

## CHAPITRE XIII

### Propriétés particulières des eaux saumâtres

Nous avons réuni dans ce chapitre quelques considérations sur six sujets bien déterminés d'une importance considérable dans les estuaires et dans des eaux saumâtres. Ils posent un certain nombre de problèmes pouvant donner lieu à des travaux intéressants tant aux points de vue biologique, bactériologique que chimique. Nous avons déjà touché plus ou moins à ces sujets dans notre mémoire sur la Mer du Nord (L. VAN MEEL, 1972), nous tenons expressément à y revenir ici.

#### A. - Nitrification et dénitrification.

Un nombre particulièrement considérable de travaux et de publications a été consacré aux principaux dérivés de l'azote : ammonium, nitrites et nitrates, tant au point de vue de la méthodologie qu'en ce qui concerne des considérations théoriques et des aspects biologiques. Dans notre mémoire de 1972, nous avons mentionné entre autres les travaux au sujet du cycle de l'azote : L.H.N. COOPER (1937); H.C. GILSON (1937); R.P. HAMILTON (1964) qui s'est particulièrement intéressé aux processus photochimiques dans le cycle; Y. MIYAKE et MITARO WADA (1968); H. POSTMA (1966) avec son étude du cycle de l'azote dans le Waddenzee.

Le mécanisme de la nitrification fit l'objet de travaux de B. MATCHENKO (1926); C.B. LIPMAN (1922); G. RHEINHEIMER (1967) dans le Waddenzee; C.E. ZOBELL (1933) a traité des questions du domaine de la photochimie.

Depuis un certain temps on s'est intéressé à l'azote contenu dans les matières en suspension : O. HOLM-HANSEN (1968); K. BRANDT (1937-1938); T. VON BRAND et N.W. RAKESTRAW (1937, 1941); J.J. Mc ISAAC et R.C. DUGDALE (cinétique, 1969); N.W. RAKESTRAW et T. VON BRAND (1947).

La plupart de ces questions ne sont pas uniquement du domaine marin mais peuvent être importantes pour les eaux saumâtres.

On sait que les éléments du phytoplancton peuvent utiliser des composés azotés variés; les animaux aquatiques en excrètent de plusieurs sortes. Il existe des bactéries capables de reconstituer des nitrites et des nitrates à partir de stades de dégradation comme celui de l'ammonium; des bactéries capables de fixer et de libérer l'azote atmosphérique. Une oxydation directe de l'ammonium peut se produire sous l'action d'activateurs autres que les bactéries. Une autre source importante

d'ammonium est constituée par la fermentation bactérienne de l'urée :



Les diatomées planctoniques possèdent la faculté d'utiliser les nitrates, les nitrites et l'ammonium, ainsi que l'urée et l'acide urique. Il n'est pas étonnant que ces organismes puissent utiliser directement l'urée en eau de mer : elle se dissocie en effet partiellement en ammonium et cyanate et la constante d'équilibre donnée par L.H.N. COOPER (1937) montre bien cette dissociation.

Les diatomées planctoniques et les bactéries qui leur sont associées peuvent utiliser facilement quelques amines et acides aminés; parmi ces substances, il en existe cependant qu'elles semblent incapables d'utiliser, ainsi la triméthylamine (H.W. HARVEY, 1940).

De grandes quantités d'azote sont dues aux excréments des animaux marins sous forme d'ammonium, d'urée, d'acide urique, de triméthylamine et d'acides aminés.

D'après les analyses d'excreta de plusieurs de ces animaux, analyses citées d'après E. BALDWIN (1937), la matière organique azotée des éléments végétaux absorbés par les animaux une fois digérée, subirait ensuite une régénération directe sous forme de composés utilisables sans désintégration plus avancée. L'excrétion qui a lieu au sein de la zone photosynthétique donnerait la plupart du temps, des produits directement assimilables.

L'oxydation de l'ammonium et la formation réversible des différents produits subséquents n'ont probablement aucun effet sur la vie végétale en mer. Toutefois, des expériences ont montré que les diatomées du phytoplancton utiliseraient l'ammonium de préférence aux nitrates (H.W. HARVEY, 1940).

Les matières azotées (J. GIRAL, 1929) pouvant exister en eau de mer constituent un ensemble assez complexe de corps, de composition et de constitution chimique variées et, aussi en états divers d'agréments moléculaires. La matière vivante existant dans les mers et les différentes eaux saumâtres, matière en transformations physique et chimique continues, transformations d'ailleurs de nature très différente (hydrolyse, saponification, oxydation, réduction, coagulation, dissociation, etc.), intéresse la matière vivante aussi bien que la matière morte. On se figure sans peine la diversité presque infinie d'espèces chimiques existant dans ces eaux. Le métabolisme cellulaire, incessamment renouvelé, les fermentations de nitrification et de dénitrification, les phé-

nomènes de putréfaction sont à l'origine de tout cet ensemble de produits azotés.

En ce qui concerne l'azote en mer, L.H.N. COOPER y a consacré en 1937-1938 un important travail constituant, malgré le nombre d'années écoulées depuis, un apport encore précieux pour la compréhension du cycle.

Au moyen d'un plan de travail élaboré suivant une représentation schématique, les diverses réactions et groupes de réactions ont pu être numérotés suivant leur séquence logique, et axés autour de l'ion ammonium  $\text{NH}_3$  considéré comme noyau central.

L.H.N. COOPER propose les diverses réactions et groupes de réactions suivants (Fig. 40).

#### Groupe 1. — Formation de méthylamine.

Les tissus animaux renferment des quantités considérables de bétaines, comme la choline:  $(\text{CH}_3)_3\text{N}(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH}$  et leur hydrolyse conduit à l'oxyde de triméthylamine  $(\text{CH}_3)_3\text{NO}$ .

Cet oxyde a été retrouvé tel quel, apparemment comme produit final de la désassimilation, dans les muscles de tous les poissons examinés à l'époque et dans beaucoup d'invertébrés. De même la triméthylamine existe dans les poissons et dans certaines algues marines telles: *Fucus vesiculosus* et *Fucus serratus* (R. KAPPELLEN-ADLER et J. KRAEL, 1930). Une fois l'organisme mort, l'amine et son oxyde se dissolvent dans l'eau de mer, l'oxyde se décompose en diméthylamine et formaldéhyde:  $(\text{CH}_3)_2\text{NH} + \text{HCHO}$ .

Parmi les produits d'excrétion des animaux on a toujours trouvé les méthylamines mono:  $(\text{CH}_3)_3\text{NH}_2$ , di:  $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$  et la triméthylamine  $(\text{CH}_3)_3\text{NH}$ ; elles sont connues comme produits de dégradation des protéines. On estime qu'elles sont éliminées en grandes quantités. La détermination d'ailleurs au laboratoire par distillation de l'ammonium, dissous dans l'eau de mer, englobe également ces méthylamines. Dans la méthode par Nesslerisation (L.N.H. COOPER, 1933), telle qu'elle a été proposée par H. WATTENBERG (1937), elles ne semblent pas interférer.

#### Groupe 2. — Formation d'urée.

Au cours de la dégradation des protéines, il y a en règle générale, formation de purines. L'urée  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  constituant le stade suivant de cette dégradation, de grandes quantités sont probablement libérées au sein de l'eau de mer et y tiennent un rôle important quoique probablement d'un caractère transitoire.

#### Groupe 3. — Décomposition de l'urée.

On sait qu'une solution aqueuse d'urée s'hydrolyse avec formation d'ammonium et de cyanate d'ammonium. En eau de mer la réaction a lieu suivant l'équation:



l'ion  $\text{CNO}^-$  est finalement hydrolysable en ammonium et acide carbonique. Il est probable qu'une hydrolyse microbienne, aidée par l'uréase, se produit également,

mais qu'elle s'ajoute à l'hydrolyse chimique plutôt que de se substituer à elle.

Suivant C.E. ZOBELL et C.B. FELTHAM (1935) ces auteurs auraient isolé, depuis l'eau de mer, trois types différents de bactéries provoquant la scission de l'urée et dont deux libèrent de l'ammonium.

#### Groupe 4. — Formation et utilisation d'acides aminés.

Autrefois les acides aminés n'avaient jamais été positivement reconnus en eau de mer, mais leur formation au cours de la dégradation des protéines paraissait vraisemblable (A. COLLIER, 1956; T. KOYAMA et F.G. THOMPSON, 1959).

Depuis, la détermination, l'origine, l'utilisation et la répartition des acides aminés en eau de mer ont fait l'objet d'un grand nombre de travaux. Nous-mêmes avons fait un essai de détermination dans l'arrière-port d'Oostende, mais avons dû nous limiter à la recherche du tryptophane (L. VAN MEEL, 1969).

Source importante d'azote en mer, ils diffèrent en deux points des dérivés minéraux de l'azote disponibles.

L'ammonium existe en eau de mer comme cation  $\text{NH}_4^+$  et comme anion sous forme de nitrate et de nitrite. Caractère ionique sans doute important pour leur assimilation. Les acides aminés, au contraire, sont des ions dipolaires. La formule de la glycine est:

$\text{H}_3^+ \text{N} \cdot \text{CH}_2\text{COO}^-$ . D'après les calculs de la constante de dissociation, cette dernière en dissolution en eau de mer, consisterait en 98,5 % d'ions dipolaires et 1,5 % d'ions négatifs, avec des quantités négligeables d'ions positifs et des molécules  $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$  non dissociées.

Il en serait de même pour la leucine:

$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ ,

l'a-alanine:  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ ,

la b-asparagine:  $\text{NH}_2\text{COCH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ .

#### Groupe 5. — Fixation d'azote libre.

S.A. WAKSMAN, M. HOTCHKISS et C.L. CAREY (1933) ont étudié la fixation microbienne de l'azote. La présence du genre *Azotobacter* en eau de mer — peut être en symbiose avec des algues — a été démontrée. D'après les données rassemblées à ce sujet par F.W. CLARKE (1924), la plus grande quantité d'azote combiné trouvée actuellement en eau de mer proviendrait sans doute d'une fixation atmosphérique.

#### Groupe 6. — Réactions de dégradation produisant de l'ammonium.

La désamination de l'urée étant sans doute une réaction simplement chimique, celle des acides aminés et de la méthylamine au contraire, a lieu par la seule action des bactéries ou par leurs enzymes. La production d'ammonium à partir des matières organiques en mer a été démontrée par S.A. WAKSMAN et C.L. CAREY (1935), T. VON BRANDT, N.W. RAKESTRAW et C.E. RENN (1937) et d'autres encore.

R.M. BEESLEY (1914) avait déjà étudié le taux de nitrification d'un certain nombre d'acides aminés et

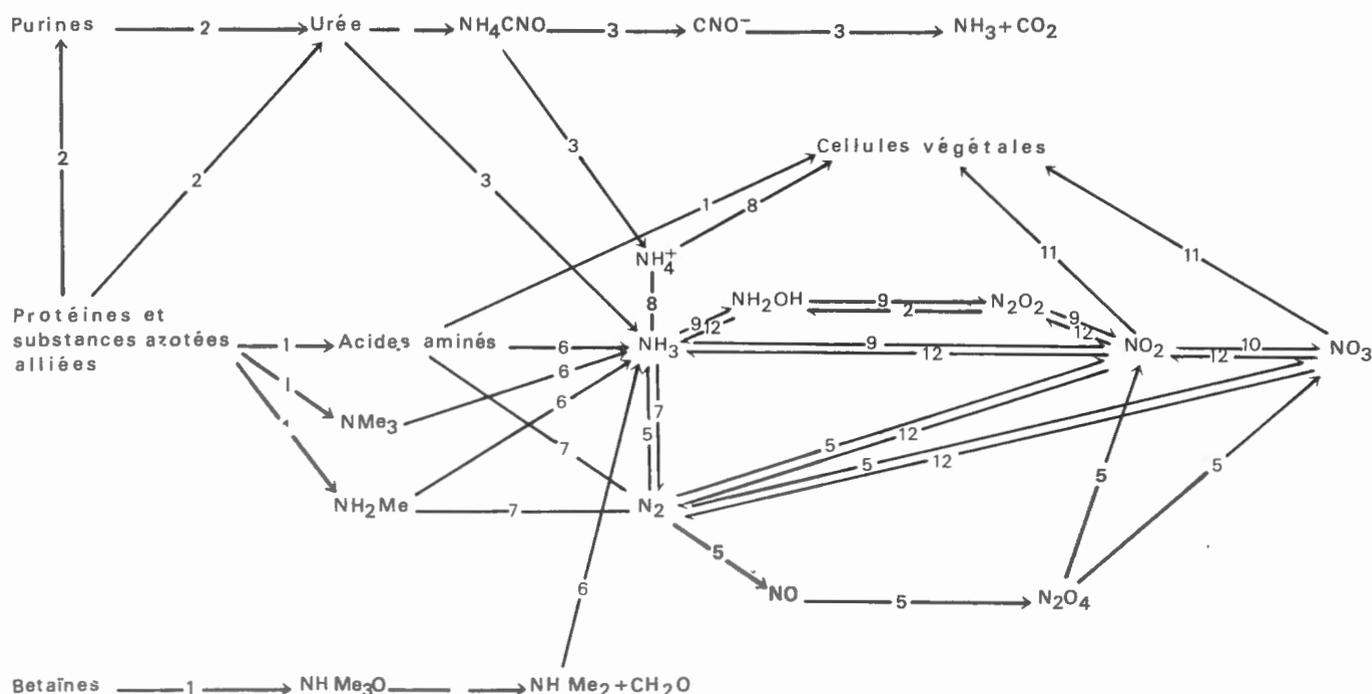


FIG. 40. — Schéma du cycle de l'azote en eau de mer (L.H.N. COOPER).

Les chiffres se rapportent aux réactions et groupes de réactions et renvoient au texte. Me = méthylamine.

trouvé que le processus de production d'ammonium, des nitrates serait identique en ce qui concerne l'urée, l'acétamide, le sulfate de méthylamine, l'oxalate d'ammonium et le sulfate d'ammonium.

#### Groupe 7. — Interaction de la méthylamine, des acides aminés et de l'ammonium avec $\text{NO}_2$ .

Des pertes possibles par la méthylamine, les acides aminés et l'ammonium, d'azote sous l'action bien connue des nitrites, méritent d'être examinées ici. Les réactions ont été étudiées par T.W.J. TAYLOR (1928) qui démontra la nécessité de la présence d'acide nitreux libre pour que la réaction puisse se dérouler. Dans chacun des cas envisagés, les mécanismes semblent être identiques, sauf toutefois pour les acides aminés : il faut appliquer ici une autre vitesse de réaction étant donné leur structure polaire.

D'après L.H.N. COOPER (1938) cependant, la perte d'azote due à l'interaction des amines et des nitrites pourrait être négligée comme étant de peu d'importance.

#### Groupe 8. — Utilisation directe de l'ammonium par les plantes.

F. SCHREIBER (1927) a montré que les diatomées *Biddulphia mobiliensis* et *Melosira* se cultivent aussi bien en présence d'ammonium que de nitrates et H.W. HARVEY (1928) a fait les mêmes observations en ce qui concerne *Nitzschia Closterium*. Dans son travail de 1938, L.H.N. COOPER signala cependant que ces cultures n'étaient pas absolument exemptes de bactéries.

C.E. ZOBELL (1935) montra que *Nitzschia Closterium*, *Nitzschia bilobata*, *Navicula sp.* et *Chlorella sp.* et d'autres cultures mixtes se développent bien en présen-

ce de N-ammoniacal et qu'en effet, au début de l'expérience, l'ammonium montrait la même efficacité que les nitrates. Le même auteur a étudié l'assimilation de l'ammonium et il n'y a aucun doute que cet ion constitue une source excellente d'azote pour plusieurs plantes marines.

Certains ont admis l'impossibilité de démontrer l'utilisation de l'ammonium par les diatomées en eau de mer. Il faut toutefois envisager le nombre restreint de données à ce sujet et la complexité des transformations subies continuellement par cet ion.

D'un côté, la concentration de l'ammonium dans, l'eau de mer est augmentée par les processus de dégradation et d'autre part, l'ion peut être oxydé et par des processus divers et par les diatomées. L'ensemble des réactions est dès lors moins apparent que dans le cas des nitrates.

#### Groupe 9. — Oxydation de l'ammonium en nitrite.

La réaction d'oxydation :



est accompagné d'une diminution du potentiel thermodynamique devant être uniquement activée, activation pouvant être réalisée soit par une action photochimique ou chimique, ou microbienne, et à laquelle peuvent participer des intermédiaires transitoires, tels l'hydroxylamine ou l'acide hyponitrique.

##### A. — Oxydation photochimique.

C.E. ZOBELL (1933) a montré la possibilité d'une oxydation photochimique de l'ammonium en nitrate et nitrite à la lumière solaire et par irradiation au moyen d'une lampe à vapeur de mercure.

A.S. CORBET (1934) a obtenu les mêmes résultats et a pu montrer en outre la formation intermédiaire d'hyponitrite. D'après C.E. ZOBELL, la réaction se déroulerait mieux en eau de mer naturelle qu'en eau de mer artificielle ou qu'en eau distillée. L'existence en eau de mer de silice sous forme colloïdale ou cristalloïde est sujette à discussion (A. WATTENBERG, 1937) mais, comme la silice a été utilisée à côté d'autres sensibilisateurs par N.R. DHAR (*in* G.G. RAO et H.R. DHAR, 1931), la présence de particules de silice colloïdale serait une explication acceptable des résultats obtenus par C.E. ZOBELL.

N.W. RAKESTRAW et A. HOLLAENDER (1936) ont ensuite confirmé les résultats de C.E. ZOBELL et ont trouvé une différence également importante entre le comportement de l'eau de mer et de l'eau distillée. L'oxydation photochimique de l'ammoniacque peut avoir lieu dans les couches superficielles de la mer, mais, par suite de l'absorption rapide de l'ultraviolet (W.R.G. ATKINS et H.H. POOLE, 1933), cette action ne se fait plus sentir au-delà de 1 m de profondeur.

#### B. — Oxydation chimique.

A de nombreuses occasions et dans des conditions d'isothermie, L.H.N. COOPER a mesuré de plus grandes quantités de phosphates et d'ammonium à la surface que dans des eaux plus profondes. Ce phénomène peut être attribué à la décomposition de la matière organique, flottant à la surface dans toute la région étudiée (W.R.G. ATKINS, 1930), décomposition favorisée probablement par les conditions du milieu existant uniquement à la surface et aux interfaces. L'affirmation de W.M. POWELL et G.L. CLARKE (1936) que l'augmentation de l'absorption de la lumière, immédiatement en dessous de la surface de la mer, est due à la présence de bulles d'air minuscules, implique que la surface fortement accrue de l'interface air-eau favoriserait le degré d'oxydation chimique et l'hydrolyse.

#### C. — Oxydation microbienne.

N.M. BARRETT (1933) a effectué une révision étendue de l'oxydation microbienne. Il en résulte que celle-ci peut s'effectuer aussi bien par des bactéries autotrophes, tirant leur carbone du CO<sub>2</sub> dissous, que par des bactéries hétérotrophes vivant en symbiose avec les diatomées. Cette oxydation microbienne semble être en accord avec nos connaissances acquises du milieu marin. Il faut néanmoins se rappeler les recherches de T.Y. KINGSMA-BOLTJES (1935) qui ont fourni des résultats contradictoires.

A.C. CORBET (1934) estime qu'en général, le genre autotrophe *Nitrosomonas* constitue le facteur principal dans la biologie de la nitrosation depuis l'ammonium, opinion qui demande quelques modifications lorsqu'on veut en faire l'application et à l'eau de mer et aux sédiments benthiques. T.Y. KINGSMA-BOLTJES a montré que les ions calcium, très abondants en eau de mer, sont indispensables à *Nitrosomonas*.

S.A. WAKSMAN, M. HOTCHKISS et C.L. CAREY (1933); S.A. WAKSMAN, H.W. REUSZEN, C.L. CAREY, M. HOTCHKISS et C.E. RENN (1933); C.L. CAREY et S.A. WAKSMAN (1934) considèrent que les recherches antérieures et les résultats de H. THOMSEN (1933), B. ISSATSCHENKO (1926), C.B. LIPMAN (1922), H.W. HARVEY (1926, 1928) et d'autres, sont parfaitement suffisantes pour montrer définitivement que l'eau de mer, principalement à la surface dans la couche trophogène ne contient pas de Nitrosobactéries ou seulement en de très rares exemplaires.

D'un autre côté, les sédiments benthiques, vases ou sable, recèlent une population active de bactéries nitrifiantes auxquelles on doit la formation et l'accumulation de nitrates en mer.

Des cultures pures d'organismes nitrifiants capables d'oxyder l'ammonium en nitrates ont été isolées par C.E. ZOBELL (1935).

Les nitrobactéries possèdent la faculté d'oxyder l'ammonium de l'eau de mer, mais non, pour des raisons de potentiel d'oxydo-réduction, dans les dépôts d'où elles furent isolées. Il est hors de doute que la nitrification immédiatement au-dessus des sédiments benthiques est d'une importance considérable (W.R.G. ATKINS, 1930; L.H.N. COOPER, 1933).

T. VON BRAND, N.W. RAKESTRAW et C.E. RENN (1937) ont suivi la dégradation du plancton *in vitro* et ont établi clairement la conversion de l'ammonium en nitrite. Il n'a pas été possible de suivre le développement d'une flore microbienne typique mais on considère des organismes du groupe *Nitrosomonas* comme agents de la nitrosation.

Leurs expériences s'effectuaient dans des conditions optimales pour les bactéries hétérotrophes, vivant peut-être en symbiose avec d'autres organismes. D'où la difficulté de les isoler à côté de leurs hôtes.

Dans les couches superficielles de la mer, l'oxydation de l'ammonium en nitrite pourrait ainsi s'accomplir sous l'influence de facteurs chimiques et photochimiques; dans et près du fond, par des micro-organismes. On a d'ailleurs réussi à isoler ces derniers et à les mettre en culture.

Personne jusqu'à présent n'a montré une réaction de nitrosation de l'ammonium dans les couches intermédiaires, mais, il semble bien malgré cela, que les réactions ammonium-nitrite-nitrate s'accomplissent de même dans ces couches et la présence à cet endroit de nitrites ne peut pas toujours être imputée à la réduction des nitrates. W.R.G. ATKINS (1930) et L.H.N. COOPER (1933) l'ont suggéré respectivement en 1928 et 1932.

D'après les résultats obtenus en Manche par W.R.G. ATKINS, il serait donc permis de supposer l'existence d'une nitrification intense. Aussi bien sur le fond que dans les couches intermédiaires.

Dans ces eaux, la matière vivante est formée en grandes quantités; en temps et lieu elle meurt ou est rendue à l'eau sous forme d'excrétions animales ou de

matières fécales. Une grande partie de ces dernières descend, pense-t-on, vers les couches profondes, mais une autre partie doit se décomposer sur place conduisant éventuellement à la production d'ammonium. Une petite partie de ce dernier peut être oxydée par voie photochimique à la surface, mais inévitablement, à défaut d'oxydation, l'ammonium doit s'accumuler en quantités considérables à des profondeurs de 20 à 150 m environ.

#### D. — Formation intermédiaire d'hyponitrite.

H.M. BEESLEY (1914) a trouvé quelque preuve de la formation d'un stade intermédiaire dans l'oxydation microbienne de l'ammonium en nitrite, stade qui a été identifié par A.S. CORBET. Il décrit l'oxydation microbienne de l'ammonium comme une succession :



A pH = 6,0 et au-delà, l'hydroxylamine n'a qu'une existence éphémère, étant détruite par une oxydation purement chimique et il n'est dès lors pas certain qu'elle s'accumule en eau de mer.

L'hyponitrite de calcium au contraire, est stable en solution aqueuse froide, et en présence de nitrites. A.S. CORBET (1934 et 1935) a observé une accumulation de nitrites sans dégagement gazeux, lorsque la solution aqueuse estensemencée au moyen de micro-organismes provenant du sol.

#### Groupe 10. — Oxydation des nitrites en nitrates.

La réaction  $\text{NO}_2^- + 1/2 \text{O}_2$  (gazeux) =  $\text{NO}_3^-$  est accompagnée d'une diminution d'énergie libre de sorte que la réaction ne demande qu'une activation. Comme dans le cas de l'oxydation de l'ammonium, elle peut être utilisée par des bactéries appropriées, comme source directe d'énergie.

Au cours de l'établissement de réserves en nitrates en mer, les nitrites sont considérés comme un intermédiaire essentiel (W.R.G. ATKINS, 1930). Les recherches en Manche, en 1931, ont clairement démontré l'apparition de nitrites, après un intervalle de quelques semaines. Ces résultats ont été confirmés depuis par T. VON BRAND, N.M. RAKESTRAW et C.E. RENN (1937) qui attribuent aux éléments du plancton la possibilité de se décomposer au cours de la conversion subséquente de N organique, en ammonium, nitrite et nitrate. Alors que le milieu benthique, où l'existence de bactéries capables d'oxyder les nitrites a été démontrée par S.A. WAKSMAN, M. HOTCHKISS et C.L. CAREY, constitue sans aucun doute un milieu important de nitrification, les arguments en faveur d'une oxydation d'ammonium en nitrite dans les couches intermédiaires s'appliquent aussi à l'oxydation subséquente de nitrites à cet endroit.

#### Groupe 11. — Assimilation de nitrites et de nitrates.

La propriété des organismes du phytoplancton d'assimiler des nitrates est indiscutable. L'assimilation des nitrites semble reposer sur une base solide (E. SCHREIBER, 1927), T. BRAARUD et B. FOYN, 1930; C.E. ZO-

BELL, 1935). On ne sait pas avec certitude quelle substance, dans une solution contenant les ions  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{NO}_3^-$  sera utilisée de préférence par une diatomée. L'observation en Manche en 1931, que les trois sels dominaient en même temps, laisse à supposer l'utilisation simultanée des trois composés.

Il est difficile de découvrir une relation étroite entre chacune de ces substances et la croissance des diatomées. Comme sous des latitudes tempérées et arctiques, les nitrates sont les seuls dérivés azotés qui s'accumulent durant les mois d'hiver, ils sont ainsi disponibles au moment où la floraison des diatomées débute au printemps.

Depuis les recherches de H.W. HARVEY (1926) en Manche, les décroissances rapides des nitrates coïncidant avec la floraison printanière ont été signalées dans beaucoup de milieux aquatiques. En d'autres saisons cette floraison peut conduire à une déplétion des nitrates, mais les autres dérivés azotés étant probablement disponibles également en quantités comparables, tout le problème est remis en question et des mesures simultanées seront indispensables pour l'obtention d'une image nette du cycle de l'azote.

#### Groupe 12. — Réduction des nitrates en nitrites.

Depuis que H.H. GRAN (1901) et E. BAUR (1902) ont, les premiers, montré l'existence de bactéries dénitrifiantes en eau de mer, le problème de la réduction des nitrates et de la dénitrification constitue assez généralement une source de controverse.

L'idée longtemps maintenue par K. BRANDT (1927) qu'une vraie dénitrification conduisant à des pertes d'azote libre est très importante en mer, ne trouve plus aujourd'hui que peu d'adeptes.

Les travaux du « WOODS HOLE Oceanographic Laboratory » ont établi que les activités de la plupart des bactéries réductrices de nitrates sont strictement limitées à la réduction de  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NO}_2^-$ , réaction ne comportant pas de pertes d'azote libre.

E. KREPS (1934) a trouvé ainsi que la déplétion en nitrates peut se produire dans une eau filtrée sur filtre SEITZ et en a conclu que des enzymes libérées par des bactéries de l'eau étaient responsables des phénomènes de réduction des nitrates et de l'oxydation de l'ammonium. D'après lui, ces enzymes peuvent traverser les filtres SEITZ et supporter même l'action de bactéricides tel le chlorure mercurique.

S.A. WAKSMAN, H.W. REUSZER, C.L. CAREY, M. HOTCHKISS et C.E. RENN (1933) n'appuyent guère sur l'influence de l'oxygène; les conditions d'aération sont néanmoins implicites dans la description de leurs expériences démontrant l'existence en mer de bactéries capables d'opérer la réduction de nitrates en nitrites.

Cette réduction, accompagnée d'une oxydation des matières organiques, a conduit à l'opinion qu'une tentative des bactéries d'obtenir de l'énergie par l'intermédiaire des nitrates, alors que de l'oxygène libre se trouve à leur disposition, serait une perte inutile.

M.P. KORSAKOV (1929) a étudié le système  $\text{NO}_3\text{-NO}_2$  du point de vue potentiel d'oxydo-réduction. La réduction ne peut s'effectuer que si les substances, dans le milieu ambiant, peuvent être activées par les donneurs d'hydrogène. Les aérobies sont capables d'activer non seulement le système donneur d'hydrogène (substances organiques) + accepteur (oxygène), mais aussi des systèmes comprenant d'autres accepteurs p.ex. l'ion nitrique.

Comme il semble prouvé que les diatomées possèdent une enveloppe dans laquelle le potentiel est inférieur à celui de l'eau, la réduction extracellulaire des nitrates pourrait avoir lieu dans le sens des observations de C.E. ZOBELL (1935). Dans certaines circonstances, une partie de ces nitrites formés peut échapper à l'assimilation et rester en solution dans l'eau.

On peut conclure de tout ce qui précède qu'il existe de fortes présomptions que la réduction des nitrates en eau de mer aérée ait été réellement obtenue en laboratoire, mais on ne peut, jusqu'à présent, attribuer toute formation de nitrites, à la réduction des nitrates, et rejeter l'oxydation de l'ammonium comme sans importance.

L.H.N. COOPER a obtenu une image claire du cycle annuel des nitrates, parce que, pendant l'hiver à des latitudes tempérées et arctiques; ils sont accumulés en quantités plus élevées que les autres formes disponibles de l'azote. Cet azote se trouve ainsi prêt à être consommé en quantité au cours de la floraison vernale des diatomées et ses variations peuvent être suivies par l'analyse.

Comme les plantes, pendant leur croissance, sont parfaitement capables d'utiliser d'autres formes de l'azote, lorsque celles-ci sont présentes, les déterminations seules des nitrates ne sont pas à même de fournir une image intelligible de la situation créée en été et en automne.

L'ammonium est certainement d'une grande valeur, mais sa détermination est toutefois hérissée de difficultés (H. WATTENBERG, 1937). En outre, les résultats peuvent être douteux à cause de la présence de méthylamines dont la valeur comme source immédiate d'azote pour le phytoplancton est encore inconnue.

Depuis l'époque où L.H.N. COOPER publia son étude sur le cycle de l'azote en eau de mer (1937) et dans laquelle il suppose simplement l'existence d'acides aminés beaucoup de recherches ont été accomplies qui ont abouti aux travaux de D.K. DUURSMA (in J.P. RILEY et G. SKIRROW, 1965, et in O. KINNE, 1970). Nous nous trouvons en ce moment devant un assez grand nombre de substances plus ou moins bien déterminées et dont les concentrations sont connues. L.H.N. COOPER ne leur attribue qu'une valeur de matières nutritives d'appoint, mais importantes au point de vue de la dégradation de substances azotées.

Aucune explication ne peut couvrir toutes les réactions d'oxydation et de réduction auxquelles l'ammonium, les nitrites, les nitrates, peut-être aussi les hyponi-

trites participent. L'oxydation de l'ammonium en  $\text{NO}_2$  et, ensuite en  $\text{NO}_3$ , peut s'effectuer par voie photochimique ou simplement chimique dans une couche très mince à la surface, ou bien par voie bactérienne près ou dans la vase.

Etant donné que les nitrates (C.E. ZOBELL, 1933) sont fréquemment considérés comme des traceurs limitants dans la productivité de la mer, les phénomènes tendant à augmenter la quantité d'azote nécessaire à la croissance des végétaux, ont dès lors une importance considérable.

Il a été admis tacitement par beaucoup d'auteurs que les mêmes organismes qui opèrent le transfert d'azote d'une forme à l'autre dans le sol, se trouvent à la base des mêmes processus en mer. Toutefois, C.B. LIPMAN, W.R.G. ATKINS, T. VON BRANDT et d'autres chercheurs encore ont admis l'échec d'une démonstration de l'existence de bactéries nitrifiantes en pleine mer. T. VON BRANDT a mentionné la possibilité de formation de nitrites depuis l'ammonium, près de la surface, due à la présence de catalyseurs inorganiques en eau de mer.

On pourrait donc conclure à l'existence de bactéries nitrifiantes en pleine mer, mais différentes des formes terrestres, ne se laissant probablement pas cultiver dans les milieux de culture habituels et demandant des traitements spéciaux. Au cours de l'enquête sur l'origine des nitrates, on a trouvé, contrairement à l'attente, que la lumière solaire favorise la nitrification dans certaines conditions. Il semble qu'une partie au moins de la nitrification en mer soit activée d'une manière photochimique.

On ne sait pas exactement quels sont les rayons actifs, mais seulement que l'irradiation de l'eau de mer produit l'oxydation de l'ammonium en nitrite et que c'est le soleil qui fournit les radiations nécessaires.

Aussi n'insisterons nous pas mais nous contenterons de citer une phrase de M. FONTAINE (1936) au sujet des rayons ultraviolets en océanographie... «sujet à peine ébauché dont les biologistes commencent depuis quelques années à pressentir tout l'intérêt. Il est probable que, dans le chimisme des couches superficielles de la mer, les rayons ultraviolets jouent un rôle très important encore tout entier à étudier».

La dégradation de la matière organique se déroule en diverses étapes successives et on peut supposer que les produits de la première étape sont plus facilement oxydables que ceux formés au cours des stades suivants, soit à cause de sa concentration, peut-être plus élevée au début du processus avant la dissolution progressive. La formation de quantités appréciables de nitrites est liée aux stades initiaux de la décomposition de la matière organique, probablement à cause de sa plus grande rapidité; toutefois le processus de nitrification dans son ensemble n'est pas altéré qu'à de plus grandes profondeurs, de sorte que les nitrites constitués au début sont à ce moment complètement oxydés en nitrates.

Il est prématuré de considérer que toutes ces réactions se passent dans l'eau saumâtre à l'endroit de

leur contact avec l'eau de mer. Il nous semble cependant que les biologistes auraient le plus grand intérêt à s'intéresser à cette question.

Nous croyons savoir qu'on s'est occupé récemment de réactions de nitrification et de dénitrification; diverses études : R.W. EPPLEY (1969), S.S. BATES (1976) et H.L. CONWAY (1977) au sujet de la nitrate réductase, enzyme d'assimilation des nitrates ont été publiées à ce sujet.

Cette vue d'ensemble, encore très imparfaite, permet cependant d'entrevoir un grand nombre de problèmes tant chimiques que biologiques et surtout bactériologiques, dont l'intérêt n'est pas à sous-estimer.

### B. - Potentiel d'oxydo-réduction. Réduction des sulfates. — Sulfo-bactéries.

Le soufre constitue un élément essentiel de la croissance des végétaux, par la plupart d'entre eux il est absorbé partiellement comme sulfate.

Par leur nourriture végétale, carnée ou microbienne, les animaux satisfont à leur besoin en soufre. Celui-ci est libéré par les bactéries, presque exclusivement comme hydrogène sulfuré, depuis des restes animaux ou végétaux. Des bactéries oxydent cet hydrogène sulfuré en soufre élément, en sulfates, ou en composés intermédiaires. Le soufre élément, les thiosulfates, les tetrathionates et d'autres composés intermédiaires encore entre le soufre et les sulfates, peuvent résulter de ces oxydations. Dans certaines conditions, une réduction des sulfates en soufre élément est possible, sulfites, thiosulfates et autres dérivés encore peuvent subir une réduction par voie bactérienne ou par des micro-organismes alliés.

Outre leur influence étendue sur le cycle du soufre, les bactéries transformant celui-ci ou ses dérivés, exercent une influence sur le pH, le Eh, la couleur, les concentrations en carbonates, en oxygène et sur d'autres propriétés encore de l'eau ou des sédiments. Les bactéries engagées dans le cycle du soufre de l'eau marine peuvent même rendre le milieu inapte à la vie d'autres organismes ou, au contraire, agir comme substances de croissance. Certains dépôts de soufre ont été attribués

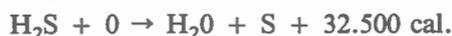
aux activités de bactéries sulfo-réductrices diverses. L'importance des activités de celles-ci dans le cycle du soufre concernant les sédiments a été mise en lumière par E. G. GALLIHER (1933).

Le cycle du soufre, les diverses activités bactériennes, leurs effets sur le potentiel d'oxydo-réduction, ont donné lieu à une littérature assez étendue. Citons comme auteurs principaux : L. G. M. BAAS-BECKING, R. K. NUTLIN et J. R. POSTGATE; R. BYWOOD et F. CHALLENGER; P. H. CLARKE, S. C. DATTA, E. T. DEHENS, K. S. DIDGSON, E. W. GALLIHER, J. P. GOSSMAN et J. R. POSTGATE; D. J. D. HOCKE-HULL, N. ISHIMOTO et D. FUJIMOTO; M. L. KEITH, A. KJAER, W. C. KRUMBEIN et R. M. GARRELS; H. LARSEN, F. LIPMAN, D. LITTLEWOOD, L. P. MILLER, J. R. POSTGATE, F. D. SISLER et C. E. ZOBELL; R. L. STARKEY, W. VISHNIAC et M. SANTER; J. M. WIAME, L. YOUNG et G. A. MAN; C. E. ZOBELL; le point de vue potentiel a été traité plus spécialement par S. W. BRUEVICH, L. H. N. COOPER, L. J. GILLESPIE, R. W. H. GILLESPIE et L. F. RETTGER; O. L. KOROKHINA, W. H. PEARSALL et C. H. PORTIMER; E. J. F. WOOD et L. A. BROWN.

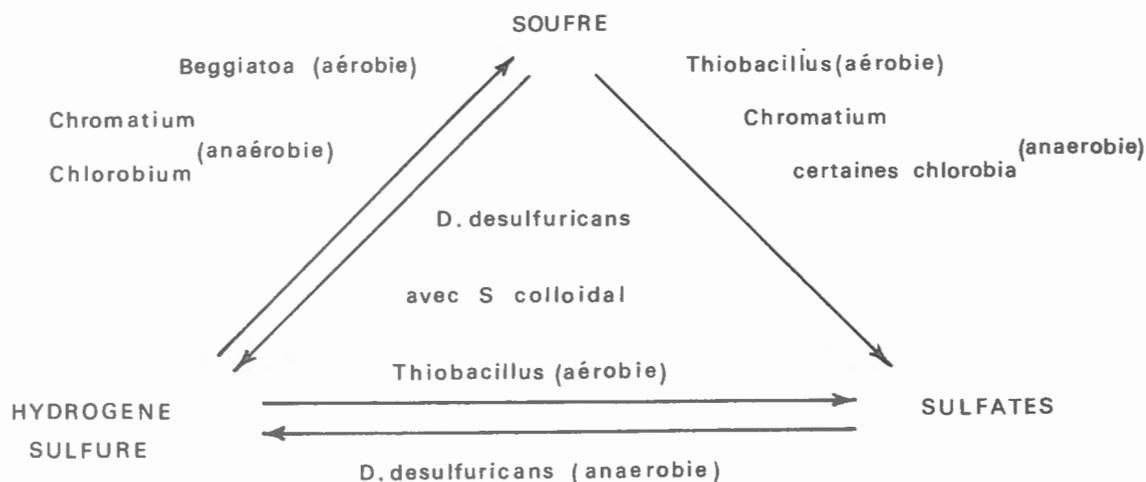
Dans le milieu estuarien les variations tant physiques que chimiques ont, pour une large part, une origine biologique. L. G. M. BAAS-BECKING et E. J. FERGUSON (1955) ont décrit plus spécialement le cycle du soufre, dont les membres exercent leurs activités dans l'eau, dans et à la surface de la vase.

Déjà en 1887, S. WINOGRADSKY put remarquer que les cellules de certains organismes se remplissaient de globules de soufre lorsqu'il les mettait en contact avec une atmosphère contenant de l'oxygène à côté d'hydrogène sulfuré. Du moment où ce dernier gaz était consommé, le soufre disparaissait progressivement des cellules et S. WINOGRADSKY put constater la présence de sulfates dans le milieu ambiant.

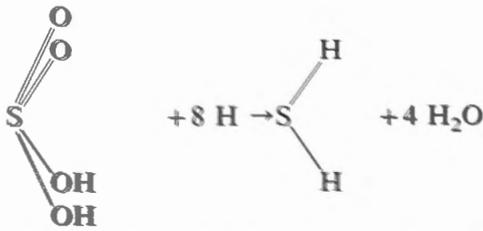
Dans la première phase se produisait la réaction :



et dans la seconde phase :



La réduction des sulfates se déroule d'après la formule générale



On sait que le soufre constitue un des principaux éléments de la matière vivante; ses dérivés, comme d'autres éléments encore du protoplasme, doivent leur origine à l'activité bactérienne. Les transformations effectuées par celle-ci sur les composés de ce métalloïde produisent des effets très étendus sur les associations végétales et les populations animales, comme sur certains phénomènes chimiques et géologiques d'ailleurs.

Dans la nature, les substances sulfurées subissent un grand nombre de transformations par l'activité des végétaux, des animaux et des micro-organismes et par des réactions chimiques ordinaires. Ces réactions ont été décrites par C. E. ZOBELL (1930) et par H. J. BUNKERS (1936).

Les végétaux construisent les éléments contenant du soufre de leurs protéines en partant des sulfates assimilés à partir du sol. Animaux et bactéries digèrent les végétaux et convertissent le complexe sulfo-organique en  $\text{H}_2\text{S}$ , transformé à son tour en soufre et sulfates par des bactéries et par l'oxygène atmosphérique. Un groupe très spécialisé de micro-organismes anaérobies est capable de réduire les sulfates en sulfures, réactions les plus usuelles à côté des sulfates, thiosulfates et tetrathionates, dont le rôle est de moindre importance dans le cycle (K. R. BUTLIN, 1953). En outre, au cours de la décomposition de substances sulfo-organiques, il se forme de l'hydrogène sulfuré comme produit de désintégration, composé toxique pour les animaux et les végétaux s'il est présent en quantités conséquentes. Dans les estuaires, à marée basse on en observe souvent l'odeur caractéristique à mesure que le reflux découvre la vase.

Le milieu dans lequel chacun des groupes divers d'organismes déploie son activité peut être caractérisé par son pH et son potentiel d'oxydo-réduction, Eh. Les observations et les expériences de laboratoire ont pu démontrer que chaque groupe déterminé de bactéries se confine pour ainsi dire dans des zones à pH: Eh bien définis.

Il n'est pas sans utilité de rappeler à ce sujet, le concept introduit par H. G. DERX (1946). Il compare l'ensemble des réactions à une séquence et un regroupement constant des facteurs en jeu. Il donne à cette cénose le nom de « metabiose » qui pourrait être considérée comme une certaine forme de symbiose. Nous trouvons chez L. G. M. BAAS-BECKING, I. R. KAPLAN et D. MOORE (1960), une description des phénomènes qui se manifestent *in vitro* sur et dans une vase donnée. De la pectine soumise à la décomposition bactérienne, au fond

d'un large bocal de verre de grandes dimensions, additionnée d'eau de mer, de vase, de chaux, à l'abri de l'air, donne lieu à un produit de fermentation provoquant l'abaissement du potentiel à un point tel que les conditions favorables à la réduction des sulfates sont atteintes. Celle-ci se déclenche et des sulfures de fer noirs se forment. Au moment où la tension du  $\text{H}_2\text{S}$  atteint une hauteur suffisante, le gaz libre (ou bien  $\text{SH}^-$ ) permet aux Chlorobactéries et aux Rhodothiobactéries de se développer sur la face illuminée de la vase. A la surface du liquide, les sulfures sont oxydés en soufre libre, oxydation occasionnée par certaines Thiobactéries, comme *Beggiatoa* et *Thiothrix*.

Lorsque le potentiel atteint à cet endroit des valeurs positives, les Ferrobactéries font leur apparition. Les algues se développent graduellement et, finalement, à des potentiels plus élevés de + 300 mV, elles remplacent les Rhodobactéries. Les Chlorobactéries exigent un potentiel un peu inférieur et disparaissent en premier lieu. Par la photosynthèse algale, le pH suit le rythme diurne-nocturne. Au bout d'une journée ensoleillée, il peut atteindre pH = 9,4. Cependant, au moment où le ou les sulfures de fer sont mis en contact avec l'air, leur oxydation peut occasionner un accroissement conséquent de l'acidité.

Ces processus semblent uniquement biologiques au premier abord, mais, en dehors d'organismes actifs, cette « metabiose » comprend également des éléments non biologiques: elle est d'une nature mixte.

L'expérience *in vitro* mentionnée plus haut, constitue cependant un véritable microcosme et les réactions géochimiques dont il sera question plus loin, sont toutes représentées dans ce vase en verre.

#### a) Le potentiel.

Les bactéries et leur milieu sont en dépendance mutuelle et les limites sont fixées par les activités des organismes comme le montre le tableau suivant (L. G. M. BAAS-BECKING, I. R. KAPLAN et D. MOORE (1960).

pH bas, Eh élevé	Ferrobactéries
pH élevé, Eh élevé	Algues
pH élevé, Eh moyen	Rhodothiobactéries
pH élevé à moyen,	Chlorobactéries, réducteurs des sulfates, anaérobies, hétérotrophes
Eh bas	
pH bas, Eh moyen	Thiobactéries

Les substances les plus diverses, importantes dans le milieu naturel, peuvent se présenter sous plus d'une forme distincte. Ceci concerne plus spécialement les acides minéraux, dont plusieurs sont bivalents — il existe même un exemple de trivalence:  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Quant à l'hydrogène sulfuré, il se dissocie en premier lieu en HS et ensuite en  $\text{S}^{=}$  et  $\text{H}^+$ .

En outre, le pH correspondant à chacune des dissociations peut être calculé et on a trouvé que la réaction

$\text{HS}^- \rightleftharpoons \text{H}^=$  est en équilibre à un  $\text{pH} = 14$ , bien au-delà des limites du milieu naturel.

Les variations dans la concentration de l'oxygène dans l'eau ne semblent pas avoir une influence directe sur le potentiel excepté dans le cas de concentrations très basses. La présence de petites quantités de matières oxydables, organiques et inorganiques peut subir, cependant, les effets de l'oxygène, de manière à équilibrer le système à un Eh inférieur.

Il est parfois difficile d'attribuer une réaction quelconque, du moins en eau aérée, vis-à-vis du Eh. Une réaction importante peut être le couple  $\text{H}_2\text{O}_2$ .



$$+ 2 e^- - \text{Eh} = 0,68 - 0,059 \text{ pH} + 0,03 \log \text{P}_{\text{O}_2}/\text{H}_2\text{O}_2$$

qui peut tomber dans les limites du système, si le rapport  $\text{P}_{\text{O}_2}/(\text{H}_2\text{O}_2)$  est correct. Cette réaction cependant, suppose la présence de peroxydes en équilibre réversible avec l'oxygène. Ces peroxydes peuvent provenir de processus biologiques et, peut-être d'une réaction photochimique due à l'action de la lumière solaire. Le couple  $\text{H}_2\text{O}_2$  ne s'effectue qu'à un Eh élevé.



$$+ 2 e^- - \text{Eh} = 1,77 - 0,059 \text{ pH} = 0,03 \log (\text{H}_2\text{O}_2)$$

Une autre réaction dans laquelle le peroxyde d'hydrogène se décompose peut être décrite dans le cas d'un pH neutre ou alcalin par la réaction :



$$+ e^- - \text{Eh} = -1,24 + 0,059 \text{ p OH} - 0,089 \log (\text{H}_2\text{O}_2) + 0,059 \log \text{P}_{\text{O}_2}$$

Ces exemples suffisent à montrer que les systèmes  $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$  ne sont pas simples. Il n'existe pas de réaction clé réglant le potentiel d'une masse d'eau bien aérée, mais bien un complexe de plusieurs systèmes réversibles, parfois irréversibles même. Suivant L. G. M. BAAS-BECKING, il semble qu'on ne soit pas à même de changer le Eh en faisant varier la tension de l'oxygène au cours d'expériences *in vitro* avec l'eau de mer.

Certains processus biologiques sont pourtant actifs dans le milieu, ils apparaissent souvent comme étant les réactions maîtresses. Les réactions les plus impression-

nantes sont celles qui n'ont pas d'analogues *in vitro* comme la photosynthèse, ou qui ne peuvent être réalisées que dans des conditions exclusivement artificielles, comme la réduction des sulfates en sulfures, par exemple. Lorsqu'on joint la réduction de l'anhydride carbonique des végétaux, la réduction des sulfates par les bactéries, la réduction bactérienne des nitrates à celle du fer ferrique en fer ferreux, on aura énuméré les processus les plus importants dans le milieu conduisant à l'accumulation de grandes quantités de matière organique. Celle-ci peut être utilisée par les organismes hétérotrophes. Le rôle de ces derniers dans le milieu est très complexe. Malgré l'idée qu'on pourrait se faire que dans les eaux naturelles ils n'auraient qu'une importance secondaire, ils sont actifs dans la réduction des sulfates, des nitrates et des substances azotées. Ils produisent des substances extrêmement réductrices, même de l'hydrogène; leur influence sur les caractéristiques du milieu peut être considérable.

La fixation de l'azote peut être effectuée par des bactéries réductrices des sulfates, les Rhodothiobactéries à photosynthèse et des Cyanophycées. Dans certaines régions restreintes, où ces organismes existent en abondance, ils peuvent avoir un rôle important.

Dans le tableau suivant on trouve les limites et les amplitudes de micro-organismes divers (suivant K. R. BUTLIN) (Tableau 216).

Par rapport aux premiers agents transformateurs de matière et d'énergie, les bactéries et les algues; les animaux sont secondaires et n'entrent pas en considération.

Abstraction faite de l'action de l'oxygène de photosynthèse, ou atmosphérique, sur la matière oxydable, maintes oxydations microbiennes peuvent agir indépendamment de cet oxygène.

