

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société botanique de Genève  
**Herausgeber:** Société botanique de Genève  
**Band:** 25 (1932-1933)

**Artikel:** Études sur le développement des algues unicellulaires dans le vide  
**Autor:** Chodat, Fernand / Kol, E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1099520>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Etudes sur le développement des Algues unicellulaires dans le vide

PAR

Fernand CHODAT (Genève) et E. KOL (Szeged-Hongrie)

On sait qu'en l'absence d'air, certaines algues vertes sont capables de respiration anaérobie.

CHARPENTIER a fait à ce sujet des expériences avec le *Cystococcus humicola*, PALLADIN avec le *Chlorothetium* et plusieurs autres auteurs ont cultivé des algues dans des atmosphères plus ou moins dépourvues d'oxygène.

Dans toutes les expériences décrites ici, nous avons utilisé comme milieu de culture, la solution de Detmer diluée au tiers et sucrée à raison de 1% de glucose.

Pour observer l'influence du vide sur le développement des algues nous avons préparé deux séries de cultures, dont l'une était gardée à l'air et l'autre dans le vide.

Les cultures destinées à l'anaérobiose, furent placées dans une grande cloche à fermeture hermétique ; l'air contenu est aspiré par une trompe ; les dernières traces d'oxygène sont captées par un mélange de pyrogallol et de soude (20 % et 20 %) contenu dans un petit récipient placé dans la cloche.

Malgré la fermeture hermétique de la cloche, une légère baisse du manomètre se produit au bout d'un certain temps. Cette chute est attribuée à la formation de gaz carbonique au sein de la cloche. Ce dégagement gazeux a lieu surtout pendant le premier temps de l'expérience ; le manomètre ne baisse plus tard que de quelques millimètres. La production d'acide carbonique est réalisée pendant la période où l'algue possède encore à sa disposition une quantité élevée de sucre.

Les cultures ont été exposées à la lumière artificielle continue à la température de la chambre.

Les cultures d'algues employées pour ces expériences,

proviennent de la Collection d'algues en culture pure de l'Institut de Botanique de l'Université de Genève.

Voici la liste des 48 espèces de *Chlorophyceae* et d'*Heterokontae* employées au cours de ces expériences :

N° de l'Algothèque.

3. — *Scenedesmus obtusiusculus* Chod.
4. — *Scenedesmus quadricauda* Breb.
7. — *Scenedesmus obliquus* (Turp.) Kütz.
8. — *Oocystis Naegeli* A. Br. (marécage de Lossy).
10. — *Coccomyxa lacustris* Chod.
12. — *Coccomyxa Solorinae* Chod.
13. — *Schizococcus* sp.
16. — *Stichococcus bacillus* Naeg.
18. — *Diplosphaera lacustris*
19. — *Chlorella vulgaris* var. *genevensis* Chod.
24. — *Chlorella rubescens* Chod (marécage de Lossy).
26. — *Protococcus viridis* Ag.
29. — *Chlorella vulgaris* Beij.
33. — *Tribonema Bombycina* Ag. Derb.
34. — *Hormidium nitens* (Menegh.) Klebs.
35. — *Botrydiopsis minor* Schmidle.
38. — *Heterococcus viridis* Chod.
40. — *Hormidium flaccidum* (Kütz.) Br.
49. — *Oocystis chlorelloides*
62. — *Chlorella cladoniae* Chod.
69. — *Chlorella viscosa* Chod.
73. — *Scenedesmus spinosus* Chod.
77. — *Coccobotrys verrucariae* Chod.
79. — *Scenedesmus flavescens* Chod.
82. — *Scenedesmus longispina* Chod.
94. — *Chlorococcum viscosum*.
95. — *Chlorella luteo-viridis*. Chod.
124. — *Scenedesmus costulatus*.
133. — *Coelastrum proboscideum* Bohl.
154. — *Raphidium minutum* Naeg.
230. — *Chlorella laterita*.

231. — *Diplosphaera pinchatensis* Chod. (marécage Pinchat).
254. — *Cryococcus helveticus* Kol et F. Chod. Neige noire du Val Sassa, Parc National Suisse, Engadine (2600 m.).
259. — *Schizococcus* sp.  
Sol de *Pinetum montanae*, Val Clavagl. Parc National Suisse, Engadine.
261. — *Chlorellopsis Engadinensis* Kol et F. Chod. gen. novum. Sol de *Phleetum alpinae*, Munt de la Schera, Parc National Suisse Engadine (2060 m.) stat. cont. 13.
264. — *Ulothrix* sp.  
ibidem.
266. — *Chlorellopsis terrestris* Kol et F. Chod. gen. nov. Sol de Legföhre sub *Daphne striatum* au Plan de la Valettas (2060 m.) station contrôle n° 6 du Parc National Suisse, Engadine.
273. — *Hormidium* sp.
275. — *Souche indéterminée.*  
Sol de prairie abandonnée à Stavelchod, station contrôle n° 16 du Parc National Suisse, Engadine.
280. — *Chromochloris cinnabarina* Kol. et F. Chod. gen. nov. Sol de la station contrôle n° 6 (v. plus haut).
309. — *Györffyana humicola* Kohl et F. Chod. nov. gen. station contrôle n° 6 (v. plus haut).
316. — *Souche indéterminée.*  
Station contrôle n° 6 (v. plus haut).
325. — *Stichococcus* sp.  
Station contrôle n° 14 du Parc National Suisse. Sol de *Pinetum montanae*, Val Clavagl. (1920 m.)
331. — *Souche indéterminée.*
348. — *Pleurococcus* aff. monas.
364. — *Dactylococcus* sp.
372. — *Scenedesmus quadricaudatus* aff.
427. — *Souche indéterminée.*  
Station contrôle n° 12, sol de Nardetum, alpe de la Schera (2100 m.). Parc National Suisse, Engadine.

## 1. - Expériences faites en milieu sucré, à la lumière dans le vide

Les algues soumises à ce régime sont privées d'oxygène et de gaz carbonique. Cette double carence doit avoir une répercussion sur le phénomène respiratoire et sur celui de l'assimilation du carbone.

