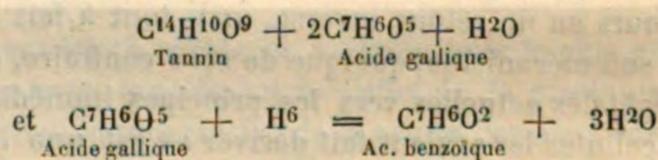


En effet, dans les jeunes pousses du printemps, on trouve toujours le tannin abondamment associé au glucose et formant avec lui la majeure partie des produits solubles des organes verts. J'ai moi-même réalisé ce phénomène en chauffant du sucre à 200 degrés environ en tube scellé. Il se déshydrate dans ces conditions, perd de l'eau et donne de l'acide pyrogallique et de la pyrocatechine en petite quantité. Réciproquement aussi ce même tannin pourra-t-il, à un autre moment de la vie de la plante et dans d'autres cellules, perdre de l'acide carbonique et s'hydrater de nouveau pour redonner du sucre :



et c'est ce qui arrive en effet lorsqu'on soumet le tannin à l'action des ferments. Il donne alors, suivant Strecker, du glucose et de l'acide carbonique, phénomène qui se passe également dans les fruits, comme l'a observé M. Buignet en étudiant leur maturation. Que l'on prenne une pomme âpre détachée de l'arbre, que l'on y dose le tannin avant et après la maturation, on le verra diminuer peu à peu, tandis que le fruit s'enrichira en sucre et qu'il dégagera abondamment de l'acide carbonique (Buignet, *Ann. chim. phys.* [3], t. XLI, p. 233 et suiv.).

A son tour, ce tannin pourra se transformer en acide gallique, perdre de l'acide carbonique, donner de l'acide pyrogallique, composés qui produiront eux-mêmes par leur désoxydation, en présence de la chlorophylle, l'acide salicylique et benzoïque, la benzine et les divers corps aromatiques.

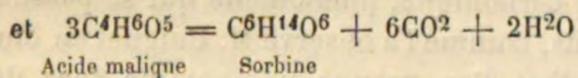
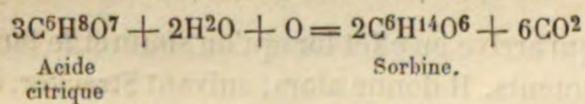


Au contraire, en s'oxydant davantage, ces corps (acides gallique, pyrogallique et tannique) produiront les diverses couleurs que revêtent les parties colorées des végétaux, comme le montre, entre autres preuves, l'expérience suivante: j'ai pris une jacinthe à variété bleue, mais dont les fleurs n'étaient pas encore assez développées pour que leur couleur fût bien sensible. J'ai exprimé le suc de ces fleurs, je l'ai filtré et j'ai constaté qu'il était acide et très-riche en tannin. Je l'ai laissé exposé à l'air; il a pris peu à peu une magnifique couleur bleue, tandis qu'il absorbait l'oxygène et que le tannin diminuait notablement. La même expérience peut se faire avec des fleurs de couleurs différentes.

Ces réactions inverses, qui font ainsi passer le sucre à l'état d'acides végétaux, et ces acides à l'état de sucre, sous l'influence de la vie des cellules incolores d'autres portions de la plante, lesquelles, à la façon des ferments ordinaires, décomposent ces acides complexes et en dégagent de l'acide carbonique, paraissent être générales dans les végétaux (1). Bérard et Buignet, que nous avons cité plus haut, plus récemment M. Beyer, ont remarqué que dans les fruits non-seu-

(1) Les importantes recherches de M. Pasteur et de M. Fremy sur les transformations qui se passent dans les cellules des ferments et des fruits servent de contrôle à cette thèse.

lement le tannin, mais l'acidité totale diminue notablement, tandis que le sucre augmente et sans que la quantité de bases qui saturaient les acides s'accroisse elle-même. Il a donc bien fallu que ces acides se transforment, avec perte d'acide carbonique et absorption d'oxygène (car le fruit respire sans cesse), en matières neutres très-probablement sucrées. On a fait, à cet égard, dans ces derniers temps, une fort curieuse observation. La sorbine, que M. Boussingault fils a retirée du suc du sorbier, n'existerait pas, suivant Delfs, dans le jus frais retiré de ces fruits. On y trouverait surtout de l'acide citrique et de l'acide malique. Sous l'influence de la fermentation produite dans ce jus, cet acide disparaît peu à peu, tandis que se dégage de l'acide carbonique et que la sorbine se forme. Une équation très-simple relie, en effet, ces divers corps. On a :



En un mot, les phénomènes qui se passent dans l'intérieur des cellules, à l'abri de la lumière et de l'action réductrice de la chlorophylle, sont tout à fait les analogues de ceux qui se passent dans les cellules animales. La cellule consomme la matière organique fabriquée par la granulation chlorophyllienne, s'en nourrit, absorbe l'oxygène et dégage l'acide carbonique par sa respiration. Mais ces phénomènes contraires de ceux qui se passent dans d'autres parties du végétal, et spécialement dans les parties vertes de la feuille, sont toujours reliés à eux par une relation très-simple. Ils consistent toujours en un retour inverse, mais tout à fait semblable dans son mécanisme, quoique de sens contraire, des matières végétales actuelles vers les principes immédiats d'où d'autres cellules les avaient fait dériver : c'est une hydratation de la matière organique ainsi digérée qui succède à une déshydratation, une perte d'acide carbonique, une oxydation simple en place d'une réduction, ou ces trois modes de transformations simultanément mis en jeu pour une même transformation.