Parmi d'autres oxydations, mentionnons la nitrification :



Les algues, bactéries réductrices des sulfates, les Thiobactéries, les Ferrobactéries, constituent les agents principaux dans le milieu naturel. Des rôles mineurs sont attribués aux Rhodothiobactéries photosynthétiques, les dénitrifiants, les nitrifiants, les Chlorobactéries à pho-

TABLEAU 216

Organismes	pH limites	amplitudes	Eh limites mV	amplitude mV
Algues	1,20 - 11,72 (12,60)	10,52 (11,40)	+ 630 - 220	850
Sulfo-réducteurs	4,15 - 9,92	5,77	+ 115 - 450	565
Rhodothiobact.	4,92 - 9,75	4,83	+ 328 - 230	558
Thiobactéries	1,00 - 9,20	8,20	+ 855 - 190	1045
Chlorobact.	6,15 - 9,78	3,63	+ 7 - 293	300
Ferrobact.	2,00 - 8,90	6,90	+ 850 - 60	790
Bact. dénitr.	6,20 - 10,20	4,00	+ 665 - 205	870

tosynthèse. Les hétérotrophes peuvent agir comme facteurs majeurs.

Quant à la réduction des sulfates, le sulfure de fer noir probablement hydraté devient soluble à des pH de 5,8 à 6,0 mais la réduction continue tout au plus jusque pH = 4,2. La limite supérieure de cette réduction dans la vase se situe à pH = 9,0 pour des raisons restées inconnues jusqu'ici. Il est possible que la formation d'ammonium non dissocié à ce pH constitue un seuil toxique pour ces bactéries. La limite du Eh entre pH = 10 et 5 peut être due au composé fer-disulfhydryle  $\text{Fe}(\text{SH})_2$  (L. G. M. BAAS-BECKING, 1956),  $\text{H}_2\text{S}$  ou  $(\text{SH}^-)$  n'étant pas suffisamment soluble pour causer un potentiel bas.

La limite supérieure du Eh s'observe dans des milieux où ne règne qu'une très faible odeur de  $\text{H}_2\text{S}$  à une concentration de  $10^{-6} \text{NH}_2\text{S}$ .

La formation d'hydrogène sulfuré depuis les sulfates peut avoir une conséquence écologique très importante : la mise en solution de phosphates insolubles comme L. G. M. BAAS-BECKING l'a montré en 1956.

Chez les Thiobactéries, les longs filaments de *Beggiatoa* et de *Thiothrix*, comme les Thiobacilles bacilliformes, les deux premiers oxydent  $\text{H}_2\text{S}$  ( $\text{SH}^-$ ) en soufre et celui-ci en sulfate; *Thiobacillus* au contraire, oxyde les composés au soufre chez les stades intermédiaires, comme les thiosulfates et les polythionates. Des espèces telles que *Thiobacillus thioparus* et *Thiobacillus novellus* peuvent déterminer une augmentation du pH au lieu d'une diminution, ce qui indique probablement une certaine différence dans leur métabolisme. Des formes similaires, abondantes dans le milieu estuarien, occasionnent une augmentation du potentiel, parfois sans changement essentiel du pH.

La variabilité des milieux estuariens a été soulignée par plusieurs auteurs (D. J. ROCHFORD, 1952). Dans ce milieu particulier, avec sa biocénose très spéciale, le fond exerce une influence profonde sur l'eau surnageante. Les processus non biologiques : oxydation, échange d'ions, adsorption et d'autres encore, se développent dans et sur la vase. Les réductions toutefois ont toujours une origine biologique (C. E. ZOBELL, 1946).

On a essayé de caractériser le milieu naturel par la concentration des ions  $\text{H}^-$  et par le potentiel, deux paramètres influencés par un grand nombre d'autres facteurs. Ainsi, le pH, fonction de la présence ou de l'absence de substances inorganiques ionisées ou non. Ici, la constante de dissociation de  $\text{H}_2\text{S}$ , des acides carbonique et phosphorique, de même que les produits de solubilité de sels comme  $\text{FeS}$ ,  $\text{CaCO}_3$  et  $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  pour n'en citer que quelques-uns font partie de ces facteurs physico-chimiques. Outre ces facteurs constants, des processus biologiques et non biologiques se manifestent comme la réduction des sulfates, l'oxydation des sulfures, la photosynthèse, la précipitation du  $\text{CaCO}_3$ , les réactions si particulières de la silice. Beaucoup d'organismes estuariens sécrètent des substances réductrices, des sels de sulphonium et leurs produits de décomposition (*Ulva*, *Enteromorpha*, *Fucus*) (P. HAAS, 1937; R. BYWOOD et

F. CHALLENGER, 1954). Il semble probable que des substances similaires soient sécrétées par les bactéries sulfo-réductrices et les Thiobacilles. Dans les cultures effectuées, on décèle, en effet, souvent, des substances sulfo-organiques.

Dans ce véritable dédale de réactions brièvement énumérées ci-dessus, les membres de la biocénose, microbiens ou macroscopiques, occupent, tous, une place déterminée et ont une tâche à remplir. C'est la « metabiose » de H. G. DEX (1942).

Ainsi, l'eau de mer additionnée de petites quantités de sels d'ammonium et de phosphates acides, donne rapidement lieu à une fermentation cellulosique d'origine bactérienne, suivie par la réduction des sulfates, du moment où le potentiel diminue suffisamment. Il se forme rapidement de l'hydrogène sulfuré et une précipitation de sulfure de fer se manifeste. A la lumière, des Chlorobactéries et des Thiorhodacées se développent invariablement. A l'interface eau-air, *Thiothrix*, peut-être aussi *Beggiatoa*, apparaissent. A des concentrations de  $\text{H}_2\text{S}$  assez considérables, *Eutreptia viridis* se manifeste et des Cyanophycées comme *Lyngbya* se développent. Dès que toutes les substances réductrices ont disparu, des Chlorophycées, comme *Chlamydomonas*, et des diatomées deviennent prédominantes dans les cultures.

Dans sa simplicité, le tableau de cette « metabiose » peut néanmoins induire en erreur. Des Schizomycètes, ciliates, flagellates incolores, amibes et nématodes ont tous leur rôle déterminé. Ces organismes forment ou enlèvent, des substances nutritives, des substances limitantes. Reproduire, au moyen de cultures, le milieu réel de la surface de la vase, paraît, dès lors, une tâche presque illusoire.

Le cycle du soufre comprend une large gamme d'oxydo-réductions, produisant un grand nombre de substances tant solubles qu'insolubles. On connaît à peu près la plupart des organismes engagés dans ces réactions. La réduction des sulfates demeure toutefois le processus dominant dans la vase estuarienne. La production de sels de sulphonium par des algues et des phanérogames croissant dans la vase exondée, désigne ceux-ci comme intégrés dans le cycle du soufre et sont, de ce fait, à considérer simultanément. Il en est de même pour les organismes à photosynthèse exerçant une influence sur le potentiel du milieu externe.

#### b) Réduction des sulfates.

Les bactéries capables d'opérer la réduction des sulfates ont une répartition très étendue. Elles sont thermotolérantes, psychrophiles, elles peuvent se développer sous pression, s'observant dans de l'eau pauvre en électrolytes même dans des solutions concentrées de sel à des pH élevés. Le rapport entre cations monovalents et bivalents, les concentrations relatives de chlorures, de bicarbonates et des ions sulfuriques ne semblent pas critiques pour la réduction des sulfates.

Des commensaux aérobies et anaérobies accompagnent la réduction et sont difficilement séparables des réducteurs. On connaît fort peu de chose au sujet de la composante anaérobie (J. R. POSTGATE, 1953). Il faut mentionner brièvement les organismes décomposant les protéines. Parmi une grande variété possédant cette propriété, l'organisme le plus important appartient au genre *Proteus* : bacilles Gram-négatifs, non sporulants, généralement munis d'un grand nombre de fouets leur permettant de se déplacer sur des surfaces humides. On trouve ces bactéries dans le sol, les eaux résiduaires et en eau de mer. Elles sont à même de décomposer les protéines avec formation, entre autres, d'amines, de mercaptans et de  $H_2S$ . Agent très important ne dépendant toutefois pas du soufre pour son métabolisme normal et n'occupant probablement qu'une place secondaire dans la transformation du soufre.

A notre point de vue, les bactéries les plus importantes sont ces types spécialisés qui exigent du soufre pour leur processus vital. Il existe trois groupes principaux effectuant les réactions suivantes :

1. — La réduction des sulfates en sulfures (sulfato-réducteurs);
2. — L'oxydation des sulfures en soufre (sulfobactéries);
3. — L'oxydation des sulfures en sulfates (thiobactéries).

Certains de ces organismes seraient capables de réaliser plus d'une réaction. Il semble qu'un d'entre eux, *Desulphovibrio desulphuricans*, serait capable de réduire le soufre colloïdal en hydrogène sulfuré. Nous n'avons pu trouver une confirmation de cette propriété.

Trois groupes interviennent dans la vase estuarienne : le groupe thiooxydant, oxydant le soufre et le thiosulfate en acide sulfurique, l'anaérobie *Thiobacillus denitrificans* et *Thiobacillus thioparus*. Le véritable *Thiobacillus thiooxydans* dont l'optimum de croissance se trouve à pH de 2 à 4 et qui provoque fréquemment l'abaissement de celui-ci sous pH = 1, est rare. L'organisme le plus commun paraît ressembler à un intermédiaire signalé par S. A. WAKSMAN (1932) comme présent dans les sols alcalins.

*Thiobacillus thiooxydans* est aérobie et autotrophe strict; *Thiobacillus denitrificans* est anaérobie facultatif; *Thiobacillus thioparus* est autotrophe strict et aérobie. Le groupe moyen d'organismes désigné comme thiooxydans déploie une activité dans les milieux alcalins et à des potentiels bas (en dessous de  $-200$  mV) provoquant une augmentation parallèle du pH et du Eh, conduisant vers des pH de 1 à 2.

#### Rhodobactéries.

De même que les réducteurs des sulfates et les Thiobactériacées, ces bactéries tolèrent des milieux extrêmes. Les limites de pH s'observent : 4,92 (en culture *in vitro*) 10 *in situ*. Les Thiorhodacées colonisent régulièrement la surface de la vase noire.

#### Chlorobactéries.

Petites cellules de 2 à 3  $\mu$ , se développant uniquement dans des milieux minéraux contenant du sulfure de sodium. Les limites de Eh semblent très étroites :  $-100$  et  $-300$  mV. Les limites de pH de 6,5 à 9,8. L'aire de cet organisme se trouve réellement dans les limites de la sulfo-réduction. Dans cette aire restreinte, des bactéries Chlorobactériacées peuvent vivre ensemble avec les Rhodothiobactéries.

#### Algues.

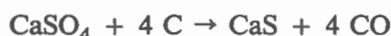
Par rapport au pH et au potentiel, les algues forment le plus grand contraste avec les Chlorobactéries. Ces dernières sont sténobiontes, leur milieu est très rigide; alors que les algues peuvent s'établir dans des milieux de pH 1,2 jusqu'à un pH bien plus élevé que 10, dans les salines ou dans les lacs désertiques. Ni la salinité, ni la température ne semblent limiter le développement de ces organismes. Dans le milieu estuarien une restriction est apportée par le pH. Une seconde particularité des algues est la rigidité avec laquelle elles indiquent des changements mesurables dans le milieu. L'effet de la photosynthèse, souvent exprimé par une augmentation concomitante du pH et du Eh, peut être démontré en une heure, alors que la production de sels de sulphonium par *Enteromorpha*, provoquant une diminution simultanée du pH et du Eh, demande quelques heures avant de pouvoir être détectée. Certaines algues sécrètent des substances hautement réductrices et, en quelques heures, font décroître ainsi le Eh jusqu'à une valeur dans la limite de la réduction des sulfates. Il n'est pas étonnant que *Enteromorpha* soit une compagne constante des sulfo-réducteurs. Des potentiels très bas sont aussi tolérés par des Cyanophycées telles que *Lyngbya*. Ces formes sont capables de se développer dans des milieux contenant au moins  $10^{-4}NH_2S$ . *Eutreptia viridis* ENTZ var. *schizochloria* ENTZ est un habitant fréquent de la surface de la vase. Il serait d'ailleurs souhaitable que le milieu à *Eutreptia* et *Euglena* soit soumis à une étude approfondie.

Il appert que la coexistence de certaines bactéries peut être indicatrice de certaines relations pH/Eh; inversement, une prédiction de la nature des organismes actifs serait possible lorsque pH et Eh d'un milieu donné ont été établis. En fait, le milieu estuarien, et plus spécialement la surface de la vase, est situé dans une zone où l'activité potentielle de tous les groupes microbiens étudiés est à même de s'extérioriser. Ce milieu répond immédiatement à une variation des conditions physico-chimiques. Il est évident qu'il faudrait la connaissance de beaucoup plus de paramètres avant qu'une description complète de la biocénose microbienne d'un estuaire puisse être établie. Dans cet esprit, l'étude des substances organiques est certainement primordiale, l'importance du cycle du carbone n'étant pas nécessairement la même que celle du cycle de l'azote.

Etant très stables (C. E. ZOBELL, 1963), les sulfates ne cèdent pas aisément leur soufre en liberté, sans une dépense d'énergie, sous une autre forme. La réduction

d'une molécule-gramme de sulfate en sulfure, dans les meilleures conditions, demande 2.000.000 cal. (J. WIAME, 1958). Les végétaux qui réduisent les sulfates, satisfont à leur besoin en soufre, en puisant l'énergie indispensable dans les radiations solaires. Les sulfo-réductrices oxydent des substances carbonées ou de l'hydrogène et se procurent ainsi l'énergie qui leur est nécessaire.

On sait qu'à des températures et des pressions élevées, les sulfates peuvent se combiner à des substances oxydables comme du charbon de bois ou des composés carbonés.



Comme nous l'avons fait observer, virtuellement les végétaux les plus variés, y compris les bactéries, absorbent des sulfates, depuis l'eau ou le sol, pour satisfaire leur besoin en soufre. Le sulfate absorbé est probablement réduit d'abord en sulfite et, ensuite, graduellement, à la forme sulfhydryle (-SH), incorporé à la cystéine, la méthionine et la cystine, composantes des protéines végétales. Certaines hormones végétales, des vitamines et d'autres composés organiques contiennent également du soufre. Les animaux se nourrissent de plantes et d'autres animaux afin d'obtenir le soufre essentiel.

Durant la décomposition des restes organiques végétaux et animaux, le soufre est largement mis en liberté comme sulfate ou comme hydrogène sulfuré, les premiers prédominants dans des conditions aérobie. En l'absence d'oxygène libre, au contraire, la décomposition des protéines occasionne la mise en liberté de grandes quantités d'hydrogène sulfuré.

Une partie du soufre dérive de végétaux et d'animaux, mais de plus grandes quantités encore proviennent de réactions entre des hydrates de carbone et des sulfates; la réduction de ces derniers donne lieu à des composés sulfoxy.

*Enteromorpha*, espèce d'algue marine et saumâtre, est à même de provoquer, à l'obscurité, la décroissance du pH aussi bien que du Eh du milieu ambiant de +300 mV, pH = 8,2 à Eh 80 mV à pH = 6,5. L'effet est réversible à la lumière (L. G. M. BAAS-BECKING et M. MAC-KAY, 1955).

En 1953, R. BYWOOD et F. CHALLENGER ont montré que *Enteromorpha* libère du sulfure de diméthyle probablement produit d'un sel de sulphonium, pouvant faire office d'agent réducteur très énergétique.

Les sulfures se combinent aux alkyles halogénés pour former des sels de sulphonium cristallins, comparables aux sels d'oxonium. L'oxydation les transforme successivement en sulfoxydes, puis en sulfones.

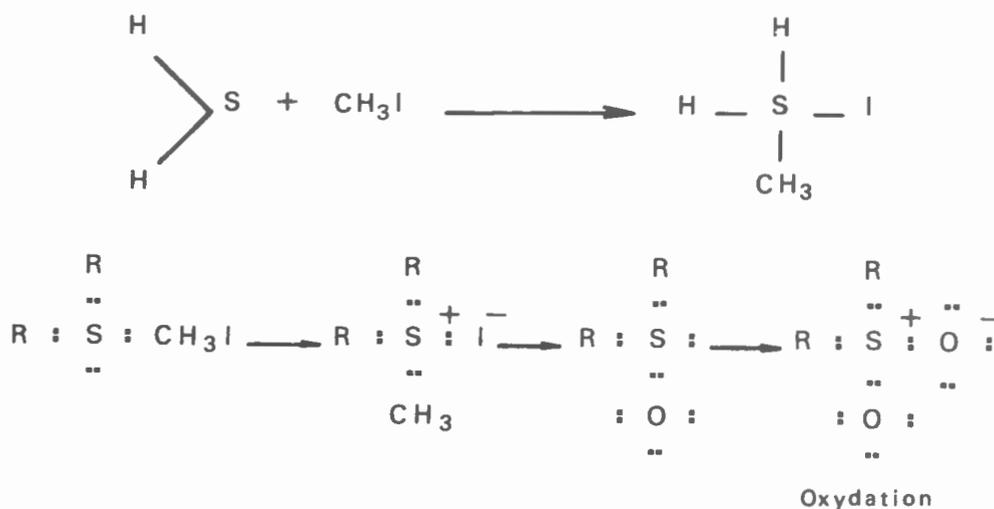
Parmi les organismes provoquant des variations très sensibles du potentiel dans les milieux qui nous occupent ici, citons : les Rhodothiobactéries, à photosynthèse, les Chlorobactéries à photosynthèse, les sulfo-réductrices, les Thiobactéries.

#### Rhodobactéries.

Sont autotrophes à la lumière. Leur bactériochlorophylle cellulaire montre une forte absorption dans le proche infrarouge, leur photosynthèse est la plus prononcée dans cette région du spectre. L'eau absorbant cet infrarouge, les organismes se tiennent près de la surface de l'eau ou de la vase. Comme organismes de surface, elles ont besoin d'un apport régulier de H<sub>2</sub>S, transformé en soufre. Celui-ci peut être oxydé ensuite en sulfate. Il est ainsi possible de cultiver des Rhodothiobactéries sur du thiosulfate en milieu organique. Leur milieu est plutôt restreint. Pour des cultures autotrophes, les limites sont pH = 4,92 à 9,58, Eh = +320 à -230 mV. Pour des cultures sur des sels d'acides organiques, les limites sont pH = 7,20 à 9,75, Eh = +328 à -90 mV.

On ne possède pas beaucoup de données au sujet de l'activité des Chlorobactéries. Leur milieu paraît très restreint et confiné à des pH élevés et des potentiels bas. La région dans laquelle elles se rencontrent se trouve près de l'équilibre SH<sup>-</sup>—H<sup>+</sup> + 2e.

Il se peut que H<sub>2</sub>S en excès soit toxique pour ces organismes (pH = 7,0) alors que leur limite supérieure peut être due à la présence d'ammonium non dissocié (pH < 9,4). Ces bactéries n'ont qu'une importance minime, elles oxydent (SH<sup>-</sup>) en soufre (parfois en thiosulfate) et en sulfate. Pour ces activités, elles sont numériquement dépassées par les Rhodothiobactéries. Il est, en



effet, difficile de combiner l'intensité lumineuse à un potentiel très bas, ces deux facteurs étant indispensables à leur croissance dans le milieu naturel.

À côté des sulfates, les végétaux et les bactéries absorbent et réduisent pour satisfaire leur besoin en soufre, de grandes quantités de sulfates en sulfures par réduction bactérienne des sulfates, ceux-ci fonctionnent comme donneurs d'hydrogène.

### c) Bactéries réductrices.

Il semble qu'elles peuvent assimiler les sulfates comme source de soufre essentiel pour les synthèses cellulaires, la plupart des espèces comme les algues et les végétaux supérieurs réduisant les sulfates. Ces derniers sont transformés pour une large part, dans le protoplasme, en dérivés sulfhydryle et décomposés finalement avec mise en liberté d'hydrogène sulfuré.

Quelques rares bactéries spécialisées seulement, celles-ci du genre *Desulfovibrio*, utilisent les sulfates directement pour oxyder les dérivés carbonés et hydrogénés :



Dans cet exemple théorique,  $R - CH_2$  représente une substance organique et  $R : O$  un produit d'oxydation, comme  $H_2O$  ou  $CO_2$ . Virtuellement toutes sortes de substances organiques, y compris les hydrates de carbone, lipides, acides organiques, protéines et leurs produits d'hydrolyse, sont oxydés, en l'absence d'oxygène libre, par des bactéries sulfo-réductrices travaillant seules ou en association avec d'autres bactéries anaérobies. La question de savoir si les hydrates de carbone sont directement oxydés par des sulfo-réductrices reste discutable. (C. E. ZOBELL, 1958). Certaines variétés, cependant, oxydent l'hydrogène moléculaire.



Celui-ci peut provenir de la fermentation des matières organiques (C. E. ZOBELL, 1947), de la radiolyse de substances organiques (C. W. SHEPPARD, 1944), ou d'autres réactions physico-chimiques (R. I. NICHOLS, 1941).

L'abondance et la répartition très étendue des bactéries sulfo-réductrices dans les sédiments marins et lacustres, où il n'existe pas d'autres sources d'énergie pour leur croissance, indiquent la présence d'hydrogène disponible, et son oxydation rapide et quantitative.

La fonction peut-être la plus importante des bactéries sulfo-réductrices dans les cycles géochimiques est la production d'oxygène à partir des sulfates, pour l'oxydation de la matière organique (A. C. REDFIELD, 1958). Ordinairement, l'oxygène est emprunté à des sources étrangères pour pourvoir à l'oxydation complète ou à la minéralisation de la matière organique. Les sulfates aident à satisfaire cette demande biologique d'oxygène par la matière organique subissant la décomposition dans un milieu anaérobie, comme dans des bassins d'eau stagnante et virtuellement dans tous les sédiments récents légèrement en dessous de l'interface eau-vase.

Théoriquement la demande de 1,0 g de restes organiques de végétaux ou d'animaux d'une composition moyenne, demanderait environ 1,5 g de  $SO_4^{2-}$ .



Les bactéries sulfo-réductrices réalisant cette réaction, sont abondantes dans les sédiments marins, le sol, le sewage, les eaux stagnantes, les sédiments lacustres.

Du point de vue écologique, ces bactéries sont très versatiles. Elles tolèrent des climats extrêmes (C. E. ZOBELL, 1958). La salinité peut varier depuis 0,1 jusque près de 30 ‰. On les trouve dans les milieux naturels d'un pH de 4,5 jusque pH = 10. Mais la plupart des réducteurs préfèrent des pH de 6,5 à 8,0. Ce sont des anaérobies stricts, croissant et réduisant les sulfates uniquement en l'absence d'oxygène libre. Comme tous les organismes vivants elles exigent de l'eau et une source d'énergie. Cette dernière peut être fournie par la matière organique ou par de l'hydrogène libre.

Leurs survie et activité biologiques dans les sédiments dépendent des conditions du milieu suivantes :

a. - les espaces interstitiels dans les sédiments doivent être plus larges que les dimensions des bactéries;

b. - l'eau libre doit contenir au moins des traces de phosphates, calcium, magnésium, potassium, fer, chlore et azote sous des formes assimilables afin de pourvoir au développement de la cellule. L'ammonium satisfait à la demande d'azote nitrique de la plupart des bactéries réductrices. Quelques-unes fixent de l'oxygène (F. D. SISSLER et C. E. ZOBELL, 1951);

c. - des dérivés carbonés oxydables ou de l'hydrogène libre, apportant l'énergie nécessaire;

d. - absence de substances toxiques en concentrations bactériologiques, les sulfo-réductrices sont seules, cependant, à tolérer des concentrations élevées en hydrogène sulfuré;

e. - des températures au-dessus de 85°C sont généralement limitantes.

*Desulphovibrio desulfuricans*. Cette espèce constitue le type des bactéries sulfo-réductrices. Organisme anaérobie, probablement le plus important dans le cycle du soufre parce que produisant de l'hydrogène sulfuré à partir de sulfates. Il se cultive activement à des températures ordinaires : 30°C. Les cellules apparaissent comme des vibrions légèrement incurvés, chacun muni d'un seul fouet polaire. Dans certaines conditions, les cellules peuvent se présenter également sous forme de bâtonnets coccoïdes ou comme des spirilles. Certaines variétés demandent des températures plus élevées. (*Sporovibrio thermosulfuricans*).

Celles cultivées à 55° sont d'une taille plus grande et possèdent plusieurs fouets répartis à la périphérie de la cellule. Certains types prospèrent bien en l'absence de chlorure de sodium, d'autres sont halophiles. Il semble qu'il existe plusieurs espèces, mais J. K. BAARS a montré que certaines d'entre elles, apparemment différentes, sont en réalité interconvertibles par une adaptation graduelle et sont à considérer comme des races d'une seule

espèce. Plus récemment, des variétés ont été isolées, incapables de se développer à des températures dépassant 37°C; d'autres sont des halophiles obligés, certaines formes sporulent, d'autres ne sporulent pas. Il se pourrait donc bien qu'il existe plus d'une espèce (*sporovibrio* implique 1 spore).

Ces bactéries sont à même de réduire les sulfites aussi rapidement que les sulfates mais les thiosulfates et les tetrathionates sont transformés moins rapidement. Le soufre colloïdal, à l'exception d'autres formes de ce métalloïde, serait réduit très lentement.

Il est vrai que la présence d'un agent réducteur simultanément avec l'organisme et les sulfates, est indispensable, l'organisme agissant plutôt comme catalyseur dans le processus de réduction. Pour que celle-ci soit complète, il faut la présence d'une quantité d'agent réducteur équivalente à la quantité de substrat à réduire. Des composés organiques, lactates, pyruvates, succinates, fumarates et de l'éthanol peuvent fonctionner comme agents réducteurs.

En 1959, H. ISHIMOTO et D. FUJIMOTO ont publié les résultats d'une recherche tendant à montrer que dans la réduction des sulfates par *Desulphovibrio*, l'adénosine-5-phosphosulfate participe à la réaction comme intermédiaire.

M. STEPHENSON et L. M. STRICKLAND (1930) ont montré que pour les réductions, ces organismes peuvent utiliser l'hydrogène gazeux, c'est-à-dire qu'ils contiennent une enzyme : l'hydrogénase. En ce qui concerne les autres nécessités de ces bactéries, en plus du soufre et d'un agent réducteur, elles ont simplement besoin de quelques sels minéraux essentiels comme des sels d'ammonium, des phosphates et, lorsqu'il est fait usage d'hydrogène, d'une source de carbone minéral, des bicarbonates par exemple. Afin d'obtenir un bon développement, le milieu doit être enrichi d'adjuvants comme de l'extrait de levure ou de peptone. Mais l'organisme peut être cultivé également dans un milieu complètement minéral (avec des bicarbonates ou du CO<sub>2</sub>), si l'incubation a lieu dans une atmosphère d'hydrogène gazeux.

Ce sont des autotrophes facultatifs.

Au cours des années 1950, J. R. POSTGATE a effectué des études (1952) au sujet du métabolisme de ces bactéries. Chez plusieurs races, il a découvert la capacité, inattendue jusqu'ici, de se développer en l'absence de sulfates, à condition que les pyruvates soient présents. Il a montré également qu'au cours d'une croissance active, la vitesse avec laquelle les cellules utilisent l'hydrogène, en présence de sulfates, était sept fois plus grande que chez les cellules au repos.

En ce qui concerne les espèces sulfo-oxydantes, beaucoup d'organismes sont capables d'oxyder des sulfures, nous nous en tiendrons aux principales. On connaît des espèces colorées et incolores. Parmi les incolores, la mieux connue est *Beggiatoa*; organisme long, filiforme, observé communément dans les milieux à hydrogène sulfuré. Incubé en aérobiose dans un milieu nutritif contenant H<sub>2</sub>S, l'organisme accumule du soufre dans ses

cellules. Lorsque tout le soufre est consommé, les granules de soufre disparaissent des cellules et le sulfate réapparaît dans le milieu liquide. De même que les bactéries sulfo-réductrices, *Beggiatoa* peut se développer en autotrophe, ses demandes d'énergie provenant de l'oxydation des sulfures.

Les espèces colorées provoquent les mêmes réactions, mais par un mécanisme très différent. Comme genres principaux signalons : *Chromatium* (Rhodothiobactériacées) et *Chlorobium* (Chlorobactériacée). Elles aussi peuvent se cultiver en autotrophes et sont des anaérobies stricts. Pour leur croissance elles demandent de l'énergie lumineuse; des pigments, comme chez les plantes à chlorophylle, leur confèrent des propriétés photosynthétiques. On les trouve généralement aux endroits où les sulfures sont formés et il n'est pas étonnant que dans la nature elles soient invariablement associées à des bactéries sulfo-réductrices. Dans des circonstances favorables, elles prolifèrent d'une manière telle qu'elles produisent dans l'eau ou dans la vase une coloration intense, surtout dans la vase (Rhodobactériacées). Ces dernières, pourpres, mobiles, forment des granules dans leurs cellules en présence d'hydrogène sulfuré et, comme *Beggiatoa*, oxydent le soufre jusqu'au stade de sulfate lorsque le soufre est épuisé. Les sulfo-bactéries des Chlorobactériacées vertes déposent le soufre en dehors de la cellule et n'oxydent généralement pas plus loin. H.J. LARSEN a décrit récemment (1952) des races qui oxydent les sulfures en sulfates.

Les Chlorobactéries préfèrent des concentrations plus élevées de sulfures que les espèces de Rhodothiobactériacées. Il arrive fréquemment que les espèces vertes se développent en premier lieu, réduisant ainsi la concentration en sulfures, stimulent la croissance des Rhodothiobactériacées, dans leur voisinage immédiat.

Les bactéries sulfo-oxydantes sont capables de former, par elles-mêmes, un cycle bactérien complet du soufre. Les sulfo-oxydantes vertes toutefois, se singularisent en précipitant le soufre en dehors de leurs cellules.

Il existe un autre groupe important, celui des Thiobacilles, aérobies, capables d'oxyder du soufre en sulfates. L'espèce la mieux connue de ce groupe est l'aérobie *Thiobacillus thiooxydans*. C'est un autotrophe obligé, remarquable en ce sens que chez cette espèce le système très compliqué de vitamines, enzymes et protoplasme doit être synthétisé en partant de matériaux minéraux, avec CO<sub>2</sub> comme source de carbone.

*Thiobacillus denitrificans* est une autre espèce largement répandue dans le sol, l'eau et la vase. Elle diffère de la plupart des Thiobacilles par le fait qu'elle est anaérobie facultatif. Elle est capable d'utiliser les nitrates comme source d'oxygène pour l'oxydation de l'hydrogène sulfuré, les thiosulfates et les tetrathionates.

Dans le processus de sulfo-réduction en H<sub>2</sub>S, le soufre doit passer par plusieurs stades intermédiaires, mais on n'a observé que des traces de sulfite. (J. R. POSTGATE, 1951). Des faits et des théories par rapport à ces intermédiaires ont été traités par R. B. ROBERTS et Coll.

(1955), J. R. POSTGATE (1958), M. D. THOMAS (1958), J. M. WIAME (1958), L. YOUNG et G. A. MAN (1958) et par M. ISHIMOTO et D. FUJIMOTO (1959).

La décomposition microbienne des résidus organiques végétaux et animaux se termine par la libération de  $H_2S$ . De nombreuses espèces bactériennes participent au processus.

En l'absence d'oxygène libre, les bactéries convertissent le soufre organique presque quantitativement en sulfure d'hydrogène. Des traces de *mercaptans* peuvent être produits (H. J. BUNKER, 1936). L'hydrogène sulfuré produit en excès provient de la sulfo-réduction de la matière organique. Au moyen de ses propres observations et se basant sur les travaux d'autres chercheurs, P. H. CLARKE (1953) a montré que la plupart des espèces de bactéries libèrent de  $H_2S$  depuis la cystéine. Moins communes sont celles capables de produire  $H_2S$  en partant de cystine, de thiosulfates ou de sulfates. Cet  $H_2S$  est responsable des conditions anaérobies régnant dans les eaux stagnantes. Dans ces endroits il limite la croissance ou la présence des organismes en influençant l'état d'oxydation de mainte substance.

Plusieurs observateurs ont rapporté l'existence d'une couche laiteuse ou turbide de l'eau causée par la présence de soufre colloïdal et des sulfo-bactéries lorsque l'oxygène des couches supérieures entre en contact avec l'hydrogène sulfuré des couches inférieures.

Le soufre est produit par l'oxydation incomplète de  $H_2S$  ou par la réduction de certains composés sulfoxy. De telles réactions se produisent soit spontanément, soit par voie biochimique, en présence d'agents d'oxydation ou de réduction. Dans des eaux mi-stagnantes, le soufre colloïdal peut être formé en quantités suffisantes pour produire une apparence laiteuse ou trouble dans des couches où l'hydrogène sulfuré diffuse depuis des milieux anaérobies et vient en contact avec l'oxygène dissous.

Le soufre élémentaire est formé par plusieurs espèces de bactéries. Parmi le grand nombre de celles produisant du soufre indirectement, on compte celles qui produisent  $H_2S$ , pouvant être oxydé ensuite en *S. Beggiatoa spec.* est le type de ces bactéries.



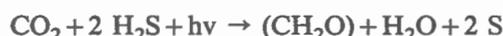
Il en est de même pour *Achromatium oxaliferum*, espèce chez laquelle le soufre forme des dépôts intracellulaires ensemble avec des granules d'oxalate de calcium. Pour PREVOT, il s'agit de cristaux de  $CaCO_3$  et non d'oxalate comme le croyait SCHEWIAKOFF.

Ordinairement *Beggiatoa* oxyde  $H_2S$  en sulfate, accumulant du S comme globules dans ses cellules lorsque  $H_2S$  est présent en quantités appréciables. Dans des conditions optimales, les espèces de *Beggiatoa* peuvent oxyder trois ou quatre fois le poids de leurs cellules par jour. De telles bactéries sont largement répandues aussi bien dans des milieux marins que limniques contenant du  $H_2S$ . Dans plusieurs pièces d'eau des bactéries se reproduisent rapidement dans des zones où cet acide, produit

au fond, vient en contact avec l'oxygène des couches superficielles.

Certaines espèces tendent à se déposer dans les couches profondes où elles sont alors incapables d'oxyder leur soufre intracellulaire. Il existe plusieurs autres genres de bactéries oxydant les sulfures en sulfates avec la formation de S élémentaire en globules intra- ou extracellulaires. Ainsi des espèces comme *Thiothrix*, *Thioploca*, *Thiospirillopsis*, *Achromatium*; *Macromonas*, *Thiospira* et *Thiobacterium* (R. L. STARKEY, 1956; P. SCHWARTZ, 1958)

Les genres de sulfo-bactéries dont il est question plus haut, sont indépendantes de la lumière et ne font pas de photosynthèse comme certains genres de représentants des Rhodothiobactéries et des Chlorobactéries qui possèdent des pigments chlorophylliens. Ces espèces pigmentées se développent en présence de lumière, de  $CO_2$  et de  $H_2S$  formant du S élémentaire aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de leurs cellules :

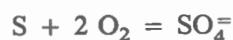


réaction dans laquelle  $(CH_2O)$  représente un composé organique dans la cellule de la bactérie. On les rencontre dans les eaux peu profondes et dans les couches vaseuses minces libérant du  $H_2S$ .

*Thiobacillus thioparus* trouvé communément dans le sol, dans les eaux peu profondes et dans certains sédiments marins, oxyde le thiosulfate et dépose des granules de S intracellulaire.

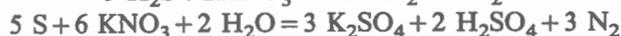
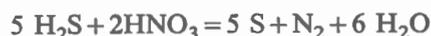


*Thiobacillus thiooxydans* produit des sulfates à partir de l'oxydation du S jusqu'à ce que le pH du milieu (*in vitro*) soit réduit à pH=1,0 parfois plus bas encore (R. L. STARKEY, 1956).



Il peut aussi oxyder les thiosulfates.

*Thiobacillus denitrificans* oxyde le S aussi bien en présence d'oxygène, qu'en anaérobiose en présence de nitrates :



Il peut oxyder aussi les thiosulfates.

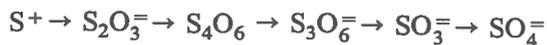
Le mécanisme par lequel le soufre élémentaire entre dans la cellule bactérienne pour y être assimilé demeure obscur. La diffusion dans un milieu aqueux semble improbable, étant donné la solubilité minimale du soufre dans l'eau. Le transport par l'intermédiaire de graisse ou d'huile, dans lesquelles le S est soluble, a été mis en avant, mais est disputé. Une autre possibilité consiste en une réduction extracellulaire suivie du transport de sulfure actif vers l'intérieur de la cellule :



réaction dans laquelle GSH représente du glutathion réduit ou un corps similaire à radical sulphydryle. L'ion

S, soit libre, soit sous forme combinée, diffuse dans la cellule dans laquelle la réaction chimique peut être inversée et où l'oxydation subséquente du S en sulfate peut trouver des électrons pour réduire GS-SG en 2 SGH.

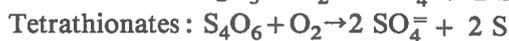
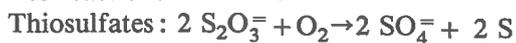
W. VISHNIAC et M. SANTER (1957) envisagent l'oxydation intracellulaire du S en thiosulfate et, ensuite, graduellement en sulfate, successivement par les réactions suivantes :



Il semble que l'oxydation des thiosulfates et des tetrathionates serait dépendante des phosphates, probablement par l'intermédiaire d'anhydrides mixtes du type :



Les réactions de base sont :

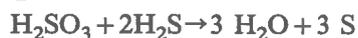


Cette hypothèse semble admissible à cause de la présence dans le protoplasme de sulfate de phosphoryle.

Les bactéries sulfo-réductrices du genre *Desulphovibrio*, suppose-t-on, possèderaient la possibilité d'oxyder du S élémentaire jusqu'à un point limité et dans des conditions spéciales (J. R. POSTGATE, 1951). Dans la nature, cependant, les sulfo-réducteurs sont de loin plus importants comme producteurs que comme oxydants de S, directement ou indirectement.

Ordinairement les sulfates sont réduits presque quantitativement en  $H_2S$  dans les cultures *in vitro* de *Desulphovibrio*.

Dans certaines conditions écologiques, certaines bactéries réduisent directement les sulfates en S (S. C. DATTA, 1946; SUBRA-ROA, 1950). Certains auteurs sont d'avis que  $H_2S$  formé par des sulfo-réducteurs est impliqué dans la formation de S. L'oxygène peut contribuer au processus dans beaucoup d'endroits. Dans les milieux anaérobies, profondément à l'intérieur des sédiments, de grandes quantités de S sont produites sous l'action d'autres agents d'oxydation. H. W. FEELY et J. L. KULP (1957) ont suggéré que le sulfate lui-même ou des substances intermédiaires, comme les sulfites, pourraient réagir avec  $H_2S$  :



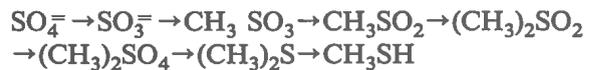
Bactéries, levures, champignons humicoles, diffèrent quelque peu des plantes supérieures dans leurs besoins en S. Un nombre d'espèces microbiennes sont capables de subsister au moyen de formes minérales de S; d'autres espèces exigent des corps comme la biotine, la thiamine, la méthionine, l'acide lipoïque, le thiazol ou d'autres formes de S, pour une croissance optimale. La demande en S est fonction des espèces ou races microbiennes, des conditions écologiques, y compris la température, la pression hydrostatique, la présence d'autres substances nutritives ou métabolites.

Par des études sur *Aspergillus nitidulans*, on a postulé (D. J. D. ROCHENUL, 1949) la conversion graduelle de sulfate en cystine :

sulfate-sulfite-sulfoxylyate-thiosulfate-serine thiosulfate - (cystéine S-sulfonate)-cystéine-cystine.

La synthèse de la méthionine par d'autres bactéries suit une voie similaire jusqu'à la cystéine :  
sulfate - cystéine - cystathion - homocystéine - méthionine.

L. YOUNG et G. Z. HAW (1958) ont signalé que *Schizophyllum* commune du bois pourrissant, synthétise du sulfate de diméthyle et le méthane-thiol ou le méthylmercaptan par la réduction successive et la méthylation du sulfate :



D'autres espèces forment du méthane-thiol depuis la dégradation de la méthionine. La cystéine est de même métabolisée par certaines espèces avec la formation de méthane-thiol.

Les hétérotrophes aussi bien que les autotrophes convertissent une certaine quantité de S, le carbone étant métabolisé en substance cellulaire, composée surtout de matières protéiques. Malgré la petite taille, en comparaison avec les plantes supérieures et les animaux, la biomasse bactérienne dans le sol et en eau de mer est appréciable, eu égard à leur abondance numérique, leur vaste répartition et la rapidité avec laquelle elles se développent et se multiplient.

À côté de leurs multiples effets sur le cycle du S, les bactéries transformatrices de S peuvent exercer une influence sur les sulfates organiques, les sulfonates et des composés similaires. Les renseignements sur ces réactions sont peu nombreuses. Dans des conditions aérobies, le S est probablement libéré comme sulfite ou sulfate.

N. D. ZELINSKI (1893) a été le premier à revendiquer l'isolation de bactéries sulfo-réductrices.

M. W. BEIJERINCK (1895) a soigneusement décrit *Spirillum desulfuricans*, un réducteur de sulfates qu'il a pu isoler. Un organisme similaire dénommé *Spirillum aestuarii* a été isolé depuis l'eau côtière de la Mer du Nord et la vase par A. VAN DELDEN (1904). Cet organisme exige de l'eau de mer à 3 % de NaCl pour sa croissance alors que *Spirillum desulfuricans* n'est pas actif dans des milieux à 3 %.

Ces deux organismes, de même que *Spirillum thermodesulfuricans* de ELION peuvent être acclimatés à différentes salinités et températures, cependant BAARS (1930) a regardé ces trois organismes comme des races d'une seule espèce qu'il dénomme *Vibrio desulfuricans*. S. G. RITTENBERG (1941) n'a pas été à même d'adapter la race qu'il avait isolée de l'eau de mer, à se développer en eau douce ou à des températures dépassant 40 à 50 °C. La température optimum pour *Spirillum thermodesulfuricans* est 55 °C. Il semble que les espèces marines de sulfo-réducteurs ne peuvent être amenées à sporuler.

L'absence d'oxygène libre, la présence de sulfates et de matières organiques sont les exigences principales pour l'activité des sulfo-réducteurs.

(*Desulfovibrio desulfuricans*, *Vibrio desulfuricans* et *Spirillum desulfuricans* sont actuellement considérés comme synonymes).

En apparence il existe des races qui utilisent à peu près n'importe quel genre de matière organique, comprenant des protéines, sucres, amidons, hydrates de carbone et des acides gras. À côté de leur rôle clé dans le cycle du S en mer, les sulfo-réducteurs ont une activité de premier plan dans la transformation de la matière organique.

W. BAVENDAMM (1932) a noté la présence d'un grand nombre de réducteurs dans la vase calcaireuse. Il croit à leur intervention dans la précipitation calcaire dans certaines conditions :



Dans cette réaction, la matière organique sert de donneur d'hydrogène.

La question de savoir si la réduction des sulfates est la propriété d'un seul groupe de bactéries ou s'il existe plusieurs types d'organismes doués de cette fonction, demeure une question ouverte. Il est vrai que la plupart des micro-organismes sont capables de couvrir leurs besoins en S à partir des sulfates par un processus que M. W. BEIJERINCK avait appelé, en 1895, une réaction non spécifique des sulfates. Pour de tels organismes, cependant, la réduction des sulfates ne constitue pas une partie essentielle de leur métabolisme oxydatif ainsi que cela paraît l'être pour *Desulphovibrio*.

*Desulphovibrio aestuarii* peut faire usage non seulement des sulfates mais également des sulfites, des thio-sulfates et du S comme accepteurs d'hydrogène. Généralement  $\text{H}_2\text{S}$  constitue le produit final principal.

Les autotrophes à photosynthèse peuvent oxyder  $\text{H}_2\text{S}$  dans un milieu anaérobie alors que la plupart des autotrophes à chimiosynthèse sont des aérobies stricts ou micro-aérophiles. Ceci restreint fortement les localités dans lesquelles les sulfo-bactéries peuvent fonctionner en mer. La pénétration de la lumière solaire est limitée aux cent premiers mètres dans les couches supérieures et la quantité de lumière qui pénètre jusqu'aux sédiments est négligeable. La présence de  $\text{H}_2\text{S}$  dans un milieu aérobic est largement limitée à des localités où ce gaz est produit de manière continue. Plusieurs types physiologiques de sulfo-bactéries s'observent en eau peu profonde où ces conditions persistent.

Récemment, des auteurs ont cherché à élaborer des modèles pour la réduction des sulfates. L. R. GARDER (1973) en a établi un pour les milieux marins strictement anaérobies.

La chimie des eaux anoxiques, écrit-il, a suscité pendant longtemps l'attention de ceux qui s'intéressent à la géochimie de l'eau de mer, aux processus de la diagénèse et la formation de minéraux authigéniques.

Malgré que les lignes générales des processus de la sulfo-réduction soient connues, il reste beaucoup à apprendre au sujet des effets de facteurs tels le type du sédiment, la composition de la matière organique, la

cinétique des paramètres chimiques des eaux anoxiques et sur l'altération minérale.

Des modèles de réactions basées sur le calcul du transfert de masses, ont été essayés pour les sulfo-réductions dans des systèmes marins anaérobies clos, contenant un sédiment inerte,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ou  $\text{CaCO}_3 + \text{Fe}_2\text{CO}_3$ . Les diagrammes qui en résultent, montrent des variations dans les concentrations des espèces aqueuses comme une fonction des quantités de matières organiques oxydées. Les cellules montrent que le pouvoir tampon augmente de système en système. Les supputations révèlent aussi que la limite asymptote de la réduction du pH en deux systèmes est de 6,60 alors que dans deux autres systèmes, elle est de  $\text{pH} = 6,92$ . Le modèle prédit que dans un système,  $\text{CaCO}_3$  sera redissous comme le résultat de la réduction des sulfates, tandis que dans deux autres systèmes,  $\text{CaCO}_3$  sera précipité avec le sulfure de fer. Les modèles illustrent les facteurs moyens qui influencent le pH des eaux anoxiques. Le pH de ces dernières dépend de l'interaction complexe d'un nombre de facteurs, y compris le type de sédiment et la composition de la matière organique. La persistance de conditions métastables peut avoir un effet important. L. R. GARDER est convaincu que ces modèles donnent une bonne approximation pour des systèmes extrêmement compliqués.

Un autre auteur, C. E. REES (1973) a suggéré un modèle pour le fractionnement des isotopes du S dans le même processus de sulfo-réduction.

L'auteur se base sur des expériences effectuées au moyen de *Desulphovibrio desulfuricans*. La séquence adoptée des réactions est essentiellement la même que celle discutée par A. L. W. KEMP et H. G. THODE (1968), dérivée, elle, des études de H. D. PECK (1959, 1961, 1962).

Pour terminer cette vue d'ensemble, une liste des espèces principales observées dans les eaux saumâtres, due à C. E. ZOBELL (1946). Parmi les Rhodothiobactériacées, les Thiorhodacées suivantes ont été décelées dans les eaux salées ou saumâtres :

<i>Thiocystis violacea</i>	<i>Thiodictyon elegans</i>
<i>Thiocystis rufa</i>	<i>Thioplycoccus ruber</i>
<i>Thiocapsa roseopersicina</i>	<i>Chromatium Warmingii</i>
<i>Thiosarcina rosea</i>	<i>Thiospirillum jenense</i>
<i>Lamprocystis roseo persicina</i>	<i>Thiospirillum violaceum</i>
<i>Thiopedia rosea</i>	<i>Thiospirillum Rosenbergii</i>
<i>Amoebobacter granulae</i>	<i>Rhodocapsa suspensa</i>
<i>Thiothece gelatinosa</i>	<i>Rhodotheca pendens</i>

L. G. M. BAAS-BECKING (1925) a décrit une association « sulfuretum » comme une association naturelle écologique de bactéries du cycle du S. C'est une biocénose à bactéries diverses, sulfo-réductrices et oxydantes de  $\text{H}_2\text{S}$ , ensemble avec d'autres micro-organismes.

En eau douce et saumâtre, *Chromatium* et *Beggiatoa* constituent les espèces les plus communes, suivies par *Lamprocystis*, *Amoebobacter*, *Thiothrix*, *Thiopedia*, *Thioplycoccus* et *Thiospirillum*. Des protozoaires consommant des sulfobactéries sont communs. Comme espèces compagnes, on peut noter des espèces diverses de

*Euglena*, de *Phacus*, *Oscillatoria*, *Phormidium* et plusieurs diatomées, ensemble avec des nématodes et des *Spirochaeta*.

En ce qui concerne les eaux saumâtres de la Basse-Belgique, les seuls renseignements que nous possédions, sont relatifs à la région de Lilloo (W. CONRAD, 1954).

Dans la publication de W. CONRAD, nous trouvons l'énumération suivante :

<i>Achromatium oxaliferum</i>	<i>Thiospira agilissima</i>
<i>Beggiatoa alba</i>	<i>Thiospira bipunctata</i>
<i>Beggiatoa arachnoidea</i>	<i>Thiospira Winogradskii</i>
<i>Beggiatoa mirabilis</i>	<i>Thiospirillum jenense</i>
<i>Chlorobacterium symbioticum</i>	<i>Thiospirillum Rosenbergti</i>
<i>Chromatium Okenii</i>	<i>Thiothece gelatinosa</i>
<i>Chromatium vinosum</i>	<i>Thiothrix annulata</i>
<i>Lamprocystis rosea-persicina</i>	<i>Thiothrix nivea</i>
<i>Thiophysa volutans</i>	<i>Thiothrix tenuis</i>
<i>Thioploca Schmidlei</i>	

W. CONRAD ajoute : Toutes les espèces de Schizomycètes signalées à Lilloo sont évidemment thiophiles par définition. Celles qui sont signalées comme préférant les milieux marins ou saumâtres sont assez nombreuses : signalons : *Beggiatoa alba*, *B. arachnoidea*, *B. mirabilis*, *Chlorobacterium symbioticum*, *Lamprocystis rosea-persicina*, *Thiophysa volutans*, *Thiospira bipunctata*, *Thiospirillum jenense*, *Th. Rosenbergti*, *Thiothrix annulata*.