Faute de gaz carbonique, la nutrition carbonée autotrophe est éliminée, au début de l'expérience tout au moins. L'algue empruntera pour se développer le carbone au sucre qui lui est offert ; elle adopte donc le mode de nutrition hétérotrophe. L'attaque des sucres se fait par fermentation en l'absence d'oxygène dans la cloche.

Cette fermentation est accompagnée d'une libération de gaz carbonique manifestée par la baisse du manomètre et le trouble produit dans l'eau de chaux placée au sein de la cloche.

Ce dégagement d'anhydride carbonique permet alors aux plastides de recommencer faiblement leur activité de captation du carbone et de libération d'oxygène.

On voit par conséquent, que le procès de fermentation déclenche celui de l'assimilation qui à son tour permet la fonction respiratoire aérobie. Il n'est pas possible d'évaluer, dans les conditions de notre expérience, l'intensité de chacune de ces fonctions ou même d'établir la discrimination entre leur simultanéité ou leur succession. Pratiquement, la tension des gaz formés au sein de la cloche étant très faible, nous pouvons conclure que les conditions de vide, restent relativement constantes jusqu'à la fin de l'opération.

Des expériences analogues ont été faite déjà par CHARPENTIER en 1903 avec des algues du genre *Cystococcus* qu'il a conservées pendant 25 jours dans une atmosphère correspondant à une pression barométrique de 10 cm. ; il ne s'agissait ni d'une anaérobiose complète ni d'un vide parfait. Une analyse des gaz faite à la fin de l'expérience prouva à CHARPENTIER qu'une partie de l'oxygène avait été consommée et que du gaz carbonique s'était développé.

Les analyses gazeuses des expériences faites à l'obscurité par CHARPENTIER, ont donné le même résultat.

Ces réserves étant faites, disons que nous avons réussi à conserver à l'état vivant dans ces conditions de vide, un grand nombre d'espèces d'algues ; pour beaucoup d'entr'elles nous avons pu, en outre, constater leur croissance, leur division et la formation de zoospores. Certes, la capacité de mobiliser et d'utiliser l'énergie offerte sous forme de sucre diffère sensiblement chez les diverses espèces ; leur intensité de développement variera en conséquence.

On peut fréquemment observer, même dans la nature, des biotopes ne contenant que très peu d'oxygène ou d'air ; cette pauvreté en gaz respirable n'empêche pourtant pas le développement de fort belles végétations d'algues !

La table suivante indique le développement des espèces cultivées parallèlement à l'air et dans le vide.

Ce développement est exprimé par le nombre des cellules comptées dans le champ microscopique ; une goutte du milieu de culture secoué est placée sur le porte objet quadrillé de Zeiss-Thomas (objectif Leitz n° 7, oculaire n° 4).

TABLEAU I.

Noms des algues	N° de l'algothèque	air	vide
Euchlorophyceae .....			
Tetrasporiales :			
Cryococcus helveticus Kol et F. Chod.	254	130	60
Protococcales :			
Chlorococcaceae			
Chlorococcum viscosum Chod. ....	94	+	—
Pleurococcaceae			
Diplosphaera lacustris Chod .....	18	200	90
Diplosphaera pinchatensis Chod. ....	231	25	2
Pleurococcus aff. monas Arg. ....	348	12	—
Protococcus viridis Ag. ....	26	+	—
Coccomyxa Solorina Chod. ....	12	15	5
Coccomyxa lacustris Chod. ....	10	250	100
Dactylococcus sp. ....	364	120	2
Schizococcus sp. ....	259	+	—
Schizococcus sp. ....	13	+	—

Noms des algues	N <sup>o</sup> de l'algothèque	air	vide
Oocystaceae :			
<i>Chlorella viscosa</i> Chod. ....	69	+	—
» <i>vulgaris</i> Beij. ....	29	18	
» <i>Cladoniae</i> Chod. ....	62	17	4
» <i>lateritia</i> Chod. ....	230	200	2
» <i>luteo-viridis</i> Chod. ....	95	18	95
» <i>vulgaris</i> v. <i>genevensis</i> Chod..	19	350	6
» <i>rubescens</i> Chod. ....	24	4	160
<i>Oocystis chlorelloides</i> Chod. nov. sp..	49	100	14
» <i>Naegeli</i> A. Br. ....	8	13	5
Coelastraceae :			
<i>Coelastrum proboscideum</i> Bohl. ....	133	9	4
<i>Raphidium minutum</i> Naeg. ....	154	80	60
<i>Scenedesmus obtusiusculus</i> Chod. ....	3	220	60
« <i>spinus</i> Chod. ....	73	14	2
» <i>flavescens</i> Chod. ....	79	18	16
» <i>longispina</i> Chod. ....	82	3	1
» <i>quadricauda</i> Breb. ....	4	28	24
» <i>obliquus</i> (Turp.) Kütz. .	7	100	20
<i>Scenedesmus quadricaudatus</i> aff. ....	372	55	9
» <i>costulatus</i> Chod. ....	124	200	120
Chaetophorales :			
Ulotrichiales			
<i>Ulothrix</i> sp. ....	264	+	+
<i>Hormidium nitens</i> (Meneg.) Klebs ...	34	+	+
» <i>flaccidum</i> (Kütz.) Br. ....	40	+	+
» sp. ....	273	+	—
<i>Stichococcus bacillaris</i> Naeg. ....	16	200	100
» sp. ....	325	3	—
Heterokontae			
Botryococcaceae :			
<i>Coccolobrya verrucariae</i> Chod. ....	77	+	—
<i>Chromochloris cinnabarina</i> Kol. F. Ch.	275	53	—
<i>Györffyana humicola</i> Kol et F. Chodat.	280	160	80
<i>Chlorellopsis terrestris</i> Kol et F. Chodat.	309	18	5
	266	50	28
	316	250	120
<i>Chlorellopsis Engadinensis</i> Kol et F. Ch.	261	160	80
Chlorobotrydaceae :			
<i>Botrydiopsis minor</i> Schmidle ....	25	10	1
Tribonemaceae :			
<i>Heterococcus viridis</i> Chod. ....	28	4	4
<i>Tribonema Bombycina</i> (Ag.) Derb. ...	33	4 (file)	2 (file)
	331	300	200
	427	4	2

Il ressort du tableau ci-dessus que des 48 espèces d'algues, 10 ne sont pas capables de se développer dans le vide.