Il est toute une classe de végétaux, véritables intermédiaires entre l'animal et la plante, et dont on a tenté de faire, avec raison, je crois, un règne à part : c'est la classe des ferments, champignons, monères de Haeckel, qui manquant absolument de chlorophylle, ne peuvent vivre et fabriquer de matière organique par eux-mêmes à la façon des végétaux ordinaires. Comme l'animal, ils sont tenus pour vivre à se nourrir de matières organiques toutes formées, et par conséquent ils ne peuvent être que parasites. Comme certaines cellules végétales, les uns se bornent à dégager de l'acide carbonique de la matière organique et à assimiler tout ou partie du restant de la molécule (Pasteur); les autres, tels que les champignons, et comme certaines cellules des fruits, ne peuvent vivre aux dépens de la matière organique déjà formée qu'en respirant de l'oxygène, brûlant cette matière organique et dégageant de l'acide carbonique. Les mêmes phénomènes se passent identiquement dans la fleur et dans la graine. L'une et l'autre absorbent de l'oxygène et dégagent de l'acide carbonique et de la chaleur aux dépens de la combustion de la matière organique déjà formée que leur apporte la circulation générale de la plante. La graine durant la germination, et probable-

ment aussi la fleur, ne peut plus se développer dans un air trop riche en acide carbonique. Il suffit de 2 pour 100 de ce gaz pour que la chlorophylle des cotylédons se produise difficilement ; à 20 pour 100 la germination s'arrête (J. Böhm, *Académie des sciences de Vienne*, 10 et 17 juillet 1873). Enfin M. Bert résume ainsi ses belles expériences sur l'influence de l'air déprimé et comprimé sur les graines : 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 (comme les animaux) 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 assez élevée. (P. Bert, *Bibliothèque des Hautes Études* pour 1875.)

Il y a donc une différence absolue entre les fonctions de la granulation chlorophyllienne et celles des parties incolores et obscures du protoplasma; entre les cellules vertes et celles qui ne le sont pas ; entre la feuille et la fleur ou le fruit ; par ces derniers nous passons insensiblement au *règne douteux* des champignons, des ferments et des parasites en général, et par eux aux animaux inférieurs. Et comme pour rendre l'analogie de ces derniers êtres plus frappante, la nature a prodigué aux parasites végétaux la matière organique animale, avec sa composition chimique et ses fonctions de nutrition, de respiration, de production de chaleur et même de sensibilité et de motilité. Les spores de beaucoup d'algues et de champignons se meuvent de mouvements rapides, variés, et comme volontaires et conscients, car ils ont pour résultat final l'accomplissement d'une fonction importante, complexe et déterminée. Quelquefois même ces prétendus végétaux jouissent de mouvements de totalité, comme ces plaques d'*æthodium septicum* qui se promènent sur le tan et saisissent ses feuilles de leur réseau de bras anastomosés.

De même aussi, au point de vue chimique, trouvons-nous un passage insensible entre les deux règnes. Tout le monde sait que la chair des champignons a tout à fait une composition analogue à la chair musculaire. On n'ignore pas davantage que, dans les animaux inférieurs, on a signalé la présence de la chlorophylle et de la cellulose. La matière verte étudiée par M. Schultze et par M. Balbiani, de polypes, de turbellaires et d'infusoires (*Hydra viridis*, *Euglena viridis*, *Vortex viridis*, *Mesostomum viridatum*, *Derostomum cæcum*, *Stentor polymorphus*, *Ophrydium versatile*, *Bursaria vernalis*) est disposée en petites granulations semblables aux grains de chlorophylle, et paraît jouir comme elle de la propriété de réduire l'acide carbonique et de régénérer l'oxygène. Quant à la cellulose, elle a été signalée dans les ascidies et autres tuniciers.

Enfin, pour établir définitivement l'identité de fonctions et de mode de vivre des parties obscures des plantes et des animaux, rappelons que, par de consciencieuses études, Flotow (cité par de Hartmann, *Revue scientifique*, 1872-73, p. 623) a observé que les petites cellules globuleuses de l'*Hæmatococcus pluvialis* sont d'abord purement végétales ; puis que, dans des conditions appropriées, elles se transforment par différents degrés de métamorphose faciles à suivre en petits infusoires (*Astasia pluvialis*) doués de mouvements. La même observation a été faite sur l'*Astasia nivalis* de Schuttleworth et sur