*Thioploca Schmidlei* a des préférences pour des milieux calcaires alcalins.

### C. - Précipitation du carbonate de calcium.

Parmi les réactions diverses se produisant dans l'eau des estuaires, celles relatives au calcium ne sont pas les moindres. On sait d'après les travaux de K. BUCH, H. WATTENBERG & S. GRIPENBERG (1917, 1929, 1932, 1933) et K. KALLE (1943); H. WATTENBERG (1936), que la salinité de l'eau a une très grande influence sur le système de l'acide carbonique et, par conséquent, dans les estuaires (cf. bibliographie in L. VAN MEEL, 1972).

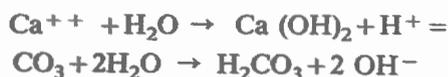
Les concentrations du calcium sont intimement liées au système acide carbonique : elles constituent un ensemble bien défini.

On connaît plusieurs facteurs qui peuvent agir sur ces concentrations, et notamment, sur le mécanisme des précipitations imputées d'une part à des phénomènes physiques et chimiques, et, en second lieu, à diverses manifestations d'ordre biologique.

Malgré que les réactions de base soient bien connues, il nous paraît utile de les rappeler néanmoins ici.

La solubilité du carbonate de calcium est minime, de l'ordre de 0,011 g par litre, elle ne s'effectue qu'en présence d'acide carbonique libre.

Le bicarbonate et le carbonate étant des sels d'une base forte et d'un acide faible, l'hydrolyse se poursuit ainsi :



Comme  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  est une base relativement forte avec dissociation presque complète, les ions  $(\text{OH})^-$  alcalinisent la solution.

On peut encore déduire une troisième équation :



ou bien :



Dans une eau naturelle on trouve du bicarbonate et du carbonate, presque toujours une minime quantité d'acide carbonique libre, de sorte que l'eau devient un complexe de :

acide carbonique — bicarbonate de calcium  
bicarbonate de calcium — carbonate de calcium

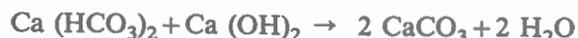
Le phénomène de la décalcification a été décrit par différents auteurs : J. JOHNSTON & E.D. WILLIAMSON (1916) ont étudié plusieurs causes inorganiques de la décalcification ; J.W. BRONSTEDT & C.W. WESENBURG-LUND (1912) et surtout L. MINDER (1923) et J. PIA (1932-1933) ont traité des aspects biologiques et inorganiques du problème.

F. RUTTNER rappelle à ce sujet que des recherches entamées à Lunz ont prouvé que 100 kg de *Elodea canadensis* vivants sont capables de libérer en un jour de 10 heures de lumière solaire, 2 kg de carbonate de calcium. Il n'est pas difficile dès lors de se faire une idée au sujet des quantités énormes de Ca qui sont ainsi soutirées à l'eau, lorsqu'on tient compte en outre des autres plantes aquatiques et de la quantité de plancton végétal qui, par leur surface considérable sont particulièrement actives dans l'absorption de l'acide carbonique.

Ce phénomène se poursuit depuis le mois de mai, durant tout l'été et ne se termine qu'en septembre environ. Au cours des mois d'hiver, la concentration en  $\text{CO}_2$  augmente et revient à un taux normal. D'après les calculs de ces différents auteurs, la précipitation du calcium pourrait atteindre 75 % de la concentration primitive.

F. GESSNER (1955) a consacré aussi quelques pages de son ouvrage « Hydrobotanik » à ce problème. La plante emprunte à l'eau les molécules de bicarbonate, décompose celles-ci dans ses cellules, utilise le  $\text{CO}_2$  libéré et élimine ensuite  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

La gaine d'eau qui entoure la plante est devenue tellement alcaline par cette excrétion que la phénolphtaléine peut être colorée en rouge. Si cette eau très alcaline entre maintenant en contact avec du bicarbonate de calcium, la réaction suivante se produit :



en d'autres termes, l'anhydride carbonique est précipité ainsi complètement comme carbonate de calcium insoluble et inutile à l'assimilation.

Pour que cette dernière reste toujours possible, il est indispensable que ce manteau d'eau appauvri en anhydride carbonique soit éloigné de la plante par les mouvements de l'eau et remplacé par une eau fraîche, plus riche en  $\text{CO}_2$ .

On pourrait se demander pourquoi, lors de la précipitation de carbonate de calcium, sans parler déjà de son hydrolyse ultérieure, on parvient à déceler une réaction dans le sens alcalin. Ne perdons pas de vue qu'à côté de carbonate de calcium, mais en petite quantité seulement, du carbonate de magnésium se trouve dans la solution, qui confère à l'eau une réaction fortement alcaline.

Encore une dernière remarque. L'échelle de solubilité donne de 26 à 30 mg de  $\text{Ca}^{++}$  par litre et 79 à 90 mg de  $\text{HCO}_3^-$ , mais, comme W. OHLE l'a montré, dans un certain nombre de cas, on obtient toujours des concentrations plus élevées. Il a pu démontrer (1952) que la sursaturation de l'eau filtrée reste inchangée après un séjour d'un mois au laboratoire. W. OHLE put conclure, après un grand nombre d'expériences, à l'existence d'une forme colloïdale de  $\text{CaCO}_3$ . Par des mesures de conductivité il trouva environ 10 mg/litre de carbonate de calcium sous forme colloïdale. Autrefois, E. STEIDTMANN (1935) avait déjà émis l'hypothèse de l'existence de cette forme colloïdale et F. RUTTNER aussi en a soupçonné l'existence. La concentration basse de 14 C du bicarbonate dissous par rapport à la production photosynthétique et la précipitation en eau dure laissent supposer la présence de telles formes assez stables (E.S. DEVEY, H.S. GROSS, G. HUTCHINSON & H.L. KRAYBILL, 1954).

Il semble y avoir des raisons suffisantes pour supposer que le phénomène observé par W. OHLE en eau assez calcareuse ait lieu fréquemment.

### 1. Facteurs chimiques et physiques.

a - D'après E. GOEDECKE (1936), la précipitation du carbonate de calcium dans l'eau de surface des zones de mélange eau de mer-eau limnique, a lieu de diverses façons.

On sait depuis longtemps, qu'à l'endroit de contact des eaux salées et des eaux de rivière, le degré de turbidité est modifié par les réactions chimiques (K. WEULE, 1896). Dans ces deux eaux à caractère spécifique, les substances en suspension se précipitent. On a constaté en même temps, dans cette zone de contact et de mélange, que la vie organique semble particulièrement favorisée (H. POPPOEN, 1912).

Ce phénomène des variations de la turbidité des eaux de rivière, intimement lié à l'augmentation, entre autres, des particules de calcaire en suspension dans l'eau, doit être étudié en premier lieu au point de vue de la chimie colloïdale. En effet, on se trouve ici devant une similitude entre les propriétés d'une solution colloïdale et les caractères chimiques de l'eau de mer.

En se basant sur la concentration élevée en ions chlore, il faut considérer l'eau de mer comme une solution d'électrolytes possédant la propriété de flocculer, en un laps de temps relativement restreint, les colloïdes des eaux fluviales, même lorsque la force dynamique du courant serait encore suffisante pour tenir en suspension les particules déjà flocculées (O. KRUMMEL, 1907). D'après G. BODLANDER (1893), des recherches appro-

fondies ont montré que ce n'est pas la quantité considérable de chlorure de sodium de l'eau de mer, mais bien plus les sels de magnésium qui posséderaient la plus grande propriété de clarification.

C. FORCH a effectué des recherches sur la précipitation de fines suspensions argileuses en divers milieux salés. Avec l'augmentation de la concentration de l'électrolyte, la vitesse de précipitation augmente rapidement. A de fortes concentrations, elle atteint toutefois une limite. Il existe une concentration bien déterminée à laquelle la vitesse de précipitation atteint son maximum. Ce phénomène se laisse le mieux expliquer par les données de la chimie colloïdale.

Suivant la théorie des absorptions d'ions et celle sur le mélange de colloïdes, à charge électrique opposée, la stabilité de la solution colloïdale est maintenue grâce à la charge des particules colloïdales. Lorsque cette charge est neutralisée par l'addition d'un électrolyte, il se produit une coagulation des particules. La précipitation se fait d'autant plus rapidement que les charges électriques sont neutralisées plus vite. La précipitation maximale est atteinte au point iso-électrique.

b - Un second facteur est constitué par la diminution de l'anhydride carbonique dans la solution. D'après les anciennes conceptions, le bicarbonate de calcium, facilement soluble mais labile, pour pouvoir rester en solution, a besoin d'une quantité déterminée d'anhydride carbonique, appelé par certains auteurs : « zugehörige Kohlendioxyd ». Lorsque cette quantité est soustraite à la solution, le bicarbonate se transforme en carbonate très difficilement soluble, qui précipite pour une grande part



D'après la théorie classique de la dissolution, l'anhydride carbonique est lié à une quantité, probablement minime, d'eau sous forme d'acide carbonique :



L'acide carbonique possède une double dissociation :



Le carbonate de calcium se dissocie suivant l'équation :



Si la solution perd de l'anhydride carbonique, l'équilibre dans les équations (1) et (2) se déplace vers la gauche. Pour cette raison, la concentration des ions  $\text{HCO}_3^-$  diminue, car la première dissociation de l'acide carbonique étant complète, sa dissociation augmente. L'équilibre (3) se déplace vers la droite et d'autant plus rapidement que la quantité d'ions  $\text{HCO}_3^-$  disponibles diminue. Les ions  $\text{CO}_3^{=}$  augmentent ainsi dans la solution. Le produit  $(\text{Ca}^{++}) \cdot (\text{CO}_3^{=})$  croît, dépasse dans certaines circonstances la limite de solubilité d'une solution saturée de  $\text{CaCO}_3$  et précipite.

On pourrait encore présenter le même phénomène à la lumière de la théorie de l'activité. Beaucoup d'auteurs

en ont traité, notamment: G.L. FREAR & J. JOHNSTON (1929), A.S. HASTINGS, S.J. MURRAY & J. SENDROY (1925, 1927), J. SENDROY & A.B. HASTINGS (1927).

Comme facteurs inorganiques dans la diminution de l'anhydride carbonique, on peut citer surtout le réchauffement de la solution ou la diminution de la pression partielle dans l'atmosphère surmontant l'eau en question.

## 2. Facteurs biologiques.

Les facteurs biologiques pouvant provoquer une précipitation de carbonate de calcium au sein de l'eau de mer sont en réalité d'abord l'action de l'assimilation chlorophyllienne du phytoplancton et, en second lieu, l'action particulière de certaines bactéries appartenant à la flore marine.

a - Précipitation par l'action chlorophyllienne du phytoplancton.

J.N. BRONSTED & C. WESEBERG-LUND (1912) et surtout L. MINDER (1925) et J. PIA (1932, 1933) ont fait de nombreuses recherches concernant la décalcification biologique.

L'assimilation chlorophyllienne du phytoplancton se trouve à la base de ce phénomène, car l'absorption de  $\text{CO}_2$  des bicarbonates a pour conséquence immédiate la précipitation du carbonate de calcium qu'on retrouve soit sous forme d'incrustations, ou au sein de la masse gélatineuse entourant certaines algues, soit en minces cristaux flottant au sein de l'eau et précipitant successivement dans la vase.

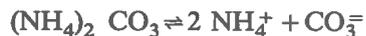
Cette action se fait suivant la réaction :



b - Précipitation par l'action particulière de certaines bactéries appartenant à la flore marine.

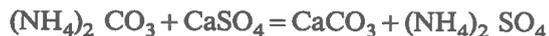
Une des principales réactions qui semblent se produire sous l'influence des bactéries est celle par production d'ammonium à partir de substances albuminoïdiques.

Suivant J. MURRAY & J. HJORT (1912), elle se produit comme suit :



La solution s'enrichit ainsi en ions  $\text{CO}_3^-$ . Si auparavant, elle était saturée de  $\text{CaCO}_3$ , celui-ci doit se précipiter, car le produit ionique est dépassé.

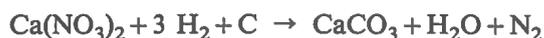
J. MURRAY & R. IRVINE (1889) ont attribué la précipitation du carbonate de calcium à l'action du carbonate d'ammonium sur le sulfate de calcium :



le carbonate d'ammonium ayant comme origine l'ammonium et l'anhydride carbonique produits au cours de la désintégration bactérienne des matières organiques azotées.

G.H. DREW (1911, 1913) attribue la précipitation dans l'eau de mer à l'action des bactéries dénitrifiantes, d'après la réaction suivante, dans laquelle l'hydrogène

et le carbone proviennent de l'oxydation anaérobie de la matière organique :



Croyant à la spécificité de la réaction, G.H. DREW (1912) a nommé l'organisme produisant la précipitation: *Bacterium calcis*. Il a été décrit et étudié d'une manière plus approfondie par K.F. KELLERMAN & N.R. SMITH (1914), qui l'ont classé comme *Pseudomonas calcis*. Il est identique aux bactéries dénitrifiantes décrites par H.H. GRAN (1901), E. BAUR (1902), R. FEITEL (1903) et D. PARLAND (1911) ou a, au moins, des affinités avec elles.

K.F. KELLERMAN & N.R. SMITH (1914) ont confirmé les observations de G.H. DREW sur la précipitation de carbonate de calcium par *Pseudomonas calcis* dans un milieu contenant des nitrates. Ils ont trouvé, en outre, que l'ammonium provient ou bien des protéines ou bien des nitrates.



Les auteurs considèrent trois formes d'action bactérienne dans cette précipitation de carbonate de calcium.

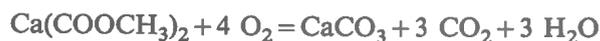
1. Action simultanée de cultures mixtes de bactéries, dont une espèce produit des traces d'anhydride carbonique et l'autre forme de l'ammonium, soit par décomposition de certaines protéines, soit par réduction de nitrates en nitrites et, enfin, en ammonium. L'action des deux donne ainsi du carbonate d'ammonium. Ce dernier réagit sur tout sulfate de calcium pouvant exister en solution.

2. Le carbonate peut être précipité dans l'eau contenant de l'ammonium produit par des bactéries.

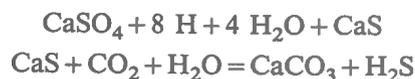
3. Il peut l'être comme résultat de la décomposition bactérienne de sels de calcium organiques. La dénitrification des nitrates intervient dans ces cultures et est peut-être essentielle dans la formation du carbonate de calcium. Toutefois, le processus n'a pas encore été formulé avec précision.

L'organisme semblant être en cause est le *Pseudomonas calcis* (H. DREW), K.F. KELLERMAN & N.R. SMITH, 1914, nouvelle combinaison de *Bacterium calcis* H. DREW, 1914. C'est un organisme très mobile, mesurant de 1,1 à 1,5 et 3  $\mu$ , portant un seul fouet.

C. BERKELEY (1912) a attribué la précipitation de carbonate de calcium dans l'eau de mer principalement à l'oxydation bactérienne des sels organiques de calcium :



W. BAVENDAMM (1911) attire, en outre, l'attention sur les bactéries réductrices des sulfates, *Spirillum aestuarii* et formes affines.



Enfin, C. BAIER (1937) résume comme suit les actions diverses des bactéries pouvant influencer l'équilibre du carbonate de calcium.

- a - leur effet sur le pH ;
- b - leur production ou leur utilisation de CO<sub>2</sub> ;
- c - leur oxydation des matières organiques ;
- d - l'assimilation du calcium.

La direction et l'ampleur des réactions dépendent des types d'organismes en présence, de la composition chimique du milieu et des autres conditions écologiques (C.E. ZOBELL, 1946).

H.H. GRAN (1901) a isolé un certain nombre de bactéries dénitrifiantes. Il les classe en quatre groupes, par rapport à leurs réactions en culture pure sur les nitrates et les nitrites :

1. Celles qui réduisent les nitrates et les nitrites en azote libre sans aucune formation d'ammonium.

2. Celles qui réduisent les nitrates en nitrites ; les nitrites disparaissent rapidement sans formation perceptible d'azote libre et il y a formation d'un peu d'ammonium.

3. Celles qui ne peuvent réduire les nitrates en nitrites, mais qui sont capables d'enlever les nitrites sans formation perceptible d'azote libre ; les nitrites non réduits peuvent servir comme seule source d'azote pour la croissance des bactéries.

4. Celles qui ne peuvent ni réduire, ni assimiler nitrates ou nitrites, mais croissent bien en présence de sels d'ammonium.

Nous trouvons chez I. DEVEZE & C. DUBOUL-RAZAVET (1957), quelques références supplémentaires.

K.F. KELLERMAN & N.R. SMITH (1914) ont trouvé que d'autres microorganismes peuvent intervenir dans ces processus de précipitation en oxydant les sels de calcium d'acides organiques, laissant ainsi Ca et CO<sub>3</sub> qui, en présence d'eau, forment du carbonate. De plus, en 1916, ils ont découvert une bactérie halophile, rappelant certaines espèces marines, susceptibles de précipiter le calcium.

C.B. LIPMAN, reprenant en 1924 le travail de G.H. DREW, arrive à la conclusion que la production d'azote ammoniacal constituerait le facteur le plus important dans le mécanisme de précipitation. Il crut cependant pouvoir envisager d'autres facteurs possibles, notamment l'utilisation d'anhydride carbonique par les végétaux qui déterminent une élévation du pH des eaux. Dans un travail ultérieur, il complète ses observations par l'affirmation que, sous des conditions ordinaires, les bactéries ne posséderaient pas la faculté de précipiter le carbonate dans les eaux.

H. MOLISCH (1925), guidé par le travail de G.H. DREW, put isoler des bactéries spécifiques de la précipitation du calcium par ammonio-formation qu'il appela *Pseudomonas calcipraecipitans* (espèce marine) et *Pseudomonas calciphila* (espèce limnique). Il put également isoler *Actinomyces spec.* et une levure possédant la propriété de déterminer une précipitation semblable.

N.R. SMITH, dans ses recherches sur les formations carbonatées calciques, fut amené à grouper les bactéries qu'il trouva dans ces formations sédimentaires en six catégories en prenant pour base leur morphologie et leurs activités physiologiques. Parmi celles-ci, deux seulement furent susceptibles de précipiter le carbonate de calcium sous forme de calcite à partir de sulfate de calcium dissous. Ce furent les bactéries dénitrifiantes du type *Pseudomonas calcis* et les bactéries ammonio-formatrices fortes.

F.T. WILLIAMS & E. MCCOY trouvèrent en 1934 de nombreuses aérobie des sédiments pouvant précipiter le carbonate de calcium et leurs conclusions conduisirent à admettre en tant que facteurs essentiels : la réduction des nitrates, l'oxydation des sels organiques de calcium et l'ammonio-formation.

P. KALANTARIAN & A. PETROSSIAN (1932) purent isoler une espèce nouvelle précipitant le calcium par réduction des nitrates et ammonio-formation : *Bacterium sewanense*.

G.H. DREW, de 1911 à 1914, attribua à l'action des bactéries dénitrifiantes la précipitation du calcium dans les eaux tropicales :



L'hydrogène et la carbone entrant dans cette réaction dériveraient selon lui de l'oxydation anaérobie des matières organiques. Complétant ses observations par une série d'expérimentations, il conclut, devant l'importance de l'action des bactéries dénitrifiantes, à un processus spécifique qui l'amena à décrire une espèce nouvelle : *Bacterium calcis*.

Toutefois, dans un travail datant de 1912, G.H. DREW donna une précision qui, suivant I. DEVEZE & C. DUBOUL-RAZAVET (1957) ne semble pas avoir été relevée et qui revêt, pour ces auteurs, une certaine importance. Dans une description sommaire des couches sédimentaires néoformées dans les régions tropicales, il remarque : la couche superficielle de la vase jusqu'à une profondeur de 6 pouces est d'une couleur blanc crémeux, mais, au-dessous, elle prend une teinte grisâtre et une légère odeur de H<sub>2</sub>S.

Ceci constituera pour nous une transition naturelle pour donner quelques indications les plus importantes, sur une tendance admise par certains chercheurs et liant la précipitation à l'action des bactéries du cycle du soufre, notamment des sulfato-réductrices.

Dans une série de recherches datant de 1903 à 1928, S. NADSON, étudiant l'activité biologique d'un lac salé, aboutit à deux séries de conclusions.

Il confirma que l'ammonio-formation provenant de la dégradation des protéines et de la réduction des nitrates conduisaient, en créant des conditions suffisamment alcalines, à la précipitation des carbonates de calcium et de magnésium.

Considérant, de plus, les conditions écologiques régnant dans le lac étudié et, notamment, l'importante concentration en H<sub>2</sub>S des eaux profondes, dépassant

parfois celle de la Mer Noire. il fut amené à envisager des sulfates comme un facteur important dans la précipitation dans les vases noires et grises du lac étudié. Une étude expérimentale sembla appuyer ses conclusions, la réaction globale définissant la précipitation étant :



Mais il attribua une importance particulière aux modifications du pH et essentiellement d'alcalinisation. Il trouva que l'effet des bactéries-réductrices sur le pH se trouvait sous la dépendance étroite de la forme du matériel organique utilisé comme source d'énergie et de la concentration et de la nature du sel de calcium présent.

En 1938, R. LEGENDRE mentionne la présence de perles calcaires dans les pustules de tôles métalliques corrodées sous l'action des bactéries sulfato-réductrices.

Il faut aussi noter les importants travaux de S.C. RITTENBERG (1941) qui permettent de fournir une explication valable de la précipitation ou de l'absence de précipitation de calcium dans les sédiments réducteurs. Sous certaines conditions, les bactéries sulfato-réductrices parviennent progressivement à acidifier le milieu en raison de l'oxydation du matériel organique utilisé comme source d'énergie. Ceci peut conduire à une libération d'acides organiques dans le milieu.

DEBYSER souligna que la destruction des sulfates marins par les bactéries revient au remplacement d'un sel d'acide fort — sulfate de calcium — par des sels d'acides faibles. Ceci aboutit à une augmentation sensible de la réserve alcaline d'où, comme conséquence possible, la précipitation des carbonates lors d'une élévation du pH.

C'est à C. LALOU (1954-1955) que l'on doit récemment une série de travaux expérimentaux. Il fut amené à rattacher la précipitation des carbonates dans les sédiments à l'action des bactéries du cycle du soufre, en particulier, des bactéries sulfato-réductrices, confirmant ainsi les résultats de S. NADSON & B. ISSATCHENKO.

Il convient de mentionner les travaux de A. BRUSSOF (1933) affirmant la présence de bactéries spécifiques sécrétant, soit dans leur membrane, soit à l'extérieur de celle-ci, du carbonate de calcium.

Toujours selon L. DEVEZE & DUBOUL-RAZAVET (1957), à de très rares exceptions près, les différentes hypothèses qui viennent d'être mentionnées sont étroitement liées entre elles par une parenté évidente. Elles permettent, en effet, d'envisager l'incidence, dans les différents processus mis en avant, d'actions physico-chimiques importants portant essentiellement sur : le pH, l'importance et la nature du calcium présent, la tension en anhydride carbonique, l'importance et la nature du matériel organique présent et utilisable, l'importance et la nature des produits de déchet diffusant dans le milieu à la suite d'activités biochimiques.

Ces modifications physico-chimiques et leur importance dans le déroulement du processus de précipitation des carbonates ont été mises en lumière d'une manière remarquable par les importants travaux de G. LUCAS (1948) sur l'alcalinisation de l'eau de mer par les carbo-

nates alcalins et les amines fortes carbonatées. L'incidence de ce processus sur la sédimentation calcaire est narrée dans ces travaux. Ces différentes recherches, comme l'analyse critique des hypothèses en présence, mettent en relief — et L. DEVEZE & C. DUBOUL-RAZAVET (1957) rejoignent en cela les conclusions de C.R. BAIER (1937) — certains facteurs dont l'action est pour nous déterminante dans la précipitation du calcium sous une forme carbonatée.



Toute modification du milieu susceptible de déplacer la position d'équilibre entre les ions solubles et insolubles peut provoquer dans le domaine marin, suivant le sens dans lequel des modifications s'opèrent, une précipitation du calcium. Les facteurs invoqués, liés entre eux par une certaine interdépendance sont :

1. l'importance relative de la réserve alcaline;
2. la tension du gaz carbonique;
3. les variations du pH;
4. l'importance et la nature du matériel susceptible d'être utilisé par les différentes formes de vie;
5. la concentration, et ses variations, de certaines formations exondées appartenant toujours au domaine marin (évaporation) .

C'est un fait généralement admis actuellement que plus la concentration en matériel organique utilisable est importante dans un milieu aqueux ou sédimentaire marin, possédant une réserve alcaline déterminée, plus la précipitation du calcium pourra être elle-même importante et rapide.

Il faut en effet considérer chaque corps organique en voie de décomposition comme une microsphère déterminée au niveau des limites extrêmes de laquelle, et à ce niveau seulement, les phénomènes d'acidification et d'alcalinisation sont les plus accusés. Ils perdent rapidement de leur importance à mesure qu'on s'éloigne de cette microsphère en raison de l'action antagoniste due à l'effet tampon particulier marqué de l'eau de mer. Cela conduit donc à la notion de tension et de diffusion des métabolites vers le milieu ambiant. Plus le milieu dans lequel l'action de dégradation s'opère, constitue un milieu fermé, plus les échanges sont étroitement localisés.

Les phénomènes d'adsorption agissent dans le même sens et il est vraisemblable que les sédiments fins, donc à adsorption importante, puissent par leur revêtement organique adsorbé, contribuer à accroître, au niveau de chaque particule sédimentaire, la précipitation de ciments calcaires. Il est remarquable de rapprocher de ceci l'aspect alvéolaire ou vacuolaire des sédiments grossiers consolidés traduisant une précipitation moins importante et une consolidation plus précaire.

L'importance des surfaces de contact agit ainsi selon un véritable processus catalytique en rapprochant les corps en réaction, rapprochement qui équivaut, en fait, à une élévation de l'importance des facteurs déplaçant la position d'équilibre entre les ions solubles et insolubles dans le sens de la précipitation.

Si par ailleurs, on aborde d'une manière sommaire la dynamique du processus de sédimentation calcaire, on note que les migrations du calcium s'effectuent avec des alternances de solubilisation et de précipitation. Toute précipitation à un niveau sédimentaire donné constitue en puissance une élévation de la réserve alcaline du sédiment. Une partie plus ou moins importante du calcium néoformé, si elle parvient à être solubilisée, peut participer elle-même aux modifications du sédiment en place (diminution de la réserve alcaline propre au sédiment, élévation de la réserve alcaline propre au milieu aqueux ambiant, donc participation possible à une nouvelle précipitation). Ceci constitue un facteur important dans les zones où la sédimentation calcaire est intense. De plus, les apports locaux de calcium provenant d'organismes vivants (débris coquilliers) ajoutent encore à cette dynamique du cycle du calcium. La solubilisation du matériel calcaire organisé, après la mort, sera d'autant plus rapide, si les conditions écologiques le permettent, que les particules calcaires seront plus ténues. On conçoit que l'action mécanique de fragmentation, de rabotage, d'usure des débris coquilliers dispersés sur le fond joue un rôle dans le rendement de la précipitation calcaire ultérieure. La nature chimique du calcium organique intervient aussi dans le déroulement du processus de précipitation, notamment en raison de l'incidence du radical acide lors de la dégradation biologique.

Sans vouloir sous-estimer l'importance de l'activité des bactéries marines qui peuvent contribuer à la précipitation du calcium, il serait, semble-t-il, dangereux de rattacher la sédimentation calcaire non seulement à cette seule activité mais aussi à une certaine spécificité bactérienne. Les différentes formes de vie dans les eaux et les sédiments marins peuvent contribuer à modifier les conditions physico-chimiques de milieux locaux d'une manière telle qu'elles rendent indirectement possible une précipitation calcaire. Mais il ne s'agit là que d'une action indirecte, les modifications des conditions physico-chimiques jouant un rôle essentiel (L. DEVEZE & F. DUBOUL-RAZAVET, 1957).

#### D. - La silice dans les estuaires.

L'acide silicique est un facteur particulièrement important dans les estuaires où il est apporté d'une part par les eaux fluviales et, en partie, par l'eau de mer.

Ce corps n'a pas fait l'objet d'un nombre aussi conséquent de recherches et de publications que les autres substances nutritives en eau de mer (L. VAN MEEL, 1972).

En ce qui concerne les estuaires, les problèmes qui se posent, ont nécessité des recherches particulières, citons : G.B. ALEXANDER, W.M. HESTON et R.K. ILER (1954); G.S. BIEN, D.E. CONTOIS & W.H. THOMAS (1958); S.V. BRUEVICH (1953); J.D. BURTON, P.S. LISS & V.K. VENOGOPALAN (1970); H. EHRHART (1963, 1973); R.M. GARRELS (1965); W.J. GRIMM (1964); R.C. HARRIS (1966); R.K. ILEN (1955); G.C. KENNEDY

(1950); J. KOBAYASHI (1972); K.B. KRAUSKOPF (1956-1959); J.C. LEWIN (1961); P.S. LISS & C.P. S. SPENCER (1970); H. MAEDA (1952); H. MAEDA & K. TAKESUE (1961); H. MAKIMOTO, H. MAEDA & S. ERA (1955); J.B. MULLIN & J.P. RILEY (1955); R. SIEVER & R.A. SCOTT (1963); W.D. TREADWELL & W. WIELAND (1930); R. WOLLAST (1973); R. WOLLAST & F. DE BROEU (1971).

Mentionnons, en outre, les travaux de : E.A.J. ARMSTRONG (1966); J.D. BURTON & T.M. LEATHERMAND (1970); P.C. CAMAR (1940); L.H.N. COOPER (1952); H. COUPIN (1922); F. DIENERT & WANDENBULCKE (1923); R. HARMON (1972); J. KOBAYASHI (1967); K.B. KRAUSKOPF, J. MURRAY & R. IRVING (1891); T. OKURA (1954); R.J. ROBINSON & G. KENMEERER (1930); L.G. SILLEN (1961); J.E.H. STRICKLAND (1952); H. TANAKA (1953); W. VERNADSKY (1922); A.P. VINOGRADOV & E.A. BOICHENKO (1942).

On peut considérer l'acide silicique comme un des acides importants à côté des bicarbonates et ses concentrations sont parfois relativement considérables. À côté de son importance quantitative, son rôle comme substance nutritive pour les diatomées est très grand. Il est présent dans presque toutes les eaux sous des formes plus ou moins réactives.

Il se trouve toujours sous forme oxydée :

- 1° en solution réelle comme acide non dissocié, ions orthosiliciques de formule :  $M_nSiO_4^{(4-n)^-}$ ;
- 2° comme ions siliciques complexes ;
- 3° comme silice colloïdale ;
- 4° comme particules minérales en suspension dans l'eau.

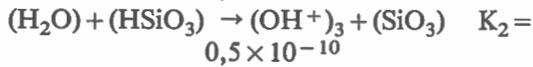
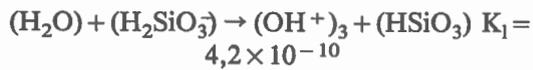
Il semble qu'on puisse admettre que, d'une manière presque imperceptible, ces catégories s'imbriquent les unes dans les autres, qu'il n'est donc pas impossible que dans les eaux acides ou neutres il puisse exister des solutions instables d'acides siliciques.

Ainsi H. TANAKA (1953) estime que dans certains lacs du Japon, la concentration de l'acide silicique total est deux ou trois fois celle de l'acide réellement en solution.

On sait que le dosage de la silice est basé sur la formation du complexe silicomolybdique (F. DIENERT & F. WANDENBULCKE (1923), R.J. ROBINSON & G. KEMMEERER (1930).

D'après J.E.H. STRICKLAND (1952) il existerait deux silicomolybdates dont les proportions dépendraient des circonstances expérimentales. F. DIENERT & E. WANDENBULCKE ont montré que leur réaction est produite uniquement par de la silice cristalloïde, ce qui a été confirmé par les travaux de R.N. HARMON. Ce dernier auteur a consacré une étude très fouillée à la physico-chimie des silicates de sodium en solution aqueuse et est arrivé à la conclusion qu'en ce qui concerne les concentrations existant normalement dans les eaux, pratiquement la plus grande partie de la silice est cristalloïde.

L'auteur croit également avoir trouvé les valeurs approchées de la constante d'ionisation pour les réactions :



Ces valeurs indiqueraient qu'à une activité ionique de l'hydrogène telle qu'on l'observe dans les eaux lacustres, la concentration de l'acide non dissocié comporterait plusieurs milliers de fois celle de l'ion monovalent  $HSiO_3^-$  et que la concentration de  $SiO_2$  bivalent serait à négliger sauf dans des eaux à alcalinité très élevée.

T. OKURA (1954), qui a pu montrer l'existence de silice colloïdale, conclut que celle-ci se transforme aisément en état moléculaire ou ionique.

D'après P.C. CARMAR (1940) et L.H.N. COOPER (1952), cependant, le seul ion possible aurait la forme de  $H_nSiO_4^{(4-n)-}$ .

Le groupe tétraédrique  $SiO_4^-$  possède une propension très forte à former des agrégats d'un réseau à trois dimensions, excepté en milieu alcalin, et un sol silicique formé très facilement en eau neutre ou acide. Le phénomène sera encore plus complexe dans une eau naturelle qu'au laboratoire : on se trouve en présence possible d'hydroxydes de fer et d'alumine colloïdaux, tous deux dispersoïdes ou adsorbés à des particules en suspension. Que de l'acide silicique et des ions Silice seraient liés à de tels hydroxydes n'est pas impossible.

Il reste, en outre, toujours la possibilité, surtout dans une eau à réaction acide, de formation secondaire d'ions de silicate d'aluminium probablement de formule :



K.B. KRAUSKOPF (1956) a montré dans une contribution très importante, que la silice amorphe peut produire des solutions stables de  $H_4SiO_4$  jusque 100 mg/litre à des températures telles qu'elles se présentent généralement dans les lacs.

Comme sources de silice dans les eaux naturelles on peut citer avec certitude la décomposition des minéraux silicatés d'aluminium, dans les bassins de drainage d'où l'eau provient. En présence d'eau, le  $CO_2$  réagit avec les silicates avec formation de carbonates et de silice. On est, en général, d'avis que des acides organiques ne seraient pas étrangers à cette décomposition.

Dans un milieu acide, toutefois, la silice est relativement immobile et facilement agrégée ; dans un milieu alcalin, toutefois, il se forme quelques silicates et la silice est beaucoup plus mobile. En dehors de la libération inorganique de la silice, la possibilité existe aussi, d'une très grande importance et limnologie, de processus biochimiques spécifiques.

Plusieurs chercheurs ont en effet trouvé que les diatomées benthiques sur le fond des cuvettes lacustres, sont à même d'attaquer les aluminosilicates de l'argile et d'y puiser directement leur silice. Ils contribuent activement à la décomposition inorganique.

Cette observation est probablement due à J. MURRAY & R. IRVING (1891). W. VERNADSKY (1922), H. COUPIN (1922) ont réussi à démontrer que *Nitzschia spec.* attaque le Kaolin ; A.P. VINOGRADOV et E.A. BOICHENKO (1942) ont creusé le problème et ont trouvé que *Nitzschia palea* et *Navicula minuscula* décomposent la Nakrite, minéral affilié à la Kaolinite.

Les auteurs ont suivi le processus de très près au microscope et ont pu observer comment le cristal est décomposé dès qu'il entre en contact avec les mucosités secrétées par les diatomées.

L'opacité augmente d'abord, le cristal semble gonfler et perd sa diffraction. A ce moment commence l'exfoliation selon les plans de clivage. Ensuite le cristal se transforme en une masse amorphe et il y a mise en liberté d'hydroxyde d'aluminium au cours de la décomposition. Il n'est pas prouvé que la silice de la Nakrite est assimilée quantitativement, mais, comme la décomposition a lieu en dehors de la cellule, il est probable que la silice soluble diffuse dans le milieu de la culture. Si on parvient à vérifier cette hypothèse, il n'est pas exclu que les diatomées benthiques joueraient un rôle important dans la mise en liberté de la silice à partir des sédiments, silice qui, ensuite, entre en solution.

La question de la silice réactive a été reprise par J.D. BURTON & T.M. LEATHERLAND (1970), au point de vue de la chimie analytique. On sait que la silice en solution dans les eaux naturelles est mesurée par absorptionnémie en se basant sur la réaction de la silice avec les ions molybdiques pour former un acide silicomolybdique. D'après G.B. ALEXANDER (1953), il est probable que les polymères d'acide silicique ne réagissent probablement pas complètement pendant la durée de la réaction, de sorte qu'il reste une incertitude sur la question de savoir jusqu'à quel point les résultats analytiques concernant la silice soluble englobent aussi la silice totale. La présence de concentrations importantes de silice dissoute, non réactive, pourrait affecter dans une large mesure les conclusions au sujet du comportement de la silice dans l'hydrosphère. La forme de la silice dissoute dans les eaux naturelles a fait l'objet d'un grand nombre de controverses. Il est probable qu'en eau de mer et dans la plupart des eaux limniques, la silice dissoute se présente généralement sous une forme réactive et, s'il y en a, d'une petite quantité seulement sous forme polymérisée (K.B. KRAUSKOPF, 1956 ; L.G. SILLEN, 1961 ; F.A.J. ARMSTRONG, 1965 ; J.D. BURTON & T.M. LEATHERLAND, 1970).

A ce sujet, nous trouvons chez J.E.H. STRICKLAND & T.R. PARSONS (1960) qu'il faut se rappeler que toutes les formes de silice « en solution » ne réagissent pas nécessairement pour former le complexe silicomolybdique. L'acide silicique se polymérise promptement au pH de l'eau de mer et ce ne sont que les polymères en chaîne rectiligne relativement courte qui réagissent avec le molybdate à une vitesse plus ou moins appréciable. Des polymères qui ne contiennent que trois ou quatre unités,

au plus, d'acide silicique, sont probablement non réactifs dans les conditions normales de la méthode.

De son côté, J. KOBAYASHI (1967) avait observé que l'eau limnique gelée, fraîchement dégelée, contenait de la silice réactive.

Il résulte des recherches de K.B. KRAUSKOPF et ses collaborateurs, que toute la silice en solution dans l'eau de mer et les eaux limniques, serait réactive, du moins par rapport aux méthodes analytiques en application à l'heure actuelle et qu'ils n'ont pas pu démontrer l'existence de quantités appréciables de polymères.

Les difficultés dans la compréhension et la caractérisation du comportement chimique de l'acide silicique (R. SIEVER & R.A. SCOTT, 1963) proviennent de trois caractéristiques majeures de  $\text{SiO}_2$  :

1° du polymorphisme des variétés cristallines et amorphes de la substance solide ;

2° de la nature complexe des espèces moléculaires et ioniques en solution vraie, les différences entre elles et les formes colloïdales ;

3° de la nature, peu connue jusqu'ici, des particules colloïdales en suspension dans les milieux aquatiques et leurs réactions.

Les formes variées de la silice solide sont bien connues et ont été convenablement décrites au cours des dernières décades ; ce n'est que récemment, toutefois (R.I. ILEN, 1955), que les chimistes ont pu élucider la nature des solutions aqueuses des sols et gels colloïdaux et le genre de silice et de silicates en solution.

Le système silice-eau.

Le comportement silice-eau, à la température ordinaire, a été étudié par R.K. ILER (1955). La silice amorphe se dissout en formant un acide silicique monomère ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) en solution vraie à un pH inférieur à 9,0.

Comme seul, le Quartz cristallisé est stable à la température ordinaire, chaque état d'équilibre entre la silice amorphe et l'eau est un état métastable. Cet équilibre comme  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  est d'environ 140 mg/litre et est indépendant du pH (G.B. ALEXANDER & coll., 1954). A des pH supérieurs à 9,0, le  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  moléculaire dissous, se dissocie en ions  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$  et  $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$ , la forme monomère  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  se polymérise en formant des molécules colloïdales à subcolloïdales.

La solubilité augmente dès lors considérablement. La silice soluble totale est dans ce cas constituée par une combinaison indépendante du pH (inférieur à pH = 9,0), dissoute sous forme moléculaire monomère et des ions siliciques polymères dépendant du pH (supérieur à 9,0). Les deux constantes de dissociation données par P.S. ROLLER & G. FERVEN (1940) pour la formation de  $\text{H}_2\text{SiO}_4^-$  montrent le caractère d'acide faible des solutions d'acide silicique.

G.C. KENNEDY (1950) & R.K. ILER (1955) ont étudié l'influence de la température sur la solubilité du quartz et de la silice amorphe : elle croît avec la température. Pour la forme amorphe, elle augmente jusqu'à environ 140 mg/litre à 25 °C environ et à environ 400 mg/litre

$\text{SiO}_2$  à 95 °C. Celle du quartz n'a pas encore fait l'objet de recherches à des températures entre 25 °C et 140 °C, en moyenne, les solutions extrêmement faibles ne s'effectuant que très lentement.

Les données de G.C. KENNEDY pour des températures dépassant 40 °C montrent un accroissement continu des deux silices amorphes (verre de silice) et du quartz jusqu'à environ 330 °C, température aux environs de laquelle les variations de la solubilité à température dépendent de la pression.

A la température ordinaire la vitesse de dissolution de la silice est très lente. La variété amorphe demande de 10 jours à 6 mois pour atteindre l'équilibre avec de l'eau distillée, suivant la variété du solide ou de la poudre utilisée. Le verre de silice fondu exige un temps plus long. Le quartz est moins lent à se dissoudre.

La silice colloïdale.

La formation d'un gel de silice à partir d'une solution sursaturée est essentiellement un processus de polymérisation d'unités de  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  avec formation de molécules d'eau. Cette polymérisation donne lieu à un précipité colloïdal de  $\text{SiO}_2$ . Toute l'eau du polymère en a été éliminée ; des molécules d'eau peuvent être maintenues cependant, adsorbées ou se trouver dans la structure du gel (R. SIEVER & R.A. SCOTT, 1963). Les vitesses de polymérisation sont très affectées par le pH. Les plus petites ont lieu à des pH acides (pH = 2,0) et alcalins (pH = supérieurs à 8,0) alors que la vitesse de gélification la plus élevée se manifeste autour du pH = 5,5 (R.K. ILER, 1955). Elle augmente avec le degré de saturation et peut varier en présence de certaines impuretés.

En milieu aqueux, le précipité colloïdal se trouve en équilibre avec environ 140 mg/litre  $\text{SiO}_2$  en solution vraie à une valeur de pH inférieure à 9,0. A des valeurs supérieures, les équilibres sont plus complexes comportant des ions siliciques, des dimères, des trimères, etc. variés. Lorsque l'équilibre est atteint en l'absence de toute activité biologique, la silice colloïdale ne précipite pas à moins qu'il y ait plus de silice dans la solution que dans la quantité exactement requise pour l'équilibre. De même, un précipité colloïdal en contact avec une solution non saturée, peut se dissoudre jusqu'au moment où la solution atteint 140 mg/litre  $\text{SiO}_2$ .

Les composés organiques de la silice.

En ce qui concerne la précipitation de la silice en solution au contact de l'eau de mer, G.S. BIEN, D.E. CONTOIS & W.H. THOMAS (1958) y ont consacré une étude importante.

L'absorption biologique par les diatomées dans leurs cultures a été démontrée par E.G. JORGENSEN (1953). C'est ainsi que F.A.J. ARMSTRONG (1954) et d'autres encore ont montré qu'une fleur d'eau printanière à diatomées en Manche, est suivie d'une diminution considérable de silice soluble dans les eaux de surface. K.B. KRAUSKOPF (1956) conclut que l'absorption biologique est nécessairement le facteur moyen prévenant

l'accumulation de silice dans l'eau de mer. En outre, au cours du mélange initial de l'eau de rivière à l'eau marine, avant que l'absorption biologique puisse se produire, on peut s'attendre à une diminution de la concentration en silice non uniquement imputable à la dissolution.

Cette concentration sera une fonction linéaire de la dilution — si celle-ci se manifeste — par rapport à la chlorinité. Toute déviation de la linéarité indique ainsi le degré de soustraction de silice.

Une telle relation linéaire a été observée par H. MAEDA & coll. (H. MAEDA, 1953; H. MAKIMOTO & coll., 1955). Cependant, leurs données ne couvrent qu'une chlorinité de 5 à 17‰ et non toute la gamme.

Lorsque de l'eau douce s'introduit en mer, on s'attendrait à une réduction de la haute concentration en silice dissoute dans l'eau limnique par dilution avec de l'eau de mer n'accusant qu'une concentration basse en silice soluble. Cependant, la concentration de cette dernière est réduite par un processus autre que la simple dilution et on peut se trouver en présence de deux processus : un biologique, l'autre, la précipitation inorganique.

Après le mélange initial, à des chlorinités supérieures à 8 g Cl/litre, une soustraction biologique peut devenir appréciable, si un laps de temps convenable s'écoule, permettant l'absorption par les diatomées. Cette question demanderait des recherches plus poussées pour distinguer en définitive entre l'absorption biologique et la précipitation inorganique *in situ*.

On a proposé deux mécanismes de précipitation inorganique de la silice soluble :

1° réaction entre celle-ci et des électrolytes de l'eau de mer résultant en une formation de sel ;

2° son adsorption ou sa co-précipitation avec des solides en suspension ou du matériel colloïdal dans de l'eau de rivière au moment où celle-ci entre en contact avec des électrolytes. Il résulte des résultats obtenus par G.S. BIEN et coll. (1958) que les électrolytes, des colloïdes et des solides en suspension sont indispensables pour produire une soustraction au maximum.

Ces processus de précipitation se remarquent dans la soustraction de presque toute la silice soluble de l'eau de rivière. Comme celle-ci contient de 4 à 7,5 mg de Si soluble et 160 à 1.500 mg/litre de solides en suspension, le poids de matière en suspension peut augmenter lentement. C'est pourquoi il est à présumer qu'une partie de la silice dans les sédiments d'un delta peut provenir de ces processus.

La sédimentation de la silice constitue un des processus géochimiques les plus communs. W.H. TWENHOFEL (1950) a revu la question en détail : une portion de la silice est utilisée dans l'édification de micro-organismes marins, alors que la plus grande partie est précipitée par un mécanisme inorganique. On admet en général (G. OKAMOTO & coll., 1957) que dans les eaux limniques des rivières, la silice se trouve à l'état colloïdal et qu'elle floccule ou précipite au contact d'électrolytes dès le mélange à l'eau de mer. H.H. MURRAY & C.P. GRAVENOR (1953) ont mis l'accent, dans la discussion au

sujet du mécanisme de formation des sédiments marins, sur cette précipitation par voie chimique.

C.J. ROY (1945), de son côté, conclut que dans les eaux naturelles, la silice se trouve à l'état ionique, non à l'état colloïdal. F. AOKI (1951) a montré que des solutions en équilibre avec de la silice solide amorphe contiendraient tout au plus 120 mg/litre de silice moléculaire dispersés dans la solution. Le fait a été établi plus clairement par K. GOTO & coll. (1953) ainsi que par d'autres chercheurs encore (G.B. ALEXANDER & coll., 1954; I. IWASAKI & coll., 1954). La solubilité de ce corps semble assez élevée pour permettre la formation d'une solution vraie. S.V. BRUEVICH (1955) a discuté de ce point et a établi que l'eau n'est pas saturée en silice : celle-ci est précipitée, pour une très large part, sous l'influence de micro-organismes marins.

La silice est dissoute dans les eaux naturelles sous deux formes possibles : forme moléculaire dispersée, état colloïdal, peuvent exister tous les deux. Comme il a déjà été dit plus haut, la détermination de la silice moléculaire dispersée est basée sur la réaction bien connue à l'acide molybdique, produisant le complexe silicomolybdique jaune (F. AOKI, 1950). En présence de grandes quantités de silice colloïdale, cependant, la couleur développée par cette méthode, fonce parfois graduellement et n'atteint pas toujours une intensité bien définie, même après un long temps de contact, comme l'ont montré K. GOTO & T. OKURA (1955).

L'intensification progressive de la teinte peut être due, comme il a été dit précédemment, à la dépolymérisation de la silice colloïdale. La réaction complète de la silice moléculaire avec l'acide molybdique exige deux ou trois minutes de plus durant le développement de cette réaction, la silice colloïdale semble se dépolymériser et réagir avec l'acide molybdique à un degré très important.

A. R. TOURKY & D.H. BANCHAM (1956) ont supposé que l'acide molybdique ne réagit pas avec la silice moléculaire, mais bien avec la silice colloïdale. Lorsque le caractère polymérisant de la silice colloïdale est pris en considération, cependant, on comprend aisément qu'une telle conclusion ne peut être tirée de leurs expériences. On peut calculer la concentration de la silice colloïdale depuis la différence en concentration entre la silice totale et la forme moléculaire, la première devant être déterminée en appliquant la réaction au molybdate après destruction de la forme colloïdale.

F. AOKI (1951) a émis l'idée que la silice se dissout dans l'eau en formant une solution vraie jusqu'à une certaine concentration, appelée maintenant : « la solubilité de la silice amorphe » et que le restant tend à se polymériser pour former une solution colloïdale. Ainsi, la silice moléculaire ne polymérise jamais aussi longtemps que sa concentration est inférieure à sa solubilité, la silice colloïdale se dépolymérise alors vers l'état moléculaire.

La mesure de la solubilité de la silice amorphe a été effectuée à des valeurs de pH diverses par K. GOTO & coll. (1953) ainsi que par d'autres chercheurs

(G.B. ALEXANDER & coll., 1954; I. IWASAKI & coll., 1954). Leurs recherches aboutissent à la conclusion que la solubilité augmente rapidement dès que le pH dépasse 9,0.