(N<sup>o</sup> : 94, 348, 26, 259, 13, 69, 273, 77, 275, 325.)

Celà ne veut point dire que ces espèces doivent nécessairement toutes périr dans le vide. Nous voyons au contraire, que la plupart d'entr'elles survivent et recommencent à se développer dès qu'elles sont exposées à l'air. Nous avons constaté que les espèces aquatiques et surtout les espèces de plancton ont assez bien supporté ces conditions, bien que la division de leurs cellules soit plus lente que celle des cultures parallèles maintenues à l'air.

Ce retard est double chez les n° : 316, 33, 254, 133, 10, 16, 19, 29, 280, 261, 266 ; triple chez les n° : 12, 82, 95, 309 ; quadruple chez le n° : 3 ; quintuple chez le n° 7 ; sextuple chez le n° 372 ; 7 fois plus grand chez les n° 8, 73 ; 8 fois chez le n° 62 ; 10 fois chez les n° 231 et 35.

Les espèces aériennes réagissent de deux façons : il y en a qui périssent tandis que d'autres conservent une faible vitalité. L'action du vide sur ces espèces est d'ailleurs évidente si l'on considère leur caractère aérophile ; ce sont les n° 348, 26, 942, 13, 69 ?, 273 ?, 325 ?. Les n° 259, 273, 325, 275, correspondants à des algues du sol et le n° 77, une gonidie de lichen, ne se développent pas du tout dans le vide.

Nous avons gardé ces différentes espèces dans le vide pendant des périodes plus ou moins longues notamment les cultures n° 259, 325, 348, 364, 372, 266, 273, 280, 275, 309, pendant 40 jours ; les n° : 4, 6, 7, 8, 10, 16, 20, 19, 24, 33, 101, 121, 133, 154, 185, 231, 264, 254, 261, 316 pendant 14 jours et les n° : 12, 13, 18, 21, 26, 27, 28, 30, 34, 35, 38, 40, 49, 62, 69, 73, 76, 79, 82, 94, 95, pendant 36 jours.

Le développement des algues dans le vide est accompagné de certains caractères ; nous les signalons pour les souches qui se sont le mieux développées dans ces conditions.

### **Pigments.**

Le vide entrave la production de la chlorophylle, de la carotène et empêche complètement le développement de la xanthophylle. La teinte des cultures obtenues dans le vide est toujours plus effacée et la couleur des cellules est plus pâle.

La teinte des cellules développées dans le vide est souvent d'un vert jaune pâle tandis que les specimen de la même espèce développés à l'air sont d'un vert vif.

TABLEAU II.

*Teinte des cultures d'après le Code des couleurs de Klincksieck et de Valette.*

N° de l'algotherque	air	vide
3	279	278
4	287	286
7	277	253c
8	276	253a
16	281	276
266	257	252
364	307	303

#### Amidon.

Le vide entrave la formation de l'amidon. Les cellules maintenues dans le vide n'en contiennent que de très faibles quantités; parfois on en voit seulement des traces, tandis que les cellules exposées à l'air sont saturées d'amidon.

En général, on peut dire que l'absence d'air ralentit le développement; les cultures développées dans le vide sont toujours en retard d'une phase sur les cultures obtenues à l'air.

Les constatations précédentes s'expliquent d'elles-mêmes si l'on considère que toute l'activité vitale doit nécessairement diminuer dès que les plantes sont forcées à se contenter d'une respiration anaérobie et d'une nutrition hétérotrophe. Ce ralentissement de l'activité vitale se constate même chez les espèces d'algues qui ont témoigné d'une vitalité assez puissante, en dépit de ces circonstances extrêmes.

Ces expériences nous apprennent que certaines espèces d'algues gardent non seulement leur vitalité dans un milieu pratiquement privé d'air ou d'oxygène, mais qu'elles sont encore capables de se reproduire dans ce vide.

## 2. - Expériences faites dans le vide, à l'obscurité avec et sans sucre

### Etude de la croissance.

Nous avons comparé le développement de cultures placées dans les 8 conditions suivantes ; le milieu de culture étant la solution minérale de Detmer diluée au tiers :

avec 1 % de glucose	air et lumière.
sans sucre	air et lumière.
avec 1 % de glucose	air et obscurité.
sans sucre	air et obscurité.
avec 1 % de glucose	vide et lumière.
sans sucre	vide et lumière.
avec 1 % de glucose	vide et obscurité.
sans sucre	vide et obscurité.

Il va de soi que pour ces expériences nous n'avons pu employer que des espèces d'algues qui sont capables d'un développement suffisant dans le vide. Ce sont les n° : 3, 79, 29, 280, 266, 154, 254, 230, 124, 331.

Par lumière nous entendons l'éclairage artificiel et continu. L'illumination des flacons erlenmeyer où se trouvaient les colonies d'algues fut faite suivant la méthode du soleil artificiel préconisée par Hartmann. La température fut celle de la chambre.

L'expérience a duré 40 jours pour les n° : 3, 79, 29, 280 ; pendant 20 jours pour les n° : 276, 254, 154 ; pendant 30 jours pour les n° 124, 230, 331 ;

Il est intéressant de noter que même les cultures inoculées en milieu sans sucre sont capables d'une certaine croissance dans le vide.

TABLEAU III.

*Intensité de la division des cellules dans les différentes conditions.*

N <sup>o</sup> de l'algothèque	1	5	2	6	3	7	4	8
	dans l'air				dans le vide			
	lumière		obscurité		lumière		obscurité	
	avec sucre	sans sucre	avec sucre	sans sucre	avec sucre	sans sucre	avec sucre	sans sucre
3	350	20	110	10	120	8	2	1
79	500	120	450	60	460	80	2	2
29	400	100	260	80	250	80	1	1
280	160	40	12	4	70	30	1	1
266	26	13	24	11	16	9	8	1
154	60	5	14	4	25	2	5	1
254	25	8	19	2	10	3	5	2
230	250	40	100	20	115	10	2	1
124	200	45	125	1	120	10	30	1
331	160	120	60	2	250	100	40	1

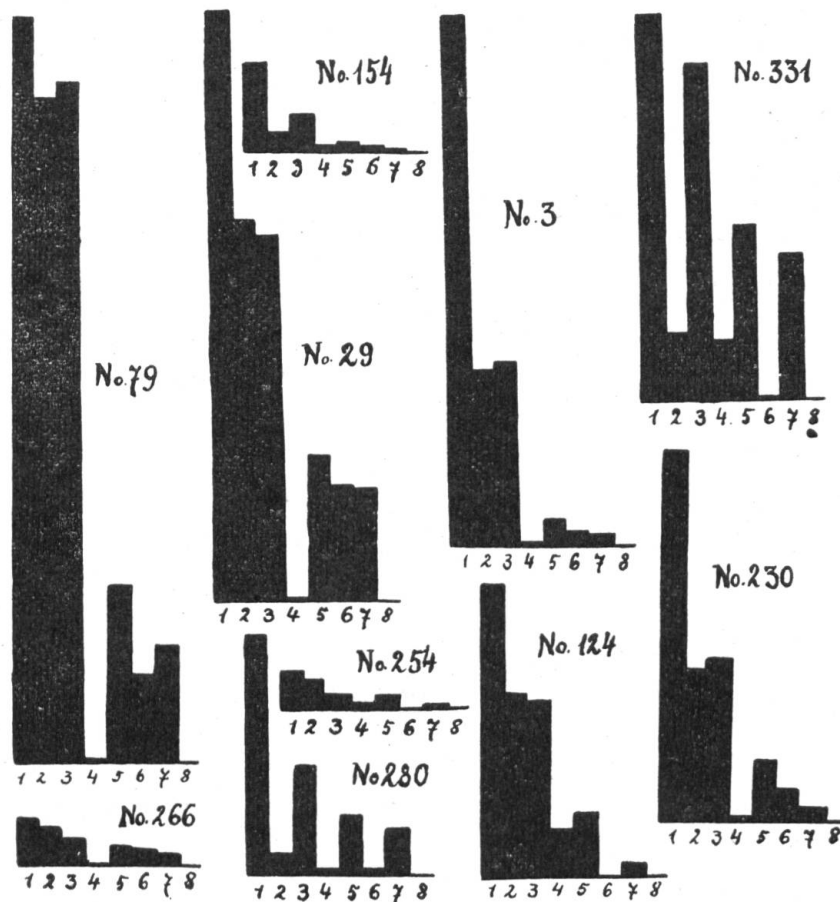
Les chiffres contenus dans les colonnes 1 à 8 correspondent au nombre des cellules comptées dans le champs microscopique. (v. tableau I).

On retrouvera dans le graphique n<sup>o</sup> I des figures correspondant au nombre des cellules produites dans les diverses conditions écologiques signalées au tableau III.

Les chiffres 1 à 8, placés sous chaque colonne correspondent, comme dans le tableau III, aux conditions suivantes :

- n<sup>o</sup> 1. — avec 1 % de glucose      air et lumière.  
n<sup>o</sup> 2. — avec 1 % de glucose      air et obscurité.  
n<sup>o</sup> 3. — avec 1 % de glucose      vide et lumière.  
n<sup>o</sup> 4. — avec 1 % de glucose      vide et obscurité.  
n<sup>o</sup> 5. — sans sucre                  air et lumière.  
n<sup>o</sup> 6. — sans sucre                  air et obscurité.  
n<sup>o</sup> 7. — sans sucre                  vide et lumière.  
n<sup>o</sup> 8. — sans sucre                  vide et obscurité.

Un premier examen du tableau III et de la figure I nous fournit les constatations suivantes :



a) Le manque d'air ralentit et affaiblit la vitalité des cultures sans toutefois empêcher complètement soit la croissance, soit la reproduction.

b) Le manque de sucre exerce un effet analogue.

c) Le vide (manque de  $\text{CO}_2$ ) diminue d'une façon à peu près égale la multiplication des algues que le manque de lumière. Ceci est vrai pour les milieux sans sucre (colonne 6 sans lumière, colonne 7 sans  $\text{CO}_2$ ). Cette constatation est logique puisque dans ces cas le gain en carbone ne peut être acquis que par l'action de la lumière sur le gaz carbonique. (N° 3, 79, 29, 266, 154, 254).

Les n° 280, 124, et surtout 331 font exception : leur croissance en milieu sans sucre paraît beaucoup plus affectée par le manque de lumière que par le manque d'air (donc aussi de  $\text{CO}_2$ ).

La proposition *c* reste vraie dans le cas de milieux sucrés, pour les n° 3, 79, 29, 266, 154, 254, 230, 124. Ce sont les mêmes numéros que dans le milieu sans sucre.

L'assimilation hétérotrophe du carbone de ces algues est indépendante de la présence de l'air. Notre observation vient confirmer l'opinion émise déjà par ARTARI, à savoir que la nutrition autotrophe et hétérotrophe sont indépendantes.

Les n° 280 et 331 (mêmes n° qu'en milieu non sucré) font de nouveau exception en ce sens que leur croissance en milieu sucré paraît beaucoup plus affectée par le manque de lumière que par le manque d'air.

*d)* La vitesse de croissance est plus grande en présence de sucre, fait connu depuis longtemps déjà. La présence de sucre dans le milieu de culture multiplie la vitesse de croissance

des n°	26	par	2
	331	»	2
	254	»	3
	79	»	5
	124	»	5
	154	»	12
	3	»	17

#### Différentes sources d'énergie utilisable dans ces conditions.

Nous avons inscrit dans le tableau suivant (IV) les différentes sources d'énergie, directes et indirectes, qui sont à la disposition des algues dans ces diverses conditions.

- A. correspond à l'énergie accumulée sous forme de produits ternaires réalisés par le phénomène d'assimilation chlorophyllienne.
- H. correspond à l'énergie offerte par le milieu de culture sous forme de produits ternaires.
- J. correspond à l'énergie développée par la combustion anaérobie (fermentation des substances ternaires et quaternaires existant à l'intérieur des cellules).
- R. correspond à l'énergie que peut produire l'algue en présence d'oxygène et de substances respirables.

TABLEAU IV.

1	5	2	6					3	7	4	8
dans l'air				dans le vide							
lumière		obscurité		lumière				obscurité			
avec sucre	sans sucre	avec sucre	sans sucre	avec sucre	sans sucre	avec sucre	sans sucre	avec sucre	sans sucre	avec sucre	sans sucre
$[A + R] < H$	$A + H$	$R < H$	$R$	$H > J (A + R) ?$	$J (A + R) ?$	$H + J + R ?$	$J + R ?$				

L'analyse du tableau IV nous montrera que l'alimentation en carbone se fait par voie autotrophe et hétérotrophe.