Malgré la grande quantité de publications au sujet des effets du pH sur la solubilité de la silice, l'influence de la température est, au contraire, peu connue. Les expériences de G. OKAMOTO & coll. (1957) montrent que la solubilité de la silice amorphe augmente avec la température et le pH.

Les résultats obtenus par C.W. CORRENS (1940) sont un peu différents. Il a déterminé la silice par voie gravimétrique après ultrafiltration de suspensions de gel de silice en poudre. Ses résultats ne semblent pas être absolument exacts, probablement par un équilibre imparfait dû à la dissolution très lente du gel de silice, ainsi que par la dissolution partielle de la silice sous forme colloïdale, qui ne peut être soustraite à la solution même par ultrafiltration (K. GOTO & coll., 1953).

Plusieurs chercheurs ont publié les effets du pH sur la polymérisation de la silice. Cependant, leurs conclusions ne sont pas identiques. I. IWASAKI et coll. (1954) ont mesuré les variations de la concentration de la silice moléculaire par rapport au temps, ils ont constaté que la polymérisation est plus rapide au point neutre.

Des conclusions semblables ont été tirées par rapport au temps de gélification (R.C. MERRILL & R.W. SPENCER, 1950; I.A. HEALD & coll., 1955). D'autre part, A.P. BRADY & coll. (1955) ont conclu, à partir de mesures de transparence, que le pH optimum pour une polymérisation rapide est environ de pH = 8,0, alors que S.A. GREENBERG & D. SINCLAIR (1955), sur la base d'expériences analogues, signalent un degré maximum de polymérisation observé à pH environ 8,8. Cependant, M.F. BECHTOLD (1955) a observé récemment une valeur de pH inférieure.

G. OKAMOTO et ses collaborateurs (1957) sont convaincus que les divergences mentionnées plus haut proviennent de l'idée que la polymérisation tend vers le même équilibre indépendamment du pH. Cette opinion semble être incorrecte lorsqu'on considère que la solubilité de la silice amorphe change avec le pH.

L'acide silicique se dissout dans l'eau en formant une solution vraie jusqu'au moment où la solubilité est atteinte, cette solubilité croissant rapidement lorsque le pH dépasse 9,0. L'acide silicique ne polymérise jamais ou ne gélifie jamais si sa concentration n'est pas élevée. Il est donc évident que le temps de gélification ne peut être adopté comme mesure de polymérisation; cependant, plusieurs chercheurs l'ont utilisé jusqu'à présent.

Lorsqu'une solution contenant de la silice colloïdale devient non saturée, pour une raison quelconque, par rapport à la silice moléculaire, la silice colloïdale se dépolymérise dans le sens de la silice moléculaire afin de resaturer la solution.

Certains chercheurs comme T.S. LOVERING (1923), J.G. GIBB & P.D. RITCHIE, 1954) ont étudié le degré de solubilité de roches silicatées dans des solutions d'élec-

trolytes variés, mais on a accordé peu d'attention aux effets du pH.

Etant donné la solubilité plutôt élevée de la silice dans l'eau, il est douteux, suivant M.F. BRUEVICH (1954), que l'eau de mer soit saturée en silice. Les résultats des recherches montrent que l'eau de mer constitue un bon dépolymériseur pour la silice colloïdale. Il est dès lors évident que l'eau de mer n'était pas saturée. Il est intéressant de signaler que cette eau devient trouble lorsqu'on l'additionne d'une solution concentrée de silice, mais que, une fois le précipité formé, celui-ci disparaît par agitation.

Un certain nombre de chercheurs (C.M. JEPHCOTT & J.H. JOHNSTON, 1950; A.L. GODBERT & R.K. HALPIN, 1955) ont étudié l'effet de l'aluminium sur la dissolution de la silice et des silicates dans l'eau, problème particulièrement important en géochimie.

L'augmentation de la concentration en silice moléculaire avec le temps à des concentrations variées d'aluminium montre que celui-ci réduit fortement le degré de dépolymérisation ou le degré de dissolution de silice colloïdale en milieu alcalin, où l'aluminium est supposé se trouver à l'état ionique.

De tout ce qui précède il résulte que le mécanisme de la sédimentation de la silice dans les eaux naturelles est beaucoup plus compliqué qu'on ne l'avait cru au premier abord. En outre, la silice est co-précipitée avec l'hydroxyde d'aluminium, fait bien connu. On possède peu de renseignements au sujet de son action sur la silice colloïdale, le pH optimum, auquel la silice colloïdale précipite, diffère de celui pour la silice moléculaire. Une trace d'aluminium semble suffire pour précipiter la silice colloïdale, alors qu'une quantité beaucoup plus importante est nécessaire pour effectuer la précipitation de la silice moléculaire. Un milligramme d'aluminium est nécessaire pour précipiter environ 40 mg de silice colloïdale. Il faut souligner cependant que la silice colloïdale ne peut être précipitée dans le cas où le rapport silice/aluminium dépasse une certaine valeur. Dans ce cas aucun des deux ne floccule.

L'acide silicique ne donne jamais de gel à un pH élevé dû à un état d'équilibre différent. Il est intéressant de signaler que les ions qui favorisent la polymérisation de l'acide silicique ont également la faculté de promouvoir la dépolymérisation. Ainsi les ions hydroxyle, l'acide fluorhydrique et l'acide molybdique catalysent aussi bien l'une et l'autre (K. GOTO, 1955).

L'aluminium exerce un effet remarquable sur le comportement de la silice, plus spécialement lorsque cette dernière se trouve à l'état colloïdal: elle précipite par une simple trace d'aluminium. Ceci constitue une explication pour la sédimentation de la silice dans les eaux naturelles.

Par refroidissement ou changement du pH, l'eau devient saturée en silice et celle-ci se polymérise sous forme colloïdale. Dans ce cas, elle peut être flocculée par une trace d'aluminium ou d'un autre cation trivalent,

formant un précipité constitué par de la silice amorphe très pure.

Comme l'aluminium réduit le taux de la dépolymérisation de la silice colloïdale, on peut admettre qu'une fois précipitée par l'aluminium, elle devient résistante à l'attaque de l'eau même à des valeurs de pH plus élevées.

L'eau de mer est un bon dépolymérisateur de la silice colloïdale. Ceci indique, comme S.V. BRUEVICH (1953) l'a démontré, qu'elle est non saturée en silice. On peut donc admettre que la précipitation inorganique de la silice est moins importante dans le mécanisme de sédimentation en eau de mer, où la plus grande partie de la silice est considérée comme étant précipitée par l'action des organismes vivants.

Suivant les expériences de K.B. KRAUSKOPF (1956), la silice en solution diluée n'est pas coagulée par l'eau de mer, mais est indéfiniment stable en concentrations atteignant les valeurs d'équilibre. Les solutions colloïdales sont floculées par l'addition d'eau de mer et les solutions sursaturées sont polymérisées et précipitent. La polymérisation et la précipitation sont beaucoup plus rapides en eau basique qu'en eau acide. Mais, même en solution basique, la précipitation n'est pas immédiatement complète, mais exige plusieurs jours ou même des semaines avant d'avoir atteint la stabilité.

Comme explication possible du comportement de la silice, W. EITEL (1954) considère les sols alcalins, plus facilement précipitables par les électrolytes, comme « hydrophobes » alors que les sols acides, peu influencés par les électrolytes, seraient des « hydrophiles ». Suivant K.B. KRAUSKOPF (1956), ces deux termes seraient tout au plus des vocables destinés à décrire le phénomène observé.

Se basant sur des travaux plus récents, R.K. ILER (1955), suggère que les particules colloïdales en solution alcaline, possèdent une charge négative, donc susceptibles d'être neutralisées par des cations, alors qu'en solution acide, les particules sont en grande partie sans charge. La pauvreté en ions OH<sup>-</sup> les empêche de précipiter, car ils agissent comme catalyseurs.

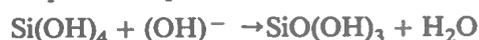
La question de savoir si la silice colloïdale en solution avec des traces d'électrolytes est indéfiniment stable, est restée sans réponse malgré les expériences (K.B. KRAUSKOPF, 1956). Des solutions contenant 100 mg/l ou plus de SiO<sub>2</sub> montrent une décroissance graduelle par le repos, à raison d'un ordre de grandeur de quelques dizaines de mg en plusieurs mois. D'un autre côté, les solutions faites au laboratoire contenant quelque 100 mg par litre de SiO<sub>2</sub> colloïdal à des pH inférieurs à 7 n'ont pas subi de changements mesurables. Si la question théorique au sujet de la stabilité de la silice colloïdale reste indéterminée, les observations obtenues suggèrent que la coagulation en l'absence de solutions d'électrolytes relativement concentrées est extrêmement lente.

Les résultats expérimentaux de K.B. KRAUSKOPF (1956) correspondent à la majorité des travaux antérieurs à l'exception de ceux de C.W. CORRENS (1926) tendant à montrer que la silice colloïdale n'est pas pré-

cipitée par l'eau de mer à des pH inférieurs à 10 et de E.S. MOORE & J.E. MAYNARD (1929) qui concluent que la silice même en solution diluée est progressivement coagulée au cours d'une période de plusieurs semaines. Cette contradiction demeure inexplicable. Il reste cependant quelques questions demeurées sans réponse dans les expériences de K.B. KRAUSKOPF: la petite quantité de précipité apparemment insoluble qui apparaît dans les solutions diluées ainsi que l'impossibilité actuelle de trouver une silice déterminée par colorimétrie qui serait à peu près équivalente à la silice totale non précipitée. D'après les expériences de cet auteur, la conclusion la plus importante, il n'a aucun doute à ce sujet, sauf à l'intervention hypothétique d'influences non soupçonnables agissant à long terme, que la silice en concentrations jusque quelques dixièmes de mg est complètement stable au contact des électrolytes de l'eau de mer.

Ces processus de précipitation se remarquent dans la soustraction de presque toute la silice soluble de l'eau de rivière. Comme celle-ci contient de 4 à 7,5 mg de Si soluble et 160 à 1.500 mg/l de solides en suspension, le poids de matière en suspension peut augmenter lentement. C'est pourquoi il est à présumer qu'une partie de la silice dans les sédiments d'un delta peut provenir de ces processus.

Suivant G.S.J. GOVETT (1961), la silice en « solution » existe sous un nombre de formes différentes: à un pH de 1 à 8 et en une concentration inférieure à environ 110 à 140 mg/l, la forme stable est le nombre Si(OH)<sub>4</sub>. Au-delà de pH = 9,01 la solubilité de la silice amorphe s'accroît rapidement par la formation d'ions siliciques:



L'ion silicique peut exister en solution en même temps que Si(OH)<sub>4</sub>. A des valeurs très basses du pH, la solubilité de la silice peut augmenter par l'adjonction d'acides tel HF, par exemple, donnant lieu à la formation d'anions fluosiliciques.

Dans des solutions plus concentrées que 110 à 140 mg SiO<sub>2</sub>/l, des polymérisations se manifestent conduisant à des acides polysiliciques et, en dernière analyse, à un colloïde, un gel ou un précipité. La polymérisation vers deux molécules de Si(OH)<sub>4</sub> peut aboutir à la formation d'un acide silicique dimère dans lequel deux silices sont entourées de 6 ions OH sous la forme d'un octaèdre. Une polymérisation subséquente détermine la formation d'un acide trimère, alors que la condensation et l'élimination d'eau peuvent produire des polymères à chaînes latérales ou des polymères en anneau. Par l'augmentation progressive de la dimension, des particules colloïdales et, dans des conditions favorables, un gel, peuvent se former.

Suivant R.K. ILER, l'acide monosilicique est le plus stable à un pH de 1 à 3, le moins stable entre 5 et 6. Suivant G.B. ALEXANDER, l'acide monosilicique en solution à 0,1 M à 2 °C, se polymérise presque instantanément à pH = 6,0 et est le plus stable à pH = 3,2. La polymérisation en dessous de pH 3,2 est une réaction de

troisième ordre, donnant un acide polysilicique linéaire ou à chaîne latérales ouvertes. A des pH supérieurs à 3,2, la polymérisation est une réaction de second ordre, et, par des réactions extrêmement complexes, elle donne lieu à des polymères cycliques.

Suivant G.B. ALEXANDER aussi, l'acide polysilicique dilué à 40 mg/l se dépolymérise à la température ambiante et à un pH de 1,0 mais la réaction est lente comparativement à la vitesse de polymérisation. A la température ambiante, celle-ci est approximativement proportionnelle au carré de la concentration en silice (R.K. ILER, 1953).

D'après F.A.J. ARMSTRONG (1965), la silice se trouve en solution dans l'eau sous forme d'ion silicique, en suspension comme  $\text{SiO}_2$  libre, dans les diatomées et d'autres organismes vivants, dans les minéraux argileux. On n'est pas parvenu, jusqu'à présent, à démontrer la présence de formations organiques de silice dans l'eau de mer.

Comme on sait, celle-ci n'est pas saturée en silice. Les valeurs obtenues pour le degré de solubilité étant un peu inconstantes, il n'est pas possible de déterminer avec exactitude le degré de sous-saturation.

La solubilité apparente du quartz dans l'eau est influencée par le fait qu'à sa surface, après cassure ou broyage, il se forme une couche mince amorphe d'acide silicique d'une épaisseur d'environ  $0,03 \mu$ , qui est considérablement plus soluble dans l'eau que la masse de la substance. G.B. ALEXANDER et coll. (1954) ont publié des valeurs entre 100 et 140 mg  $\text{SiO}_2$ /l. En dessous de pH = 9,0, il n'a pas été possible de démontrer une relation quelconque de la solubilité et la concentration en ions H. Ces valeurs correspondent à celles trouvées par K.B. KRAUSKOPF (1965) suivant des méthodes plus délicates, dans lesquelles les solubilités ont été mesurées au moment où l'équilibre est proche de la sous- et de la sursaturation. A 22-27 °C, une solubilité de 100-110 mg  $\text{SiO}_2$ /l a été trouvée par un gel de silice en contact avec l'eau de mer. En ajoutant un excès de silice dissoute,  $\text{SiO}_2$  se précipite, laissant 100 à 140 mg en solution. La solubilité en eau douce dépend de la température (70 mg  $\text{SiO}_2$ /l à 0 °C et 120 mg  $\text{SiO}_2$ /l à 25 °C). C'est pourquoi il est vraisemblable qu'en eau de mer, la concentration augmente avec la température. On a observé la précipitation de silice en présence de sels de magnésium. K.B. KRAUSKOPF considère que la sous-saturation relative de l'eau de mer en silice peut être attribuée à :

- 1° la circulation rapide, qui amène la silice à la surface où elle peut être utilisée par les plantes ;
- 2° l'absorption par les éponges ;
- 3° par la formation de silicates authigènes ;
- 4° par la précipitation par l'hydroxyde d'aluminium.

R.K. ILER (1955) note une décroissance en solubilité de la silice amorphe en présence d'ions aluminium ou de magnésium et suggère que la formation d'une couche protectrice — peut être un silicate d'un ion métallique — diminue le degré de dissolution.

Cette précipitation de la silice colloïdale par des traces de sels d'aluminium a été montrée également par K. GOTO (1956). G. OKAMOTO et coll. (1957) ont observé que l'action précipitante des ions aluminium est aussi effective avec des silicates dissous. Dans ce cas, des quantités plus grandes d'ions métalliques s'avèrent nécessaires. Ces auteurs ont montré que la solubilité de la silice amorphe augmente avec la température et le pH. On a trouvé que les ions hydroxyde peuvent causer la polymérisation ou la dépolymérisation de silice colloïdale, dépendant de la concentration initiale de la silice dissoute. L'eau de mer constitue ainsi un bon agent de dépolymérisation, puisque en état de sous-saturation.

La plus grande quantité de la silice dissoute dans l'eau de mer semble y être présente sous forme d'acide orthosilicique  $\text{Si(OH)}_4$ . La première constante de dissociation de cet acide a été fournie par B. CHATTERJEE (1939) comme étant  $5 \times 10^{-10}$ , la seconde constante de dissociation par G.B. ALEXANDER et coll. comme  $1 \times 10^{-10}$ . N. INGRI (1959) a déterminé la première et la seconde constante de dissociation dans une solution de 0,5 M de chlorure de sodium à 25 °C et a trouvé des valeurs de  $3,9 \times 10^{-10}$  et  $1,95 \times 10^{-13}$  respectivement. Ceci indique qu'à un pH de 8,2 environ, 5 % de l'acide silicique est ionisé.

Dans la plupart des travaux expérimentaux sur la solubilité de la silice et dans toutes les mesures de sa concentration en eau de mer, la réaction des silicates avec un réactif molybdique est utilisée comme base d'une méthode d'analyse colorimétrique. La réaction au molybdate a été acceptée comme critère de la solubilité et on a souvent prétendu que seule la silice moléculaire dispersée réagirait ainsi. Néanmoins, A.R. TOURY & D.H. BANGHAM (1936) ont trouvé que dans l'eau limnique, une fraction de la silice réactive peut être enlevée par ultrafiltration.

B. CHATTERJEE (1939) a postulé que l'acide silicique ionisé, surtout  $\text{SiO(OH)}_3^-$  existe en équilibre avec une grande quantité de matériel inerte ; cet équilibre se rétablissant rapidement lorsque des ions sont soustraits. Les observations de A.R. TOURY & D.H. BANGHAM deviennent explicables lorsqu'on admet que l'ultrafiltration sépare ce matériel inerte qui, sinon, aurait réagi, par les formes ionisées adsorbées, avec le réactif molybdique.

D.N. CHOW & R.J. ROBINSON (1953) ont trouvé que les silicates en solution dans lesquels le rapport  $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$  est égal, sinon à peu près, à l'unité, réagissent complètement avec le réactif molybdique. Dans le cas de rapports supérieurs et de fortes concentrations, une partie seulement de la silice réagit. Cependant, jusque 97 % peuvent réagir après dilution et repos. Lorsque des solutions de  $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$  ayant un rapport supérieur à 3,78, sont ajoutées à de l'eau de mer, de manière à produire des concentrations en silicate d'environ 83 mg/l  $\text{SiO}_2$ , par le repos, la fraction de la silice réagissant avec le molybdate croît progressivement jusqu'à ce que la réaction devient complète au bout d'une semaine. La

silice colloïdale ajoutée à l'eau de mer synthétique ou naturelle, devient graduellement réactive et peut être déterminée par colorimétrie après un repos d'une ou deux semaines. Dans l'eau distillée cette réaction ne se produit pas.

On peut conclure que la réaction colorimétrique au molybdate détermine la silice ionisée et moléculaire dispersée, ensemble avec les parties moins fortement polymérisées de la fraction colloïdale. Il est pertinent que toute la silice déterminée ainsi peut être absorbée par certaines diatomées (J.C. LEWIN, 1955).

#### La silice en suspension.

La silice en suspension, même en eau littorale claire, peut atteindre quelques milligrammes par litre. La moitié environ de cette quantité est inorganique et contient une bonne partie de la silice; cette quantité varie cependant avec la situation géographique.

F.A.J. ARMSTRONG & W.R.G. ATKINS (1950) ont trouvé 0,5 à 2,0 mg/l en Manche et F.A.J. ARMSTRONG (1958) a décelé 0,05 à 1,0 mg/l dans l'Atlantique Nord-Est. E.D. GOLDBERG et ses collaborateurs (1952) renseignent jusque 5 mg/l dans le Pacifique Est. A.P. LISITZIN (1961) trouve 2-4 mg/l dans la Mer de Behring et 7-10 mg/l dans la Baltique. Des analyses de la matière inorganique en suspension dans la Manche ont montré des concentrations en silice de 17 à 55 % en  $\text{SiO}_2$ , ce qui représente 37 à 410  $\mu\text{g SiO}_2/\text{l}$  dans l'eau, quantités excédant celle en solution, mais à des profondeurs dépassant 100 m environ, elle diminue à 2-10 %. Cette matière en suspension contient du fer et de l'aluminium et un peu de carbonate de calcium; il y a un excès de silice par rapport à la quantité requise pour les aluminosilicates ordinaires (F.A.J. ARMSTRONG, 1958).

Eu égard à leurs propriétés d'échangeurs d'ions, les minéraux argileux en suspension peuvent affecter la concentration en constituants organiques et les traces de substances organiques. Dans les eaux peu profondes, ces effets peuvent être appréciables (D.E. GARRITT & S. GOODGAL, 1954). La nature et la composition de ces argiles en suspension dans les océans sont peu connues, malgré que la répartition suivant leurs dimensions ait été étudiée.

A ces petites dimensions, les particules doivent sédimenter très lentement et rester pour de longues périodes en contact avec l'eau, de sorte qu'on peut les considérer comme complètement réactives. Les argiles décelées dans les sédiments n'ont pas nécessairement existé sous cette forme dans l'eau avant leur sédimentation.

Outre les minéraux silicatés en suspension, on trouve également en eau de mer une quantité considérable de silice en suspension, d'origine biogène, atteignant parfois 100  $\mu\text{g Si}/\text{litre}$ . Les frustules des diatomées, par exemple, peuvent sédimenter dans les eaux profondes et donner lieu à la formation de boues à diatomées.

Dans l'eau profonde, moins de 10 % de la silice totale se trouve généralement sous forme de matière en suspen-

sion. Lors de sa dissolution, de très légères variations peuvent se produire dans sa concentration. Cependant, à la surface des océans et des mers peu profondes, elle peut se trouver davantage en suspension qu'en dissolution et la plus grande quantité de la première sous forme de frustules de diatomées vivantes ou mortes récemment. La remise en solution de ce matériel semble constituer une phase importante dans le cycle des matières nutritives.

L.H.N. COOPER (1933) a comparé dans la Manche, et au printemps, les estimations de la production minimale du phytoplancton aux variations des facteurs chimiques. Les chiffres obtenus pour la production de l'oxygène de la consommation de l'anhydride carbonique, des phosphates et des nitrates concorde bien, elle est de l'ordre de 1.000 à 1.600 tonnes de phytoplancton, poids humide par  $\text{km}^2$ , mais la quantité de silice équivalait à moins de 1/10 de cette quantité (110 tonnes/ $\text{km}^2$ ).

S'il est exact que les plantes siliceuses ne comprennent que 1/10 du phytoplancton, cette différence s'explique: d'aucuns ont suggéré que probablement la silice, par saison, passe dix fois par le cycle vital. Les herbivores, exigeant très peu de silice, celle-ci sera excrétée non utilisée. Réellement redissoute, elle devient à nouveau disponible pour la croissance des diatomées.

L.H.N. COOPER (1952) a suggéré la nécessité de supposer l'existence d'une sorte de cuticule ou de couche protectrice pour expliquer certains exemples de solubilité minimale, malgré que la silice constituant les frustules des diatomées semble identique, dans sa constitution chimique, à celle de la silice hydratée dispersée dans l'eau. E.J. KING & V. DAVIDSON (1933) ont suggéré l'implication d'une certaine action enzymatique.

P.S. LISS & C.P. SPENCER (1970), dans une étude sur les processus abiotiques dans lesquels la silice est soustraite à l'eau de mer, se sont longuement étendus sur ces questions.

Comme il a été dit plus haut, les formes de la silice en solution dans les eaux naturelles, généralement estimées par les procédés colorimétriques, ont été considérées comme réactives (J.E.H. STRICKLAND & T.R. PARSONS (1965)). La concentration relative dans les eaux de rivière est généralement, en dernière analyse, d'un ordre de grandeur plus élevé que celui déterminé dans de l'eau marine de surface. Si l'accroissement de la silice réactive en mer n'apparaît pas comme continu, un phénomène doit certainement intervenir par lequel la silice réactive apportée aux océans par les rivières est soustraite. L'utilisation de la silice réactive par les diatomées siliceuses, les silicoflagellates et les éponges qui l'incorporent dans leur structure et la retranchent ainsi de la solution, en est un. Cette silice constitue probablement la forme sous laquelle elle est utilisée par les diatomées (J.C. LEWIN, 1962). Dans les régions tempérées ce processus peut montrer des variations saisonnières. La croissance du phytoplancton minimale au cours de l'hiver, n'enlève virtuellement pas de silice réactive à l'eau mais, durant le printemps, une consommation

rapide, du fait de la floraison printanière à diatomées, se manifeste.

A des latitudes tempérées, des concentrations moindres de silice réactive caractérisent l'eau de surface, depuis le printemps jusqu'au début de l'automne. Le sort subséquent de la silice après son incorporation dans le phytoplancton n'est pas très bien établi. Une grande proportion de phytoplancton est absorbée par les organismes marins plus élevés dans la chaîne alimentaire qui excrètent probablement les frustules des diatomées presque inaltérées. Une certaine proportion de la silice particulée est dissoute complétant ainsi la phase régénératrice du cycle. Une partie du résidu siliceux n'est probablement pas réellement régénérée sous forme soluble et est absorbée dans les sédiments.

Cet exemple de soustraction biologique aux eaux de surface et de transport de matériel vers le bas au cours de la régénération, provoque les concentrations bien connues plus élevées de la silice réactive dans l'eau profonde et l'accumulation de silice dans les matériaux sédimentaires.

Un deuxième mécanisme de soustraction de silice réactive est constitué par un certain type d'adsorption ou de précipitation. R. SIEVER & R.A. SCOTT (1963), G. OKAMOTO et coll. (1957) ont argué que la solubilité apparente de l'acide silicique en eau de mer est rarement approchée; même dans les eaux profondes, une telle soustraction abiologique est improbable. Ils invoquent, eux, le processus biologique.

K.B. KRAUSKOPF (1956) est d'avis que la silice réactive n'est pas soustraite à la solution lors d'un mélange avec l'eau de mer. Cet auteur conclut de ses observations que la soustraction de la silice par les diatomées doit constituer le facteur principal dans le maintien de la silice réactive dans les eaux de surface, à son taux le plus bas.

Il semble cependant que le mélange eau de rivière-eau de mer s'opère trop rapidement pour permettre une absorption par les diatomées et produire un effet perceptible.

En l'absence d'un processus physico-chimique quelconque, des mélanges en proportions variées des deux eaux, montreront une relation linéaire entre la salinité et la concentration en silice réactive. Dans le cas où une soustraction rapide devait avoir lieu, une déviation dans la linéarité devrait se produire, qui serait plus ou moins en proportion de la soustraction produite.

Ce procédé de comparaison entre les salinités correspondant aux concentrations de silice a été adopté par plusieurs chercheurs. H. MAEDA et coll., H. MAEDA (1952); H. MAEDA & K. TAKESUE (1961), H. MAKIMOTO et coll. (1955) ont rapporté de telles relations pour certaines rivières et estuaires du Japon. U. STEFANSSON & F.A. RICHARDS (1963) ont trouvé une relation linéaire pour l'estuaire de la rivière Columbia et les régions marines environnantes. Au contraire, G.S. BIEN & coll. (1958) ont observé une déviation marquée de la linéarité dans les eaux du delta du Mississippi. Ces auteurs con-

cluent que la plus grande partie de la silice réactive est soustraite à l'eau du Mississippi au cours du mélange avec l'eau de mer dans l'estuaire. D.R. SCHINK (1967) a discuté cette interprétation de leurs résultats et a suggéré que 10 à 20 % seulement de la silice réactive est enlevée au début du mélange dans le delta.

G.S. BIEN et coll., ont eu la possibilité de montrer par des expériences de laboratoire que les matériaux en suspension dans l'eau de rivière et les électrolytes de l'eau de mer sont indispensables pour produire une soustraction de silice réactive dans un mélange eau limnique-eau marine. D'après eux, ce processus serait le résultat de l'adsorption de silice réactive par les particules en suspension, processus pour lequel la présence d'électrolytes serait essentielle.

P.A. EWINS & C.P. SPENCER (1967) ont observé une tendance vers l'équilibre dans le détroit de Menai en hiver. Comme cette silice provient pour une large part du drainage des terres, la concentration augmente au cours de l'hiver, par l'addition continue et l'absence d'absorption biologique. La concentration en azote nitrique montre en fait une augmentation continue pendant la période hivernale.

Ces auteurs mettent en avant l'idée d'un processus limitant la masse de silice réactive pouvant s'observer dans ce détroit. Comme les concentrations observées sont inférieures à celles lorsque la solubilité peut devenir facteur limitant, ils suggèrent que le processus envisagé est peut-être similaire à celui proposé par G.S. BIEN et ses collaborateurs.

Il est difficile de comparer quantitativement l'étendue de la soustraction physico-chimique et biologique et de déterminer s'ils balancent l'entrée de silice réactive de l'eau marine. Toutefois, les récentes discussions au sujet du budget océanique en silice réactive par J.D. BURTON & P.S. LISS (1968) permettent de supposer que si une balance existe entre l'arrivée et la soustraction de silice réactive, cette soustraction non biologique est vraisemblablement particulièrement importante.

En hiver, une partie de cette silice dans l'eau limnique, en s'introduisant dans l'estuaire, peut être adsorbée à des particules en suspension, limitant ainsi la concentration de silice réactive en solution. En supposant un tel mécanisme en fonction, on peut s'attendre à une libération de silice par ces particules au cours des mois printaniers au moment où la silice réactive est rapidement extraite de l'eau par le phytoplancton.

L'absence apparente ou la soustraction dans certains estuaires a fait l'objet des études de plusieurs chercheurs et peuvent être dues à un certain nombre de facteurs.

Malgré la présence indispensable de matières en suspension afin que la soustraction puisse se manifester, la quantité requise peut varier considérablement d'estuaire à estuaire. Il n'est pas invraisemblable que la nature physico-chimique même de la matière en suspension soit un facteur également important. D'ailleurs, d'après les expériences en laboratoire de P.S. LISS & C.P. SPENCER (1970), il semble évident que ces particules ne possè-

dent qu'une capacité limitée de sorption vis-à-vis de la silice. Un autre facteur limitant le processus de soustraction peut être constitué par la masse de matière en suspension disponible n'ayant pas encore atteint l'équilibre avec la silice réactive présente dans l'eau de l'estuaire.

Tenant compte des résultats actuels acquis et de ceux de G.S. BIEN et al., de même que des cas déjà vus d'estuaires dans lesquels peu ou pas de soustraction n'a été observée, il semble raisonnable de conclure à une soustraction de 10 à 20 % au plus de la silice réactive entrant dans la mer par l'intermédiaire des rivières, par des processus non biologiques. Une soustraction de cet ordre n'affecterait en aucune façon l'avantage d'adopter la silice réactive comme indicatrice du mélange eau de mer-eau limnique.

Des expériences en laboratoire simulant le processus naturel de soustraction, ont confirmé les observations de G.S. BIEN et al. : les matières en suspension et les électrolytes sont indispensables pour que la soustraction puisse se produire. On a pu montrer ainsi que ce processus est très simple, très rapide et que la masse de silice enlevée augmente avec la concentration en silice réactive de l'eau. Une portion de la silice adsorbée apparaît comme réellement désorbable mais il semble que la partie la plus importante reste seulement liée.

En général, la soustraction *in situ* paraît plus importante qu'au cours des essais en laboratoire, probablement à cause d'un degré de mélange plus intime des eaux et des sédiments dans un estuaire.

### E. - Les dérivés des acides fulviques, humiques.

Ceux qui sont amenés à effectuer l'évaporation d'échantillons, incolores, d'eau douce, marine ou saumâtre, connaissent l'apparition fréquente d'une bande jaune à brunâtre, le long des parois de la capsule, au-dessus des sels rassemblés dans le fond du récipient.

On connaît, d'autre part, des eaux courantes ou stagnantes, de l'eau de mer même, possédant une teinte propre jaune-brun, parfois franchement brune, non imputable à une fleur d'eau d'une algue, d'un protiste ou de bactéries.

C'est pourquoi nous avons rassemblé dans ce chapitre ce que l'on sait à ce sujet et ce que nous devons à nos propres observations.

La compréhension des relations existant entre organismes et environnement doit être basée sur la mise en valeur de « tous » les facteurs actifs dans ce milieu. L'étude d'un seul facteur, cependant, la matière organique dissoute, est restée stationnaire pendant longtemps.

Une fraction de cette matière dite « substance jaune » se trouve à l'origine de la teinte de certaines eaux naturelles. La nature et le rôle de ces matières ont fait l'objet de plusieurs études spéculatives; la quantité actuelle d'informations pertinentes reste, malgré tout, très limitée.

Une vue d'ensemble des principaux travaux jusque vers 1955 nous est apportée par J. SHAPIRO (1957), mais

le nombre exact de ces composés dans les eaux est encore inconnu.

En ce qui concerne la substance colorante dite « Gelbstoff », K. KALLE la décrit comme suit : « Parallèlement à l'accroissement de la quantité du plancton, des substances dissoutes, de couleur jaune, se manifestent peu à peu. Du point de vue chimique, elles possèdent un caractère humique. Elles offrent une très forte résistance aux agents chimiques, physiques et biologiques et sont à regarder probablement comme des produits de déchet provenant du phytoplancton. »

Cette substance colorante détermine des teintes de plus en plus verdâtres, comme on peut l'observer en Manche et en Mer du Nord (498-505 m $\mu$ ). Le mélange opéré près des côtes, avec les eaux estuaires, provoque une teinte un peu jaunâtre, ocrée ou brunâtre. K. KALLE mentionne en plus une substance à fluorescence bleuâtre provenant également, d'après lui, du métabolisme des organismes planctoniques.

Ajoutons qu'en outre, probablement en ordre principal même, elle provient des eaux de surface colorées par des matières humiques entraînées lors du lessivage des terres traversées par les eaux de pluie.

Plusieurs auteurs se sont intéressés à ces questions en eau douce, avant tout en ce qui concerne la préparation des eaux de consommation. Citons à ce sujet, entre autres, les études de A.P. BLACK et R.F. CHRISTMAN (1963) sur les caractéristiques des eaux de surface colorées; des mêmes auteurs, en 1963, sur les caractéristiques chimiques des acides fulviques; de R.F. CHRISTMAN et U. GHASSEMI (1966) un travail sur la nature chimique des colorants organiques dans l'eau; de U. GHASSEMI et R.F. CHRISTMAN (1968) sur l'influence des matières en suspension ou dissoutes sur la transparence de l'eau; K. KALLE (1949) a étudié la fluorescence et les substances jaunes dans le Golfe de Bothnie et de Finlande; R.L. LAMAR et D.F. GOERLITZ (1966) ont traité des acides organiques dans les eaux naturelles de surface. De R.F. PACHAM (1964) nous connaissons une étude sur la couleur organique dans les eaux naturelles. J. SHAPIRO (1964) a publié un travail : études chimiques et biologiques sur les acides jaunes dans les eaux lacustres. Le même auteur (1964) a étudié également l'influence des acides jaunes sur le fer et autres métaux dans l'eau. R.O. SYLVESTER et R.W. SEABLOOM (1965) ont traité de l'influence des caractéristiques du site sur la qualité de l'eau.

Mentionnons encore deux travaux de B.A. SKOPINTZEV : sur la coagulation des substances humiques au contact de l'eau de mer (1947) et sur la matière organique de l'eau de mer (1959).

Certains auteurs ont développé des méthodes de recherche et d'identification, basées la plupart sur la concentration préliminaire, la chromatographie sur papier, sur colonne, la chromatographie en phase gazeuse et la spectrophotographie en infrarouge. Ainsi : R.D. HOAK (1962) W.L. LAMAR et D.F. GOERLITZ (1966),

H.F. MUELLER, T.E. LARSON et F. FERRETI (1960), H.F. MUELLER, T.E. LARSON et W.J. LENNARZ (1958), A.L. WILSON (1959).

La structure fondamentale de ces substances organiques teintant les eaux demeure, malgré de multiples recherches, très imparfaitement connue. Elles possèdent généralement des caractères acides et sont très solubles dans les solutions alcalines. J. SHAPIRO a conclu à l'absence de structure phénolique. D'après lui, ces substances seraient à considérer plutôt comme des acides aliphatiques polyhydroxy-dibasiques.

A.P. BLACK et R.F. CHRISTMAN les classent comme acides aromatiques polyhydroxymethoxy-carboxyliques. Ces auteurs signalent en outre, pour ces corps, une fluorescence maximum autour de la bande de 490 m $\mu$ .

Beaucoup d'entre eux possèdent des affinités avec les constituants des extraits tinctoriaux de bois divers ou d'écorces. L'étude des produits de dégradation de ces macromolécules a permis de déceler l'acide vanillique, l'acide syringique, l'acide protocatéchique, l'acide 3,5-dihydroxybenzoïque.

Par concentration et extraction, A.P. BLACK et R.F. CHRISTMAN (1963) ont obtenu de l'acide fulvique, de l'acide hymatomélanique et de l'acide humique. Ils ont étudié les caractéristiques chimiques de ces acides fulviques et, par des spectres d'absorption dans l'infrarouge, sont parvenus à démontrer que les acides fulviques possèdent un groupe a,b-hydroxyle ou un groupe a-hydroxycétonique, contenant des noyaux aromatiques. Les acides fulviques seraient ainsi des acides aromatiques polyhydroxy-carboxyliques.

Entre autres propriétés, les molécules complexes de ces substances organiques peuvent être engagées dans des combinaisons avec plusieurs ions métalliques, tel le fer.

Depuis, les études sont devenues plus fréquentes et les publications se sont multipliées. Du point de vue structurel : R.F. CHRISTMAN (1970), P.A. CRANWELL et R.A. HAWORTH (1975), K.M. KHAILOV et Z.Z. FINENKO (1970), D. POVOLEDO et H.L. GOLTERMAN (1975).

Etudes basées sur les spectres infrarouges : M. CEH et D. HADRI (1956), M. SCHNITZER (1965), F.J. STEVENSON et K.M. GOH (1971), B.K.Y. TRENG, J.R.H. WAKE et A.M. POSNER (1966), G.H. WAGNER et F.J. STEVENSON (1965).

En ce qui concerne les propriétés chimiques proprement dites : D.H.R. BARTON et M. SCHNITZER (1963), S.S. DRAGUNOV (1950), W. FLAIG (1960, 1975); E.T. GJESSING (1967), E.T. GJESSING et J.E. SAMDAL (1968), H.DE HAAN (1975), R.A. KARR et J.G. QUINN (1975), M.A. RASHID et L.H. KING (1971), M.A. RASHID et A. PRAKASH (1972), M. SCHNITZER (1975). La biogéochimie a été traitée par F.M. SWAIN (1975).

Signalons encore : F.E. CLARK et K.H. TAN (1969), R. ISHIVATARI (1970), S.M. MARISKAYA et

T.V. DROZDOVA (1968), G. OGNER et M. SCHNITZER (1970), F.J. STEVENSON et J.K.A. BUTLER (1970).

La matière organique : W.L. LAMAR et D.F. GOERLITZ (1966), F.S. WAGNER (1969), D.W. HOOD (1970); les substances humiques : W. LANG (1970), D. POVOLEDO et H.L. GOLTERMAN (1975), la chelation par R.T. BARBER et J.H. RYTHYR (1969). R.J. BARS DATE (1970), M.A. RASHID (1971); l'influence sur la productivité : T. BARBER et J.H. RYTHYR (1969), R.J. BARS DATE (1970), A. PRAKASH, A. JENNER et M.A. RASHID (1975); l'inhibition : J.T. CONOVER et J.M. SIEBURTH (1966), J. Mc LACHLAN et J.S. CRAIGHIE (1964), A. PRAKASH et M.A. RASHID (1968), A. PRAKASH, A. JENSEN, M.A. RASHID et D.V. SUBBAROA (1973), S. PRAT (1955).

Alors que l'influence des substances humiques sur la fertilité du sol et la nutrition des géophytes ne fait plus de doute depuis longtemps et est basée sur des très nombreux documents, l'importance écologique de substances similaires dans la production aquatique n'a pas donné lieu à des recherches très poussées, (A. PRAKASH, A. JENSEN et M.A. RASHID, 1975). Dans la classification écologique des lacs par A. THIENEMANN (1925), par rapport à leur concentration en acides humiques et le niveau de production organique, en lacs à eaux claires et lacs à eaux brunes, l'association de l'humus aquatique avec la productivité est implicite. La signification biologique de l'humus aquatique, dont l'identité chimique et l'origine sont restées longtemps incertaines, n'a pas toujours été acceptée sans conditions. Les recherches au sujet de ces substances se justifient d'autant plus qu'elles constituent une part importante de la quantité totale de matière organique dissoute dans les eaux douces et les eaux marines côtières. Elles peuvent y aider, ou, par l'absorption de la lumière et l'inhibition spécifique, freiner le processus de production.

Dans les conditions normales, ces mêmes substances représentent la masse principale de matière organique allochtone dans les eaux douces et marines. Cependant, la nature et la composition chimique de l'humus aquatique demeurent encore relativement obscures nonobstant plusieurs études exécutées dans les milieux limniques et marins. (J.S. SHAPIRO, 1957; R.F. CHRISTMAN et M. GHASSEMI, 1966; E.J. GJESSING, 1967; J.M. SIEBURTH et A. JENSEN, 1968, 1969; R.F. CHRISTMAN, 1970; E.T. DEGENS, 1970; M.A. RASHID et A. PRAKASH, 1972).

Il est cependant hors de doute que les sources premières d'humus aquatique sont à chercher dans le lessivage des sols et des marais, dans des composés polyphénoliques d'exsudats de plantes et dans les produits de décomposition du plancton et du benthos. L'humus marin se trouve principalement dans les eaux côtières intérieures. Il contribue ainsi à la « substance jaune » de la mer (K. KALLE, 1966). Il provient fréquemment de substances humiques dans les eaux de drainage depuis l'intérieur des terres et des composés phénoliques provenant des

algues marines littorales (M.A. RASHID et A. PRAKASH, 1972).

Les concentrations de substances humiques dans les eaux naturelles varient beaucoup avec les saisons et suivant la situation géographique. Elles sont généralement comprises entre moins de 1 mg/litre jusque 20 mg/litre, mais dans certains lacs dystrophes et des eaux similaires, elles peuvent atteindre une concentration extrêmement élevée. A. PRAKASH et M.A. RASHID (1968) ont montré de l'acide humique entre 16 et 30 mg/litre (moyenne 22 mg/litre) dans les rivières à eau jaune se déchargeant en mer. D'un autre côté, J.M. SIEBURTH et A. JENSEN (1968) renseignent 0,8 à 1,2 mg/litre de substance jaune dans des eaux fluviales légèrement teintées et ont mesuré 0,003 à 2,4 mg/litre dans des eaux côtières, les valeurs élevées se présentent au printemps et en été et les concentrations les plus basses durant l'hiver. On a renseigné des concentrations de 50 mg/litre dans des eaux intérieures en Norvège (E.T. GJESSING et J. SANDAL, 1968).

L'humus aquatique se présente à l'état dissous et colloïdal, de même dans le détritit organique. La plus grande partie de cet humus est absorbé dans les sédiments du fond par des particules argileuses ou minérales et demeurent en place sous forme de composés organiques et minéraux stables, insolubles (O.K. BORDOVSKIY, 1965). Cependant une portion importante reste à l'état dissous et provoque la teinte jaune ou brune de l'eau.

J.M. SIEBURTH et A. JENSEN (1968) ont trouvé que des échantillons de matériel humique terrigène se précipitent rapidement au contact de l'eau de mer. La fraction moyenne de ces substances précipite, mais les composés à poids moléculaire inférieur restent en solution. C'est également l'avis de A. PRAKASH (1971) : la floculation est limitée et le degré de précipitation paraît dépendre du poids moléculaire spécifique des fractions humiques. En effet, des études sur des substances d'origine diverse, suivant la méthode de filtration sur gel SEPHADEX, ont conduit à l'hypothèse que leur solubilité décroît avec l'accroissement du poids moléculaire. La précipitation serait ainsi sélective et de ce fait la teinte jaune-brun des eaux littorales serait due à la présence d'acides humiques et fulviques à poids moléculaire peu élevé.

Il n'existe pas d'estimation au sujet de la partie relative de matériel humique terrigène et de celle provenant des populations algales littorales du milieu marin. Dans les régions à drainage étendu, les substances terrigènes sont sans doute de loin les plus importantes en quantité. Une relation directe entre « la substance jaune » et la salinité montrée par K. KALLE (1949) et N.G. JERLOV (1955) dans la Baltique et dans le Golfe de Bothnie, conduit à la suggestion que dans ces eaux, l'humus jaune, fluorescent en lumière U.V., est amené surtout par les eaux provenant de l'intérieur. J.M. SIEBURTH et A. JENSEN (1969) ont estimé une production de polyphénols correspondant à 1 g par jour/1 m<sup>2</sup> d'un

herbier sous-marin à *Fucus* dans les fjords et autres baies côtières à décharges limitées.

Dans un écosystème aquatique, l'eutrophisation a été considérée généralement comme une augmentation de l'apport en matières nutritives inorganiques, plus spécialement N et P, l'accroissement excessif de la production des algues en étant la résultante. Malgré que la croissance du plancton autotrophe soit souvent étroitement liée à la concentration N et P, il semble toutefois qu'une relation directe entre le degré d'eutrophie et la concentration de matières nutritives minérales en présence dans l'eau, n'existerait pas (L. PROVASOLI, 1963; O.M. SKULBERG, 1966; A. PRAKASH, 1971).

Dans les conceptions actuelles de la qualité de l'eau nécessaire à la croissance des algues, un conditionnement biologique impliquerait la présence ou l'absence de matières organiques biologiquement actives, tels les vitamines, certains composés extracellulaires, des antibiotiques, des auxines et des chélateurs, ayant une influence profonde sur la productivité des eaux. (M.R. STROOP, 1957; C.E. LUCAS, 1958; L. PROVASOLI, 1958; R. JOHNSTON, 1964; R.T. BARBER et G.H. RYTHER, 1969).

Les substances humiques agissent de même comme agents biologiquement actifs et, par leur action complexante, contribuent à l'eutrophisation. Déjà H. GRAN (1931) attribuait la haute productivité des eaux côtières au drainage de composés riches en fer, depuis l'intérieur des terres.

O.M. SKULBERG (1966) fait mention d'une plus forte production d'algues planctoniques, en présence de dérivés humiques contenant du fer, dans de l'eau de mer enrichie d'eaux d'égout. Des substances organiques en solution dans les eaux naturelles, surtout des acides humiques, fulviques, ainsi que des amino-acides, sont à la base de la solubilisation, par chélation et complexion, de traces d'ions métalliques divers d'une importance physiologique indiscutable.

Les dérivés humiques à poids moléculaire peu élevé, munis d'un nombre de groupes fonctionnels actifs, sont particulièrement importants dans ce phénomène (M.A. RASHID et L.H. KING (1971)). Des fractions représentant moins de 700 poids moléculaire complexent 2 à 6 fois plus d'ions métalliques que d'autres fractions à P.M. plus élevé (M.A. RASHID, 1971). L'humus aquatique étant particulièrement riche en fractions à P.M. peu élevé, son rôle comme agent naturel complexant devient dès lors indubitablement crucial dans le processus d'eutrophisation.

De récentes investigations permettent de supposer une modification effective, par les substances humiques, de la précipitation et de la solubilisation de certains ions importants pour la nutrition, tels les phosphates (M.A. RASHID), peut-être même les nitrates et les silicates.

En réagissant avec Fe, Ca, Al, Cu, Co et d'autres ions métalliques, devenant ainsi inaccessibles aux algues

du plancton, puisque soustraits à la circulation directe de la matière, en présence de dérivés humiques, cette précipitation est ralentie ou modifiée par l'affinité de ces molécules organiques pour ces ions. Avec leurs constituants majeurs, comme les amino-acides, les quinones, ils sont à même d'en solubiliser de grandes quantités, jusque 680 mg par gr de matière organique, depuis leurs composés insolubles (M.A. RASHID et J. LEONARD, 1973).

La solubilité accrue et la précipitation inhibée des ions métalliques, la rétention des substance nutritives dans la colonne aquatique, peuvent augmenter considérablement ainsi, en présence de ces composés humiques.

D'un autre côté, de grandes quantités de ces composés hydro-solubles, fortement liés à des constituants inorganiques dans les sédiments, peuvent être libérées, résultat de l'interaction avec certains ions inorganiques, sous une forme plus accessible. Des expériences exécutées au moyen de complexes d'acide humique obtenus par cryodessiccation ou par lyophilisation, ont révélé l'augmentation, en présence de phosphates — et plus spécialement les phosphates de détergents — de la solubilité de tels complexes.

Cette interaction entre phosphates et acide humique conduira certainement à un enrichissement des eaux.

En 1912, PRINGSHEIM, fit observer la bonification, par l'addition de petites quantités d'extraits humiques, de la croissance de plusieurs espèces d'algues d'eau douce, suscitant ainsi un grand intérêt pour la signification écologique de l'humus aquatique pour la productivité des algues.

On a cultivé avec succès un certain nombre d'espèces dulcicoles ou marines dans des milieux enrichis au moyen d'un extrait aqueux de sol. On croit généralement que les résultats positifs obtenus au moyen de ces substances humiques sur la croissance du phytoplancton, en sont redevables à la stimulation par les extraits de sol. On attribue cette stimulation à l'action complexante des composés humiques, celle-ci augmentant la mise à la disposition de traces d'ions métalliques, à moins qu'ils ne réduisent la toxicité de certains d'entre eux envers les algues du plancton.

Malgré la conviction générale des algologues de l'importance des substances humiques dans les mécanismes de la productivité du phytoplancton, des observations directes sur les effets spécifiques de telles substances sur la croissance et le métabolisme des algues planctoniques sont étonnamment peu nombreuses.

En eau douce, l'accroissement des algues en présence de ces substances a été observée. La nuisance des algues bleues dans les lacs eutrophes semble freinée par la présence d'humus aquatique (S. PRAT, 1955; J. SHAPIRO, 1957; W. LANGE, 1970).

Dans le milieu marin, nos connaissances au sujet de l'influence des substances humiques sur la production primaire organique et la signification de l'humus aquatique dans la productivité marine, n'en sont encore qu'à

leur début. Des études effectuées par A. PRAKASH et M.A. RASHID (1968, 1969) sur l'influence des substances humiques sur le phytoplancton marin, ont montré que des concentrations relativement minimales d'acide humique et fulvique dans le milieu de culture stimulent la croissance des Dinoflagellates. La récolte des cellules, la rapidité de la croissance et l'absorption du radiocarbone, le démontrent suffisamment, toutes augmentent jusqu'à une certaine limite, avec l'accroissement des acides humiques.