- 1<sup>er</sup> cas (1) : présence simultanée d'air, de lumière et du sucre : nutrition autotrophe et hétérotrophe.
- 2<sup>me</sup> cas (5) : présence simultanée d'air et de lumière ; l'algue est réduite à défaut de sucre à la nutrition autotrophique.
- 3<sup>me</sup> cas (2) : présence simultanée d'air et de sucre en absence de lumière : nutrition hétérotrophe.
- 4<sup>me</sup> cas (6) : présence d'air, absence de lumière et de sucre : l'activité des algues se réduit au phénomène de respiration.
- 5<sup>me</sup> cas (3) : présence simultanée de lumière et de sucre dans le vide : nutrition carbonée hétérotrophe accompagnée de respiration anaérobie ; une certaine quantité de gaz carbonique est libérée par cette respiration anaérobie. Il se peut que le phénomène d'assimilation chlorophyllienne ait lieu aux dépens de cette petite quantité de gaz carbonique. Cette assimilation éventuelle semble si faible qu'elle ne saurait être prise en considération. Ces processus hypothétiques sont marqués par un point d'interrogation dans le tableau IV.

- 6<sup>me</sup> cas (7) : présence de lumière, absence d'air et de sucre ; dans ces conditions l'algue est réduite à la respiration anaérobie.
- 7<sup>me</sup> cas (4) : présence de sucre, absence d'air et de lumière ; dans ces conditions la plante est réduite à la nutrition hétérotrophe.
- 8<sup>me</sup> cas (8) : absence d'air, de lumière et de sucre ; la nutrition s'arrête et les algues végètent en vie latente. Certaines espèces périssent dans ces conditions, d'autres continuent à exister d'autres encore forment des cystes et tentent de surmonter cette période défavorable de leur existence.

#### Evaluation de l'intensité de la nutrition hétérotrophe.

Nous avons calculé sur la base des chiffres fournis par le tableau III l'intensité du phénomène de nutrition hétérotrophe dans les cas 1, 3, 5. Ces valeurs sont groupées dans le tableau suivant pour les diverses espèces étudiées à ce point de vue. Le calcul s'effectue de la manière suivante :

Exemple de la souche n<sup>o</sup> 3 : dans la condition : air + lumière + sucre, la nutrition autotrophe et hétérotrophe donne 350 cellules ; dans les mêmes conditions sans sucre, la nutrition autotrophe donne 20 cellules. La différence de 330 cellules peut en conséquence être rapportée à la nutrition hétérotrophe.

TABLEAU V.  
*Valeurs de H dans les cas 1, 3, 5.*

N <sup>o</sup> de l'algothèque	air + lumière sucre	air + obscurité sucre	vide + lumière sucre
3	330	100	110
29	300	170	170
79	380	390	380
124	165	124	114
230	210	95	90
254	17	17	7
266	13	13	7
331	140	58	150

Ces valeurs de la nutrition hétérotrophe en milieu sucré nous permettent de grouper les espèces étudiées en diverses catégories :

a) N° 79. L'intensité de la nutrition hétérotrophe est approximativement la même dans les trois conditions ; cela revient à dire que pour cette algue la nutrition hétérotrophe est indépendante de la pression atmosphérique, de l'oxygène et de la lumière.

b) N° 331. Pour l'algue de cette catégorie la nutrition hétérotrophe est indépendante de l'air, mais sensible à l'absence de lumière.

c) N° 254 et 266. Pour les algues de cette catégorie la nutrition hétérotrophe est indépendante du facteur lumière, mais sensible à l'absence d'air (mauvais anaérobe).

d) N° 3, 29, 230, 124. Pour les algues de cette catégorie l'absence, soit de la lumière, soit de l'air, entrave à peu près dans la même mesure la nutrition hétérotrophe. Cela revient à dire que la nutrition hétérotrophe dépend dans une mesure égale de l'action oxydante de l'air et de l'action photochimique de la lumière.

Les conclusions résultant de ces constatations sont inscrites dans le tableau suivant (VI) :

La nutrition hétérotrophe est :

dans la catég.

a	indépendante	de	indépendante	de la
b	indépendante		dépendante	
c	dépendante		indépendante	
d	dépendante		dépendante	
		l'air		lumière

Ces conclusions restent vraies dans les cas où un seul de ces deux facteurs manque.

Dans les cas où l'air et la lumière manquent simultanément, (colonne 7, tableau III), la nutrition hétérotrophe est considérablement réduite.

Cependant la comparaison des valeurs fournies par la septième colonne du tableau III nous apprend qu'il y a, même en l'absence de l'action oxydante de l'air et de l'effet photochimique de la lumière, une faible nutrition hétérotrophe dont l'intensité varie avec les espèces.

Chez les espèces qui ne produisent pas d'amidon (n° 280, 154), nous constatons qu'en milieu sans sucre l'absence de lumière entrave la division des cellules à un degré bien plus considérable que ne le fait l'absence d'air.

#### Formation des zoospores.

La formation des zoospores est toujours plus active dans les solutions sucrées (tableau VII). L'espèce n° 280 ne montre pas trace de formation de zoospore dans les milieux sans sucre. En absence d'air et de lumière, la formation des zoospores, s'arrête comme d'ailleurs toute autre activité de reproduction. Si la culture est exposée soit à l'air, soit à la lumière, c'est-à-dire qu'elle n'est privée de l'influence que de l'un de ces facteurs, la formation des zoospores a lieu.

TABLEAU VII.

*Formation des zoospores dans les différentes conditions*

N° de l'algothèque	dans l'air				dans le vide			
	lumière		obscurité		lumière		obscurité	
	+	—	+	—	+	—	—	—
sucre	+	—	+	—	+	—	—	—
280	+	—	+	—	+	—	—	—
266	+	—	+	—	+	—	—	—

#### Formation de chlorophylle de carotène et de xanthophylle.

Le développement de la chlorophylle des plantes phanérogames est un procès photosynthétique étroitement lié à la présence de lumière ; certaines espèces de fougères, de mousses et d'algues sont pourtant capables de produire leur couleur verte dans l'obscurité. Les expériences de CHARPENTIER avec le genre *Cystococcus*, celles d'ARTARI avec des *Chroococcum xanthoriae*, celles de RADAIS avec des *Chlorella vulgaris*, de MATRUCHOT et MOLLIARD avec des *Stichococcus bacillaris* et bien d'autres expériences ont donné les mêmes résultats : certaines espèces d'algues possèdent la capacité de développer dans l'obscurité une matière de couleur verte de la nature de la chlorophylle.