A. PRAKASH et ses collaborateurs ont mis en œuvre des fractions purifiées de ces acides obtenues à partir d'une eau de rivière teintée en jaune par sa richesse en humus. Quelle que soit l'origine des substances, les fractions à poids moléculaire peu élevé produisent apparemment la croissance la plus élevée dans les cultures unialgues. Dans des études subséquentes, A. PRAKASH, 1971 et A. PRAKASH & coll., 1973, ont montré les résultats d'une croissance semblable dans la culture de Diatomées par l'addition de fractions humiques obtenues à partir d'eaux de mangrove et de résidus décomposés de certaines algues brunes littorales. La croissance dépend de la concentration, jusqu'à une certaine limite, au-delà de laquelle on ne constate plus d'augmentation ni d'inhibition. Ce sont encore une fois les fractions d'acide humique à poids moléculaire peu élevé qui favorisent le maximum de croissance et augmentent non seulement la récolte des cellules, la vitesse de croissance, l'adsorption du radiocarbone, mais aussi la densité de la chlorophylle.

Malgré des données disponibles encore limitées, tout semble indiquer que l'amélioration des conditions de croissance, obtenues par les concentrations basses de substances humiques, constitue un phénomène général, influençant d'une manière semblable aussi bien les Diatomées que les Dinoflagellates et probablement aussi la plupart des algues.

Il semble également que des fractions biologiquement actives de substances humiques dérivées de sources différentes, ne produisent pas les mêmes effets sur le phytoplancton.

Différentes espèces répondent ainsi différemment à de telles fractions. On est ainsi réduit à l'hypothèse d'un effet général positif sur la production primaire aussi bien en eau douce que dans le milieu marin; état de choses plein de conséquences pour l'écologie globale d'une région. L'effet stimulant de ces substances sur les algues planctoniques apparaît ainsi comme le résultat d'une forte capacité de chélation. Les ions métalliques agissant différemment sur des espèces variées, ces mêmes substances peuvent avoir une influence différente dépendant des espèces d'algues du plancton et, en déterminant la répartition, l'abondance et la succession des espèces, peuvent jouer ainsi un rôle écologique de première importance. En plus de la chélation, ces mêmes substances peuvent être engagées dans différentes réactions catalytiques associées au métabolisme cellulaire et la croissance

des algues phytoplanctoniques tout comme chez les plantes terrestres (A. PRAKASH, 1971): elles peuvent influencer ainsi la productivité d'un écosystème aquatique.

L'activité inhibitrice constitue un autre aspect de l'influence des substances humiques sur la productivité aquatique. La plupart des études effectuées au moyen d'extraits jaunes d'algues benthiques, particulièrement des algues brunes, ont montré la nature toxique de leurs constituants phénoliques envers des bactéries, d'autres algues, des larves de formes planctoniques (J. CONOVER et J.M. SIEBURTH, 1964; J. Mc LACHLAN et U.S. CRAIGIE, 1964; J.M. SIEBURTH et J.T. CONOVER, 1965; J.P. CONOVER et J.M. SIEBURTH, 1966). Des effets négatifs de substances humiques d'origine terrigène sur la productivité aquatique n'ont pas été étudiés sur une grande échelle, il existe néanmoins beaucoup de probabilités que ces substances, quelle que soit leur source, tendent à inhiber le phytoplancton dès qu'elles sont présentes en concentration élevée. Le niveau bas de la productivité algale dans les lacs tourbeux et dans d'autres eaux à concentration élevée en ces substances a été généralement attribué à une absorption sélective des rayons lumineux à des concentrations croissantes de matériel jaune dans la colonne aquatique avec comme résultat une zone photique diminuée et une photosynthèse réduite. L'effet moyen, cependant, semble devoir être attribué à la chélation depuis qu'on sait qu'un excès d'un chélateur dans un milieu réduit la disponibilité de traces métalliques pour les algues (L. PROVASOLI & al., 1957). Il est dès lors probable que le manque de réponse ou l'effet inhibiteur observé sur la croissance du phytoplancton sous de fortes concentrations de substances humiques soit due à une chélation excessive.

Cette propriété de précipiter, seules ou ensemble avec d'autres molécules organiques comme des protéines et des polysaccharides acides, peut constituer une autre source d'énergie pour les organismes aquatiques. J.M. SIEBURTH et A. JENSEN (1970) ont tracé la synthèse d'une partie de la substance dite « jaune » (Gelbstoff) marine et ont suggéré que la formation de cette substance pourrait constituer un mécanisme pour transformer la matière organique dissoute en une forme particulée pouvant être utilisée par les formes filtrantes et consommatrices de détritus. Une théorie à peu près similaire sur l'inclusion de composés organiques macromoléculaires dans les chaînes alimentaires marines a été avancée par R.M. KHAÏLOV et Z.Z. FINENKO (1970). L'utilisation directe d'exsudats de *Fucus vesiculosus* par certains vertébrés marins comme source nutritive a été signalée par K.M. KHAÏLOV (1971) mais malgré qu'une évidence positive fasse défaut, il est possible que certains organismes d'eau douce et d'eau marine puissent être capables de croître aux dépens de certaines formes d'humus aquatiques ou d'humus adsorbés à des particules argileuses ou minérales.

Plusieurs eaux de la région de St-Jean in Eremo et de Assenede étant plus ou moins teintées en bistre,

teintes s'enlevant aisément par filtration sur charbon de bois actif et non imputable à la présence massive de micro-organismes bien déterminés, nous avons comparé leur teinte à une solution d'acide humique préparée en dissolvant 100 mg d'acide humique L. LIGHT & C° dans 1 litre de NaOH N/100.

Cette comparaison au spectrophotomètre à des solutions de concentrations croissantes n'a pu être effectuée qu'au cours de nos dernières recherches en novembre et décembre 1958.

L'insolubilité complète de l'acide humique utilisé au cours de nos comparaisons, dans l'eau distillée, mais aisée dans la soude N/100, nous a suggéré de rechercher une corrélation possible entre l'alcalinité de nos eaux et la concentration en acide humique.

Nous avons groupé les concentrations en acide humique par ordre croissant avec, en regard, l'alcalinité correspondante. Les résultats montrent qu'une certaine corrélation se manifeste. On remarque aisément qu'à des concentrations en acide humique comprises entre 1,4 et 3,3 mg/litre correspondent des alcalinités de 4,934 et 7,560. A partir de cette valeur, de 5,5 à 27,7 mg/litre, on observe des alcalinités, s'étendant de 8,776 à 12,816.

On pourrait donc émettre l'hypothèse qu'en présence de quantités variables de matières végétales de déchet, provenant de sources diverses et du sous-sol tourbeux, l'alcalinité de l'eau provoque leur dissolution plus ou moins rapide et la couleur bistre d'intensité variable observée dans ces eaux (Tableau 217).

TABLEAU 217

	Acide humique mg ‰	Alcalinité
St-Jacobs gat	1,4	4,984
St-Jacobs gat	1,4	6,080
Kieldrecht Weel	1,6	5,414
Assenede Grote Geule	1,7	5,320
Assenede Kleine Geule	1,9	6,210
Assenede Grote Kil	2,0	6,770
St-Jacobs gat	2,5	5,312
Grote Kreek Overslag	3,0	4,934
St-Eligiuspolder	3,3	7,560
Hollandersgatkreek	5,5	10,200
Boerekreek	7,0	8,776
Boerekreek	8,7	9,941
Oostpolderkreek	10,1	12,816
Vrouwkenshoekkreek	24,2	11,892
Vrouwkenshoekkreek	27,7	11,480

Avant de clore ce chapitre sur les propriétés des eaux saumâtres, il y a lieu d'ajouter deux observations supplémentaires qui pourraient avoir une importance dans ce milieu.

I. — Les dérivés organiques du soufre ont été examinés récemment par W. BALZER (1981) dans

E.K. DUURSMA et R. DAWSON (éditeurs), Amsterdam : « Marine organic chemistry » et leur détermination plus spécialement par R.L. TANNER et collaborateurs, 1978 in J.O. NRIAGY « Sulfur in the Environment », New York.

L'auteur traite successivement des composés organo-sulfurés dissous comme : Sulfure de diméthyle, sulfure de carbone, composés estimés provenir de la décomposition de matières organiques. Semblent provenir d'une source analogue : methylmercaptan, dibenzothiophène, benzothiazol. L'existence d'aminoacides sulfurés, bioactifs, comme : cystéine, cystine, methionine, homocystéin, cystothione, glutathion, acide cystéique, taurine, biotine et thiamine a été examinée.

La dégradation et la reminéralisation des dérivés protéiques, la présence de diméthylpropiothetine et du sulfure de diméthyle dans les plantes marines, les mercaptans, sulfoxydes, sulphones, esters sulfuriques, acides sulphoniques et les sulpholipides, autant de corps sulfurés pouvant exercer une influence dans la biocénose, non seulement en eau de mer, mais également, à une échelle peut-être plus réduite, dans les eaux saumâtres.

Ce sont des recherches certainement captivantes, non seulement d'ordre physiologique, mais surtout d'intérêt pour la sociologie des algues du plancton, peut-être même pour leur rôle dans la succession et l'alternance des différentes associations, compte tenu des phénomènes d'antagonisme, qui ne serait pas à négliger.

La recherche et la détermination de ces corps ne sont toutefois pas aisées et relèvent des techniques de la chromatographie sur papier aussi bien qu'en phase gazeuse.

II. — En 1981, M.J. GAUTHIER et M. AUBERT, in E.K. DUURSMA et R. DAWSON (éditeurs) : « Organic marine Chemistry » (Amsterdam), ont attiré l'attention sur le problème de ce qu'ils appellent les « télémediateurs chimiques » dans le milieu marin. Problème pouvant être également d'importance dans le milieu saumâtre, rejoignant en un certain sens la question des dérivés organiques sulfurés.

On sait que chaque organisme, du point de vue autécologique, possède ses caractéristiques et ses exigences propres. Quant à son comportement, il doit s'adapter non seulement aux conditions physico-chimiques du milieu dans lequel se déroule son existence, mais aussi à la présence d'autres organismes, pour constituer ainsi un ensemble fonctionnel en équilibre : l'écosystème.

Pour atteindre une compréhension d'un écosystème, une approche récente est l'étude des interactions entre les membres d'une communauté biotique basées sur les influences diverses de substances chimiques intervenant dans les systèmes sans posséder nécessairement une valeur nutritive. On admet généralement que ces substances exercent un rôle informatif sur l'organisme au sujet de certaines caractéristiques du milieu ambiant, pouvant ou non être favorables à son développement ou sa reproduction.

A l'origine, ce concept d'écologie chimique fut développé dans les travaux de géobotanique. Dans le domaine marin, l'hypothèse d'une action intra- et interspécifique par des métabolites externes, fut mise en avant il y a une quarantaine d'années par C.E. LUCAS, et adoptée plus récemment par différents auteurs. La théorie a été généralisée par M. AUBERT (1971) et appliquée dans le domaine de l'hydrobiologie par le même auteur et ses collaborateurs.

Les différentes espèces de ces substances particulières ont été classées sur la base de critères très différents : fonctions écologiques, signification pour l'émetteur ou le récepteur, mode d'émission, influence sur des individus de même espèce ou d'espèces différentes.

L'étude de cette influence de substances chimiques libres dans les cycles vitaux d'organismes marins et la concurrence interspécifique entre micro-organismes sont relativement récentes. Ce sont les formes inférieures : bactéries, levures, algues unicellulaires qui, malgré leurs dimensions réduites, leur activité métabolique, mettent en liberté, dans le milieu ambiant, la plus grande quantité de métabolites simples. C'est pourquoi ces micro-organismes constituent l'échelon le plus élevé des phénomènes de télémediation et de relations interspécifiques.

De nombreuses études d'écologie microbienne ont souligné la multiplication accrue de la population microbienne due aux substances organiques libérées par les algues planctoniques. Ces éléments peuvent être des substances nutritives, des vitamines, des phytohormones (J.A. BENTLEY, 1958, 1960; H. AUGIER, 1972).

Elles sont libérées, en règle générale, dans le milieu après la lyse des cellules algales au cours du vieillissement de la culture ou de la population naturelle. Elles peuvent posséder des propriétés antiseptiques ou antibiotiques. C'est ainsi, comme M. AUBERT et J. GAUTHIER (1967) le rapportent que 20 à 25% des diatomées méditerranéennes produisent des inhibiteurs analogues.

D'après les recherches de différents auteurs, leur nature chimique est variable : des acides gras, des nucléosides, des complexes lipoprotéiques, dérivés de la chlorophylle, acide acrylique, peptides, substances jaunes. Certaines de ces substances sont extrêmement actives, comme celle sécrétée par la diatomée *Asterionella notata* avec des concentrations inhibitrices d'un ordre de  $0,005 \mu\text{g ml}^{-1}$ .

La mise en liberté de substance semblables par les éléments du phytoplancton, d'après les données de J.A. HELLEBUST (1965), C. NABEWAJKO (1966), S. SAMUEL et collaborateurs (1971), J.P. THOMAS (1971), n'est pas à considérer comme un artefact expérimental, en effet, 1 à 20% du carbone total assimilé est mis en liberté dans le milieu ambiant par les populations phytoplanctoniques naturelles. Cependant l'importance de cette sécrétion peut probablement être réduite dans le cas de cellules saines. Suivant J.H. SHARP (1977), des sécrétions semblables peuvent être d'une importance considérable tant pour la nutrition des bactéries que

pour le contrôle de leur développement, d'après les propriétés favorisant ou inhibant leur croissance.

D'un autre côté, W. BELL et R. MITCHELL (1972) ont émis l'hypothèse d'une phytosphère, dans les environs immédiats de chaque algue planctonique, constituée par des bactéries attachées et fixées aux cellules par chemotaxie, apportant à celles-ci des substances de croissance. Ces auteurs ont montré que la réaction à ces stimulants dépend de l'âge de l'algue : elle devient significative chez les individus âgés.

La possibilité d'une réponse contraire demeure cependant, l'algue produisant des substances répulsives, maximale durant la phase de croissance.

J. McN SIEBURTH (1968) aborde un problème similaire : l'explication de la répulsion par les diatomées de bactéries épiphytes, au moyen de la sécrétion de composés acides.

L'activité inhibitrice chez les algues et son rôle dans le milieu naturel ont été établis par les observations de J. McN SIEBURTH et D.M. PRATT (1962) sur l'inhibition de bactéries coliformes et de *Vibrio*, après une fleur d'eau diatomée : *Skeletonema costatum*. Les études entreprises par M. AUBERT et ses collaborateurs (1967, 1975) ont montré que les sécrétions de certaines diatomées comme *Asterionella japonica*, *Asterionella notata*, *Chaetoceros Lauderer*, *Skeletonema costatum*, *Nitzschia sp.*, contribuent à la purification biologique du milieu marin et sont les agents de destruction de bactéries terrestres entraînées au large en mer.

### Relations entre algues

On a traditionnellement évoqué les substances nutritives, la lumière, la température et la salinité comme des facteurs limitants dans la succession des populations phytoplanctoniques dans le milieu naturel environnant. Leur influence combinée est à la base de l'équilibre en eau libre prévenant ainsi un trouble à un degré trop élevé dans les conditions normales. Des métabolites secondaires des algues influencent cependant, sans aucun doute, la succession des éléments du phytoplancton; malgré la reproduction d'un métabolite en grandes quantités, il semble que l'influence sur la succession est en réalité tempérée et se produit avec l'interaction des facteurs de croissance.

Dans d'autres cas, les métabolites d'algues sont impliqués dans les interactions entre des espèces d'algues ou de populations, aussi bien dans la nature qu'*in vitro*. Pour le phytoplancton, le phénomène le mieux connu dans ce domaine est l'antagonisme entre les diatomées et les dinoflagellates, résultant dans une croissance alternée des populations. J.M. PINCEMIN (1971), au moyen d'une série d'expériences *in vitro*, a pu montrer que la croissance de la diatomée *Asterionella japonica* est inhibée par la présence de dinoflagellates comme *Coolia monotis* ou *Peridinium trochoideum*. Des phénomènes analogues ont été rapportés pour d'autres algues. D.M. PRATT (1966) a observé un antagonisme entre

*Skeletonema costatum* et la *Xanthophycée* : *Olisthodiscus luteus*, aussi bien dans la nature que dans des cultures mixtes de ces espèces. La dominance de *Skeletonema* est expliquée par son temps de vie plus court alors que celle de *Olisthodiscus* est due à la production d'un métabolite extra-cellulaire toxique (substance jaune phénolique).

M. AUBERT et ses collaborateurs (1967) ont observé qu'au cours de certaines périodes de l'année, plus spécialement au printemps, les diatomées cessent la synthèse de substances bactériostatiques, phénomène correspondant à un maximum de densité des populations de dinoflagellates. Expérimentalement *in vitro*, on a pu montrer que la proximité de *Prorocentrum micans* inhibe la production d'une des substances bactériostatiques chez *Asterionella japonica*.

La substance sécrétée par le dinoflagellate responsable de cet effet a été déterminé comme étant d'origine protéique avec une activité basse de l'ordre de  $10^{-9}$  M.

Le système biologique à plusieurs composantes est plus complexe. *Prorocentrum micans* produit deux substances antagonistes : l'une favorise la synthèse de pigments caroténoïdes chez *Asterionella japonica* et *Chaetoceros Lauderer*, protégeant ainsi ses acides gras antibiotiques de la photo-activation *in vivo*, et la seconde agit plus que probablement sur la cellule bactérienne, augmentant l'effet léthal de ces antibiotiques.

Des bactéries qui profilèrent dans des eaux riches en matières organiques dissoutes sécrètent des substances de croissance, par exemple de la Vitamine B<sub>12</sub>, favorisant la croissance des diatomées. Celles-ci, au contraire, produisent des substances antibiotiques, comme des acides gras et des polysaccharides, qui inhibent les bactéries d'origine tellurique. Ce processus conduit à une invasion du milieu par des diatomées à condition qu'elles ne soient pas inhibées par des dinoflagellates durant une certaine période. La Vitamine B<sub>12</sub> vient en aide aux dinoflagellates dans leur croissance et donne lieu à la production de substance médiatrices qui arrêtent la prolifération des diatomées.

A noter toutefois que les relations entre groupes phytoplanctoniques ne sont pas toujours négatives : J.M. PINCEMIN (1971) a décrit une croissance de *Peridinium trochoideum* en présence de sécrétions de *Asterionella japonica*.

La différence d'effet entre des médiateurs négatifs et positifs, peut donner l'explication à la séquence des populations algales de certaines eaux. Un phénomène analogue a été décrit par K.I. KEATING pour des lacs eutrophes (1977, 1978).

Un certain nombre d'espèces d'algues marines produisent différentes substances antibiotiques : acides gras, acrylates, polyphénols, terpénoïdes, dérivés de chlorophylles, composés sulphonés ou bromés, peptides. Plusieurs auteurs se sont penchés sur ces questions. La plupart de ces antibiotiques ont été trouvés expérimentalement dans des extraits d'algues et sont ainsi associés à des bactéries Gram-positives et Gram-négati-

ves. Par un certain nombre de recherches dans le milieu naturel on a pu démontrer leurs activités effectives.

Suivant J.McM SIEBURTH (1968), les tannins des Phaeophyceae sont parfois sécrétés en quantités telles que les eaux côtières sont colorées.

Ces concentrations possèdent une activité inhibitrice non seulement vis-à-vis des bactéries, des algues, mais aussi des formes animales.

La détection et l'étude de ces diverses substances relèvent du domaine de la dialyse.

Nous faisons suivre ici les principaux titres récents se rapportant aux deux observations précédentes.

AUBERT M., 1971. — Télémédiateurs chimiques et équilibre océanique. 1<sup>re</sup> partie : Théorie générale. (Rev. Int. Océanogr. Méd., XXI, 5-16).

AUBERT M. & PESANDO D., 1971. — Télémédiateurs chimiques et équilibre biologique océanique. 2<sup>e</sup> partie. Nature chimique de l'inhibiteur de synthèse de l'antibiotique produit par une diatomée. (Rev. Int. Océanogr. Méd., XXI, 17-26).

AUBERT M., AUBERT J., GAUTHIER M.J. & PESANDO D., 1967. — Etude de phénomènes antibiotiques liés à une efflorescence de Pérédiniens. (Rev. Int. Océanogr. Méd., VI-VII, 43-52).

AUGIER H., 1972. — Contribution à l'étude biochimique et physiologique des substances de croissance, chez les algues. (Thèse Univ. Marseille. 323 p.).

BENTLEY J.A., 1958. — Role of plant hormones in algal metabolism and ecology. (Nature, 181, 1499-1502).

BENTLEY J.A., 1960. — Plant hormones in marine phytoplankton, zooplankton and sea water. (J. Mar. Bio. Ass. U.K., XXXIX, 433-447).

BERLAND B.R., BONIN D.J. & MAESTRINI S.Y., 1972. — Etude des relations algues-bactéries du milieu marin. Possibilité d'inhibition des algues par les bactéries. (Thetys, IV, 339-348).

PESANDO D., 1972. — Etude chimique et structurale d'une substance lipidique antibiotique produite par une diatomée marine *Asterionella japonica*. (Rev. Int. Océanogr. Méd., XXV, 49-70).

PINCEMIN J.M., 1971. — Télémédiateurs chimiques et équilibre biologique océanique. 3<sup>e</sup> partie. Etude « in vitro » de relations entre populations phytoplanctoniques. (Rev. Int. Océanogr. Méd., 22-23, 165-196).

SHARP J.H., 1977. — Excretion of organic matter by marine phytoplankton. Do health cells do it? (Limnol. Oceanogr., XXII, 381-399).

ULITZER S. & SHILO M., 1970. — Procedure for purification and separation of *Prymnesium parvum* toxin. (Biochem. Biophys. Acta., CCI, 350-363).



## CHAPITRE XIV

### Formes planctoniques des eaux saumâtres

Dans ce chapitre, nous étudierons le phytoplancton des eaux saumâtres dont nous avons établi les propriétés géochimiques dans les chapitres précédents.

Nous verrons ainsi successivement :

#### I. - Les eaux courantes.

##### A. - Les estuaires.

- a. - L'Escaut.
- b. - Le chenal à Oostende avec l'arrière-port.
- c. - L'estuaire de l'IJzer, avec les canaux flottables et non flottables.
- d. - Le bassin à flot.

##### B. - Les canaux.

- a. - Le canal maritime à Zeebrugge.
- b. - Le canal Léopold à Heist.
- c. - Le canal de Blankenberge.

#### II. - Les eaux stagnantes.

##### A. - Antwerpen. Les Galgenweelen.

##### B. - Doel.

- a. - Groot Gat.
- b. - Le Fort de Liefkenshoek.
- c. - Le Fort Ste-Marie.

##### C. - Lillo. Le fort et les eaux stagnantes des environs.

##### D. - Kieldrecht. Weel.

##### E. - Meerdonk. Grote Geule (St-Jacobsgat).

##### F. - Overslag. Moerbeke. Grote Kreek.

##### G. - Wachtebeke. Kreek Polder St-Eligius.

##### H. - Assenede.

###### a. - Grote Kil.

###### b. - Grote Geule (Rode Geule).

###### c. - Kleine Geule.

##### I. - St-Jan in Eremo.

###### a. - Molenkreek.

###### b. - Oostpolderkreek.

###### c. - Boerekreek.

###### d. - Vrouwkenshoekkreek.

###### e. - Hollandersgat.

##### J. - Zandvoorde-Oudenburg.

###### a. - Grote Keignaert.

###### b. - Kleine Keignaert.

###### c. - Zoute Magdalena.

Dans la mesure du possible, nous avons tenu compte des relevés exécutés par d'autres auteurs.

## I. - LES EAUX COURANTES

### A. - LES ESTUAIRES

#### a. - L'Escaut

Il semble que ce soit C.G. EHRENBERG un des premiers qui eut l'occasion en 1845, d'examiner de la vase prélevée à la hauteur de Austruweel, au Nord de Antwer-

pen, contenant un grand nombre de diatomées marines. Il serait toutefois illusoire de conclure, à l'heure actuelle, à la présence encore effective de toutes ces espèces-là.

Certaines d'entre elles n'ont plus été relevées dans le plancton au cours des années suivantes.

Il s'agit notamment de :

*Achnanthes longipes*  
*Actinocyclus octonarius*  
*Actinocyclus opulentus*  
*Actinoptychus senarius*  
*Cocconeis amphiceros*  
*Cocconeis rhombus*

*Coscinodiscus excentricus*  
*Coscinodiscus minor*  
*Coscinodiscus radiatus*  
*Coscinodiscus subtilis*  
*Galionella sulcata*  
*Grammatophora oceanica*

*Navicula tortuosa*  
*Pinnularia didyma*  
*Pillularia sinuosa*  
*Surirella gemma*  
*Triceratium Favus*  
*Tripodiscus germanicus*

Il faut attendre la publication du « Synopsis des Diatomées de Belgique » par H. VAN HEURCK en 1885, pour disposer d'une liste d'espèces trouvées par lui-même ou par des prédécesseurs. Des données précises sur l'endroit exact de la récolte faisant défaut la plupart du temps, nous devons nous contenter de ces seuls renseignements : Escaut ou eau saumâtre. Dans la majorité des cas, on ne sait pas non plus faire une distinction entre

*Actinocyclus ralfsii*  
*Actinoptychus splendens*  
*Actinoptychus undulatus*  
*Auliscus sculptus*  
*Bellerochea malleus*  
*Biddulphia alternans*  
*Biddulphia aurita*  
*Biddulphia favus*  
*Biddulphia granulata*  
*Biddulphia rhombus*  
 » *v. trigona*  
*Biddulphia sculpta*  
*Biddulphia smithii*  
*Biddulphia turgida*  
*Campylodiscus echeneis*  
*Campylodiscus parvulus*  
*Cocconeis dirupta*  
*Coscinodiscus subtilis v. normannii*  
*Cyclotella striata*  
*Eupodiscus argus*

*Grammatophora serpentina*  
*Hyalodiscus stelliger*  
*Mastogloia exigua*  
*Navicula amphisbaena*  
 » *v. prostrata*  
 » *v. subsalsis*  
*Navicula crucicula*  
*Navicula v. prostrata*  
*Navicula didyma*  
*Navicula forcipata*  
*Navicula formosa*  
*Navicula gregaria*  
*Navicula interrupta*  
*Navicula palpebralis v. angulosa*  
*Navicula peregrina*  
*Navicula salinarum*  
*Navicula smithii*  
*Navicula viridula v. slesvicensis*  
*Pleurosigma angulatum*  
*Pleurosigma angulatum v. elongatum*

*Pleurosigma balticum v. brebissonii*  
*Pleurosigma exiguum*  
*Pleurosigma fasciola*  
*Pleurosigma hippocampus*  
*Pleurosigma macrum*  
*Pleurosigma spenceri v. curvula*  
*Nitzschia circumscuta*  
*Nitzschia navicularis*  
*Nitzschia spectabilis*  
*Nitzschia vitrea*  
*Raphoneis amphicerus*  
*Raphoneis caduceum*  
*Rhabdonema arcuatum*  
*Schizonema crucigerum*  
*Schizonema smithii*  
*Scoliolepta tumida*  
*Surirella gemma*  
*Surirella striatula v. biplicata*  
*Surirella ovalis v. crumena*  
 » *v. salina*

Le « Prodrôme de la flore belge » par E. DE WILDEMAN et Th. DURAND (1898-1907), de même que la « Flore des Algues de Belgique » par E. DE WILDEMAN (1896) reprennent toutes ces espèces. Nous y trouvons en outre : *Amphora marina*, *Navicula beyrichiana*, *Pleurosigma strigile*. Il est probable que beaucoup d'espèces

*Biddulphia favus*  
*Campylodiscus clypeus*  
*Chaetoceros varians*  
*Chaetoceros wighami*  
*Coscinodiscus subtilis*  
*Ditylium brightwellii*

*Eucampia zoodiacus*  
*Grammatophora serpentina*  
*Melosira westii*  
*Navicula didyma*  
*Navicula peregrina*

*Raphoneis amphicerus*  
 » *v. rhombica*  
*Rhabdonema arcuatum*  
*Rhizosolenia imbricata*  
*Surirella ovalis v. ovata*

A.C.J. VAN GOOR (1923) a publié dans une étude sur le nannoplancton de la Mer du Nord méridionale, les

*Actinoptychus undulatus*  
*Biddulphia alternans*  
*Biddulphia aurita*  
*Biddulphia regia*

*Biddulphia rhombus*  
*Ceratium fusus*  
*Coscinodiscus excentricus*  
*Ditylium brightwellii*

*Rhizosolenia setigera*  
*Rhizosolenia stolterfothii*  
*Streptothecha thamesis*

Nous ne pouvons clôturer cette énumération sans faire mention du travail de W. CONRAD et H. KUFFE-RATH (1954) sur les eaux saumâtres de Lilloo. A côté de l'étude proprement dite de ces biotopes particuliers, leurs recherches n'ayant pas été étendues jusqu'à l'eau de l'Escaut, le mémoire renferme néanmoins quelques

*Actinoptychus undulatus*  
*Asterionella japonica*  
*Biddulphia alternans*  
*Biddulphia regia*  
*Biddulphia rhombus*  
*Cerataulus smithii*

*Chaetoceros danicus*  
*Coscinodiscus concinnus*  
*Coscinodiscus subtilis*  
*Ditylium brightwellii*  
*Guinardia flaccida*  
*Melosira splendens*

*Pediastrum boryanum*  
*Peridinium conicum*  
*Rhizosolenia longiseta*  
*Thalassiosira decipiens*  
*Thalassiosira rotula*

espèces planctoniques, benthiques, ni celles appartenant au periphyton, les auteurs de cette époque ne s'occupant que de systématique et de répartition géographique, la limnologie proprement dite devant encore être créée.

Nous nous contenterons donc d'énumérer simplement les espèces accompagnées de la mention : Escaut.

On relève ainsi successivement :

accompagnées de la mention : Anvers (saumâtre) se rapportent à l'Escaut.

En 1912, W. CONRAD a dressé une liste de quelques espèces déterminées par lui et provenant de différents endroits de l'Escaut.

noms de quelques espèces récoltées dans l'Escaut oriental par H.C. REDEKE :

renseignements au sujet des organismes du plancton du fleuve empruntés soit à H. VAN HEURCK, soit à nous-même.

Nous avons récolté, en 1939, à la hauteur de Breskens :

Pour la région située entre Breskens (à l'embouchure) et Temse, en amont de Antwerpen, nous avons publié en 1949, la liste suivante d'espèces renfermant, outre des

diatomées, un assez grand nombre de chlorophycées et de flagellophycées.

*Actinastrum hantzschii*  
*Actinoptychus undulatus*  
*Ankistrodesmus falcatus*  
*Ankistrodesmus setigerus*  
*Aphanizomenon flos-aquae*  
*Asterionella gracillima*  
*Asterionella japonica*  
*Bellerochea malleus*  
*Biddulphia alternans*  
*Biddulphia rhombus*  
*Biddulphia sinensis*  
*Cerataulus smithii*  
*Ceratium hirundinella*  
*Chaetoceros danicus*  
*Closterium aciculare*  
*Closterium linea*  
*Coelastrum microporum*  
*Coscinodiscus concinnus*  
*C. excentricus*

*C. lacustris*  
*C. radiatus*  
*C. subtilis*  
*Crucigenia quadrata*  
*Crucigenia tetrapedia*  
*Cyclotella comta*  
*Dictyosphaerium ehrenbergianum*  
*Ditylium brightwellii*  
*Eudorina elegans*  
*Euglena acus*  
*Fragilaria crotonensis*  
*Guinardia flaccida*  
*Gyrosigma angulatum*  
*Hyalodiscus stelliger*  
*Kirchneriella lunaris*  
*Melosira splendens*  
*Melosira varians*  
*Merismopedia tenuissima*  
*Pediastrum boryanum*

*Pediastrum duplex*  
*Pediastrum duplex v. reticulatum*  
*Pediastrum tetras*  
*Peridinium conicum*  
*Phacus longicauda*  
*Rhizosolenia longiseta*  
*Scenedesmus acuminatus*  
*Scenedesmus obliquus*  
*Scenedesmus quadricauda*  
*Surirella smithii*  
*Synedra acus*  
*Synedra ulna*  
*Synura uvella*  
*Tabellaria fenestrata*  
*Tetrastrum multisetum*  
*Thalassiosira decipiens*  
*Thalassiosira rotula*

Les espèces typiquement marines sont bien représentées. La plupart, toutefois, ne dépassent guère Lillo, en direction d'amont, sauf l'espèce regardée depuis C.G. EHRENBERG comme *Coscinodiscus subtilis* — jusque plus ample information — qui semble être douée d'une grande plasticité, d'une grande capacité d'adaptation. On la rencontre parfois en quantités assez considérables, comme on le verra plus loin, dans l'eau des éclusettes des canaux d'évacuation, au contact avec l'Escaut. D'autre part, sauf pour quelques espèces de chlorophycées comme *Pediastrum* et *Scenedesmus*, Lillo semble constituer l'extrême limite pour les espèces dulcicoles.

En ce qui concerne la pénétration des éléments marins, signalons encore : *Eucampia zoodiacus* à Kallo, Fort Ste-Marie, 13.X.1940; *Biddulphia regia*, Doel, éclusette, 13.VIII.1939; *Meridion circulare*, Kallo, Fort Ste-Marie, 16.III.1941; *Biddulphia sinensis*, Berendrecht, 15.IX.1940.

Nous avons en outre observé

*Biddulphia rhombus* :  
 Lillo, canal d'évacuation 31.III.1940; 15.XII.1940  
 Schijn, éclusette 25.III.1940  
 Berendrecht Escaut 15.IX.1940  
 Kallo, Fort Ste-Marie 13.X.1940  
*Ditylium brightwellii* :  
 Kruibeke, éclusette 15.VI.1940  
*Rhizosolenia setigera* :  
 Doel, éclusette 15.VIII.1940  
 Antwerpen, rive gauche, watergang 16.VI.1940

Dans les eaux du Fort Ste-Marie à Kallo, nous avons observé, en outre, le 14.IV.1940 :

*Chaetoceros gracilis*                      *Chaetoceros ceratosporus*  
*Chaetoceros subtilis*                      *Chaetoceros wighami*

La grande inondation du 2.IV.1953 a refoulé jusque dans le canal d'alimentation de la Crique de Rupelmonde, amont de Antwerpen :

*Podosira stelliger*                      *Actinoptychus splendens*  
*Coscinodiscus rothii*                      *Biddulphia sinensis*  
*Coscinodiscus subtilis*                      *Biddulphia rhombus*  
*C. oculus-iridis v. borealis*

Au cours de nos explorations des eaux saumâtres, nous avons eu l'occasion d'exécuter des prélèvements dans l'eau de l'Escaut à la hauteur de Doel (Liefkenshoek), en 1950-1951, une fois par mois seulement.

L'espèce que jusque plus ample information nous avons déterminée comme *Coscinodiscus subtilis* était nettement prédominante de 80 à 100 % de la population totale avec *Cyclotella comta* comme espèce compagne principale de 5 à 25 %.

Cette population se composait de :

*Actinoptychus undulatus*  
*Aphanizomenon flos-aquae* 25 à 30 % en X.  
*Asterionella japonica*  
*Biddulphia regia*  
*Biddulphia rhombus* jusque 12 % en X.  
*Closterium acerosum* 1 fois 2 % en X.  
*Coscinodiscus subtilis*  
*Cyclotella comta* jusque 45 % en VI.  
*Pleurosigma fasciola*  
*Rhizosolenia hebetata fa semispina*  
*Scenedesmus obliquus*  
*Surirella gemma*  
*Synedra acus*  
*Triceratium favus*

A ce même endroit, nous avons pu exécuter, le 3-4.X.1951, des pêches planctoniques horaires, simultanément avec des échantillons d'eau pour analyse.

L'analyse systématique du phytoplancton récolté, nous permet de dresser le tableau donnant la succession horaire au cours de 24 heures.

TABLEAU 218

Escaut à Doel (Liefkenshoek)

3-4.X.1951.

Marée	Heure	Bacillario- phyceae %	Chlorophy- ceae %	Cyanophy- ceae %	Alcalinité	pH	NO <sub>2</sub> mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l	PO <sub>4</sub> mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	Rapp. N/P
B	11,45	95	5	—	4,058	7,45	0,035	16,25	0,38	66,34	20,4
	12,37	95	—	5	4,025	7,38	0,036	15,93	0,36	53,5	
	13,31	80	—	20	3,953	7,27	0,038	12,31	0,31	53,5	
	14,23	95	5	—	3,947	7,57	0,025	1,5	0,36	53,5	
	15,17	90	—	10	3,907	7,60	0,030	15,5	0,38	48,1	
	16,09	95	5	—	3,816	7,65	0,030	0,25	0,36	48,1	
H	17,01	—	—	—	3,640	7,70	0,011	0,0	0,36	18,1	8,2
	18,02	100	—	—	3,626	7,70	0,022	0,0	0,36	35,3	
	19,03	100	—	—	3,679	7,71	0,022	6,57	0,27	18,1	
	20,04	100	—	—	3,718	7,70	0,027	8,82	0,41	53,5	
	21,05	100	—	—	3,672	7,53	0,032	0,0	0,36	35,5	
	22,06	100	—	—	3,711	7,49	0,032	0,0	0,29	35,3	
	23,07	94	6	—	3,862	7,0	0,053	12,7	0,36	44,9	
B	0,08	100	—	—	3,894	7,41	0,052	9,55	0,36	66,3	26,8
	1,01	96	4	—	3,927	7,35	0,052	10,0	0,36	53,5	
	1,53	98	2	—	3,907	7,4	0,031	25,0	0,31	53,5	
	2,45	96	—	—	3,979	7,5	0,032	11,35	0,36	35,3	
	3,38	90	10	6	3,865	7,5	0,031	15,50	0,22	26,7	
	4,30	100	—	—	3,868	7,49	0,025	11,35	0,41	53,5	
H	5,25	95	5	—	3,587	7,61	0,032	9,07	0,36	29,9	18,8
	6,25	100	—	—	3,613	7,64	0,031	8,65	0,34	18,1	
	7,25	100	—	—	3,659	7,60	0,022	11,1	0,45	35,3	
	8,25	100	—	—	3,711	7,59	0,032	9,75	0,36	44,9	
	9,25	100	—	—	3,685	7,51	0,032	11,6	0,34	48,1	
	10,25	100	—	—	3,927	7,49	0,038	7,55	0,36	18,1	
	11,25	100	—	—	3,927	7,49	0,038	7,55	0,36	18,1	
	B	12,25	100	—	—	3,999	7,45	0,050	10,55	0,36	

En % de la population totale.

	Marée basse 14 h 45	Marée haute 17 h 00	Marée basse 0 h 08	Marée haute 5 h 25	Marée basse 12 h 25
<i>Coscinodiscus subtilis</i>	15	0	92	65	88
<i>Cyclotella comta</i>	80	0	8	10	0
<i>Biddulphia rhombus</i>	0	0	0	20	0

Il résulte de ce qui précède que les Bacillariophyceae ont occupé 80 à 100 % de la population totale et se sont manifestées toutes les heures, sauf l'heure après la marée haute à 18 h, les Chlorophyceae de 0 à 20 % et les Cyanophyceae de 0 à 20 %. Ces deux derniers groupes ont été très souvent absents et on ne les a observés qu'à marée montante au cours des deux marées successives enregistrées.

L'interprétation correcte de listes semblables est cependant hérissée de difficultés, par l'influence non négligeable due à la navigation, les divers éclusages sur le parcours du fleuve, sur la localisation exacte des espèces planctoniques.

Remarquons également que le rapport N/P au flux est plus élevé qu'au reflux. Dans le tableau, le premier

flux donne N/P = 20,4, le premier reflux N/P = 8,2; le second flux N/P = 26,8 et le second reflux : N/P = 18,8.

Enfin, le 27.X.1968, nous avons pu effectuer un examen semi-horaire depuis 9 h 35 à 15 h 05.

Cette fois, on relève des maxima pour les espèces : *Pleurosigma elongatum* de 75 à 100 %, *Melosira sulcata* 20 %, *Scenedesmus quadricauda* 25 %, parmi une population composée de :

*Actinastrum hantzschii*  
*Asterionella formosa*  
*Biddulphia rhombus*  
*Biddulphia sinensis*  
*Chaetoceros danicus*  
*Closterium aciculare*  
*Crucigenia tetrapedia*  
*Eutreptia viridis*

*Melosira sulcata*  
*Nitzschia seriata*  
*Oocystis submarina*  
*Pediastrum boryanum*  
*Pediastrum duplex*  
*Phacus caudatus*  
*Phacus longicauda*  
*Phacus longicauda v. torta*

*Pleurosigma angulatum*  
*Pleurosigma elongatum*  
 » v. *crucicula*  
*Rhizosolenia setigera*  
*Scenedesmus acuminatus*  
*Scenedesmus arcuatus*  
*Scenedesmus quadricauda*

Le 15.VIII.1957, un nouveau relevé a été effectué à différents états de marée (Tableau 219).

TABLEAU 219

Relevé du microplancton le 5.VIII.1957

En % de la population totale

	Mi-montante	Haute	Mi-descendante	Basse
<i>Cyclotella comta</i>	52	48	64	74
<i>Coscinodiscus subtilis</i>	36	36	26	16
<i>Melosira moniliformis</i>	4	8	6	4
<i>Actinoptychus undulatus</i>	4	—	—	—
<i>Cerataulus Smithii</i>	2	—	—	—
<i>Synedra acus</i>	—	4	—	—
<i>Raphoneis amphiceros</i>	—	—	4	—
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	—	—	—	4
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	2	4	—	—
<i>Oocystis solitaria</i>	—	—	—	2

soit :

Bacillariophyceae	98 %	96 %	100 %	95 %
Chlorophyceae	2 %	4 %	—	6 %

Dans notre publication de 1958, nous avons fait quelques remarques au sujet de la répartition des espèces dominantes et leurs fréquences non seulement à Doel,

mais aussi pour la section en aval et en amont de Antwerpen, pris comme point de repère.

TABLEAU 220

Fréquences des espèces dominantes par rapport à la salinité 1950-1951

En % de la population totale

Mois	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
<i>Coscinodiscus subtilis</i>	52	70	95	100	90	80	68	85	70	40	90	85	60
<i>Cyclotella comta</i> %	4	12	5	—	10	20	20	10	25	45	10	10	15
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> %	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cl gr ‰	5,8	7,1	2,2	0,4	0,5	4,3	0,2	1,7	4,7	6,7	11,1	4,4	5,3

Si nous décomposons la liste en espèces renseignées dans l'énumération systématique en espèces marines et dulcicoles, nous obtenons les proportions suivantes : sur les 65 espèces dénombrées entre Berendrecht et Antwerpen,

Espèces typiquement marines : 40 soit 61,5 %

Espèces dulcicoles : 25 soit 38,5 %

D'autre part, la répartition en groupes systématiques nous donne le résultat suivant :

#### Chlorophyceae

15 en aval soit 23,07 %      16 en amont soit 59,2 %

#### Bacillariophyceae

46 en aval soit 70,76 %      7 en amont soit 25,9 %

#### Varia

4 en aval soit 6,15 %      4 en amont soit 14,8 %

Résumons les recherches mensuelles de 1950-1951, à la hauteur de Liefkenshoek, nous trouvons comme espèces dominantes :

*Pleurosigma fasciola*  
*Asterionella japonica*  
*Scenedesmus obliquus*

*Surirella gemma*  
*Synedra acus*  
*Closterium acerosum* (rare)

*Triceratium favus*  
*Biddulphia regia*  
*Biddulphia alternans*

Au cours de l'expérience de 24 heures du 3-4.X.1951, nous avons relevé une population composée dans l'ensemble de :

<i>Actinopterychus splendens</i> de	2	à	4	%
<i>Actinopterychus undulatus</i>	2		10	
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	4			
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	5		20	
<i>Bellerochea malleus</i>	4			
<i>Biddulphia favus</i>	4		10	
<i>Biddulphia granulata</i>			10	
<i>Biddulphia rhombus</i>	4		30	
<i>Biddulphia sinensis</i>	8			
<i>Coscinodiscus subtilis</i>	0		100	
<i>Cyclotella comta</i>	2		80	
<i>Melosira moniliformis</i>	4		15	
<i>Pediastrum boryanum</i>	2			
<i>Pediastrum simplex</i>	5			
<i>Pediastrum tetras</i>	4		10	
<i>Pinnularia viridis</i>			18	
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	4		5	

Le 5.VIII.1957, le plancton comprenait presque exclusivement :

*Cyclotella comta* de 48 à 74 %, *Coscinodiscus subtilis* de 16 à 36 %, avec comme espèces compagnes : *Actinopterychus undulatus*, *Cerataulus smithii*, *Oocystis solitaria*, *Raphoneis amphiceros*, *Scenedesmus acuminatus*, *Scenedesmus quadricauda*, *Synedra acus*, *Melosira moniliformis*.

Moins de 20 après nos investigations sporadiques, le dépouillement de la publication de N. DE PAUW (1974) permet de dresser l'inventaire suivant (aval et amont de Antwerpen).

#### SCHIZOPHYCEAE

*Anabaena constricta* : St-Amands-Gent  
*Anabaena flos-aquae* : Temse  
*Anabaena spiroides* : Bat-Gent  
*Aphanizomenon flos-aquae* : Berendrecht-Gent

#### Mois.

X	<i>Coscinodiscus subtilis</i> , 52 %; <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , 30 %.
XI	<i>Coscinodiscus subtilis</i> , 70 %; <i>Cyclotella comta</i> , 12 %
XII	<i>Coscinodiscus subtilis</i> , 95 %.
I	<i>Coscinodiscus subtilis</i> , 100 %.
II	<i>Coscinodiscus subtilis</i> , 90 %; <i>Cyclotella comta</i> , 10 %.
III	<i>Coscinodiscus subtilis</i> , 80 %; <i>Cyclotella comta</i> , 10 %.
IV	<i>Coscinodiscus subtilis</i> , 68 %; <i>Cyclotella comta</i> , 10 %; <i>Biddulphia rhombus</i> , 12 %.
V	<i>Coscinodiscus subtilis</i> , 85 %; <i>Cyclotella comta</i> , 10 %, <i>Actinopterychus undulatus</i> , 5 %.
VI	<i>Coscinodiscus subtilis</i> , 70 %; <i>Cyclotella comta</i> , 25 %.
VII	<i>Coscinodiscus subtilis</i> , 40 %; <i>Rhizosolenia hebetata</i> v. <i>semispina</i> , 10 %; <i>Cyclotella comta</i> , 45 %.
VIII	<i>Coscinodiscus subtilis</i> , 90 %.
IX	<i>Coscinodiscus subtilis</i> , 85 %.
X	<i>Coscinodiscus subtilis</i> , 60 %.

avec, en outre, les espèces compagnes suivantes :

*Chroococcus limneticus* : Dendermonde  
*Coelosphaerium naegelianum* : Schijn  
*Merismopedia elegans* : Temse-Schoonaarde  
*Microcystis aeruginosa* : Hansweert-Gent  
*Oscillatoria agardhii* : Bat-Gent  
*Oscillatoria formosa* : Bat-Gent  
*Oscillatoria limosa* : Zandvliet-Gent  
*Oscillatoria tenuis* : Zandvliet-Antwerpen.