Toutes les espèces que nous avons employées au cours de ces expériences ont produit de la chlorophylle à l'obscurité,

à l'exception du n° 280. Les cellules vertes introduites dans les cloches obscures y conservent leur pigment et celles qui se forment en l'absence de lumière sont également vertes. Si la solution nutritive contient du sucre, la chlorophylle est plus pâle que celle des témoins sans sucre. En l'absence d'air et de lumière les cultures se décolorent; le tableau VIII, rédigé d'après le code des couleurs de Klincksieck et Valette en donnera une idée :

TABLEAU VIII.

*Couleurs des cultures produites dans les différentes conditions.*

	dans l'air				dans le vide			
	lumière		obscurité		lumière		obscurité	
	avec sucre	sans sucre	avec sucre	sans sucre	avec sucre	sans sucre		
3	179 orangé vert	278 jaune vert	257 jaune vert	253 C jaune vert	278 jaune vert	228 D jaune	—	—
79	253 jaune vert	276 jaune vert	277 jaune vert	278 A jaune vert	253 jaune vert	282 jaune vert	—	—
29	257 jaune vert	277 jaune vert	276 jaune vert	278 B jaune vert	277 jaune vert	262 jaune vert	—	—
280	132 orangé	188 orangé jaune	122 orangé	166 orangé jaune	178 orangé jaune	212 jaune	—	—
266	256 jaune vert	277 jaune vert	207 jaune	237 jaune	252 jaune vert	257 jaune vert	—	—
254	277 jaune vert	278 D jaune vert	257 jaune vert	271 jaune vert	252 jaune vert	253 A jaune vert	—	—
154	277 jaune vert	287 jaune vert	253 jaune vert	262 jaune vert	277 jaune vert	287 jaune vert	—	—
230	127 orangé	237 jaune	137 orangé	128 A orangé	183 orangé jaune	203 C jaune	—	—
331	277 jaune vert	287 jaune vert	247 jaune	228 A jaune	257 jaune vert	277 jaune vert	—	—

L'absence d'air et de lumière ne manque pas d'influencer la production de la carotène, de la chlorophylle et de la xanthophylle.

La quantité de carotène produite est toujours favorisée par la présence de sucre.

La teinte des couleurs obtenues dans le vide est toujours plus jaune (voir tableau VIII) ; il y a prédominance de la carotène sur la chlorophylle.

La teinte des cultures obtenues dans le vide est plus pâle que celle des cultures produites dans l'obscurité.

TABLEAU IX.

*Production de chlorophylle, de carotène, et de xanthophylle par le N° 280 à l'air et dans le vide, avec et sans sucre.*

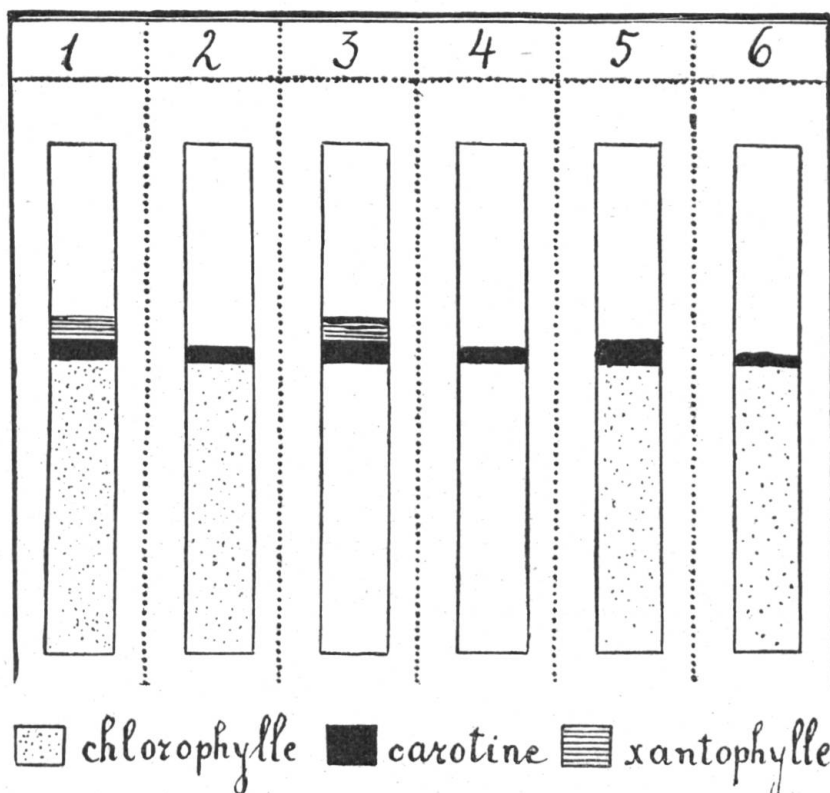
N°	CONDITIONS			PIGMENTS FORMÉS		
	lumière	air	sucre	chlorophylle	carotines et carotinoïdes	groupe xanthophylle
1	+	+	+	+	+	+
2	+	+	—	+	+	—
3	—	+	+	—	+	+
4	—	+	—	—	+	—
5	+	—	+	+	+	—
6	+	—	—	+	+	—
7	—	—	+	—	—	—
8	—	—	—	—	—	—

Nous tirons du tableau IX, les conclusions suivantes :

1. relatives à la chlorophylle : cette espèce d'algue, contrairement à d'autres espèces, n'est pas capable de produire de la chlorophylle à l'obscurité.

2. relatives au groupe des pigments xanthophylle : cette espèce ne produit pas de pigment xanthophylle en l'absence de sucre, même si elle est exposée à l'air et à la lumière. Il en résulte que la présence de sucre est indispensable à la formation de ces pigments. Les pigments de ce groupe se forment aussi à l'obscurité. Le manque d'air arrête complètement la formation de ces pigments.

3. relatives à la carotène et aux carotinoïdes : le manque de sucre n'empêche pas la carotène de se former ainsi que le témoigne le chromatogramme ; ceci reste vrai même lorsque l'air ou la lumière manque. Mais si ces deux facteurs font défaut à la fois, la production de carotène est suspendue, qu'il y ait ou non du sucre dans la solution.



Schemas des chromatogrammes obtenus par la méthode d'analyse capillaire de *Goppelsröder* en milieu extrait par l'alcool méthylique et l'éther de pétrole. — Les chiffres 1 à 6 correspondent aux N° des conditions du tableau IX.

Ce chromatogramme vérifie les constatations faites au paragraphe précédent.

La composition chimique de la carotène, un hydrure de carbone,  $C_{40} H_{56}$  explique le fait de la production de ce corps même dans le vide. Pour la production de Xanthophylle  $C_{40} H_{56} O_2$  au contraire (produit d'oxydation de la carotène) l'algue a besoin d'un milieu aéré.

Les chromatogrammes fournis par le n° 230 donnent des ré-

sultats analogues ; la chlorophylle se forme à l'obscurité et la xanthophylle n'a pas pu être mise en évidence.

Nous avons vérifié la présence d'une faible quantité d'hématochrome par une extraction à l'éther acétique.

La bande supérieure de chlorophylle, située au-dessus de la carotène, n'a pas été observée dans nos chromogrammes. KYLIN prétend qu'elle n'existe que chez les plantes riches en ferments.

En observant le développement des cultures nous avons pu constater que la formation de la carotène précède la formation de la xanthophylle.

#### **Production d'amidon.**

CHARPENTIER a déjà trouvé que des cellules de *Cystococcus*, gardées à l'obscurité en milieu sucré, étaient saturées d'amidon.

Nous avons trouvé de l'amidon dans les cellules produites à l'obscurité.

Dans ce dernier cas l'amidon ne peut être considéré ni comme un produit d'assimilation, ni comme un résidu d'amidon antérieurement formé. Il est plus probable qu'il s'agit d'une production due à la condensation du glucose. Ce procès nous semble d'autant plus admissible que les cellules d'algues ont eu à leur disposition du sucre qui peut facilement pénétrer à l'intérieur des cellules ; on sait que la condensation des molécules de sucre peut s'accomplir en l'absence de lumière.

Les conditions d'obscurité excluant la possibilité de la photosynthèse, nous sommes donc en présence d'une condensation enzymatique de sucre en amidon. Ce phénomène est particulièrement intéressant dans des cellules d'algues et des cellules à chloroplastides.

Nous avons pris la précaution suivante pour constater l'existence de cet amidon : fixer les cellules soit par le formol, soit par le chloralhydrate, à l'obscurité.

Ces cellules fixées sont maintenues encore 48 heures à l'obscurité avant d'être examinées.

En fixant à l'obscurité nous évitons la critique suivante : l'amidon est capable de se former aux dépens du sucre durant le temps très court de la manipulation expérimentale faite à la lumière.

N° de l'Algothèque	1	2	3	4	5	6	7	8
3	██████	—	██████	—	—			
79	██████	—	██████	—	—	—	—	—
29	—	—	—	—	—			
266	██████	—	—	—	██████	—	—	—
254	██████	—	—	—	██████	—	—	—
230	██████	—	██████	—	—	—	—	—
124	██████	—	—	—	—	—	—	—

Fig. 3. — Intensité de la formation d'amidon dans les différentes conditions écologiques antérieurement décrites sous les N°s 1 à 8.

Les diverses espèces étudiées produisent dans les conditions normales des quantités inégales d'amidon. (Voir T. IX, col. I).

Les expériences montrent que la production d'amidon est toujours plus considérable en présence du sucre, quelles que soient les conditions réalisées.

Les espèces qui déjà dans les conditions normales ne produisent que peu d'amidon cessent complètement d'en produire, si on leur supprime en même temps que le sucre, soit l'air, soit la lumière. En l'absence simultanée d'air et de lumière, ces espèces ne produisent point d'amidon, même si on leur offre du sucre.

On constate l'existence de plusieurs types, en ce qui concerne la production d'amidon à partir du sucre.

1. Certaines algues condensent fortement le sucre dans le vide (n° 266, 254, 230). Cette condensation est donc indépendante de l'oxygène. Elle dépend pourtant de la lumière pour les n° 266, 254 un peu moins pour le n° 230.

Le phénomène de condensation du sucre en amidon a une sensibilité aux conditions environnantes qui est différente de celle du phénomène de la nutrition hétérotrophe.

2. D'autres espèces condensent fortement le sucre en amidon dans l'obscurité. Cette condensation est indépendante de la lumière, mais dépendante de la présence d'air.

La première catégorie possède une amylogénèse anaérobie, facilitée par l'action photodynamique de la lumière.

La seconde catégorie a une amylogénèse aérobie, indépendante de la lumière.

Le phénomène de condensation du sucre en amidon est considérablement plus faible ou réduit à 0, quand les algues manquent à la fois de l'oxygène atmosphérique et de la lumière. Cette constatation est valable pour toutes les espèces étudiées.

---

## Résumé

### Partie I. —

48 espèces de *Chlorophyceae* et d'*Heterokontae* provenant de la collection d'algues en cultures pures du Pr. R. CHODAT, ont été inoculées sur milieu de DETMER dilué au tiers, liquide et sucré à raison de 2 % de glucose. Ces souches ont été placées dans le vide, à la température de la chambre, en régime de lumière artificielle continue durant 36 à 40 jours.

10 espèces sont incapables de se développer dans ces conditions ; un développement ultérieur, consécutif à l'ouverture des cloches à vide, a prouvé que la plupart de ces espèces n'avaient pourtant pas péri.

38 espèces se sont développées dans le vide. Les espèces aquatiques et surtout celles du plancton ont bien supporté ces conditions. Le vide entrave la production de chlorophylle, d'amidon, de carotène et inhibe complètement la formation de la xanthophylle.