#### CHLOROPHYCEAE

*Eudorina elegans* : Bat-Gent  
*Gonium pectorale* : Antwerpen-Gent  
*Pandorina morum* : Zandvliet-Gent  
*Pleodorina illinoisensis* : Zandvliet-Gent  
*Volvox aureus* : Schijn-Gent  
*Actinastrum hantzschii* : Bat-Gent  
*Ankistrodesmus falcatus* : Bat-Gent  
*Ankistrodesmus falcatus* v. *acicularis* : Zandvliet-Gent  
*Ankistrodesmus setigerus* : Temse-Dendermonde  
*Coelastrum microporum* : Zandvliet-Gent  
*Coelastrum sphaericum* : Schijn-Fort de Perel  
*Crucigenia minima* : Antwerpen-Schelle  
*Crucigenia quadrata* : Schijn-Wetteren  
*Crucigenia rectangularis* : Antwerpen-Schelle  
*Crucigenia tetrapedia* : Berendrecht-Antwerpen  
*Dictyosphaerium ehrenbergianum* : Zandvliet-Gent  
*Errerella bornhemiensis* : Antwerpen-Gent  
*Golenkinia radiata* : Antwerpen-Gent  
*Kirchneriella lunaris* : Berendrecht-St-Amands  
*Kirchneriella obesa* : Schelle-Wetteren  
*Lagerheimia ciliata* : Fort de Perel  
*Oocystis solitaria* : Kallo  
*Pediastrum biradiatum* : Bat-Gent  
*Pediastrum boryanum* : Bat-Gent  
*Pediastrum duplex* : Breskens-Gent  
*Pediastrum* v. *reticulatum* : Lillo  
*Pediastrum simplex* : Kallo-Schoonaarde  
*Pediastrum tetras* : Kallo-Gent  
*Scenedesmus abundans* : Schijn-Gent  
*Scenedesmus acuminatus* : Baalhoek-Gent  
*Scenedesmus* v. *majus* : Draaisluis-Schoonaarde  
*Scenedesmus dimorphus* : Antwerpen

*Scenedesmus obliquus*: Baalhoek-Gent  
*Scenedesmus opoliensis*: Hansweert-Gent  
*Scenedesmus quadricauda*: Baalhoek-Gent  
*Selenastrum gracile*: Schijn-Temse  
*Sphaerocystis schroeteri*: Antwerpen  
*Tetraedron trigonum*: Temse-St-Amands  
*Tetrastrum staurogeniaeforme*: Zandvliet-Gent  
*Closterium acerosum*: Lillo-Gent  
*Closterium cornu*: Zandvliet-Fort De Perel  
*Closterium pronom*: Kallo-Gent  
*Closterium strigosum*: Zandvliet-Gent  
*Staurostrum paradoxum*: Baalhoek-St-Amands

CHRYSOPHYTA

*Dinobryon sertularia*: Zandvliet-Dendermonde  
*Distephanus speculum*: Breskens-Terneuzen  
*Phaeocystis poucheti*: Breskens-Terneuzen  
*Synura uvella*: Zandvliet-Gent

BACILLARIOPHYCEAE

*Actinocyclus ehrenbergii*: Breskens-Hoboken  
*Actinocyclus normanii*: Bat-Gent  
*Actinoptychus splendens*: Breskens-Kallo  
*Actinoptychus undulatus*: Breskens-Antwerpen  
*Aulacodiscus argus*: Breskens-Zandvliet  
*Auliscus sculptus*: Borsele-Zandvliet  
*Bacteriastrum varians*: Breskens-Doel  
*Bellerochea malleus*: Breskens-Lillo  
*Biddulphia aurita*: Breskens-Zandvliet  
*Biddulphia granulata*: Breskens  
*Biddulphia laevis*: Schijn  
*Biddulphia mobiliensis*: Breskens-Zandvliet  
*Biddulphia regia*: Breskens-Fort De Perel  
*Biddulphia rhombus*: Breskens-Zandvliet  
*Biddulphia sinensis*: Breskens-Lillo  
*Cerataulina bergonii*: Breskens-Hansweert  
*Cerataulus smithii*: Breskens-Kallo  
*Cerataulus turgidus*: Vlissingen  
*Chaetoceros crinitus*: Terneuzen-Baarland  
*Chaetoceros curvisetus*: Breskens  
*Chaetoceros danicus*: Breskens-Antwerpen  
*Chaetoceros debilis*: Breskens-Zandvliet  
*Chaetoceros decipiens*: Breskens-Bat  
*Chaetoceros densus*: Breskens-Baalhoek  
*Chaetoceros didymus*: Breskens-Zandvliet  
*Chaetoceros muelleri*: Breskens-Schelle  
*Chaetoceros socialis*: Breskens-Zandvliet  
*Chaetoceros subtilis*: Breskens-Antwerpen  
*Chaetoceros teres*: Breskens-Baarland  
*Chaetoceros wighami*: Hansweert  
*Coscinodiscus asteromphalus*: Breskens-Zandvliet  
*Coscinodiscus concinnus*: Breskens-Borsele  
*Coscinodiscus exentricus*: Breskens-Antwerpen  
 » *v. fasciculata*: Hansweert  
*Coscinodiscus granii*: Breskens-Antwerpen  
*Coscinodiscus jonesianus*: Breskens-St-Amands  
*Coscinodiscus lacustris*: Hansweert-Schelle  
*Coscinodiscus perforatus*: Vlissingen-Baarland  
*Coscinodiscus radiatus*: Breskens-Antwerpen  
*Coscinodiscus subtilis*: Breskens-Antwerpen  
*Coscinodiscus polychorda*: Breskens  
*Cyclotella comta*: Doel-Temse  
*Cyclotella meneghiniana*: Bat-Gent  
*Cyclotella striata*: Zandvliet-Schoonaarde  
*Ditylium brightwellii*: Breskens-Antwerpen  
*Eucampia zoodiacus*: Breskens-Bat  
*Guinardia flaccida*: Breskens-Bat  
*Lauderia borealis*: Breskens-Baalhoek  
*Leptocylindrus danicus*: Breskens-Baalhoek

*Lithodesmium undulatum*: Breskens-Doel  
*Melosira granulata v. angulata*: Breskens-Doel  
 » *v. spiralis*: Zandvliet-Gent  
*Melosira juergensii*: Terneuzen-Antwerpen  
 » *v. octogona*: Breskens-Schelle  
*Melosira moniliformis*: Breskens-Antwerpen  
*Melosira nummuloides*: Breskens-Antwerpen  
*Melosira nummulus*: Sloehaven-Bat  
*Melosira sulcata*: Breskens-Zandvliet  
*Melosira varians*: Zandvliet-Gent  
*Melosira westii*: Sloehaven-Antwerpen  
*Podosira stelliger*: Breskens-Lillo  
*Rhizosolenia delicatula*: Breskens-Zandvliet  
*Rhizosolenia hebetata v. semispina*: Kallo  
*Rhizosolenia imbricata v. shrubsolei*: Breskens-Antwerpen  
*Rhizosolenia longiseta*: Breskens-Lillo  
*Rhizosolenia setigera*: Breskens-Zandvliet  
*Rhizosolenia stouterfothii*: Breskens-Bat  
*Schroederella delicatula*: Breskens-Zandvliet  
*Skeletonema costatum*: Breskens-Zandvliet  
*Stephanodiscus dubius*: Baalhoek-Terneuzen  
*Streptothecha tamensis*: Breskens-Zandvliet  
*Thalassiosira decipiens*: Breskens-Vlissingen  
*Thalassiosira fluviatilis*: Antwerpen  
*Thalassiosira nordenskioldii*: Sloehaven  
*Thalassiosira rotula*: Breskens-Zandvliet  
*Triceratium alternans*: Breskens-Kallo  
*Triceratium antediluvianum*: Vlissingen-Antwerpen  
*Triceratium favus*: Breskens-Antwerpen

*Achnanthes brevipes*: Borsele  
*Achnanthes longipes*: Vlissingen-Zandvliet  
*Amphiprora alata*: Borsele-Antwerpen  
*Amphora commutata*: Kallo  
*Asterionella formosa*: Baalhoek-Gent  
*Asterionella japonica*: Breskens-Schijn  
*Asterionella kariana*: Breskens-Bat  
*Caloneis amphisbaena*: Fort de Perel  
*Campylodiscus clypeus*: Bat-Antwerpen  
*Campylodiscus hibernicus*: Terneuzen-Antwerpen  
*Cylindrothecha gracilis*: Borsele-Schelle  
*Cymatopleura elliptica*: Bat-Antwerpen  
*Cymatopleura solea*: Antwerpen-Gent  
*Cymatosira belgica*: Breskens-Bat  
*Diatoma elongatum*: Baalhoek-Gent  
*Diatoma vulgare*: Antwerpen  
*Dimerogramma minor v. nana*: Vlissingen  
*Epithemia turgida*: St-Amands-Gent  
*Fragilaria capucina*: Antwerpen-Gent  
*Fragilaria construens*: Fort De Perel-Gent  
*Fragilaria crotonensis*: Bat-Gent  
*Grammatoptora marina*: Breskens-Sloehaven  
*Grammatoptora serpentina*: Antwerpen  
*Gyrosigma attenuatum*: Breskens-Kallo  
*Hantzschia amphioxys*: Schijn-Gent  
*Meridion circulare*: Antwerpen  
*Navicula cuspidata*: Antwerpen  
*Navicula didyma*: Antwerpen  
*Navicula gregaria*: Antwerpen  
*Navicula mutica*: Antwerpen  
*Navicula peregrina*: Antwerpen  
*Navicula salinarum*: Breskens-Antwerpen  
*Navicula viridula v. slesvicensis*: Antwerpen  
*Nitzschia amphibia*: Schelle-Schoonaarde  
*Nitzschia apiculata*: Antwerpen  
*Nitzschia filiformis*: Antwerpen  
*Nitzschia linearis*: Schelle  
*Nitzschia longissima v. closterium*: Antwerpen  
 » *v. parva*: Breskens-Zandvliet

*Nitzschia palea*: Baarlande-Gent  
*Nitzschia paradoxa*: Breskens-Gent  
*Nitzschia punctata*: Bat  
*Nitzschia seriata*: Breskens-Zandvliet  
*Nitzschia sigma*: Terneuzen-Dendermonde  
*Nitzschia sigmoidea*: Bat-Gent  
*Plagiogramma van heurckii*: Breskens-Terneuzen  
*Pleurosigma affine*: Breskens-Baalhoek  
*Pleurosigma angulatum*: Breskens-Antwerpen  
*Pleurosigma balticum*: Baalhoek  
*Pleurosigma elongatum*: Sloehaven-Baalhoek  
*Pleurosigma scalproides*: Breskens-Bat  
*Rabdonema arcuatum*: Terneuzen  
*Raphoneis amphiceros*: Breskens-St-Amands  
 » *v. rhombica*: Antwerpen  
*Rhoicosphenia curvata*: Sloehaven  
*Stauroneis membranacea*: Breskens-Baalhoek  
*Stauroneis phoenicenteron*: Bat  
*Surirella biseriata*: Zandvliet-St-Amands  
*Surirella fastuosa*: Baalhoek  
*Surirella gemma*: Breskens-Antwerpen  
*Surirella ovata v. crumena*: Baalhoek  
*Surirella robusta v. splendida*: Bat-Gent  
*Surirella striatula*: Baalhoek-Fort De Perel  
*Synedra acus*: Bat-Gent  
*Synedra capitata*: Zandvliet-St-Amands  
*Synedra pulchella*: Sloehaven  
*Synedra ulna*: Zandvliet-Gent  
 » *v. biceps*: Breskens-Kallo  
*Thalassionema nitzschioides*: Breskens-Antwerpen

## CRYPTOPHYCEAE

*Cryptomonas reflexa*: Draaisluis-Wetteren

## DINOPHYCEAE

*Dinophysis acuminata*: Breskens-Zandvliet  
*Prorocentrum micans*: Breskens-Zandvliet  
*Noctiluca miliaris*: Breskens-Zandvliet  
*Ceratium hirundinella*: Terneuzen-St-Amands  
*Ceratium furca*: Breskens-Baalhoek  
*Ceratium fusus*: Breskens-Baalhoek

## α. z Secteur Vlissingen-Breskens-Zandvliet.

*Dístephanus speculum*  
*Aulacodiscus sculptus*  
*Biddulphia aurita*  
*Biddulphia mobiliensis*  
*Biddulphia rhombus*  
*Cerataulina bergonii*  
*Cerataulus turgidus*  
*Chaetoceros crinitus*  
*Chaetoceros curvisetus*  
*Chaetoceros debilis*  
*Chaetoceros decipiens*  
*Chaetoceros densus*  
*Chaetoceros didymus*  
*Chaetoceros socialis*  
*Chaetoceros teres*  
*Chaetoceros wighami*  
*Coscinodiscus asteromphalus*  
*Coscinodiscus concinnus*  
*Coscinodiscus excentricus v. fasciculatus*  
*Coscinodiscus perforatus*  
*Coscinosira polychorda*  
*Eucampia zoodiacus*  
*Guinardia flaccida*  
*Lauderia borealis*  
*Leptocylindrus danicus*  
*Melosira nummulus*

*Melosira sulcata*  
*Rhizosolenia delicatula*  
*Skeletonema costatum*  
*Stephanodiscus dubius*  
*Stephanopyxis turris*  
*Streptothecca tamesis*  
*Thalassiosira decipiens*  
*Thalassiosira nordenskioldii*  
*Thalassiosira rotula*  
*Achnanthes brevipes*  
*Achnanthes longipes*  
*Asterionella kariana*  
*Cymatosira belgica*  
*Dimerogramma minor v. nana*  
*Grámmatophora marina*  
*Nitzschia longissima v. parva*  
*Nitzschia punctata*  
*Plagiogramma van heurckii*  
*Pleurosigma affine*  
*Pleurosigma balticum*  
*Pleurosigma elongatum*  
*Pleurosigma scalproides*  
*Rhabdonema arcuatum*  
*Rhoicosphenia curvata*  
*Stauroneis membranacea*

*Ceratium longipes*: Breskens-Bat  
*Ceratium tripos*: Vlissingen-Borsele  
*Glenodinium lenticula*: Breskens-Hansweert  
*Peridinium conicoides*: Vlissingen-Baalhoek  
*Peridinium conicum*: Breskens-Bat  
*Peridinium divergens*: Breskens-Hansweert  
*Peridinium exentricum*: Breskens-Baalhoek  
*Peridinium globulus*: Breskens-Terneuzen  
*Peridinium granii*: Breskens-Borsele  
*Peridinium micrapium*: Breskens  
*Peridinium nudum*: Baalhoek  
*Peridinium oceanicum*: Breskens-Baalhoek  
*Peridinium pentagonum*: Breskens-Hansweert  
*Peridinium subinerme*: Breskens-Terneuzen  
*Peridinium thorianum*: Sloehaven  
*Pyrocystis lunula*: Breskens-Borsele  
*Pyrophacus horologicum*: Breskens-Baalhoek

## EUGLENINEAE

*Colacium vesiculosum*: Antwerpen  
*Euglena acus*: Antwerpen-Gent  
*Euglena deses*: Bat-Gent  
*Euglena gracilis*: Schelle-Dendermonde  
*Euglena limosa*: Zandvliet-Schoonaarde  
*Euglena oxyuris*: Schijn-Temse  
*Euglena pisciformis*: Doel-Gent  
*Euglena proxima*: Zandvliet-Gent  
*Euglena spirogyra*: Antwerpen-Schoonaarde  
*Euglena tripteris*: Baalhoek-Wetteren  
*Euglena viridis*: Zandvliet-Gent  
*Lepocinclis steinii*: Zandvliet-Gent  
*Lepocinclis texta*: Doel-Gent  
*Phacus longicauda*: Zandvliet-Gent  
*Phacus pleuronectes*: Schijn-Gent  
*Phacus pyrum*: Doel-Wetteren  
*Trachelomonas hispida*: Doel-St-Amands  
 » *v. punctata*: Doel-Antwerpen

Des publications postérieures, surtout du travail de N. DE PAUW, nous avons essayé de caractériser le phytoplancton prélevé dans l'estuaire proprement dit.

## β. - Secteur Vlissingen-Antwerpen.

*Coelosphaerium naegelianum*  
*Oscillatoria tenuis*  
*Coelastrum sphaericum*  
*Crucigenia tetrapedia*  
*Lagerheimia ciliata*  
*Oocystis solitaria*  
*Pediastrum duplex v. reticulatum*  
*Closterium cornu*  
*Distephanus speculum*  
*Phaeocystis poucheti*  
*Actinoptychus splendens*  
*Actinoptychus undulatus*  
*Aulacodiscus argus*  
*Auliscus sculptus*  
*Bacteriastrium varians*  
*Bellerochea malleus*  
*Biddulphia aurita*  
*Biddulphia granulata*  
*Biddulphia levis*  
*Biddulphia mobiliensis*  
*Biddulphia regia*  
*Biddulphia rhombus*  
*Biddulphia sinensis*  
*Cerataulina bergonii*  
*Cerataulus smithii*  
*Cerataulus turgidus*  
*Chaetoceros crinitus*  
*Chaetoceros curvisetus*  
*Chaetoceros danicus*  
*Chaetoceros debilis*  
*Chaetoceros decipiens*  
*Chaetoceros densus*  
*Chaetoceros didymus*  
*Chaetoceros muelleri*  
*Chaetoceros socialis*  
*Chaetoceros subtilis*  
*Chaetoceros teres*  
*Chaetoceros wighami*  
*Coscinodiscus asteromphalus*  
*Coscinodiscus concinnus*  
*Coscinodiscus excentricus*  
 » v. *fasciculatus*  
*Coscinodiscus granii*

*Coscinodiscus perforatus*  
*Coscinodiscus radiatus*  
*Coscinoscira polychorda*  
*Ditylium brightwellii*  
*Eucampia zodiacus*  
*Guinardia flaccida*  
*Lauderia borealis*  
*Leptocylindrus danicus*  
*Lithodesmium undulatum*  
*Melosira juergensii*  
*Melosira moniliformis*  
*Melosira nummuloides*  
*Melosira nummulus*  
*Melosira sulcata*  
*Melosira westii*  
*Navicula salinarum*  
*Nitzschia longissima v. parva*  
*Nitzschia paradoxa*  
*Nitzschia punctata*  
*Plagiogramma van heurckii*  
*Pleurosigma affine*  
*Pleurosigma angulatum*  
*Pleurosigma balticum*  
*Pleurosigma elongatum*  
*Pleurosigma scalproides*  
*Podosira stelliger*  
*Rhabdonema arcuatum*  
*Rhizosolenia delicatula*  
 » v. *semispina*  
*Rhizosolenia imbricata v. shrubsolei*  
*Rhizosolenia longiseta*  
*Rhizosolenia setigera*  
*Rhizosolenia stouterfothii*  
*Rhoicosphenia curvata*  
*Schroederia delicatula*  
*Skeletonema costatum*  
*Stephanodiscus dubius*  
*Stephanopyxis turris*  
*Streptotheca tamesis*  
*Thalassiosira decipiens*  
*Thalassiosira nordenskioldii*  
*Thalassiosira rotula*  
*Triceratium alternans*

*Triceratium antediluvianum*  
*Triceratium favus*  
*Achnanthes brevipes*  
*Achnanthes longipes*  
*Amphiprora alata*  
*Amphora commutata*  
*Asterionella japonica*  
*Asterionella kariana*  
*Caloneis amphisbaena*  
*Campylodiscus clypeus*  
*Campylodiscus hibernicus*  
*Cymatopleura elliptica*  
*Stauroneis membranacea*  
*Stauroneis phoenicenteron*  
*Surirella fastuosa*  
*Surirella gemma*  
*Surirella ovata v. crumena*  
*Surirella striatula*  
*Synedra pulchella*  
*Synedra Ulna v. biceps*  
*Thalassionema nitzschioides*  
*Dinophysis acuminata*  
*Prorocentrum micans*  
*Noctiluca miliaris*  
*Ceratium furca*  
*Ceratium fusus*  
*Ceratium longipes*  
*Ceratium tripos*  
*Glenodinium lenticula*  
*Peridinium conicoides*  
*Peridinium conicum*  
*Peridinium divergens*  
*Peridinium excentricum*  
*Peridinium globulus*  
*Peridinium granii*  
*Peridinium micrapium*  
*Peridinium nudum*  
*Peridinium oceanicum*  
*Peridinium pentagonum*  
*Peridinium subinermis*  
*Peridinium thorianum*  
*Pyrocystis lunula*  
*Pyrophacus horologicum*

## γ. - Secteur Antwerpen-Gent.

*Anabaena spiroides*  
*Aphanizomenon flos-aquae*  
*Merismopedia elegans*  
*Oscillatoria agardhii*  
*Oscillatoria formosa*  
*Oscillatoria limosa*  
*Eudorina elegans*  
*Pandorina morum*  
*Volvox aureus*  
*Actinastrum hantzschii*  
 » v. *acicularis*  
*Coelastrum microporum*  
*Crucigenia tetrapedia*  
*Dictyosphaerium ehrenbergianum*  
*Kirchneriella lunaris*  
*Pediastrum biradiatum*  
*Pediastrum boryanum*  
*Pediastrum duplex*  
*Pediastrum simplex*  
*Pediastrum tetras*  
*Scenedesmus acuminatus*  
*Scenedesmus armatus v. major*

*Tetrastum staurogeniaeforme*  
*Closterium acerosum*  
*Closterium pronum*  
*Closterium strigosum*  
*Staurastrum paradoxum*  
*Dinobryon sertularia*  
*Synura uvella*  
*Actinocyclus ehrenbergii*  
*Actinocyclus normannii*  
*Chaetoceros muelleri*  
*Coscinodiscus jonesianus*  
*Coscinodiscus lacustris*  
*Coscinodiscus subtilis*  
*Cyclotella comita*  
*Cyclotella meneghiniana*  
*Cyclotella striata*  
*Melosira granulata v. angulata*  
 » v. *spiralis*  
*Melosira juergensii v. octogona*  
*Melosira varians*  
*Asterionella formosa*  
*Diatoma elongatum*

*Nitzschia sigma*  
*Nitzschia sigmoidea*  
*Raphoneis amphiceros*  
*Surirella biseriata*  
*Surirella gemma*  
*Surirella ovata*  
*Surirella robusta v. splendida*  
*Synedra acus*  
*Synedra capitata*  
*Synedra ulna*  
*Cryptomonas reflexa*  
*Ceratium hirundinella*  
*Euglena deses*  
*Euglena limosa*  
*Euglena oxyuris*  
*Euglena pisciformis*  
*Euglena proxima*  
*Euglena tripteris*  
*Euglena viridis*  
*Lepocinclis steinii*  
*Lepocinclis texta*  
*Phacus longicauda*

*Scenedesmus obliquus*  
*Scenedesmus opoliensis*  
*Scenedesmus quadricauda*  
*Selenastrum gracile*

*Fragilaria construens*  
*Fragilaria crotonensis*  
*Hantzschia amphioxys*  
*Nitzschia palea*

*Phacus pleuronectes*  
*Phacus pyrum*  
*Trachelomonas hispida*

Ces analyses beaucoup plus nombreuses que les nôtres, nous donnent une vue très précise sur la composition du phytoplancton. Nous y reconnaissons toutes les espèces que nous avons rencontrées autrefois, en plus d'une très grande quantité d'espèces non entrevues.

Ces listes nous donnent en outre les chiffres suivants en ce qui concerne la composition de la population.

α. - Secteur Vlissingen-Breskens-Zandvliet

Silicoflagellates	1	1,30 %
Bacillariophyceae	55	71,43 %
Dinophyceae	21	27,27 %
	77	100,00 %

β. - Secteur Vlissingen-Antwerpen

Cyanophyceae	2	1,50 %
Chlorophyceae	6	4,51 %
Silicoflagellates	2	1,50 %
Bacillariophyceae	101	75,95 %
Dinophyceae	22	16,54 %
	133	100,00 %

γ. - Secteur Antwerpen-Gent

Cyanophyceae	6	7,69 %
Chlorophyceae	25	32,05 %
Chrysophyceae	2	2,56 %
Bacillariophyceae	29	37,19 %
Cryptophyceae	1	1,28 %
Dinophyceae	2	2,56 %
Euglenophyceae	13	16,67 %
	78	100,00 %

b. - Le Chenal de Oostende

En 1953-1954 et 1956, nous avons eu l'occasion d'effectuer une ou plusieurs fois par mois, d'après les circonstances, des prélèvements dans le chenal de Oostende.

*Prorocentrum micans*  
*Noctiluca miliaris*  
*Peridinium spec.*  
*Ceratium fusus*  
*Phaeocystis poucheti*  
*Distephanus speculum*  
*Melosira nummuloides*  
*Paralia sulcata*  
*Hyalodiscus stelliger*  
*Hyalodiscus scoticus*  
*Coscinodiscus concinnus*  
*Coscinodiscus excentricus*  
*Coscinodiscus perforatus*  
*Coscinodiscus oculus-iridis v. borealis*  
*Coscinodiscus subtilis*  
*Actinopterychus splendens*  
*Actinopterychus undulatus*  
*Eupodiscus argus*

*Cyclotella meneghiniana*  
*Lauderia borealis*  
*Skeletonema costatum*  
*Stephanopyxis turris*  
*Leptocylindrus danicus*  
*Bacteriastrum hyalinum*  
*Rhizosolenia delicatula*  
*Rhizosolenia faeroense*  
*Rhizosolenia setigera*  
*Rhizosolenia shrubsolei*  
*Rhizosolenia stoltzerfothii*  
*Rhizosolenia styliformis*  
*Chaetoceros densus*  
*Chaetoceros eibenbergii*  
*Chaetoceros spec.*  
*Biddulphia aurita*  
*Biddulphia mobiliensis*  
*Biddulphia rhombus*

*Lithodesmium undulatum*  
*Ditylium brightwellii*  
*Euampia zoodiacus*  
*Streptotheca tamesis*  
*Synedra ulna*  
*Raphoneis amphiceros*  
*Raphoneis amphiceros v. rhombica*  
*Raphoneis amphiceros v. belgica*  
*Raphoneis amphiceros v. surirella*  
*Asterionella japonica*  
*Thalassiothrix nitzschoides*  
*Licmophora lyngbyei*  
*Achnanthes brevipes*  
*Navicula rhynchocephala*  
*Navicula distans*  
*Gyrosigma angulatum*  
*Gyrosigma spec.*  
*Bacillaria paradoxa*

L'étude des observations phytoplanctoniques, malgré l'état artificiel de cet ancien estuaire, permet néanmoins de faire les remarques suivantes.

1. Les Bacillariophyceae jouent un rôle prépondérant dans le plancton du port car la grande majorité de la population est constituée de représentants de ce groupe qui atteint des maxima en février, mars, avril jusqu'en octobre, pour diminuer fortement en novembre et décembre.

2. Les Dinophyceae sont plutôt rares et n'ont été relevées qu'en septembre et novembre.

3. Les Chrysophyceae sont également rares et ne sont mentionnées qu'en mai et septembre.

4. Les Chlorophyceae se rencontrent durant toute l'année, à l'exception des mois de janvier, février et avril, en petites quantités, sauf en novembre.

La répartition mensuelle en ce qui concerne les espèces dominantes s'établit comme suit :

Mois

II	<i>Coscinodiscus concinnus</i> , 24,00 % ; <i>Biddulphia alternans</i> , 20,00 %.
III	<i>Coscinodiscus subtilis</i> , 71,30 %.
IV	<i>Biddulphia regia</i> , 55,38 %.
V	<i>Asterionella japonica</i> , 32,16 %.
VI	<i>Rhizosolenia setigera</i> , 60,50 %.
VII	<i>Coscinodiscus subtilis</i> , 39,00 % ; <i>Biddulphia sinensis</i> , 48,50 %.
VIII	<i>Biddulphia sinensis</i> , 92,00 %.
IX	<i>Actinopterychus undulatus</i> , 28,99 %.
X	<i>Actinopterychus undulatus</i> , 34,48 % ; <i>Biddulphia Favus</i> , 29,30 %.
XI	<i>Scenedesmus quadricauda</i> , 42,85 % ; <i>Melosira Borreri</i> , 21,42 %.
XII	<i>Biddulphia rhombus</i> , 35,38 % ; <i>Biddulphia sinensis</i> , 20,98 %.

Aucune des espèces inventoriées ne se rencontre d'une manière ininterrompue durant l'année. Il n'y a eu que trois espèces signalées durant huit mois de l'année : *Scenedesmus quadricauda* et deux diatomées : *Biddulphia rhombus* et *Biddulphia sinensis*.

DE BELGIQUE. — APPROCHES, PROGRÈS, PERSPECTIVES

*Auliscus sculptus*  
*Thalassiosira baltica*  
*Thalassiosira nordenskioldii*  
*Thalassiosira hyalina*

*Biddulphia favus*  
*Biddulphia alternans*  
*Biddulphia sinensis*  
*Biddulphia regia*  
*Bellerochea malleus*

*Nitzschia seriata*  
*Surirella fastuosa*  
*Cocconeis scutellum*  
*Amphora marina*  
*Scenedesmus quadricauda*

Le calcul de la composition centésimale du phytoplancton conduit aux chiffres suivants :

Dinophyceae	4	5,71 %	Chlorophyceae	1	1,43 %
Silicoflagellates	2	2,86 %		70	100,00 %
Bacillariophyceae	63	90,00 %			

En 1969, C. DE PAUW a publié une étude sur le plancton du chenal de Oostende, récolté en 1965.

*Eudorina elegans*  
*Pediastrum boryanum*  
*Pediastrum duplex*  
*Ankistrodesmus falcatus*  
*Dictyosphaerium ehrenbergianum*  
*Actinastrum hantzschii*  
*Crucigenia rectangularis*  
*Errerella bornhemiensis*  
*Micractinium pusillum*  
*Scenedesmus acuminatus*  
*Scenedesmus obliquus*  
*Scenedesmus opoliensis*  
*Scenedesmus quadricauda*  
*Closterium pronum*  
*Staurastrum paradoxum*  
*Synura uvella*  
*Uroglena volvox*  
*Actinocyclus ehrenbergii*  
 » v. *ralfsii*  
*Coscinodiscus concinnus*  
*Coscinodiscus excentricus*  
*Coscinodiscus granii*  
*Coscinodiscus oculus iridis*  
*Coscinodiscus radiatus*  
*Cyclotella meneghiniana*  
*Cyclotella striata*  
*Hyalodiscus subtilis*  
*Melosira granulata*  
 » v. *angustissima*  
*Melosira moniliformis*  
*Melosira nummuloides*  
*Melosira varians*  
*Paralia sulcata*  
*Podosira stelliger*  
*Skeletonema costatum*  
*Stephanopyxis turris*  
*Thalassiosira decipiens*  
*Thalassiosira nordenskioldii*  
*Thalassiosira rotula*  
*Actinopterychus splendens*  
*Actinopterychus undulatus*  
*Aulacodiscus argus*  
*Auliscus sculptus*  
*Bellerochea malleus*  
*Biddulphia aurita*  
*Biddulphia granulata*  
*Biddulphia mobilensis*  
*Biddulphia regia*  
*Biddulphia rhombus*  
*Biddulphia sinensis*

*Cerataulina bergonii*  
*Cerataulus smithii*  
*Ditylium brightwellii*  
*Eucampia zoodiacus*  
*Lithodesmium undulatum*  
*Streptotheca tamesis*  
*Triceratium alternans*  
*Triceratium favus*  
*Chaetoceros debilis*  
*Chaetoceros densus*  
*Chaetoceros didymus*  
*Chaetoceros paradoxus*  
*Chaetoceros wighami*  
*Bacteriastrum varians*  
*Guinardia flaccida*  
*Lauderia borealis*  
*Rhizosolenia delicatula*  
*Rhizosolenia setigera*  
*Rhizosolenia imbricata*  
*Rhizosolenia robusta*  
*Rhizosolenia stolterfothii*  
*Asterionella formosa*  
*Asterionella japonica*  
*Diatoma elongatum*  
*Fragilaria construens*  
*Fragilaria crotonensis*  
*Fragilaria striatula*  
*Fragilaria undata*  
*Grammatophora oceanica*  
*Licmophora lygbyei*  
*Plagiogramma van heurckii*  
*Rhabdonema minutum*  
*Rhaphoneis amphiceros*  
*Rhaphoneis surirella*  
*Synedra acus*  
*Synedra affinis*  
*Synedra nitzschiioides*  
*Synedra tabulata*  
*Synedra ulna*  
*Achnanthes brevipes*  
*Cocconeis scutellum*  
*Amphiprora alata*  
*Diploneis bombus*  
*Diploneis crabro*  
*Diploneis elliptica*  
*Diploneis smithii*  
*Gyrosigma balticum*  
*Gyrosigma fasciola*  
*Gyrosigma hippocampus*  
*Navicula arenaria*

*Navicula crucicula*  
*Navicula digitato-radiata*  
*Navicula forcipata*  
*Navicula gregaria*  
*Navicula grevillei*  
*Navicula praetexta*  
*Navicula pusilla*  
*Navicula salinarum*  
*Navicula weissflogii*  
*Pleurosigma affine*  
*Pleurosigma angulatum*  
*Pleurosigma decorum*  
*Pleurosigma elongatum*  
*Pleurosigma strigosum*  
*Scoliopleura tumida*  
*Stauroneis anceps*  
*Stauroneis membranacea*  
*Stauroneis salina*  
*Stauroneis spicula*  
*Gomphonema constrictum*  
*Amphora commutata*  
*Amphora ovalis*  
*Amphora salina*  
*Bacillaria paradoxa*  
*Hantzschia amphioxus*  
*Hantzschia marina*  
*Nitzschia constricta*  
*Nitzschia fascicularis*  
*Nitzschia navicularis*  
*Nitzschia punctata*  
*Nitzschia seriata*  
*Nitzschia sigma*  
*Nitzschia closterium*  
*Cymatopleura elliptica*  
*Cymatopleura solea*  
*Surirella fastuosa*  
*Surirella gemma*  
*Surirella linearis*  
*Surirella ovata*  
*Euglena acus*  
*Euglena viridis*  
*Trachelomonas hispida*  
*Phacus longicauda*  
*Prorocentrum micans*  
*Pyrocystis lunula*  
*Noctiluca miliaris*  
*Peridinium globulus*  
*Peridinium pallidum*  
*Lyngbya lagerheimia*  
*Anabaena constricta*

Ce qui nous conduit à la composition centésimale suivante de la population :

Bacillariophyceae	122	81,33 %	Dinoflagellatae	5	3,33 %
Chlorophyceae	15	10,00 %	Chrysophyceae	2	1,33 %
Euglenophyceae	4	2,66 %	Cyanophyceae	2	1,33 %
				150	99,98 %

En prolongement du port de Oostende, existe un bassin maritime caractérisé par un plancton typiquement marin néritique, donnant assez souvent lieu à des fleurs d'eau.

Nous avons publié (L. VAN MEEL, 1966) une première étude de ce bassin, ce qui nous a permis d'y déceler dix-huit espèces nouvelles, surtout des Dinophyceae.

La composition centésimale du phytoplancton s'établit comme suit : Bacillariophyceae 50,62 % ; Dinophyceae 32,09 %.

Des fleurs d'eau sont fréquentes et sont produites particulièrement par des espèces comme : *Peridinium triquetrum*, *Prorocentrum micans*, *Pyramimonas octociliata*, *Skeletonema costatum*. On a constaté la présence habituelle de quelques espèces de Chlorophyceae réputées dulcicoles, comme *Scenedesmus quadricauda*.

Dans cette étude nous avons pu dénombrer 215 espèces et variétés.

On y rencontre les associations proposées dans la classification de P.T. CLEVE, notamment le Triposplancton et le Styliplancton du plancton océanique, le Didymus plancton du Neriton méridionale, le Neriton septentrionale et le Concinnusplancton, toutes les trois appartenant au plancton néritique. Souvent cependant, ces associations ne sont présentes qu'à l'état fragmentaire.

Comme espèces dominantes on a relevé : *Skeletonema costatum*, *Rhizosolenia Stolterfothii* et *setigera*, *Chaetoceros didymus*, *Biddulphia sinensis*, *Asterionella japonica*, *Prorocentrum micans*, *Scenedesmus quadricauda* qui sont présentes durant toute l'année.

L'étude hebdomadaire durant 33 mois nous donne l'inventaire suivant.

## CHLOROPHYCEAE

*Pyramimonas amyliifera*  
*Pyramimonas hexaciliata*  
*Pyramimonas longicauda*  
*Pyramimonas octociliata*  
*Pyramimonas ostendensis*  
*Carteria globosa*

*Carteria longifilis*  
*Dunaliella salina*  
*Pediastrum Boryanum*  
*Pediastrum duplex*  
*Pediastrum duplex v. reticulatum*  
*Scenedesmus acuminatus*

*Scenedesmus hystrix*  
*Scenedesmus obliquus*  
*Scenedesmus opoliensis*  
*Scenedesmus quadricauda*  
*Ankistrodesmus falcatus*

## XANTHOPHYCEAE

*Halosphaera viridis*

*Rhizochloris arachnoides*

## CHRYSOPHYCEAE

*Dinobryon sertularia*  
*Phaeocystis Poucheti*

*Ebria tripartita*

*Distephanus speculum*

## EUGLENOPHYCEAE

*Euglena spirogyra*  
*Euglena acus*

*Euglena deses*  
*Euglena agilis*

*Lepocinclis ovum*  
*Phacus caudatus*

## CYANOPHYCEAE

*Aphanisomenon flos-aquae*

## BACILLARIOPHYCEAE

*Melosira nummuloides*  
*Melosira moniliformis*  
*Melosira granulata*  
*Melosira granulata v. muzzaensis*  
*Melosira sulcata*  
*Podosira stelliger*  
*Stephanopyxis turris*  
*Skeletonema costatum*  
*Coscinoscira polychorda*  
*Thalassiosira Nordenskiöldii*  
*Thalassiosira decipiens*  
*Thalassiosira rotula*  
*Thalassiosira baltica*  
*Thalassiosira condensata*  
*Coscinodiscus excentricus*  
*Coscinodiscus lineatus*  
*Coscinodiscus kutzingii*  
*Coscinodiscus radiatus*  
*Coscinodiscus granii*  
*Coscinodiscus concinnus*  
*Coscinodiscus centralis*  
*Coscinodiscus perforatus*  
» *v. cellulosa*  
*Coscinodiscus oculus-iridis*

*Bellerochea malleus*  
*Ditylium brightwellii*  
*Triceratium favus*  
*Triceratium reticulatum*  
*Triceratium alternans*  
*Biddulphia sinensis*  
*Biddulphia regia*  
*Biddulphia mobiliensis*  
*Biddulphia rhombus*  
» *v. trigona*  
*Biddulphia granulata*  
*Biddulphia aurita*  
*Cerataulus smithii*  
*Cerataulina bergonii*  
*Grammatophora marina*  
*Grammatophora serpentina*  
*Grammatophora arctica*  
*Licmophora abbreviata*  
*Diatoma vulgare*  
*Cymatosira belgica*  
*Fragilaria crotonensis*  
*Rhaphoneis surirella*  
*Rhaphoneis amphiceros*  
» *v. rhombica*

## DINOPHYCEAE

*Oxyrrhis marina*  
*Oxyrrhis maritima*  
*Entomosigma peridinioides*  
*Amphidinium crassum*  
*Amphidinium ovum*  
*Amphidinium longum*  
*Gymnodinium opprimum*  
*Gymnodinium pygmaeum*  
*Gymnodinium splendens*  
*Gymnodinium variabile*  
*Gymnodinium marinum*  
*Gymnodinium hesterostriatum*  
*Gymnodinium rotundatum*  
*Gymnodinium pingue*  
*Gymnodinium suffusum*  
*Gymnodinium viridans*  
*Gymnodinium Maggii (= excavatum)*  
*Gymnodinium vas*  
*Gymnodinium luteo-viride*  
*Gymnodinium ovato-capitatum*  
*Gymnodinium bilobatum*  
*Gymnodinium scaphium*  
*Gymnodinium telma*  
*Gymnodinium mammosum*

*Coscinodiscus oculus* v. *borealis*  
*Coscinodiscus gigas*  
*Coscinodiscus subtilis*  
*Actinopterychus undulatus*  
*Actinopterychus splendens*  
*Aulacodiscus argus*  
*Actinocyclus ehrenbergii*  
 » v. *ralfsii*  
*Lauderia borealis*  
*Guinardia flaccida*  
*Rhizosolenia fragilissima*  
*Rhizosolenia delicatula*  
*Rhizosolenia stolterfothii*  
*Rhizosolenia imbricata*  
 » v. *shrubsolei*  
*Rhizosolenia styliiformis*  
*Rhizosolenia setigera*  
*Rhizosolenia longiseta*  
*Bacteriastrium hyalinum*  
*Chaetoceros eibenii*  
*Chaetoceros danicus*  
*Chaetoceros decipiens*  
*Chaetoceros compressus*  
*Chaetoceros didymus*  
*Chaetoceros constrictus*  
*Chaetoceros brevis*  
*Chaetoceros holsaticus*  
*Chaetoceros difficilis*  
*Chaetoceros wighami*  
*Chaetoceros perpusillus*  
*Chaetoceros crinitus*  
*Chaetoceros pseudocrinitus*  
*Chaetoceros curvisetus*  
*Chaetoceros debilis*  
*Chaetoceros radicans*  
*Chaetoceros socialis*  
*Chaetoceros radians*  
*Chaetoceros simplex*  
*Eucampia zoodiacus*  
*Streptotheca thamesis*

*Rhaphoneis belgica*  
*Synedra ulna*  
*Synedra acus*  
*Synedra tabulata*  
*Thalassiosira nitzschioides*  
*Thalassiothrix longissima*  
*Thalassiothrix frauenfeldii*  
*Asterionella formosa*  
*Asterionella bleakeleyi*  
*Asterionella japonica*  
*Asterionella kariana*  
*Achnanthes brevipes*  
*Achnanthes longipes*  
*Diploneis crabro*  
*Diploneis lineata*  
*Diploneis smithii*  
*Pleurosigma elongatum*  
*Pleurosigma aestuarii*  
*Pleurosigma angulatum*  
*Amphiprora paludosa*  
*Amphiprora alata*  
*Nitzschia panduriformis*  
*Nitzschia paradoxa*  
*Nitzschia longissima*  
 » *fa parva*  
 » v. *closterium*  
*Nitzschia seriata*  
*Surirella smithii*  
*Surirella gemma*  
*Cymatopleura solea*  
*Cryptomonas suberosa*  
*Chroomonas cyaneus*  
*Rhodomonas baltica*  
*Exuviaella apora*  
*Exuviaella marina*  
*Prorocentrum micans*  
*Phalacroma rotundatum*  
*Dinophysis ovum*  
*Dinophysis arctica*

*Gymnodinium inconstans*  
*Gymnodinium regulare*  
*Gymnodinium perplexum*  
*Gymnodinium tenuissimum* cfr.  
*Massartia rotundata*  
*Massartia glauca*  
*Gyrodinium aureum*  
*Gyrodinium fusiforme*  
*Cochlodinium pupa*  
*Polykrikos schwartzii*  
*Polykrikos lebourae*  
*Noctiluca miliaris*  
*Glenodinium mucronatum*  
*Glenodinium rotundum*  
*Glenodinium danicum*  
*Glenodinium foliaceum*  
*Peridinium nudum*  
*Peridinium minutum*  
*Peridinium triquetrum*  
*Peridinium bipes*  
*Peridinium globulus* v. *ovatum*  
 » v. *quarnerense*  
*Peridinium granii* fa mite  
*Peridinium minusculum*  
*Peridinium steinii*  
*Peridinium pellucidum*  
*Peridinium pentagonum*  
*Peridinium ijsereense*  
*Peridinium claudicans*  
*Peridinium macrospinum*  
*Peridinium cerasus*  
*Peridinium woloszyńskae*  
*Gonyaulax diacantha*  
*Ceratium furca*  
*Ceratium fusus*  
*Ceratium lineatum*  
*Ceratium minutum*  
*Pyrocystis lunula*

Le spectre biologique pour ce bassin devient ainsi :

Bacillariophyceae	118	53,63 %
Dinophyceae	69	31,36 %
Chlorophyceae	17	7,72 %
Euglenophyceae	6	2,72 %
Chrysophyceae	4	1,81 %
Cryptophyceae	3	1,36 %
Xanthophyceae	2	0,90 %
Cyanophyceae	1	0,45 %
	220	99,95 %

Dans notre publication (L. VAN MEEL, 1969) nous avons dressé plusieurs listes afin d'en dégager les éléments intéressants. En nous basant sur la liste générale

de répartition mensuelle durant nos deux années de recherches, nous avons établi des listes d'espèces par mois. La conclusion la plus intéressante de ces listes semble être le fait que 80 espèces, soit 37,21 % de la population totale, ne se rencontrent qu'au cours d'un mois seulement de l'année. Il s'agit ici, entre autres, de 31 diatomées et de 33 dinoflagellates. Nous pensons pouvoir estimer que ces espèces sont dès lors à considérer comme espèces rares dans le milieu qui nous occupe.

Nous trouvons des espèces signalées pour quatre saisons ensemble, ce sont les espèces communes de la liste de notre publication de 1969. Certaines sont signalées uniquement au printemps, en été, en automne ou en hiver. Elles sont renseignées dans la liste ci-après.

Espèces signalées pour les quatre saisons.

*Pediastrum duplex*  
*Scenedesmus acuminatus*  
*Scenedesmus quadricauda*  
*Melosira nummuloides*  
*Melosira moniliformis*  
*Podosira stelliger*  
*Skeletonema costatum*  
*Thalassiosira decipiens*  
*Thalassiosira rotula*

*Rhizosolenia stolterfothii*  
 » *imbricata* v. *shrubsolei*  
*Rhizosolenia setigera*  
*Chaetoceros didymus*  
*Chaetoceros curvisetus*  
*Chaetoceros socialis*  
*Eucampia zoodiacus*  
*Ditylimum brightwellii*  
*Biddulphia sinensis*

*Biddulphia granulata*  
*Rhaphoneis amphiceros*  
*Biddulphia aurita*  
*Rhaphoneis amphiceros* v. *rhombica*  
*Thalassionema nitzschioides*  
*Asterionella japonica*  
*Prorocentrum micans*  
*Oxyrrhis marina*  
*Glenodinium mucronatum*

*Coscinodiscus iridis* v. *borealis*  
*Guinardia flaccida*

*Biddulphia regia*  
*Biddulphia mobiliensis*  
*Biddulphia rhombus*

*Peridinium nudum*  
*Peridinium triquetrum*

#### Espèces signalées uniquement au printemps.

*Carteria globosa*  
*Dinobryon sertularia*  
*Phaeocystis poucheti*  
*Ebria tripartita*  
*Rhizosolenia styliformis*  
*Chaetoceros compressus*

*Amphiprora paludosa*  
*Exuviaella apora*  
*Amphidinium longum*  
*Glenodinium danicum*  
*Glenodinium foliaceum*  
*Peridinium globulus* v. *ovatum*

*Peridinium minusculum*  
*Peridinium pentagonum*  
*Peridinium claudicans*  
*Peridinium woloszynskae*  
*Ceratium minutum*  
*Pyrocystis lunula*

#### Espèces signalées uniquement de l'été.

*Scenedesmus hystrix*  
*Scenedesmus obliquus*  
*Stephanopyrix turris*  
*Coscinodiscus gigas*

*Chaetoceros eibenii*  
*Amphidinium crassum*  
*Gyrodinium fusiforme*  
*Cochlodinium pupa*

*Peridinium minutum*  
*Peridinium cerasus*  
*Goniaulax diacantha*

#### Espèces signalées uniquement de l'automne.

*Pyramimonas longicauda*  
*Pyramimonas ostendensis*  
*Aphanizomenon flos-aquae*  
*Coscinodiscus granii*  
*Chaetoceros constrictus*  
*Chaetoceros holsaticus*  
*Grammatophora serpentina*  
*Grammatophora arctica*  
*Diploneis crabro*  
*Pleurosigma elongatum*

*Gymnodinium luteo-viride*  
*Gymnodinium ovato-capitatum*  
*Gymnodinium bilobatum*  
*Gymnodinium telma*  
*Gymnodinium regulare*  
*Massartia glauca*  
*Polykrikos lebourae*  
*Peridinium bipes*  
*Peridinium granii* fa mite  
*Peridinium steinii*

*Pleurosigma aestuarii*  
*Phalacroma rotundatum*  
*Gymnodinium suffusum*  
*Gymnodinium Maggii* (= *excavatum*)  
*Gymnodinium vas*  
*Peridinium pellucidum*  
*Peridinium Yserense*  
*Peridinium macrospinum*  
*Ceratium lineatum*  
(*Bodo caudatus*)

#### Espèces signalées uniquement de l'hiver.

*Carteria longifilis*  
*Dunaliella salina*  
*Euglena agilis*  
*Lepocinclis ovum*  
*Melosira granulata* v. *muzzanensis*  
*Coscinodiscus kutzingii*  
*Coscinodiscus radiatus*  
*Coscinodiscus perforatus* v. *cellulosa*  
*Aulacodiscus argus*  
*Rhizosolenia fragillissima*

*Bacteriastrum hyalinum*  
*Chaetoceros perpusillus*  
*Chaetoceros radicans*  
*Chaetoceros radians*  
*Triceratium reticulatum*  
*Biddulphia rhombus* fa *trigona*  
*Grammatophora marina*  
*Thalassiothrix longissima*  
*Asterionella bleakeleyi*  
*Diploneis lineata*

*Diploneis smithii*  
*Nitzschia panduriformis*  
*Cymatopleura solea*  
*Chroomonas cyaneus*  
*Rhodomonas baltica*  
*Oxyrrhis maritima*  
*Gymnodinium oppresum*  
*Gymnodinium inconstans*  
*Gymnodinium rotundatum*  
(*Bodo edax*)

Par rapport à la population totale, nous obtenons dès lors :

Pour les quatre saisons : 35 espèces, soit 16,28 %.

Pour le printemps : 18 espèces, soit 8,37 %.

Pour l'été : 11 espèces, soit 5,12 %.

Pour l'automne : 29 espèces, soit 13,49 %.

Pour l'hiver : 32 espèces, soit 14,88 %.

Parmi les espèces dominantes, il faut en citer huit qui sont présentes durant toute l'année, ce sont : *Skeletonema costatum*, *Rhizosolenia stolterfothii*, *Chaetoceros didymus*, *Biddulphia sinensis*, *Asterionella japonica*, *Prorocentrum micans*, *Scenedesmus quadricauda*.

Certaines espèces peuvent atteindre 100 % de la population phytoplanctonique. Ceci est notamment le cas pour : *Pyramimonas octociliata*, *Pyramimonas amyliifer*, *Peridinium triquetrum*, *Glenodinium mucronatum*, *Prorocentrum micans*, *Oxyrrhis marina*, *Skeletonema costatum* et *Nitzschia closterium*.

La composition du phytoplancton du Bassin de Commerce à Oostende atteint jusqu'à présent 215 espèces et variétés, parmi lesquelles les Bacillariophyceae prédominent légèrement (51,62 %), suivies immédiate-

ment par les Dinophyceae (32,09 %). Les autres groupes : Chlorophyta, Chrysophyta, Euglenophyta, Cyanophyta, Cryptophyceae atteignent à peine quelques pour cent.

Le zooplancton n'est pas très abondant et n'est représenté que par quelques Spirotrichia tels que *Tintinnopsis di. sp.*, un certain nombre de Ciliates et quelques Rotifères.

La flore bactérienne est très importante.

Le phénomène des fleurs d'eau n'est pas rare et on connaît celles produites par *Skeletonema costatum*, *Prorocentrum micans*, *Peridinium triquetrum* et *Pyramimonas octociliata*.

Le nombre d'individus peut être considérable jusque 2.210.000 *Pyramimonas octociliata* par millilitre d'eau ; 932.000 individus de *Peridinium triquetrum*.

En ce qui concerne les associations, le phytoplancton du bassin renferme des espèces caractéristiques et des espèces dominantes à caractère typiquement marin, appartenant au groupe écologique des espèces néritiques. Il renferme quelques chlorophycées réputées dulcicoles, qu'on rencontre parfois en quantités considérables du-

rant des périodes de un mois à une année, comme c'est le cas pour *Scenedesmus quadricauda* et certains *Pediasstrum*.

D'après la classification biologique proposée par P.T. CLEVE en 1897, on y trouve :

1. Parmi le plancton océanique :

a - Le Triposplancton représenté par quelques péri-diniens caractéristiques ;

b - Le Styliplancton, de loin le plus important, possédant la plus large extension surtout le long de la côte ouest de l'Europe.

2. Parmi le plancton néritique :

a - Le Didymusplancton ou Nériton méridionale, groupant de très nombreuses diatomées caractéristiques ;

b - Le Concinnusplancton comprenant diverses espèces de *Coscinodiscus*.

Il faut noter toutefois que ces associations ne se rencontrent dans le bassin la plupart du temps qu'à l'état fragmentaire.

Au point de vue de la périodicité, on a réussi à établir des listes permettant de suivre les espèces d'après les mois et les saisons. On a pu déterminer ainsi un certain nombre d'espèces dominantes durant toute l'année.

La présence de beaucoup d'autres espèces s'étage entre un et onze mois. Certaines espèces peuvent atteindre 100 % de la population phytoplanctonique.

Avant de terminer les eaux du port de Oostende, il reste à voir le Bassin de chasse, milieu essentiellement artificiel d'autant plus qu'il est vidé et rempli périodiquement. Le bassin a été examiné de 1938 à 1939, bassin ouvert de 1947 à 1955 (bassin fermé depuis 1941); de 1956 à 1959 (bassin ouvert) et de 1960 à 1962 (bassin ouvert).

Dans l'ensemble, on a observé les espèces suivantes :

CHRYSOMONADINEAE

*Hymenomonas roseola*

*Pyramimonas cuneata*

SILICIFLAGELLIDAE

*Distephanus speculum*

EUGLENOIDINA

*Euglena viridis*

*Entreptia viridis*

*Clautriava parva*

*Petalomonas trichophorum*

CRYPTOMONADINAE

*Rhodomonas baltica*

*Rhodomonas amphioxeia*

PHYTOMONADINAE

*Carteria marina*

*Carteria excavata*

DINOPHYCEAE

*Glenodinium foliaceum*

*Exuviaella marina*

*Glenodinium oculatum*

*Oxyrrhis marina*

*Noctiluca miliaris*

*Gymnodinium minor*

*Gymnodinium variabile*

*Gymnodinium spirale*

*Amphidinium coeruleum*

*Amphidinium Klebsii*

*Amphidinium larvale*

*Amphidinium operculatum*

*Massartia rotundata*

*Cochlodinium pellucidum*

*Peridinium cerasus*

*Peridinium Woloszynskae*

*Thecadinium Kofoidi*

BACILLARIOPHYCEAE

*Actinocyclus Ehrenbergii*

*Actinocyclus Raftsii*

*Amphora crassa*

*Amphora marina*

*Amphora alata*

*Asterionella formosa* v. *Bleakeleyi*

*Asterionella japonica*

*Bacillaria paradoxa*

*Bellerophon malleus*

*Biddulphia aurita*

*Biddulphia aurita* v. *minima*

*Biddulphia mobiliensis*

*Biddulphia Favus*

*Biddulphia laevis*

*Biddulphia rhombus*

*Biddulphia sinensis*

*Chaetoceros paradoxum* v. *Eibenii*

*Chaetoceros Wighami*

*Coscinodiscus radiatus*

*Coscinodiscus subtilis*

*Cyclotella striata*

*Cymatopleura elliptica*

*Diatoma elongatum*

*Ditylium Brightwellii*

*Epithemia turgida*

*Eucampia Zoodiacus*

*Eupodiscus argus*

*Grammatophora serpentina*

*Hyalodiscus stelliger*

*Hyalodiscus subtilis*

*Melosira arenaria*

*Melosira Borreri*

*Melosira Juergensii*

*Melosira nummuloides*

*Melosira (Paralia) sulcata*

*Melosira Westii*

*Navicula salinarum*

*Nitzschia fasciculata*

*Nitzschia longissima* v. *closterium*

*Nitzschia longissima* fa *parva*

*Nitzschia longissima* var. *reversa*

*Nitzschia sigma*

*Pleurosigma affine*

*Pleurosigma angulatum*

*Pleurosigma attenuatum*

*Pleurosigma balticum*

*Pleurosigma decorum*

*Pleurosigma elongatum*

*Pleurosigma fasciola*

*Pleurosigma littorale*

*Pleurosigma macrum*

*Pleurosigma speciosum*

*Pleurosigma strigilis*

*Rhaphoneis amphiceros*

*Rhaphoneis amphiceros* v. *rhombica*

*Rhaphoneis surirella*

*Rhizosolenia setigera*

*Rhizosolenia setigera* v. *Shrubssolei*

*Rhizosolenia Stolterfothii*

*Rhizosolenia styliiformis*

*Schizonema Grevillei*

*Skeletonema costatum*

*Stauroneis crucicula*

*Surirella gemma*

*Synedra affinis*

*Thalassiosira gravida*

*Thalassiosira Frauenfeldii*

Par le calcul on obtient le spectre suivant :

Bacillariophyceae	67	70,00 %	Cryptomonadinae	2	2,10 %
Dinophyceae	17	17,89 %	Silicoflagellidae	1	1,05 %
Euglenophyceae	4	4,21 %	Chrysomonadinae	1	1,05 %
Phytomonadinae	3	3,15 %		95	99,45 %

Bassin de chasse 1965.

<i>Hymenomonas roseola</i>	<i>Bodo ovatus</i>	<i>Melosira nummuloides</i>
<i>Distephanus speculum</i>	<i>Actinocyclus ehrenbergii</i>	<i>Melosira (Paralia) sulcata</i>
<i>Rhodomonas baltica</i>	<i>Actinocyclus ralfsii</i>	<i>Melosira westii</i>
<i>Rhodomonas amphioxieia</i>	<i>Amphora crassa</i>	<i>Navicula salinarum</i>
<i>Carteria marina</i>	<i>Amphora marina</i>	<i>Nitzschia fasciculata</i>
<i>Carteria excavata</i>	<i>Amphiprora alata</i>	» v. <i>parva</i>
<i>Pyramimonas cuneata</i>	<i>Asterionella formosa</i> v. <i>bleakeleyi</i>	» v. <i>reversa</i>
<i>Euglena viridis</i>	<i>Asterionella japonica</i>	<i>Nitzschia sigma</i>
<i>Eutreptia viridis</i>	<i>Bacillaria paradoxa</i>	<i>Pleurosigma affine</i>
<i>Clautriava parva</i>	<i>Bellerochea malleus</i>	<i>Pleurosigma angulatum</i>
<i>Petalomonas trichophorum</i>	<i>Biddulphia aurita</i>	<i>Pleurosigma attenuatum</i>
<i>Anisonema acinus</i>	<i>Biddulphia mobiliensis</i>	<i>Pleurosigma balticum</i>
<i>Exuviaella marina</i>	<i>Biddulphia favus</i>	<i>Pleurosigma decorum</i>
<i>Glenodinium foliaceum</i>	<i>Biddulphia laevis</i>	<i>Pleurosigma elongatum</i>
<i>Glenodinium oculatum</i>	<i>Biddulphia rhombus</i>	<i>Pleurosigma fasciola</i>
<i>Oxyrrhis marina</i>	<i>Biddulphia sinensis</i>	<i>Pleurosigma littorale</i>
<i>Noctiluca miliaris</i>	<i>Chaetoceros paradoxum</i>	<i>Pleurosigma macrum</i>
<i>Gymnodinium minor</i>	<i>Chaetoceros wighami</i>	<i>Pleurosigma speciosum</i>
<i>Gymnodinium variabile</i>	<i>Coscinodiscus radiatus</i>	<i>Pleurosigma strigilis</i>
<i>Gymnodinium spirale</i>	<i>Coscinodiscus subtilis</i>	<i>Rhaphoneis amphiceros</i>
<i>Amphidinium coeruleum</i>	<i>Cyclotella striata</i>	» v. <i>rhombica</i>
<i>Amphidinium klebsii</i>	<i>Cymatopleura elliptica</i>	<i>Rhaphoneis surirella</i>
<i>Amphidinium larvae</i>	<i>Diatoma elongatum</i>	<i>Rhizosolenia setigera</i>
<i>Amphidinium operculatum</i>	<i>Ditylium brightwellii</i>	<i>Rhizosolenia imbricata</i> v. <i>shrubsolei</i>
<i>Massartia rotundata</i>	<i>Epithemia turgida</i>	<i>Rhizosolenia stolerfothii</i>
<i>Cochlodinium pellucidum</i>	<i>Eucampia zoodiacus</i>	<i>Rhizosolenia styliformis</i>
<i>Peridinium cerasus</i>	<i>Eupodiscus argus</i>	<i>Schizonema grevillei</i>
<i>Peridinium cinctum</i>	<i>Grammatophora serpentina</i>	<i>Skeletonema costatum</i>
<i>Peridinium woloszynskae</i>	<i>Hyalodiscus stelliger</i>	<i>Stauroneis crucicula</i>
<i>Thecadinium kofoidi</i>	<i>Hyalodiscus subtilis</i>	<i>Surirella gemma</i>
<i>Desmarella moniliformis</i>	<i>Melosira arenaria</i>	<i>Synedra affinis</i>
<i>Oikomonas termo</i>	<i>Melosira borneri</i>	<i>Thalassiosira gravida</i>
<i>Bodo edax</i>	<i>Melosira juergensii</i>	<i>Thalassiosira frauenfeldii</i>

Dans un travail sur le bassin de chasse, F. MOMMAERTS-BILLIET, J.-P. MOMMAERTS & M. H. DARO (Br. phycol. J., IX, 297-305) 1964, ont renseigné quelques espèces importantes du nannoplancton :

<i>Eutreptiella marina</i>	<i>Apedinella spinifera</i>	<i>Nephroselmis</i> (?)
<i>Cryptomonas</i> sp.	<i>Pyramimonas grossii</i>	<i>Plagioselmis punctata</i>
Dinophyceae	<i>Skeletonema costatum</i>	<i>Thalassiosira pseudonana</i>
<i>Platymonas tetrathele</i>	<i>Chrysochromulina</i> sp.	

### c. - L'estuaire de l'IJzer à Nieuwpoort

L'estuaire de l'IJzer a été étudié par A. MEUNIER (systématique des Diatomées et des Péridiniens et par L. VAN MEEL (écologie et phytoplancton).

En juillet 1935-1936, lors d'un examen fortuit nous avons relevé :

<i>Asterionella japonica</i>	<i>Biddulphia rhomus</i>	<i>Guinardia flaccida</i>
<i>Bacteriastrum hyalinum</i>	<i>Ditylium Brightwellii</i>	<i>Lithodesmium undulatum</i>
<i>Bellerochea malleus</i>	<i>Eucampia Zoodiacus</i>	<i>Stephanopyxie turris</i>

En ce qui concerne les récoltes effectuées avant 1950, comprenant les récoltes de A. MEUNIER, L. VAN MEEL et « Nieuport » L. ERRERA et J. MASSART (1907) et L. VAN MEEL (VII. 1935-1936), on relève :

Chlorophyceae	1	2,12 %	Dinophyceae	19	41,30 %
Bacillariophyceae	9	19,56 %	Chrysophyceae	1	2,17 %
Flagellatae	6	13,04 %	Bacteriaceae	3	6,52 %
Cyanophyceae	7	15,22 %		46	99,98 %

Les Dinophyceae étaient particulièrement bien représentées :

<i>Amphidinium operculatum</i>	<i>Gonyaulax cochlea</i>	<i>Properidinium avellana</i>
<i>Amylax diacantha</i>	<i>Gonyaulax polyedra</i>	<i>Properidinium heterocapsa</i>
<i>Coolia monotis</i>	<i>Peridinium fimbriatum</i>	<i>Properidinium inaequale</i>
<i>Dinopyxis laevis</i>	<i>Peridinium Granii</i>	<i>Properidinium reticulatum</i>
<i>Diplopsalis lenticula</i>	<i>Peridinium micrapium</i>	<i>Properidinium Thorianum</i>
<i>Glenodinium bipes</i>	<i>Peridinium pellucidum</i>	<i>Spirodinium fusus</i>
<i>Gymnodinium fuscum</i>	<i>Peridinium Yserense</i>	

Durant la période 1950-1951, le phytoplancton de l'estuaire proprement dit a donné comme espèces dominantes :

Mois

X	<i>Biddulphia rhombus</i> , 20,8 % ; <i>Asterionella japonica</i> , 20,9 %.	II	<i>Biddulphia rhombus</i> , 43,4 % ; <i>Coscinodiscus marginatus</i> , 36,5 %.
XI	<i>Asterionella japonica</i> , 62,6 %.	III	<i>Biddulphia regia</i> , 32,1 % ; <i>Coscinodiscus marginatus</i> , 36,5 %.
XII	<i>Cyclotella comta</i> v. <i>Meneghiniana</i> , 29,6 % ; <i>Synedra acus</i> , 27,0 %.	IV	<i>Cerataulina Bergonii</i> , 33,3 % ; <i>Chaetoceros danicus</i> , 51,5 %.
I	<i>Biddulphia regia</i> , 20,6 % ; <i>Coscinodiscus marginatus</i> , 20,6 %.	VI	<i>Rhizosolenia Shrubsolei</i> , 76,3 %.
		VIII	<i>Coscinodiscus subtilis</i> , 42,3 % ; <i>Biddulphia rhombus</i> , 19,23 %.

Il est difficile de séparer ici les canaux de l'estuaire proprement dit, on peut les considérer plus ou moins comme sa continuation.

Comme dans la partie chimique de ce travail nous subdivisons ces canaux en flottables et non flottables. Nous avons donc successivement :

Canaux flottables : Canal de Plasschendaele, l'IJzer canalisé, le Canal de Veurne-Ambacht et le Canal de Dunkerque.

Canaux non flottables : Graningate Vliet, Crique de Nieuwendamme, Koolhofvaart.

1. LES CANAUX FLOTTABLES.

a - Le Canal de Plasschendaele.

Les Chlorophyceae et les Bacillariophyceae dominent pendant toute l'année, sauf en mars qui voit une dominance de Chrysophyceae. La population se répartit ainsi :

Chlorophyceae	13	44,8 %	Chrysophyceae	2	6,8 %
Bacillariophyceae	13	44,8 %	Euglenophyceae	1	3,4 %

CHLOROPHYCEAE

<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	<i>Pediastrum Boryanum</i>	<i>Scenedesmus obliquus</i>
<i>Coelastrum microporum</i>	<i>Pediastrum duplex</i>	<i>Scenedesmus opoliensis</i>
<i>Crucigenia quadrata</i>	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i>
<i>Kirchneriella lunaris</i>	<i>Scenedesmus arcuatus</i>	

BACILLARIOPHYCEAE

<i>Biddulphia rhombus</i>	<i>Ditylium Brightwellii</i>	<i>Nitzschia acicularis</i>
<i>Chaetoceros exospermum</i>	<i>Lithodesmium undulatum</i>	<i>Rhizosolenia Shrubsolei</i>
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	<i>Melosira Borreri</i>	<i>Synedra acus</i>
<i>Cyclotella comta</i>	<i>Navicula cryptocephala</i>	<i>Synedra capitata</i>
<i>Diatoma elongatum</i>		

CHRYSOPHYCEAE

<i>Centritractus belonophorus</i>	<i>Synura uvella</i>
-----------------------------------	----------------------

EUGLENOPHYCEAE

<i>Euglena acus</i>
---------------------

Comme dominances on a pu noter :

Mois

Septembre	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> , 44,4 % ; <i>Kirchneriella lunaris</i> , 22,2 % ; <i>Scenedesmus quadricauda</i> , 22,2 %.	Février	<i>Cyclotella comta</i> , 37,1 % ; <i>Navicula cryptocephala</i> , 20 % ; <i>Synedra acus</i> , 28,5 %.
Octobre	<i>Scenedesmus quadricauda</i> , 26 % ; <i>Cyclotella comta</i> , 40 %.	Mars	<i>Synura uvella</i> , 93 %.
Novembre	<i>Scenedesmus quadricauda</i> , 23,3 % ; <i>Cyclotella comta</i> , 48 %.	Avril	<i>Cyclotella comta</i> , 22,9 % ; <i>Diatoma elongatum</i> , 58,1 %.
Décembre	<i>Pediastrum duplex</i> , 27,7 % ; <i>Scenedesmus quadricauda</i> , 27,7 % ; <i>Cyclotella comta</i> , 29,6 %.	Juin	<i>Scenedesmus acuminatus</i> , 27,0 % ; <i>Scenedesmus quadricauda</i> , 36,6 %.
Janvier	<i>Scenedesmus quadricauda</i> , 30 % ; <i>Synura uvella</i> , 20 %.	Août	<i>Kirchneriella lunaris</i> , 26,2 % ; <i>Scenedesmus quadricauda</i> , 45,2 %.
		Septembre	<i>Coelastrum microporum</i> , 45,2 %.

## b - L'IJzer canalisé.

Chlorophyceae	13	46,43 ‰	Chrysophyceae	1	3,57 ‰
Bacillariophyceae	7	25,00 ‰	Euglenophyceae	1	3,57 ‰
Dinophyceae	1	3,57 ‰	Cyanophyceae	5	17,86 ‰

## Composition de la florule :

## CHLOROPHYCEAE

*Ankistrodesmus falcatus*  
*Crucigenia quadrata*  
*Kirchneriella lunaris*  
*Pandorina morum*  
*Pediastrum duplex*

*Scenedesmus acuminatus*  
*Scenedesmus hystrix*  
*Scenedesmus obliquus*  
*Scenedesmus opoliensis*

*Scenedesmus quadricauda*  
*Staurastrum paradoxum*  
*Tetraedron trigonum*  
*Tetrastrum staurogeniaeforme*

## BACILLARIOPHYCEAE

*Biddulphia sinensis*  
*Cyclotella comta* v. *Meneghiniana*  
*Diatoma vulgare*

*Fragilaria crotonensis*  
*Melosira varians*

*Rhizosolenia Stolterfothii*  
*Synedra acus*

## CYANOPHYCEAE

*Anabaena spiroides*  
*Aphanizomenon flos-aquae*

*Lyngbya contorta*  
*Oscillatoria Agardhii*

*Oscillatoria tenuis*

## EUGLENOPHYCEAE

*Euglena acus*

## CHRYSOPHYCEAE

*Synura uvella*

## DINOPHYCEAE

*Peridinium Yserense*

## Dominances :

## Mois

Septembre	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , 73,8 ‰.	Avril	<i>Diatoma vulgare</i> , 76,6 ‰.
Octobre	<i>Scenedesmus opoliensis</i> , 22,6 ‰ ; <i>Cyclotella comta</i> var. <i>Meneghiniana</i> , 22,6 ‰ ; <i>Oscillatoria tenuis</i> , 25,8 ‰.	Mai	<i>Cyclotella comta</i> var. <i>Meneghiniana</i> , 45,9 ‰ ; <i>Diatoma vulgare</i> , 39,4 ‰.
Novembre	<i>Cyclotella comta</i> var. <i>Meneghiniana</i> , 100 ‰.	Juin	<i>Cyclotella comta</i> var. <i>Meneghiniana</i> , 65,2 ‰.
Décembre	<i>Bacteriaceae</i> , 100 ‰.	Août	<i>Oscillatoria Agardhii</i> , 88,33 ‰ ; <i>Peridinium Yserense</i> , 12,5 ‰.
Janvier	<i>Cyclotella comta</i> var. <i>Meneghiniana</i> , 25,6 ‰ ; <i>Synedra acus</i> , 27,9 ‰ ; <i>Synura uvella</i> , 39,5 ‰.	Septembre	<i>Anabaena spiroides</i> , 66,0 ‰ ; <i>Lyngbya contorta</i> , 24,0 ‰.
Février	<i>Synedra acus</i> , 35,3 ‰ ; <i>Synura uvella</i> , 44,1 ‰.		
Mars	<i>Synedra acus</i> , 51,5 ‰ ; <i>Synura uvella</i> , 47,0 ‰.		

## c - Canal de Veurne-Ambacht.

Chlorophyceae	9	32,14 ‰	Dinophyceae	2	7,14 ‰
Bacillariophyceae	11	39,28 ‰	Euglenophyceae	3	10,71 ‰
Chrysophyceae	1	3,57 ‰	Cyanophyceae	2	7,14 ‰

## Composition de la florule :

## CHLOROPHYCEAE

*Actinastrum Hantzschii*  
*Ankistrodesmus falcatus*  
*Crucigenia Tetrapedia*

*Kirchneriella lunaris*  
*Scenedesmus acuminatus*  
*Scenedesmus obliquus*

*Scenedesmus opoliensis*  
*Scenedesmus quadricauda*  
*Pediastrum duplex*

## BACILLARIOPHYCEAE

*Amphiprora alata*  
*Cyclotella comta*  
*Diatoma vulgare*  
*Melosira Borreri*

*Navicula cryptocephala*  
*Nitzschia acicularis*  
*Nitzschia closterium*  
*Pleurosigma angulatum*

*Synedra acus*  
*Synedra capitata*  
*Triceratium Favus*

## CHRYSOPHYCEAE

*Synura uvella*

## DINOPHYCEAE

*Heterocapsa triquetra*  
*Peridinium nudum*

## CYANOPHYCEAE

*Anabaena spiroides*  
*Oscillatoria tenuis*

## EUGLENOPHYCEAE

*Euglena acus*

*Euglena deses*

*Euglena tripteris*

## Mois

Septembre	<i>Anabaena spiroides</i> 84 ‰	Mars	<i>Synura uvella</i> 57,1 ‰
Octobre	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> 23,1 ‰ ; <i>Scenedesmus obliquus</i> 23,1 ‰	Mai	<i>Synura uvella</i> 31,7 ‰ ; <i>Peridinium nudum</i> 19,5 ‰
Novembre	<i>Synura uvella</i> 56 ‰	Juin	<i>Peridinium nudum</i> 46,4 ‰
Décembre	<i>Synura uvella</i> 95,1 ‰	Juillet	<i>Scenedesmus quadricauda</i> 30,9 ‰ ; <i>Oscillatoria tenuis</i> 29,2 ‰
Janvier	<i>Synura uvella</i> 52,9 ‰	Août	<i>Kirchneriella lunaris</i> 12 ‰ ; <i>Heterocapsa triquetra</i> 64 ‰
Février	<i>Navicula cryptocephala</i> 23,2 ‰ ; <i>Synura uvella</i> 64,6 ‰	Septembre	<i>Cyclotella comta</i> 62 ‰

d - Canal de Dunkerque.

Chlorophyceae	13	36,11 %	Dinophyceae	3	8,33 %
Bacillariophyceae	16	44,44 %	Euglenophyceae	1	2,77 %
Chrysophyceae	1	2,77 %	Cyanophyceae	2	5,55 %

CHLOROPHYCEAE

*Actinastrum Hantzschii*  
*Ankistrodesmus falcatus*  
*Ankistrodesmus falcatus v. mirabile*  
*Coelastrum microporum*  
*Kirchneriella lunaris*

*Pandorina morum*  
*Pediastrum Boryanum*  
*Pediastrum duplex v. clathratum*  
*Scenedesmus acuminatus*

*Scenedesmus hystrix*  
*Scenedesmus obliquus*  
*Scenedesmus opoliensis*  
*Scenedesmus quadricauda*

BACILLARIOPHYCEAE

*Achnanthes longipes*  
*Asterionella formosa*  
*Asterionella japonica*  
*Biddulphia aurita*  
*Biddulphia Favus*  
*Biddulphia rhombus*

*Biddulphia sinensis*  
*Chaetoceros Eibeni*  
*Coscinodiscus subtilis*  
*Cyclotella Meneghiniana*  
*Diatoma vulgare*

*Melosira varians*  
*Navicula salinarum*  
*Nitzschia acicularis*  
*Rhizosolenia setigera*  
*Synedra acus*

CHRYSOPHYCEAE

*Synura uvella*

DINOPHYCEAE

*Amphidinium pellucidum*  
*Gymnodinium foliaceum*  
*Peridinium trochoideum*

EUGLENOPHYCEAE

*Euglena acus*

CYANOPHYCEAE

*Anabaena spiroides*  
*Aphanizomenon flos-aquae*

Dominance :

Mois

Septembre	<i>Kirchneriella lunaris</i> 21,91 % <i>Nitzschia acicularis</i> 58,9 %	Mars	<i>Cyclotella comta var. Meneghiniana</i> 43,44 % ; <i>Diatoma vulgare</i> 38,62 %
Octobre	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> 48,35 %	Avril	<i>Diatoma vulgare</i> 57,14 % ; <i>Nitzschia acicularis</i> 21,42 %
Novembre	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> 63,80 % ; <i>Kirchneriella lunaris</i> 28,57 %	Mai	<i>Diatoma vulgare</i> 34,48 % ; <i>Synedra acus</i> 31,03 %
Décembre	<i>Synura uvella</i> 97,24 %	Juin	<i>Kirchneriella lunaris</i> 38,66 % ; <i>Scenedesmus quadricauda</i> 32,0 %
Janvier	<i>Navicula salinarum</i> 39,72 % ; <i>Synura uvella</i> 54,79 %	Juillet	<i>Synedra acus</i> 68,0 %
Février	<i>Synura uvella</i> 85,92 %	Septembre	<i>Kirchneriella lunaris</i> 20,0 % ; <i>Nitzschia acicularis</i> 60,0 %

2. LES CANAUX NON FLOTTABLES.

a - Canal Graningate Vliet.

Chlorophyceae	8	33,33 %	Euglenophyceae	2	8,33 %
Bacillariophyceae	10	41,66 %	Coccolithophoridae	1	4,16 %
Chrysophyceae	1	4,16 %	Cyanophyceae	2	8,33 %

Composition de la florule :

CHLOROPHYCEAE

*Ankistrodesmus falcatus*  
*Kirchneriella lunaris*  
*Pediastrum Boryanum*

*Pediastrum duplex*  
*Scenedesmus acuminatus*

*Scenedesmus obliquus*  
*Tetraedron minimum*

BACILLARIOPHYCEAE

*Amphiprora alata*  
*Cyclotella comta*  
*Diatoma elongatum*

*Navicula cryptocephala*  
*Navicula rhynchocephala*  
*Nitzschia acicularis*

*Pleurosigma angulatum*  
*Synedra capitata*  
*Synedra Ulna*

CHRYSOPHYCEAE

*Synura uvella*

EUGLENOPHYCEAE

*Euglena acus*  
*Phacus orbicularis*

COCCOLITHOPHORIDAE

*Dictyocha fibula*

CYANOPHYCEAE

*Anabaena spiroides*

*Aphanizomenon flos-aquae*

Dominances :

Mois

Septembre *Ankistrodesmus falcatus* 46,9 % ; *Euglena acus* 25,2 %  
 Octobre *Scenedesmus acuminatus* 47 % ; *Euglena acus* 29,6 %  
 Novembre *Navicula cryptocephala* 40 % ; *Cyclotella comta* 20 % ;  
*Synedra acus* 20 %  
 Janvier *Synura uvella* 69,5 %

Février *Cyclotella comta* 75,6 %  
 Mars *Navicula cryptocephala* 64 %  
 Avril *Cyclotella comta* 61,3 %  
 Juillet *Euglena acus* 90 %  
 Septembre *Euglena acus* 49,5 % ; *Phacus orbicularis* 28,3 %

b - La Crique de Nieuwendamme.

Chlorophyceae	9	31,03 %	Euglenophyceae	1	3,44 %
Bacillariophyceae	14	48,27 %	Dinophyceae	2	6,88 %
Chrysophyceae	1	3,44 %	Cyanophyceae	2	6,88 %

Composition de la florule :

CHLOROPHYCEAE

*Ankistrodesmus falcatus*  
*Crucigenia Tetrapedia*  
*Kirchneriella lunaris*

*Pediastrum Boryanum*  
*Pediastrum duplex*  
*Scenedesmus acuminatus*

*Scenedesmus obliquus*  
*Scenedesmus opoliensis*  
*Scenedesmus quadricauda*

BACILLARIOPHYCEAE

*Actinopterychus splendens*  
*Amphiprora alata*  
*Biddulphia rhombus*  
*Cyclotella comta*  
*Diatoma elongatum*

*Navicula cryptocephala*  
*Navicula rhynchocephala*  
*Navicula rhynchocephala v. intermedia*  
*Nitzschia acicularis*  
*Nitzschia sigmaidea*

*Pinnularia viridis*  
*Pleurosigma angulatum*  
*Synedra acus*  
*Synedra capitata*

CHRYSOPHYCEAE

*Synura uvella*

EUGLENOPHYCEAE

*Trachelomonas volvocina*

CYANOPHYCEAE

*Anabaena spiroides*

DINOPHYCEAE

*Gymnodinium pygmaeum*

*Peridinium nudum*

Dominances :

Mois

Septembre *Anabaena spiroides* 100 %  
 Octobre *Scenedesmus obliquus* 25,6 % ;  
*Cyclotella comta* 40,1 %  
 Novembre Détrit  
 et décembre  
 Janvier *Synura uvella* 99 %  
 Février *Nitzschia sigmaidea* 17,36 % ; *Synedra capitata* 17,36 %

Mars *Navicula cryptocephala* 30,7 % ; *Synura uvella* 47,3 %  
 Avril *Diatoma elongatum* 65,6 %  
 Juin *Oscillatoria tenuis* 65,89 %  
 Juillet *Scenedesmus acuminatus* 44,11 % ; *Scenedesmus quadricauda* 32,35 %  
 Août *Anabaena spiroides* 20,3 % ; *Oscillatoria tenuis* 79,6 %  
 Septembre *Anabaena spiroides* 100 %

c - Koolhofvaart.

Chlorophyceae	4	17,39 %	Dinophyceae	1	4,34 %
Bacillariophyceae	15	65,21 %	Cryptomonadinae	1	4,34 %
			Cyanophyceae	2	8,68 %

Composition de la florule :

CHLOROPHYCEAE

*Ankistrodesmus falcatus*  
*Kirchneriella lunaris*

*Scenedesmus arcuatus*

*Scenedesmus quadricauda*

BACILLARIOPHYCEAE

*Actinopterychus undulatus*  
*Biddulphia aurita*  
*Biddulphia favus*  
*Biddulphia sinensis*  
*Chaetoceros danicus*

*Coscinodiscus subtilis*  
*Cyclotella comta*  
*Melosira varians*  
*Navicula salinarum*  
*Nitzschia acicularis*

*Pleurosigma angulatum*  
*Pleurosigma fasciola*  
*Rhizosolenia setigera*  
*Synedra acus*

DINOPHYCEAE

*Gymnodinium oppresum*

CRYPTOMONADINAE

*Cryptomonas sp.*

*Aphanizomenon flos-aquae*

*Oscillatoria tenuis*

Dominances :

Mois

Octobre *Aphanizomenon flos-aquae* 68,57 %  
 Novembre *Navicula salinarum* 53,65 %  
 Décembre *Navicula salinarum* 97,09 %

Janvier *Navicula salinarum* 94,0 %  
 Février *Navicula salinarum* 81,21 %  
 Mars *Navicula salinarum* 76,71 % ; *Synedra acus* 23,07 %

DE BELGIQUE. — APPROCHES, PROGRÈS, PERSPECTIVES

Avril *Cyclotella comta* 94 %  
 Mai *Cyclotella comta* 50,74 % ; *Synedra acus* 31,07 %  
 Juin *Chaetoceros danicus* 32,14 % ; *Gymnodinium oppres-*  
*sium* 42,85 %

Juillet *Ankistrodesmus falcatus* 48 % ; *Scenedesmus quadri-*  
*cauda* 28 %  
 Août *Chlorobacteriaceae* 100 %  
 Septembre *Navicula salinarum* 72,5 % ; *Synedra acus* 26,66 %

d. - Le bassin à flot

Chlorophyceae 5 17,24 %

Bacillariophyceae 23 79,31 %  
 Silicoflagellatae 1 3,45 %

Florule :

CHLOROPHYCEAE

*Actinastrum Hantzschii*  
*Pediastrum Boryanum*

*Pediastrum duplex*  
*Scenedesmus acuminatus*

*Scenedesmus quadricauda*

BACILLARIOPHYCEAE

*Actinopterychus undulatus*  
*Asterionella japonica*  
*Bellerochea malleus*  
*Biddulphia alternans*  
*Biddulphia aurita*  
*Biddulphia granulata*  
*Biddulphia regia*  
*Biddulphia rhombus*  
*Biddulphia sinensis*

*Cerataulina Bergonii*  
*Chaetoceros danicus*  
*Chaetoceros exospermum*  
*Coscinodiscus marginatus*  
*Coscinodiscus perforatus*  
*Coscinodiscus subtilis*  
*Cyclotella Meneghiniana*  
*Ditylium Brightwellii*  
*Grammatophora marina*

*Melosira varians*  
*Paralia sulcata*  
*Rhizosolenia Shrubsolei*  
*Skeletonema costatum*  
*Synedra acus*

SILICOFLAGELLATAE  
*Dictyocha fibula*

Mois

Septembre Détrit  
 Octobre *Biddulphia rhombus* 20,8 % ;  
*Asterionella japonica* 20,9 %  
 Novembre *Asterionella japonica* 62,6 %  
 Décembre *Cyclotella comta var. Meneghiniana* 29,6 % ;  
*Synedra acus* 27,0 %  
 Janvier *Biddulphia regia* 20,6 % ;  
*Coscinodiscus marginatus* 20,6 %  
 Février *Biddulphia rhombus* 43,4 % ;  
*Coscinodiscus marginatus* 42,2 %

Mars *Biddulphia regia* 32,1 % ;  
*Coscinodiscus marginatus* 36,5 %  
 Avril *Cerataulina Bergonii* 33,3 % ;  
*Chaetoceros danicus* 51,5 %  
 Mai Détrit  
 Juin *Rhizosolenia Shrubsolei* 76,3 %  
 Juillet Détrit  
 Août *Coscinodiscus subtilis* 42,3 % ;  
*Biddulphia rhombus* 19,23 %  
 Septembre Détrit

Dans le bassin à flot, A. MEUNIER avait relevé :

*Amylax diacantha*  
*Diplopsalis lenticula*  
*Glenodinium bipes*  
*Gonyaulax cochlea*  
*Gonyaulax polyedra*

*Peridinium fimbriatum*  
*Peridinium Granii*  
*Peridinium pellucidum*  
*Peridinium Yserense*  
*Properidinium avellana*

*Properidinium heterocapsa*  
*Properidinium inaequale*  
*Properidinium reticulatum*  
*Properidinium Thorianum*  
*Spirodinium fusus*

L. ERRERA & J. MASSART signalent en 1907 pour Nieuwport :

*Amphidinium operculatum*

*Dinopyxis laevis*

*Gymnodinium fuscum*

TABLEAU SYNOPTIQUE 221

En % de la population totale

	Chloro- phyceae	Bacillario- phyceae	Chryso- phyceae	Eugleno- phyceae	Coccolitho- phoridae	Dino- phyceae	Crypto- monadinae	Silico- flagellatae	Cyano- phyceae
Canaux flottables									
Cal Plasschendaale	44,8	44,8	6,8	3,4	—	—	—	—	—
IJzer canalisé	46,43	25,00	3,57	3,57		3,57			17,86
Cal Veurne-Ambacht	32,14	39,28	3,57	10,71		7,14			7,14
Cal Dunkerque	36,11	44,44	2,77	2,77		8,33			5,55
Canaux non flottables									
Graningate Vliet	33,3	41,66	4,16	8,33	4,16				8,33
Cal Nieuwendamme	31,03	48,27	3,44	3,44		6,88			6,88
Koolhofvaart	17,39	65,21				4,34	4,34		8,68
Bassin à flot	17,24	79,31						3,45	

**B. - LES CANAUX****a. - Le canal maritime de Zeebrugge**

Le phytoplancton de ce canal n'est ni abondant ni riche en espèces.

Ici *Skeletonema costatum* est dominante en janvier, avril et mai à 100 % et *Prorocentrum micans* en juillet à 100 %.

**CHLOROPHYCEAE***Scenedesmus obliquus**Scenedesmus quadricauda***BACILLARIOPHYCEAE**

*Achnanthes longipes*  
*Asterionella Bleakeleyi*  
*Asterionella japonica*  
*Biddulphia granulata*  
*Biddulphia rhombus*  
*Biddulphia sinensis*  
*Cerataulus Smithii*

*Chaetoceros adhaerens*  
*Coscinodiscus lineatus*  
*Ditylium Brightwellii*  
*Eucampia Zoodiacus*  
*Guinardia flaccida*  
*Melosira Borreri*  
*Nitzschia seriata*

*Rhizosolenia setigera*  
*Skeletonema costatum*  
*Surirella fastuosa*  
*Surirella gemma*  
*Synedra Ulua*  
*Thalassiosira baltica*  
*Thalassiothrix nitzschoides*

**DINOPHYCEAE***Prorocentrum micans***b. - Le canal Léopold à Heist**

Dans ce canal, il ne se présente aucune espèce réellement dominante, l'eau est plutôt pauvre en plancton.

**CHLOROPHYCEAE**

*Acinastrium Hantzschii*  
*Closterium acerosum*  
*Coelastrum microporum*  
*Crucigenia quadrata*

*Pediastrum Boryanum*  
*Pediastrum duplex v. reticulatum*  
*Scenedesmus acuminatus*  
*Scenedesmus obliquus*

*Scenedesmus opoliensis*  
*Scenedesmus quadricauda*  
*Tetraedron trigonum*

**BACILLARIOPHYCEAE**

*Asterionella Bleakeleyi*  
*Bacillaria paradoxa*  
*Biddulphia rhombus*  
*Biddulphia sinensis*  
*Chaetoceros alanicus*

*Fragilaria crotonensis*  
*Leptocylindrus minimus*  
*Melosira varians*  
*Skeletonema costatum*

*Surirella fastigiata*  
*Synedra acus*  
*Thalassiosira decipiens*  
*Thalassiothrix Frauenfeldii*

**CYANOPHYCEAE**

*Aphanizomenon filios-aquae*  
*Oscillatoria limosa*

**CHRYSOPHYCEAE***Synura uvella***EUGLENOPHYCEAE***Euglena acus***c. - Le canal de Blankenberge****CHLOROPHYCEAE**

*Kinoshiazella lunaris*  
*Pandorina morum*

*Scenedesmus acuminatus*  
*Scenedesmus arcuatus*

*Scenedesmus obliquus*  
*Scenedesmus quadricauda*

**BACILLARIOPHYCEAE**

*Cyclotella comta*  
*Coscinodiscus subtilis*  
*Skeletonema costatum*

*Navicula salinarum*  
*Synedra acus*

*Tabellaria fenestrata*  
*Tabellaria flocculosa*

**CHRYSOPHYCEAE***Synura uvella***DINOPHYCEAE***Peridinium nudum***EUGLENOPHYCEAE**

*Euglena tripteris*  
*Phacus caudatus*

La comparaison du plancton des trois canaux entre eux donne le résultat suivant (Tableau 222) :

TABLEAU 222  
 Répartition des groupes phytoplanctoniques  
 Résultats en % du nombre d'espèces

Biotopes	Chloro-phyceae	Bacillario-phyceae	Chryso-phyceae	Dino-phyceae	Eugleno-phyceae	Cyano-phyceae
Canal maritime	8	84	—	8	—	—
Canal Léopold	37,03	48,14	3,7	—	3,7	7,4
Canal Blankenberge	37,5	43,75	—	6,35	12,7	—

DE BELGIQUE. — APPROCHES, PROGRÈS, PERSPECTIVES

En outre, W. CONRAD a décrit du Canal maritime :

CHLOROPHYCEAE

*Pyramidomonas amylifera*  
*Pyramidomonas marina*

BACILLARIOPHYCEAE

*Nitzschia longissima* var. *parva*

DINOPHYCEAE

*Oxyrrhis marina*  
*Pyrodinium phoneus*

CRYPTOMONADINAE

*Chroomonas guttata*

*Protochrysis vinosa*

*Rhodomonas amphioxeia*

Les Chlorophycées dominent dans le Canal Léopold et le Canal de Blankenberge. Les Diatomées dominent largement dans le Canal maritime.

Dans le tableau 222, nous avons comparé le plancton des trois canaux.

TABLEAU 223  
Tableau comparatif de la florule des canaux flottables et non flottables

	Flottables				Non flottables		
	P	IJ	V.A	D	G	N	K
<i>Anabaena spiroides</i>		x	x	x	x	x	
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>		x		x	x		x
<i>Lyngbya contorta</i>		x					
<i>Oscillatoria Agardhii</i>		x					
<i>Oscillatoria tenuis</i>		x	x			x	x
<i>Pandorina morum</i>		x		x			
<i>Actinastrum Hantzschii</i>			x	x			
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	x	x	x	x	x	x	x
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> v. <i>mirabile</i>				x			
<i>Coelastrum microporum</i>	x			x			
<i>Crucigenia quadrata</i>	x	x					
<i>Crucigenia Tetrapedia</i>			x			x	
<i>Kirchneriella lunaris</i>	x	x	x	x	x	x	x
<i>Pediastrum Boryanum</i>	x			x	x	x	
<i>Pediastrum duplex</i>	x	x	x		x	x	
<i>Pediastrum duplex</i> v. <i>clathratum</i>	x	x	x		x	x	
<i>Pediastrum Tetras</i>	x						
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	x	x	x	x	x	x	
<i>Scenedesmus arcuatus</i>	x						x
<i>Scenedesmus hystrix</i>		x		x			
<i>Scenedesmus obliquus</i>	x	x	x	x	x	x	
<i>Scenedesmus opoliensis</i>	x	x	x	x		x	
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	x	x	x	x	x	x	x
<i>Tetraedron minimum</i>					x		
<i>Tetraedron trigonum</i>	x						
<i>Tetrastrum Staurogeniaeforme</i>	x						
<i>Staurastrum paradoxum</i>	x						
<i>Synura uvella</i>	x	x	x	x	x	x	
<i>Contritracus belonophorus</i>	x						
<i>Dyctyocha fibula</i>					x		
Chlorobactériacées							x
<i>Actinoptychus splendens</i>						x	
<i>Actinoptychus undulatus</i>							x
<i>Biddulphia aurita</i>				x			x
<i>Biddulphia rhombus</i>	x			x		x	
<i>Biddulphia sinensis</i>		x		x			x
<i>Chaetoceros danicus</i>							x
<i>Chaetoceros Eibenii</i>				x			
<i>Chaetoceros exospermum</i>	x						

L.I.J. VAN MEEL. — LES EAUX SAUMÂTRES

	Flottables				Non flottables		
	P	IJ	V.A	D	G	N	K
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	x						
<i>Coscinodiscus subtilis</i>				x			x
<i>Cyclotella comta</i>	x		x		x	x	x
<i>Cyclotella Meneghiniana</i>		x		x			
<i>Ditylium Brightwellii</i>	x						
<i>Lithodesmium undulatum</i>	x						
<i>Melosira moniliformis</i>	x		x				
<i>Melosira varians</i>		x		x			x
<i>Rhizosolenia imbricata v. Shrubsolei</i>	x						
<i>Rhizosolenia setigera</i>				x			x
<i>Rhizosolenia Stolterfothii</i>		x					
<i>Triceratium Favus</i>			x	x			x
<i>Achnanthes longipes</i>				x			
<i>Amphiprora alata</i>			x		x	x	
<i>Asterionella formosa</i>				x			
<i>Asterionella japonica</i>				x			
<i>Diatoma elongatum</i>	x				x	x	
<i>Diatoma vulgare</i>		x	x	x			
<i>Fragilaria crotonensis</i>		x					x
<i>Navicula cryptocephala</i>	x		x		x	x	
<i>Navicula rhynchocephala</i>					x	x	
<i>Navicula rhynchocephala v. intermedia</i>						x	
<i>Navicula salinarum</i>				x			x
<i>Nitzschia acicularis</i>	x		x	x	x	x	x
<i>Nitzschia longissima v. Closterium</i>			x				
<i>Nitzschia sigmoidea</i>						x	
<i>Pinnularia viridis</i>						x	
<i>Pleurosigma angulatum</i>		x			x	x	x
<i>Pleurosigma fasciola</i>							x
<i>Synedra acus</i>	x	x	x	x	x	x	x
<i>Synedra capitata</i>	x		x		x	x	
<i>Synedra Ulna</i>					x		
<i>Amphidinium pellucidum</i>				x			
<i>Glenodinium foliaceum</i>				x			
<i>Gymnodinium oppresum</i>							x
<i>Gymnodinium pygmaeum</i>						x	
<i>Peridinium nudum</i>			x			x	
<i>Peridinium triquetrum</i>			x				
<i>Peridinium trochoideus</i>				x			
<i>Peridinium Yserense</i>		x					
<i>Euglena acus</i>	x	x	x	x	x		
<i>Euglena deses</i>			x				
<i>Euglena tripteris</i>			x				
<i>Phacus orbicularis</i>					x		
<i>Trachelomonas volvacina</i>						x	

Explication des sigles :

P = Canal de Plasschendaale.

IJ = IJzer canalisé.

V.A = Canal Veurne-Ambacht.

D = Canal de Dunkerque.

G = Graningate Vliet.

N = Canal de Nieuwendamme.

K = Koolhofvaart.

Pour l'Escaut, l'IJzer et les canaux, la situation était à peu près la suivante. Neuf groupes étaient représentés, nous les énumérons en une série descendante :

Bacillariophyceae	212 espèces	27,21 %
Dinoflagellatae	133 espèces	17,07 %
Chloromonadinae	116 espèces	14,89 %
Chlorophyceae	109 espèces	13,99 %

Chrysophyceae	64 espèces	8,21 %
Cyanophyceae	62 espèces	7,95 %
Cryptomonadidae	32 espèces	4,10 %
Heterokontae	30 espèces	3,85 %
Schizomycetes	21 espèces	2,69 %

La population, à l'époque, comprenait ainsi 779 espèces et variétés pour les eaux courantes. Ce chiffre n'est pas absolu. Il est fort probable que dans les années à venir certaines espèces puissent s'ajouter, d'autres disparaître. Signalons surtout les Chloromonadines, les Chrysophyceae et les Cryptomonadines et surtout les Schizomycètes, dont la répartition géographique et surtout l'écologie, sont fort mal connues.

Quoi qu'il en soit, nous pouvons admettre jusqu'à présent, que la biocénose des eaux saumâtres à courant,

comprend surtout des bacillariophycées, des dinophycées et des chlorophycées et que ces grands groupes conservent presque indubitablement leur prédominance.

A point de vue écologique, la liste d'espèces pour ces eaux comprend :

147 espèces marines typiques, soit 19,47 %,  
196 espèces dulcicoles typiques, soit 25,96 %.

Pour le moment il est encore impossible d'estimer, pour les autres espèces, faute de recherches plus approfondies, si elles appartiennent au milieu marin ou au milieu limnique, si elles sont à considérer comme des organismes typiquement saumâtres ou non.

Il en est de même de la question de savoir si les espèces dulcicoles sont capables de se multiplier en eau saumâtre, et si les espèces marines sont à même de se reproduire en eau saumâtre à une concentration donnée.