### Partie 2. —

A. Le développement des 10 souches les plus anaérobies est étudié dans les conditions suivantes :

1 air, lumière, sucre.	5 idem sans sucre
2 air, obscurité, sucre.	6 idem sans sucre
3 vide, lumière, sucre.	7 idem sans sucre
4 vide, obscurité, sucre.	8 idem sans sucre

Le manque d'air (soit de O<sub>2</sub> et de CO<sub>2</sub>) ralentit et affaiblit la vitalité des cultures sans toutefois en empêcher la croissance et la reproduction.

Le manque de sucre exerce un effet analogue.

En milieu sans sucre, le ralentissement de croissance dû à la carence d'air est à peu près égal à celui dû à la carence de lumière.

B. L'évaluation de l'intensité de la *nutrition hétérotrophe*, calculée pour 8 espèces, nous permet de grouper ces souches en diverses catégories :

Algues chez lesquelles la nutrition hétérotrophe :

- a) est indépendante de l'air et de la lumière.
- b) est indépendante de l'air mais est affaiblie par l'obscurité.
- c) est diminuée dans le vide, mais reste indépendante de la lumière.
- d) dépend à la fois de l'air et de la lumière.

Ces observations montrent que l'utilisation des sucres offerts par le milieu de culture varie considérablement d'une espèce à une autre et dépend de facteurs multiples.

Les conclusions d'ARTARI à ce sujet doivent donc être complétées.

C. L'étude des *pigments* (chromogrammes de Goppelsroeder) formés par la souche n° 280 dans les 8 conditions précitées montre que cette espèce :

- a) ne produit pas de chlorophylle à l'obscurité.
- b) ne produit des pigments du groupe xanthophylle qu'en présence de sucre, tant à la lumière qu'à l'obscurité.
- c) ne produit pas trace de xanthophylle dans le vide.
- d) produit des pigments carotène et carotinoïdes dans l'air et dans le vide, à la lumière et à l'obscurité, avec et sans sucre.

D. *Amidon*. La production d'amidon est toujours plus considérable en présence de sucre, quelles que soient les conditions réalisées.

Pour certaines algues, la condensation du sucre en amidon, est :

- a) indépendante de l'air, mais sensible à l'absence de lumière.
- b) indépendante de la lumière, mais sensible à l'absence d'air.

Le phénomène de condensation du sucre en amidon a une sensibilité aux conditions extérieures, qui est *différente* de celle manifestée par le phénomène de la nutrition hétérotrophe.

Le sucre est condensé en amidon à l'obscurité et par des cellules qui s'y sont formées.

---

*Qu'il me soit permis de remercier M. le professeur R. Chodat de m'avoir donné l'occasion de travailler sous sa direction scientifique dans son Institut de Genève.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au Conseil National Hongrois des Bourses Universitaires et scientifiques pour la bourse qu'il a bien voulu m'accorder et qui m'a permis de travailler à l'Institut Botanique de l'Université de Genève pendant plusieurs mois consécutifs.*

*Je ne pourrais manquer d'adresser mes sincères remerciements au Ministère Royal Hongrois des Cultes et de l'Instruction Publique de m'avoir accordé un congé d'étude pour la durée de ma bourse, ainsi qu'à la Faculté des Sciences de l'Université François-Joseph de Szeged d'avoir bien voulu prêter son précieux appui en me recommandant pour la bourse.*

E. KOL.

## BIBLIOGRAPHIE

- ARTARI, A. — Zur Nahrungsphysiologie der grünen Algen. — Ber. der deutsch. Bot. Ges. Bd. 19, 1901 : 7-10.
- Ueber die Entwicklung der grünen Algen unter Ausschluss der Bedingungen der Kohlensäureassimilation. — Bull. de la Soc. Imp. des Naturalistes de Moscou, 1899 Nr. 1. p. 39-47.
- Ueber die Bildung des Chlorophylls durch grüne Algen. Ber. d. deutsch. Bot. Ges. Bd. XX, 1902 : 201-207.
- CHARPENTIER, P.-G. — Alimentation azotée d'une Algue le « *Cystococcus humicola* ». — Annales de l'Institut Pasteur (Journal de microbiologie). — Tom : 17. Paris, 1903 : 321-334.
- Recherches sur la Physiologie d'une algue verte. — Ann. de l'Institut Pasteur. Tom. 17. Paris, 1903 : 368-420.
- CHODAT, R. — Etude critique et expérimentale sur le polymorphisme des Algues. Mémoires publiés à l'occasion du Jubilé de l'Université de Genève, 1907.
- Scenedesmus, étude de génétique, de systématique expérimentale et d'hydrobiologie. — Revue d'hydrobiologie III. Année N° 3/4. Aarau, 1926, 71-258.
- Monographies d'Algues en culture pure, in matériaux pour la Flore cryptogamique de la Suisse, IV (1913).
- Algues vertes de la Suisse, Matériaux pour la Flore cryptogamique de la Suisse I. Fascicule 3 (1902) 373, p. 264, fig.
- CZAPECK, Frd. — Biochemie der Pflanzen Bd. I. Iena, 1913.
- KLINCKSIECK et VALETTE. — Code des couleurs, Paris, 1908.
- KOSTYSCHEW, S. — Lehrbuch der Pflanzenphysiologie Bd. I. Berlin, 1926.
- KYLIN, H. — Ueber die carotinoiden Farbstoffe der Algen, in Hoppe-Seyler's Zeitschr. f. phys. Chemie 166 (1927), 37-77.
- Ueber die carotinoide Farbstoffe der höheren Pflanzen Ibid. 163 (1927), 229-260.
- MEIER, F. E. — Recherches expérimentales sur la formation de la carotène chez les Algues vertes unicellulaires et sur la production de la gelée chez un Stichococcus (*S. mesanteroides*). Université de Genève. — Institut de Botanique. Thèse N° 860, Genève, 1929.
- OLTMANN, Fr. — Morphologie u. Biologie der Algen. Bd. I-III. Iena 1933.
- PALLADIN, W. — Ueber normale u. intramoleculare Atmung der einzelligen Alge *Chlorothecium saccharophilum*. — Centralbl. f. Bacteriol. Abt. II, Bd. 11, 1904 : 146-153.
- RADAIS, — Sur la culture pure d'une algue verte ; formation de chlorophylle à l'obscurité. Comptes rendus. Acad. Sc., Paris, T. CXXX, N° 12-1900.