## II. - LES EAUX STAGNANTES

### A. - ANTWERPEN, GALGENWEELEN

Nous n'avons pu examiner le plancton des Galgenweelen que durant neuf mois consécutifs. A l'époque, nous avons obtenu le spectre suivant :

Chlorophyceae	46,6 %	Dinophyceae	3,3 %
Bacillariophyceae	43,3 %	Chrysophyceae	1,6 %
Cyanophyceae	3,3 %	Euglenophyceae	1,6 %

#### Florule :

<i>Actinastrum hantzschii</i>	<i>Scenedesmus opoliensis</i>	<i>S. acus v. angustissima</i>
<i>Ankistrodesmus convolutus</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Synedra actinastroides</i>
» <i>v. mirabile</i>	<i>Tetraedron trigonum</i>	<i>Synedra capitata</i>
<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Asterionella formosa</i>	<i>Synedra gallionii</i>
<i>Chodatella quadriseta</i>	<i>Chaetoceros subtilis</i>	<i>Synedra pulchella</i>
<i>Closterium acerosum</i>	<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Synedra ulna</i>
<i>Closterium aciculare</i>	<i>Coscinodiscus lacustris</i>	<i>Tabellaria fenestrata</i>
<i>Closterium cornu</i>	<i>Coscinodiscus radiatus</i>	<i>Tabellaria flocculosa</i>
<i>Coelastrum microporum</i>	<i>Coscinodiscus subtilis</i>	<i>Botryococcus braunii</i>
<i>Crucigenia quadrata</i>	<i>Cyclotella comta</i>	<i>Synura uvella</i>
<i>Crucigenia rectangularis</i>	<i>Diatoma elongatum</i>	<i>Ceratium hirundinella</i>
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	<i>Diatoma vulgare</i>	<i>Peridinium cinctum</i>
<i>Eudorina elegans</i>	<i>Fragilaria crotonensis</i>	<i>Euglena acus</i>
<i>Kirchneriella lunaris</i>	<i>Gyrosigma acuminatum</i>	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>
<i>Pandorina morum</i>	<i>Melosira subflexilis</i>	<i>Merismopedia glauca</i>
<i>Pediastrum boryanum</i>	<i>Navicula affinis</i>	
<i>Pediastrum duplex v. reticulatum</i>	<i>Navicula radiosa</i>	
<i>Pediastrum tetras</i>	<i>Surirella elegans</i>	
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	<i>Surirella robusta</i>	
<i>Scenedesmus longus</i>	<i>Synedra acus</i>	
<i>Scenedesmus obliquus</i>		

#### Dominances :

Mois	Bacillariophyceae	Protococcales	Conjugales	Volvocales
IV	95,00 %	1,00 %	4 %	—
V	30,00 %	70,00 %	—	—
VI	25,00 %	75,00 %	—	—
VII	92,00 %	8,00 %	—	—
VIII	—	100,00 %	—	—
IX	—	100,00 %	—	—
X	14,00 %	4,00 %	—	8,2
XI	39,27 %	60,73 %	—	—
XII	100,00 %	—	—	—

**B. - LES EAUX DE DOEL ET ENVIRONS**

**a. - Groot Gat**

Spectre biologique.			
Chlorophyceae	25 ‰	Dinophyceae	10 ‰
		Bacillariophyceae	40 ‰
		Chrysophyceae	5 ‰
		Euglenophyceae	20 ‰

**Florule :**

<i>Actinastrum hantzschii</i>		<i>Scenedesmus acuminatus</i>
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>		<i>Scenedesmus quadricauda</i>
<i>Kirchneriella lunaris</i>		
<i>Coscinodiscus subtilis</i>	<i>Nitzschia acicularis</i>	<i>Nitzschia seriata</i>
<i>Diatoma elongatum</i>	<i>Nitzschia closterium</i>	<i>Synedra acus</i>
<i>Diatoma vulgare</i>		<i>v. oxyrrhynchus</i>
<i>Synura uvella</i>		
<i>Amphidinium macrocephalum</i>		<i>Peridinium cinctum</i>
<i>Euglena acus</i>		<i>Eutreptia viridis</i>
<i>Phacus caudata</i>		<i>Trachelomonas volvocina</i>

**Dominances :**

**Mois**

- |   |  |
|---|--|
| I. <i>Synura uvella</i> , 100 ‰.                  | VI. <i>Kirchneriella lunaris</i> , 54 ‰.   |
| II. <i>Synedra ulna v. oxyrrhynchus</i> , 100 ‰.  | VII. <i>Kirchneriella lunaris</i> , 45 ‰.  |
| III. <i>Synedra ulna v. oxyrrhynchus</i> , 100 ‰. | VIII. <i>Ankistrodesmus falcatus</i> , 48 ‰,<br><i>Trachelomonas volvocina</i> , 21 ‰. |
| IV. <i>Diatoma vulgare</i> , 42,8 ‰.              | IX. <i>Euglena acus</i> , 74,3 ‰.  |
| V. <i>Eutreptia viridis</i> , 70 ‰.               | XII. <i>Ankistrodesmus falcatus</i> , 98 ‰.  |

**b. - Groot Gat, écluette**

Spectre biologique.			
Chlorophyceae	16,60 ‰	Euglenophyceae	9,99 ‰
Bacillariophyceae	66,60 ‰	Cyanophyceae	3,44 ‰
Chrysophyceae	3,33 ‰		

**Florule :**

<i>Pandorina morum</i>	<i>Pediastrum duplex</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i> .
<i>Pediastrum boryanum</i>	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	
<i>Bacillaria paradoxa</i>	<i>Hyalodiscus stelliger</i>	<i>Pleurosigma fasciola</i>
<i>Biddulphia favus</i>	<i>Melosira moniliformis</i>	<i>Raphoneis amphicerus</i>
<i>Biddulphia sinensis</i>	<i>Nitzschia acicularis</i>	<i>Surirella gemma</i>
<i>Coscinodiscus subtilis</i>	<i>Nitzschia closterium</i>	<i>Surirella striatula</i>
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	<i>Nitzschia longissima</i>	<i>Synedra affinis</i>
<i>Diatoma elongatum</i>	<i>Pleurosigma angulatum</i>	<i>Synedra capitata</i>
<i>Diatoma vulgare</i>	<i>Pleurosigma attenuatum</i>	
<i>Synura uvella</i>		
<i>Euglena acus</i>		<i>Trachelomonas bacillifera</i>
<i>Euglena spirogyra</i>		
<i>Oscillatoria tenuis</i>		

**Dominances :**

**Mois**

- |  |   |
|--|---|
| II. <i>Coscinodiscus subtilis</i> , 100 ‰. | VII. <i>Coscinodiscus subtilis</i> , 75 ‰; <i>Biddulphia sinensis</i> , 25 ‰. |
| III. <i>Synedra affinis</i> , 86 ‰.        | VIII. <i>Nitzschia closterium</i> , 98 ‰.                                     |
| IV. <i>Cyclotella meneghiniana</i> , 97 ‰. | IX. <i>Scenedesmus acuminatus</i> , 60 ‰.                                     |
| V. <i>Synura uvella</i> , 87 ‰.            | X. <i>Euglena acus</i> , 62,5 ‰.  |

En outre, d'après les récoltes de W. CONRAD : *Carteria doelensis*, *Carteria konion*, *Chlamydomonas augustae*, et nos propres récoltes d'avant 1950 :

*Ankistrodesmus setigerus*

*Amphiprora paludosa*  
*Biddulphia regia*  
*Biddulphia rhombus*

*Synura uvella*

*Anabaena flos-aquae*  
*Anabaena spiroides*

*Synedra capitata*  
*Synedra ulna*

*Chodatella quadriseta*  
*Scenedesmus obliquus*

*Tabellaria fenestrata*  
*Tabellaria flocculosa*

*Aphanizomenon flos-aquae*  
*Oscillatoria limosa*

### c. - Doel, Fort de Liefkenshoek

Spectre biologique :			
Chlorophyceae	6,25 ‰	Chrysophyceae	12,50 ‰
Bacillariophyceae	62,50 ‰	Euglenophyceae	12,50 ‰
		Cyanophyceae	6,25 ‰

#### Florule :

*Ankistrodesmus falcatus*

*Amphiprora alata*  
*Biddulphia sinensis*  
*Chaetoceros danicus*  
*Coscinodiscus subtilis*

*Amphidinium macrocephalum*

*Eutreptia viridis*

*Anabaena spiroides*

*Cyclotella meneghiniana*  
*Nitzschia closterium*  
*Pleurosigma angulatum*

*Plurosigma attenuatum*  
*Pleurosigma fasciola*  
*Synedra acus*

*Amphidinium pellucidum*

*Trachelomonas volvocina*

#### Dominances :

##### Mois

- I. *Amphidinium pellucidum*, 100 ‰.  
V. Zooplancton, 100 ‰.  
VI. *Pleurosigma angulatum* 38,8 ‰; *Amphiprora alata*, 22,20 ‰;  
*Pleurosigma fasciola*, 22,20 ‰.  
VII. Bacteriaceae, 100 ‰.

- VIII. *Eutreptia viridis*, 64 ‰.  
IX. *Amphidinium macrocephalum*, 70 ‰.  
X. *Cyclotella meneghiniana*, 100 ‰.  
XI. *Nitzschia closterium*, 100 ‰.  
XII. *Nitzschia closterium*, 100 ‰.

#### Eclusette

Spectre biologique :			
Chlorophyceae	19,23 ‰	Chrysophyceae	6,00 ‰
Bacillariophyceae	63,38 ‰	Euglenophyceae	7,69 ‰
		Cyanophyceae	7,69 ‰

#### Florule :

*Pediastrum boryanum*  
*Pediastrum tetras*

*Actinopterychus undulatus*  
*Amphiprora alata*  
*Bellerochea malleus*  
*Biddulphia rhombus*  
*Biddulphia sinensis*  
*Chaetoceros danicus*

*Scenedesmus acuminatus*  
*Scenedesmus quadricauda*

*Coscinodiscus subtilis*  
*Cyclotella comta*  
*Lithodesmium undulatum*  
*Melosira varians*  
*Nitzschia closterium*  
*Pleurosigma acuminatum*

*Scenedesmus obliquus*

*Pleurosigma angulatum*  
*Pleurosigma attenuatum*  
*Pleurosigma fasciola*  
*Rhizosolenia longiseta*  
*Synedra acus*

#### Dominances :

##### Mois

- I. *Coscinodiscus subtilis*, 92,6 ‰.  
II. *Synedra acus*, 80 ‰.  
VI. *Synedra acus*, 94 ‰.

- VIII. *Eutreptia viridis*, 100 ‰.  
IX. *Coscinodiscus subtilis*, 54,7 ‰.  
XI. *Nitzschia closterium*, 94 ‰.  
XII. *Nitzschia closterium*, 100 ‰.

**C. - KALLO, MELKADER**

## Florule :

<i>Crucigenia tetrapedia</i>	<i>Pandorina morum</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i>
<i>Kirchneriella lunaris</i>	<i>Pediastrum boryanum</i>	<i>Scenedesmus acuminatus</i>
<i>Diatoma elongatum</i>	<i>Pleurosigma attenuatum</i>	<i>Tabellaria fenestrata</i>
<i>Diatoma vulgare</i>	<i>Synedra acus</i>	<i>Tabellaria flocculosa</i>
<i>Melosira varians</i>	<i>Synedra capitata</i>	
<i>Euglena acus</i>	<i>Phacus pleuronectes</i>	
<i>Peridinium cinctum</i>		
<i>Synura uvella</i>		
<i>Anabaena flos-aquae</i>	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	<i>Microcystis flos-aquae</i>
<i>Anabaena spiroides</i>	<i>Merismopedia tenuissima</i>	<i>Oscillatoria limosa</i>

**D. - KALLO, FORT STE-MARIE**

## Florule :

<i>Kirchneriella lunaris</i>	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i>
<i>Pediastrum boryanum</i>	<i>Scenedesmus obliquus</i>	
<i>Amprirora paludosa</i>	<i>Diatoma elongatum</i>	<i>Rhoicosphenia curvata</i>
<i>Asterionella formosa</i>	<i>Diatoma vulgare</i>	<i>Synedra acus</i>
<i>Chaetoceros ceratosporus</i>	<i>Eucampia zodiacus</i>	<i>Synedra affinis</i>
<i>Chaetoceros gracilis</i>	<i>Melosira varians</i>	<i>Synedra capitata</i>
<i>Chaetoceros subtilis</i>	<i>Meridion circulare</i>	<i>Tabellaria fenestrata</i>
<i>Chaetoceros wighami</i>	<i>Pleurosigma attenuatum</i>	<i>Tabellaria flocculosa</i>
<i>Coscinodiscus subtilis</i>	<i>Phacus pleuronectes</i>	

**E. - LILLO. FORT ET EAUX STAGNANTES DES ENVIRONS**

Dans l'étude de H. KUFFERATH sur les recherches de W. CONRAD, nous trouvons dans l'ensemble des espèces décrites :

<i>Bacillariophyceae</i>	100 esp.	<i>Flagellatae</i>	41
<i>Dinophyceae</i>	100	<i>Euglenophyceae</i>	49
<i>Myxophyceae</i>	71	<i>Volvocales</i>	56
<i>Chrysophyceae</i>	36	<i>Chlorophyceae</i>	39
<i>Cryptophyceae</i>	29	<i>Xanthophyceae</i>	31
		<i>Schizophyceae</i>	19

## Florule :

<i>Achromatium oxaliferum</i>	<i>Lamprocystis roseo-persicina</i>	<i>Thiospirillum jenense</i>
<i>Beggiatoa alba</i>	<i>Thiophysa volutans</i>	<i>Thiospirillum rosenbergii</i>
<i>Beggiatoa arachnoides</i>	<i>Thioploca schmidlei</i>	<i>Thiothece gelatinosa</i>
<i>Beggiatoa mirabilis</i>	<i>Thiospira agillissima</i>	<i>Thiothrix annulata</i>
<i>Chlorobacterium symbioticum</i>	<i>Thiophysa bipunctata</i>	<i>Thiothrix nivea</i>
<i>Chromatium okenii</i>	<i>Thiophysa winogradskii</i>	<i>Thiothrix tenuis</i>
<i>Chromatium vinosum</i>		
<i>Aphanocapsa elachista</i>	<i>Merismopedia glauca</i>	<i>Oscillatoria margaritifera</i>
<i>Aphanocapsa marina</i>	<i>Merismopedia tenuissima</i>	<i>Oscillatoria prolifica</i>
<i>Aphanothece castagnei</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	<i>Oscillatoria putrida</i>
<i>Aphanothece clathrata</i>	<i>Microcystis firma</i>	<i>Oscillatoria redekei</i>
<i>Aphanothece pallida</i>	<i>Microcystis ichthyoblabe</i>	<i>Oscillatoria rubescens</i>
<i>Aphanothece nostocopsis</i>	<i>Rhabdonema lineare</i>	<i>Oscillatoria trichoides</i>
<i>Chroococcus limneticus v. subsalsus</i>	<i>Romeria gracilis</i>	<i>Spirulina major</i>
<i>Chroococcus minutus</i>	<i>Romeria leopoliensis</i>	<i>Spirulina platensis</i>
<i>Chroococcus turgidus</i>	<i>Lyngbia halophila</i>	<i>Spirulina subsalsa</i>
<i>Chroococcus planctonicus</i>	<i>Oscillatoria agardhii</i>	<i>Spirulina tenuissima v. subsalsa</i>
<i>Dactylococcopsis fascicularis</i>	<i>Oscillatoria amphigranulata</i>	<i>Anabaena spiroides</i>
<i>Dactylococcopsis irregularis v. van goorii</i>	<i>Oscillatoria brevis</i>	<i>Anabaena variabilis</i>
<i>Gomphosphaeria aponina</i>	<i>Oscillatoria chalybea</i>	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>
<i>Gomphosphaeria lacustris</i>	<i>Oscillatoria chlorina</i>	<i>Nostoc entophyton</i>
<i>Kirchneriellopsis conradi</i>	<i>Oscillatoria guttula</i>	<i>Calothrix confervicola</i>
<i>Merismopedia elegans</i>	<i>Oscillatoria lacustris</i>	<i>Calothrix stellaris</i>
	<i>Oscillatoria limosa</i>	<i>Rivularia beccariana</i>

Comme espèces à caractère saumâtre on peut noter :

<i>Aphanocapsa marina</i>	<i>Lyngbya aestuarii</i>	<i>Oscillatoria margaritifera</i>
<i>Dactylococcopsis raphidioides</i> v. <i>van goorii</i>	<i>Lyngbya aestuarii fa spectabilis</i>	<i>Spirulina major</i> (?)
<i>Gloeocapsa salina</i>	<i>Lyngbya aestuarii var. symplocoides</i>	<i>Spirulina subsalsa</i>
<i>Gomphosphaeria aponina</i> (?)	<i>Lyngbya halophila</i>	<i>Spirulina tenuissima</i> v. <i>subsalsa</i>
<i>Chroococcus turgidus</i> (?)	<i>Lyngbya lutea</i>	<i>Anabaena variabilis</i>
	<i>Lyngbya perelegans</i>	<i>Calothrix confervicola</i>

Espèces mésohalobes (*euhalobes* ou *polyhalobes*)

<i>Aphanothece castagnei</i>	<i>Oscillatoria brevis</i>	<i>Oscillatoria limosa</i>
<i>Romeria gracilis</i>	<i>Oscillatoria chalybea</i>	<i>Oscillatoria Redekei</i> (?)
<i>Romeria leopoliensis</i>	<i>Oscillatoria chlorina</i>	<i>Oscillatoria trichoides</i> (?)
<i>Oscillatoria agardhii</i>	<i>Oscillatoria guttula</i>	<i>Spirulina platensis</i>
<i>Oscillatoria amphigranulata</i>	<i>Oscillatoria lacustris</i>	<i>Anabaena spiroides</i>
<i>Boekelovia hooglandii</i>	<i>Kephyrion petasatum</i>	<i>Platychrysis pigra</i>
<i>Chromulina annulata</i>	<i>Mallomonas acaroides</i>	<i>Prymnesium saltans</i>
<i>Chromulina lunaris</i>	<i>Mallomonas subsalina</i>	<i>Pseudokephyrion formosissimum</i>
<i>Chromulina ovalis</i>	<i>Nematochrysis sessilis</i> v. <i>vectensis</i>	<i>Pseudopedinella pyriforme</i>
<i>Chromulina woroniana</i>	<i>Ochromonas cosmopoliticus</i>	<i>Pseudopedinella pyriforme</i>
<i>Chrysococcus rufescens</i>	<i>Ochromonas crenata</i>	<i>Sarcinochrysis marina</i>
<i>Codonomonas cylindrica</i>	<i>Ochromonas minusculus</i>	<i>Sphaleromantis subsalsa</i>
<i>Codonomonas dilatata</i>	<i>Ochromonas oblonga</i>	<i>Sphaleromantis tetragona</i>
<i>Codonomonas pascheri</i>	<i>Pascherella yserensis</i>	<i>Thallochrysis pascheri</i>
<i>Codonomonas van goorii</i>	<i>Phaeoplaca thallosa</i>	

*Pseudopedinella pyriforme* a été trouvée dans toutes les stations de Lillo et constitue par son abondance, un élément caractéristique des eaux saumâtres mésohalines.

Pour un total de 36 espèces répertoriées par W. CONRAD, on en trouve 10 qui sont soit marines, soit polyhalobes, ce sont :

<i>Boekelovia hooglandii</i>	<i>Platychrysis pigra</i>	<i>Sarcinochrysis marina</i>
<i>Nematochrysis pigra</i>	<i>Prymnesium saltans</i>	<i>Sphaleromantis subsalsa</i>
<i>Ochromonas cosmopoliticus</i>	<i>Pseudopedinella pyriforme</i>	<i>Thallochrysis pascheri</i>
<i>Pascherella yserensis</i>		

Les espèces ayant des préférences dulcicoles sont :

<i>Chromulina annulata</i> (?)	<i>Mallomonas acaroides</i>	<i>Sphaleromantis tetragona</i> (?)
<i>Chromulina ovalis</i>	<i>Ochromonas minuscula</i> (?)	<i>Synura uvella</i>
<i>Chromulina woroniana</i>	<i>Pseudokephyrion ovum</i>	

Onze espèces supportent des doses plus ou moins fortes de sel :

<i>Chromulina lunaris</i>	<i>Codonomonas pascheri</i>	<i>Ochromonas oblonga</i>
<i>Chrysococcus rufescens</i>	<i>Codonomonas van goorii</i>	<i>Phaeoplaca thallosa</i>
<i>Codonomonas cylindrica</i>	<i>Mallomonas subsalina</i>	<i>Pseudokephyrion formosissimum</i>
<i>Codonomonas dilatata</i>	<i>Ochromonas crenata</i>	

Les espèces trouvées dans le schorre de Lillo qui présente des salinités excessives :

<i>Chromulina annulata</i>	<i>Phaeoplaca thallosa</i>	<i>Pseudopedinella pyriformis</i>
<i>Nematochrysis sessilis</i> v. <i>vectensis</i>	<i>Platychrysis pigra</i>	<i>Thallochrysis pascheri</i>
<i>Pascherella yserensis</i>	<i>Prymnesium saltans</i>	
<i>Chilomonas oblonga</i>	<i>Cryptomonas erosa</i>	<i>Olisthodiscus luteus</i>
<i>Chilomonas paramaecium</i>	<i>Cryptomonas lilloensis</i>	<i>Protochrysis vinosa</i>
<i>Chroomonas cyaneus</i>	<i>Cryptomonas ovata</i>	<i>Rhodomonas amphioxeia</i>
<i>Chroomonas daucoïdes</i>	<i>Cryptomonas reflexa</i>	<i>Rhodomonas baltica</i> (incl. <i>pelagica</i> )
<i>Chroomonas phaselos</i>	<i>Cryptomonas salina</i>	<i>Rhodomonas rhynchophora</i>
<i>Chroomonas raphanoides</i>	<i>Cryptomonas semilunaris</i>	<i>Rhodomonas fusulina</i>
<i>Chroomonas synecheia</i>	<i>Cryptomonas stigmatica</i>	<i>Rhodomonas heteronemaformis</i>
<i>Chroomonas vectensis</i>	<i>Heteromastix angulata</i>	

Les espèces plus spécialement marines d'après la littérature sont :

<i>Rhodomonas baltica</i>
<i>Rhodomonas gracilis</i>

Cette dernière n'a été trouvée qu'en eau oligohaline. *Cryptomonas salina* est signalée des eaux méso- et polyhalines.

Les espèces observées en eau douce ou oligohaline sont :

<i>Cryptomonas reflexa</i>	<i>Heteromastix angulosa</i>	<i>Cryptomonas akrobelles</i>
<i>Cryptomonas torta</i>	<i>Olisthodiscus luteus</i>	<i>Cryptomonas serpens</i>

## En milieu mésohalin seulement :

*Chroomonas daucoides*  
*Chroomonas raphanoides*  
*Protochrysis vinosa*

*Cryptomonas semilunaris*  
*Cryptomonas esopus*  
*Cryptomonas prora*

*Cryptomonas pseudocaudata*  
*Rhodomonas minusculus*

## Espèces méso + oligohalines :

*Chilomonas oblonga*  
*Chroomonas cyaneus*

*Chroomonas phaseolus*  
*Cryptomonas lilloensis*

*Rhodomonas amphioxeia*  
*Rhodomonas rhyncophora*

Seule espèce saumâtre : *Chroomonas vectensis*.

*Colacium elongatum*  
*Colacium sideropus*  
*Colacium vesiculosum*  
*Euglena acus*  
*Euglena acutissima*  
*Euglena basistellata*  
*Euglena deses*  
*Euglena foliacea*  
*Euglena gracilis*  
*Euglena limosa*  
*Euglena oblonga*  
*Euglena salina*

*Euglena tripteris*  
*Euglena vangoorii*  
*Euglena viridis*  
*Eutreptia viridis* v. *schizochlora*  
*Eutreptiella marina*  
*Lepocinclis marsonii* v. *inflata*  
*Lepocinclis ovata*  
*Lepocinclis ovum*  
 « v. *dimidio-minor*  
 « v. *butschlii*  
*Lepocinclis reewijckiana*  
*Phacus oscillans*

*Phacus parvula*  
*Phacus pusilla*  
*Phacus pyrum*  
*Phacus triqueter*  
*Trachelomonas dybowski*  
*Trachelomonas hispida* v. *crenulaticollis*  
*Trachelomonas hispida* v. *recta*  
*Trachelomonas varians*  
*Trachelomonas volvocina*  
*Trachelomonas zorensis*  
*Clautriava parva*

A Lillo le nombre de *Dinophyceae* est particulièrement important.

*Amphidinium amphidinioides*  
*Amphidinium carbunculus*  
*Amphidinium coelestinum*  
*Amphidinium coeruleum*  
*Amphidinium corallinum*  
*Amphidinium conradi*  
*Amphidinium crassum*  
*Amphidinium cyaneo-turbo*  
*Amphidinium dubium*  
*Amphidinium flexum*  
*Amphidinium glaucum*  
*Amphidinium klebsii*  
*Amphidinium lacustre*  
*Amphidinium latum*  
*Amphidinium lilloense*  
*Amphidinium macrocephalum*  
*Amphidinium mammilatum*  
*Amphidinium manannini*  
*Amphidinium operculatum*  
*Amphidinium ornithocephalum*  
*Amphidinium ovoideum*  
*Amphidinium ovum*  
*Amphidinium pellucidum*  
*Amphidinium phaeocysticola*  
*Amphidinium phtartum*  
*Amphidinium prismaticum*  
*Amphidinium psammophila*  
*Amphidinium pseudogalbanum*  
*Amphidinium purpureum*  
*Amphidinium rostratum*  
*Amphidinium salinum*  
*Amphidinium steinii*  
*Amphidinium stellatum*

*Amphidinium tortum*  
*Amphidinium trochodinioides*  
*Amphidinium vigrense*  
*Amphidinium vittatum*  
*Cochlodinium helix*  
*Entomosigma simplicius*  
*Exuviaella baltica*  
*Exuviaella marina*  
*Glenodinium danicum*  
*Glenodinium foliaceum*  
*Glenodinium gymnodinium*  
*Glenodinium lenticula* fa *minor*  
*Glenodinium mucronatum*  
*Glenodinium oculatum*  
*Glenodinium rotundum*  
*Gymnodinium achromaticum*  
*Gymnodinium aeruginosum*  
*Gymnodinium albulum*  
*Gymnodinium birotundatum*  
*Gymnodinium capitatum*  
*Gymnodinium cnodax*  
*Gymnodinium conicum*  
*Gymnodinium cyaneo-fungiforme*  
*Gymnodinium fossarum*  
*Gymnodinium fuscum*  
*Gymnodinium glandiforme*  
*Gymnodinium incoloratum*  
*Gymnodinium irregulare*  
*Gymnodinium oppressum*  
*Gymnodinium ordinatum*  
*Gymnodinium pygmaeum*  
*Gymnodinium splendens* fa *dextrogyra*  
*Gymnodinium veris*

*Gyrodinium aureum*  
*Gyrodinium bistellatum*  
*Gyrodinium calyptroglyphe*  
*Gyrodinium cohnii*  
*Gyrodinium fissum*  
*Gyrodinium lebourae*  
*Gyrodinium louisae*  
*Hemidinium nasutum*  
*Hemidinium thiophilum*  
*Massartia asymmetrica*  
*Massartia Galeata*  
*Massartia rotundata* v. *conradi*  
*Massartia thiophila*  
*Massartia uncinata*  
*Massartia minuta*  
*Massartia redekei*  
*Noctiluca miliaris*  
*Oxyrrhis marina*  
*Peridinium bipes*  
*Peridinium cinctum*  
*Peridinium claudicans*  
*Peridinium conicum*  
*Peridinium cuneatum*  
*Peridinium fimbriatum*  
*Peridinium globulus* v. *ovatum*  
*Peridinium nudum*  
*Peridinium orbiculare*  
*Peridinium pellucidum*  
*Sphaerodinium cinctum*  
*Heterocapsa triquetra*  
*Goniaulax diacantha*  
*Goniaulax spinifera*  
*Pyrodinium phoneus*

W. CONRAD a créé ainsi 27 espèces nouvelles pour Lillo. En se référant à la littérature, on trouve à Lillo 30 espèces classées comme espèces marines et 14 dulcicoles; le restant, constitué par des espèces mésohalines, peut être rangé comme saumâtre.

Sont communes à toutes les stations à Lillo : *Amphidinium conradi*, *Amphidinium operculatum* et *Massartia rotundata*.

Les espèces qui présentent une culmination temporaire et caractéristique du milieu sont assez nombreuses :

*Oxyrrhis marina*  
*Amphidinium operculatum*  
*Gymnodinium splendens*  
*Gyrodinium aureum*  
*Massartia rotundata*

*Noctiluca miliaris*  
*Glenodinium foliaceum*  
*Glenodinium lenticula fa minor*  
*Glenodinium rotundatum*

*Peridinium globulus v. ovatum*  
*Peridinium pellucidum*  
*Heterocapsa triquetra*  
*Pyrodinium phoneus*

On y compte 7 espèces psammophiles :

*Amphidinium flexum*  
*Amphidinium klebsii*  
*Amphidinium latum*

*Amphidinium manannini*  
*Amphidinium ovum*

*Amphidinium pellucidum*  
*Amphidinium psammophila*

Sept espèces sont saprophytes :

*Amphidinium carbunculus*  
*Amphidinium coeruleum*  
*Amphidinium tortum*

*Gymnodinium pygmaeum* (?)  
*Gymnodinium veris*

*Massartia thiophila*  
*Hemidinium thiophilum*

*Peridinium cinctum* est la seule espèce ubiquiste signalée à Lillo.

Espèce hivernale :

*Gymnodinium coronatum*

Espèces printanières :

*Amphidinium macrocephalum*  
*Amphidinium mammilatum*  
*Amphidinium pseudogalbanum*

Espèces surtout estivales :

*Amphidinium carbunculus*  
*Amphidinium corallinum*  
*Amphidinium prismaticum*  
*Cochlodinium helix*

*Gymnodinium glandiforme*  
*Gymnodinium incoloratum*  
*Gymnodinium irregulare*  
*Gymnodinium bistellatum*

*Gymnodinium calyptroglyphe*  
*Massartia asymetrica* (?)  
*Noctiluca miliaris*

Espèces indifférentes :

*Amphidinium lacustre*  
*Gymnodinium aeruginosum*  
*Gymnodinium fuscum*

*Hemidinium nasutum*  
*Hemidinium thiophilum*

*Glenodinium gymnodinium* (?)  
*Peridinium bipes*

#### XANTHOPHYCEAE

*Ankylonoton pyreniger*  
*Anotropis subsalina*  
*Bumileria klebsiana*  
*Characiopsis acuta*  
*Characiopsis lilloensis*  
*Characiopsis longipes*  
*Characiopsis minuta*  
*Characiopsis saccata*  
*Chloridella neglecta*  
*Chlorocloster rhapsodioides*

*Chlorocloster terrestris*  
*Chlorokardium subsalsum*  
*Chloromeson luteo-viride*  
*Chloromeson parva*  
*Gloeobotrys chlorina*  
*Helminthogloia ramosa*  
*Heterochloris mutabilis*  
*Meringosphaera brevispina*  
*Monodus amici-mei*

*Monodus dactylococcoides*  
*Monodus subsalsa*  
*Nephrochloris salina*  
*Ophiocytium parvulum*  
*Pseudotetraedron neglectum*  
*Rhizochloris lilloense*  
*Rhizochloris mirabilis v. conradi*  
*Rhizolekane campanuliformis*  
*Tribonema viride*

Espèces méso- à polyhalines :

*Anotropis subsalina*  
*Bumileria klebsiana*  
*Characiopsis acuta*  
*Characiopsis lilloensis*  
*Chloridella neglecta*  
*Chlorocloster terrestris*

*Chloromeson agile*  
*Chloromeson luteo-viride*  
*Chloromeson parva*  
*Helminthogloia ramosa*  
*Heterochloris mutabilis*  
*Meringosphaera brevispina*

*Monodus amici-mei*  
*Monodus dactylococcoides*  
*Monodus subsalsa*  
*Nephrochloris salina*  
*Rhizochloris mirabilis v. conradi*  
*Rhizolekane campanuliformis*

Espèces oligohalines à mésohalines (\* espèces halotolérantes à indifférentes) :

*Ankylonoton pyreniger*  
 \* *Characiopsis acuta*  
*Characiopsis longipes*  
*Characiopsis minuta*  
*Characiopsis saccata*  
*Chloridella neglecta*  
*Chlorobotrys polychloris*  
*Chlorocloster rhapsodioides*

*Chlorokardium subsalsum*  
 \* *Chloromeson agile*  
 \* *Chloromeson luteo-viride*  
 \* *Chloromeson parva*  
 \* *Gloeobotrys chlorina*  
*Heterochloris mutabilis*  
 \* *Monodus amici-mei*  
 \* *Monodus dactylococcoides*

\* *Nephrochloris salina*  
*Ophiocytium parvulum*  
*Pseudotetraedron neglectum*  
*Rhizochloris lilloensis*  
 \* *Rhizochloris mirabilis*  
 \* *Rhizolekane campanuliformis*  
*Tribonema viride*

#### BACILLARIOPHYCEAE

Centricae  
*Actinocyclus ehrenbergii*  
*Actinocyclus ralfsii*  
*Actinoptychus undulatus*

*Chaetoceros eibonii*  
*Coscinodiscus radiatus v. asteromphalus*  
*Coscinodiscus subtilis*

*Melosira distans*  
*Melosira nummuloides*  
*Melosira sulcata*

*Bellerochea malleus*  
*Biddulphia aurita* v. *minima*  
*Biddulphia favus*  
*Biddulphia laevis*  
*Chaetoceros ceratosporus*  
*Chaetoceros danicus*

Pennatae

*Achnanthes affinis*  
*Achnanthes brevipes*  
*Achnanthes longipes*  
*Amphiprora alata*  
*Amphora augustae*  
*Amphora commutata*  
*Amphora ostrearia* v. *belgica*

*Amphora ovalis*  
*Asterionella formosa*  
*Bacillaria paradoxa*  
*Caloneis formosa*  
*Campylodiscus clypeus*  
*Cocconeis pediculus*  
*Cocconeis placentula*  
*Cocconeis scutellum*  
*Cymatopleura elliptica*  
*Cymatopleura solea*  
*Cymbella aspera*  
*Cymbella ehrenbergii*  
*Diatoma elongatum*  
*Diatoma vulgare*  
*Diploneis didyma*  
*Encyonema prostratum*

Centricae mésohalines a et b :

*Melosira borrieri*  
*Melosira nummuloides*  
*Actinocyclus ralfsii*  
*Coscinodiscus radiatus*  
*Hyalodiscus stelliger*  
*Melosira sulcata*  
*Actinocyclus ehrenbergii*

Paraissant plus indifférentes :

*Cyclotella striata*

CHLOROPHYCEAE

Volvocales

*Asteromonas fabreae*  
*Asteromonas gracilis*  
*Asteromonas octostriata*  
*Brachiomonas simplex*  
*Brachiomonas submarina*  
*Carteria excavata*  
*Carteria massarti*  
*Carteria cuboides*  
*Carteria feldmanni*  
*Carteria klebsii*  
*Carteria marina*  
*Carteria plana*  
*Carteria salina*  
*Chlamydomonas braunii*  
*Chlamydomonas ehrenbergii*  
*Chlamydomonas gyroides*  
*Chlamydomonas impressa*  
*Chlamydomonas incurva*  
*Chlamydomonas lagenula*

*Cyclotella comta*  
*Cyclotella striata*  
*Ditylium brightwellii*  
*Eupodiscus argus*  
*Hyalodiscus stelliger*  
*Melosira borrieri*

*Encyonema ventricosum*  
*Epithemia gibba*  
*Epithemia soresx*  
*Epithemia turgida*  
*Epithemia zebra*  
*Eunotia pectinalis*  
*Fragilaria crotonensis*  
*Gomphonema acuminatum*  
*Gomphonema constrictum* v. *capitatum*  
*Grammatophora marina*  
*Grammatophora serpentina*  
*Gyrosigma acuminatum*  
*Gyrosigma attenuatum*  
*Gyrosigma balticum*  
*Meridion circulare*  
*Navicula cincta*  
*Navicula gracilis*  
*Navicula oblongum*  
*Navicula salinarum*  
*Nitzschia amphibia*  
*Nitzschia longissima* fa *parva*

Pennatae mésohalines a et b :

*Raphoneis amphicerus*  
*Synedra affinis* v. *tabulata*  
*Grammatophora serpentinae*  
*Achnanthes longipes*  
*Cocconeis scutellum*  
*Navicula salinarum*  
*Amphora angusta*  
*Amphora commutata*

*Chaetoceros ceratosporus*

*Chlamydomonas quadrilobata*  
*Chlamydomonas subcaudata*  
*Chlamydomonas kuwadae*  
*Chlamydomonas paradoxa*  
*Chlamydomonas fossalis*  
*Coccomonas elliptica*  
*Coccomonas orbicularis*  
*Conradimonas minusculus*  
*Dunaliella salina*  
*Dunaliella viridis*  
*Pandorina morum*  
*Phacotus lenticularis*  
*Polytoma uvella*  
*Pyramimonas adriaticus*  
*Pyramimonas amyliifera*  
*Pyramimonas angulata*  
*Pyramimonas cuneata*  
*Pyramimonas inconstans*

*Melosira varians*  
*Melosira westii*  
*Rhizosolenia imbricata* v. *shrubssolei*  
*Skeletonema costatum*  
*Thalassiosira baltica*

*Nitzschia longissima*  
 » v. *closterium*  
*Nitzschia palea*  
*Nitzschia sigma*  
*Nitzschia sigmoidea*  
*Nitzschia spectabilis*  
*Nitzschia tryblionella*  
*Nitzschia vermicularis*  
*Pleurosigma angulatum* fa *aestuarii*  
*Pleurosigma elongatum*  
*Pleurosigma fasciola*  
*Raphoneis amphicerus* v. *rhombica*  
*Schizonema grevillei*  
*Stauroneis phoenicenteron*  
*Surirella biseriata*  
*Surirella gemma*  
*Surirella ovalis*  
*Synedra affinis* v. *tabulata*  
*Synedra capitata*  
*Synedra pulchella*  
*Synedra ulna* v. *splendens*

*Pleurosigma angulatum* v. *aestuarii*  
*Pleurosigma fasciola*  
*Gyrosigma balticum*  
*Amphiprora alata*  
*Campylodiscus clypeus*  
*Nitzschia closterium*  
*Nitzschia longissima* v. *parva*

*Coscinodiscus subtilis*

*Pyramimonas nanella*  
*Pyramimonas obovata*  
*Pyramimonas olivacea*  
*Pyramimonas tetrahyinchus*  
*Pyramimonas torta*  
*Pyramimonas splendidissima*  
*Pyramimonas longa*  
*Pyramimonas pisum*  
*Pyramimonas inflata*  
*Pyramimonas urceolata*  
*Pyramimonas cruciata*  
*Pyramimonas tetralampas*  
*Pyramimonas minor*  
*Pyramimonas extravagans*  
*Platymonas lilloensis*  
*Scherffelia dubia* v. *major*  
*Tetrapteromonas cornellii*  
*Thorakomonas korschikoffii*

Protococcales

*Actinastrum hantzschii*  
*Ankistrodesmus falcatus* v. *mirabilis*  
*Botryococcus pusillus*  
*Characium ornithocephalum*  
*Crucigenia rectangularis*  
*Crucigenia tetrapedia*  
*Kirchneriella contorta*  
*Kirchneriella lunaris*  
*Oocystis apiculata*

*Oocystis coronata*  
*Oocystis lacustris*  
*Oocystis solitaria*  
*Oocystis submarina*  
*Pediastrum boryanum*  
*Pediastrum duplex*  
*Scenedesmus acuminatus*  
*Scenedesmus bijugatus*

*Scenedesmus dimorphus*  
*Scenedesmus hystrix*  
*Scenedesmus quadricauda*  
*Selenastrum bibrainum*  
*Selenastrum gracile*  
*Selenastrum westii*  
*Tetraedron trilobatum*  
*Pseudoraciborskia lilloensis*

Parmi les Chlorophyceae, *Oocystis submarina* est la seule espèce d'eau saumâtre rencontrée également en eau de mer. Toutes les autres sont des formes d'eau douce.

Les Protococcales n'apparaissent à Lillo qu'à partir du mois de juin, elles se développent en été et en automne. Elles se comportent par conséquent de façon tout à fait normale.

F. - KIELDRECHT. WEEL

Florule :

*Dinobryon sertularia*  
*Diatoma elongatum*  
*Fragilaria crotonensis*  
*Melosira varians*  
*Pediastrum duplex* v. *clathratum*  
*Anabaena flos-aquae*

*Aphanizomenon flos-aquae*  
*Peridinium cinctum*  
*Anabaena spiroides*  
*Ankistrodesmus falcatus*  
*Euglena acus*

*Scenedesmus quadricauda*  
*Cyclotella comta*  
*Pandorina morum*  
*Scenedesmus hystrix*  
*Navicula dicephala*

Espèce dominante :

*Dinobryon sertularia*, le IV.1953 à 93,1 %.

En d'autres mois :

*Anabaena spiroides*, 10 %; *Oscillatoria tenuis*, 90 %.

G. - MEERDONK GROTE GEULE (ST-JACOBSGAT)

Florule :

*Pediastrum tetras*  
*Scenedesmus arcuatus*  
*Scenedesmus quadricauda*  
*Staurastrum paradoxum*  
*Trachelomonas volvocina*  
*Botryococcus braunii*

*Dinobryon sertularia*  
*Synura uvella*  
*Asterionella formosa*  
*Cyclotella comta*  
*Cymbella cistula*  
*Diatoma vulgare*

*Navicula lanceolata*  
*Synedra acus*  
*Ceratium hirundinella*  
*Peridinium cinctum*  
*Anabaena spiroides*

Dominances :

*Synura uvella*, 27,94 %; *Synedra acus*, 57,35 %.

Crique (droite) *Asterionella formosa*, 51,38 %  
 Crique (gauche) *Anabaena spiroides*, 51,38 %  
*Staurastrum paradoxum*, 15,00 %

Au mois de juillet, A. CALJON (1973-1974) a observé en outre :

Formes hivernales et printanières :

*Chlamydomonas umbonata*  
*Navicula laterorostrata*  
*Gymnodinium inversum*  
*Cryptomonas ovata* v. *curvata*

*Pseudomonas pyriforme* v. *guttulaefera*  
*Chlamydomonas asymetrica*  
*Scourfieldia cordiformis*  
*Katodinium rotundatum*

*Kephyrion moniliferum*  
*Synura uvella*  
*Koliella spiculiformis*

S'observent surtout au printemps :

*Navicula cryptocephala* v. *veneta*  
*Chloromonas subdivisa*

*Navicula cryptocephala*  
*Diatoma tenue* v. *elongatum*

*Navicula peregrina*

Formes estivales et automnales :

*Euglena agilis*  
*Merismopedia minima*  
*Gymnodinium incoloratum*  
*Cyclotella meneghiniana*

*Pyramimonas grossii*  
*Monoraphidium convolutum*  
*Actinastrum hantzschii*  
*Anabaena spiroides* v. *longicellularis*

*Oocystis parva*  
*Scenedesmus granulata*  
*Scenedesmus ecornis*

Formes automnales et hivernales :

*Oscillatoria agardhii*  
*Merismopedia tenuissima*

*Scenedesmus intermedius*

*Oscillatoria limnetica*

On observe parfois (A. CALJON) un groupe intermédiaire entre les précédents, moins clairement défini entre hiver-printemps et été-automne; les organismes présentent un développement maximum au cours de la période hiver et été-automne :

<i>Rhodomonas minuta</i>	<i>Phacus pyrum</i>	<i>Monoraphidium griffithii</i>
<i>Cryptomonas ovata</i>	<i>Chroomonas salina</i>	

En outre, de petits groupements : *Euglena viridis* et *Navicula rhynchocephala*, avec un maximum au printemps et en hiver.

Un ensemble d'organismes s'observant au cours de toute l'année. C'est un groupe indifférent :

<i>Monoraphidium contortum</i>	<i>Microcystis incerta</i>	<i>Scenedesmus acuminatus</i>
<i>Gomphosphaeria pusilla</i>	<i>Monoraphidium minutum</i>	

Un groupe sans préférence pour un des ensembles signalés plus haut :

<i>Pediastrum boryanum</i>	<i>Lagerheimia wratislavensis</i>	<i>Navicula salinarum</i>
<i>Trachelomonas hispida</i>	<i>Scenedesmus granulatus</i>	<i>Navicula viridula</i>

## H. - OVERSLAG GROTE KREEK

Florule :

*Synura uvella*, *Diatoma vulgare*, *Navicula cryptocephala*.

Dominances :

*Synura uvella*, 62,5 % (avril)  
*Diatoma vulgare*, 32,5 %

## I. - WACHTEBEKE KREEK POLDER ST-ELIGIUS

Dominances :

juillet *Synura uvella*, 100 %  
avril *Synura uvella*, 100 %

## J. - ASSENEDE

### a. - Grote Geule

Florule :

<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	<i>P. Duplex v. clathratum</i>	<i>Phacus pleuronectes</i>
<i>Coelastrum microporum</i>	<i>Pediastrum tetras</i>	<i>Botryococcus braunii</i>
<i>Crucigenia quadrata</i>	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	<i>Dinobryon sertularia</i>
<i>Crucigenia rectangularis</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Diatoma vulgare</i>
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	<i>Tetrastrum muticum</i>	<i>Synedra acus</i>
<i>Pediastrum duplex</i>	<i>Euglena oxyuris</i>	<i>Beggiatoa minima</i>

Dominances :

Avril *Dinobryon sertularia*, 63,15 %; *Diatoma vulgare*, 26,31 %.  
Juillet (au Phillipinedijk) *Scenedesmus quadricauda*, 50,72 %;  
*Tetraedron muticum*, 14,49 %.  
(au Doornedijk) *Diatoma vulgare*, 60,0 %.

En 1973, le 25.01, A. CALJON a relevé les espèces énumérées ci-après :

### CYANOPHYTA

*Gomphosphaeria pusilla*  
*Merismopedia tenuissima*  
*Oscillatoria agardhii*  
*Oscillatoria limnetica*  
*Pseudoanabaena catenata*

### EUGLENOPHYTA

*Phacus pyrum*

### BACILLARIOPHYTA

*Chaetoceros muelleri*  
*Cyclotella kuetzingiana*  
*Cyclotella meneghiniana*  
*Diatoma vulgare*  
*Fragilaria construens*  
*Raphoneis amphiceros*

### CRYPTOPHYTA

*Chilomonas striata*  
*Chroomonas salina*  
*Cryptomonas ovata v. curvata*  
*Rhodomonas minuta*

### CHRYSOPHYTA

*Pseudopedinella pyriforme fa guttulaefera*

*Rhoicosphenia curvata*  
*Amphiprora alata*  
*Amphiprora paludosa*  
*Amphora lineolata*  
*Amphora ovalis v. affinis*  
*Gyrosigma acuminatum*

### DINOPHYCEAE

*Gymnodinium inversum*  
*Gymnodinium pascheri*  
*Katodinium rotundatum*  
*Peridinium lomnickii*  
*Peridinium palatinum*

*Navicula cryptocephala*  
*Navicula gracilis*  
*Navicula laterostrata*  
*Nitzschia amphibia*  
*Nitzschia capitellata*  
*Nitzschia hungarica*

DE BELGIQUE. — APPROCHES, PROGRÈS, PERSPECTIVES

*Synedra fasciculata*  
*Synedra pulchella* v. *lanceolata*

*Navicula cincta*

*Nitzschia linearis*

CHLOROPHYTA

*Chlamydomonas asymmetrica*  
*Chlamydomonas umbonata*  
*Chloromonas subdivisa*  
*Actinastrum hantzschii*  
*Chlorella vulgaris*

*Dictyosphaerium pulchellum*  
*Monoraphidium contortum*  
*Monoraphidium convolutum*  
*Monoraphidium griffithii*  
*Scenedesmus acuminatus*

*Scenedesmus quadricauda* v. *quadrispina*  
*Scenedesmus spinosus*  
*Tetraedron minimum*  
v. *apiculato-scrobiculatum*

ULMOTHRICHALES

*Koliella spiculiformis*

Au cours de toute la période 1973-1974, le même auteur a pu observer un ensemble de 198 espèces dans l'eau de la Grote Geule.

CYANOPHYTA

*Gomposphaeria pusilla*  
*Merismopedia minima*  
*Merismopedia tenuissima*  
*Microcystis incerta*  
*Anabaena affines* v. *intermedia*

*A. Spiroides* v. *longicellularis*  
*Nodularia harveyana*  
*Oscillatoria agardhii*  
*Oscillatoria limnetica*

*Oscillatoria limosa*  
*Oscillatoria tenuis*  
*Pseudoanabaena catenata*  
*Spirulina major*

EUGLENOPHYTA

*Euglena acus*  
*Euglena agilis*  
*Euglena oblonga*  
*Euglena proxima*

*Euglena viridis*  
*Phacus aenigmaticus*  
*Phacus acuminatus*  
*Phacus orbicularis*

*Phacus pleuronectes*  
*Phacus pyrum*  
*Trachelomonas hispida*

CRYPTOPHYTA

*Chilomonas striata*  
*Chroomonas salina*  
*Cryptomonas vectensis*

*Cryptomonas ovata*  
*Cryptomonas ovata* v. *curvata*

*Hemiselmis simplex*  
*Rhodomonas minuta*

DINOPHYTA

*Amphidinium klebsii*  
*Gymnodinium incoloratum*  
*Gymnodinium inversum*

*Gymnodinium pascheri*  
*Katodinium rotundatum*  
*Peridinium aciculiferum*

*Peridinium lomnickii*  
*Peridinium palatinum*

CHRYSOPHYTA

*Chrysococcus biporus*  
*Kephyrion moniliforme*

*Pseudopedinella fa guttulaefera*

*Synura uvella*

BACILLARIOPHYTA

*Chaetocera muelleri*  
*Cyclotella kuetzingiana*  
*Cyclotella meneghiniana*  
*Melosira granulata* v. *angustissima*  
*Meloris varians*  
*Stephanodiscus dubius*  
*Asterionella formosa*  
*Diatoma tenue* v. *elongatum*  
*Diatoma vulgare*  
*Fragilaria capucina*  
*Fragilaria construens*  
v. *subsalina*  
v. *venter*  
*Opephora martyi*  
*Raphoneis amphiceros*  
*Synedra acus*  
*Synedra fasciculata*  
*Synedra pulchella*  
*Synedra* v. *lanceolata*  
*Synedra ulna*  
*Eunotia praeurupta*  
*Achnanthes delicatula*  
*Achnanthes lanceolata*  
*Cocconeis placentula*  
*Rhoicosphenia curvata*  
*Amphiprora alata*

*Caloneis subsalina*  
*Caloneis ventricosa*  
*Caloneis westii*  
*Cymatopleura solea*  
*Cymbella cistula*  
*Cymbella ehrenbergii*  
*Cymbella lanceolata*  
*Diploneis didyma*  
*Epithemia sorex*  
*Epithemia turgida*  
*Epithemia zebra*  
« v. *porcellum*  
*Gomphonema angustatum*  
*Gomphonema lanceolatum*  
*Gomphonema olivaceum*  
*Gomphonema parvulum*  
« v. *subelliptica*  
*Gyrosigma acuminatum*  
*Gyrosigma attenuatum*  
*Hantzschia amphioxys*  
*Mastogloia smithii* v. *lacustris*  
*Navicula capitata*  
« v. *hungarica*  
*Navicula cincta*  
*Navicula crucicula*  
*Navicula cryptocephala* v. *veneta*

*Navicula salinarum*  
*Navicula tumida*  
*Navicula viridula*  
v. *avenacea*  
*Nitzschia amphibia*  
*Nitzschia apiculata*  
*Nitzschia capitellata*  
*Nitzschia closterium*  
*Nitzschia communis*  
*Nitzschia frustulum*  
*Nitzschia gracilis*  
*Nitzschia hungarica*  
*Nitzschia hybrida*  
*Nitzschia kuetzingiana*  
*Nitzschia microcephala*  
*Nitzschia palea*  
*Nitzschia punctata*  
*Nitzschia scalaris*  
*Nitzschia sigma* v. *rigida*  
*Nitzschia sigmoidea*  
*Nitzschia subtilis* v. *paleacea*  
*Nitzschia tryblionella*  
*Nitzschia vivax*  
*Pinnularia biceps*  
*Pinnularia borealis*  
*Pinnularia major*

*Amphiprora paludosa*  
*Amphora coffaeiformis*  
*Amphora commutata*  
*Amphora holsatica*  
*Amphora lineolata*  
*Amphora ovalis*  
 v. *affines*  
 v. *pediculus*  
*Anomoeoneis sphaerophora*  
*Bacillaria paradoxa*  
*Caloneis amphisbaena*

## PRASINOPHYTA

*Pyramimonas grossii*

## CHLOROPHYTA

*Chlamydomonas asymmetrica*  
*Chlamydomonas umbonata*  
*Chlorogonium fusiforme*  
*Chloromonas subdivisa*  
*Actinastrum hantzschii*  
*Chlorella vulgaris*  
*Crucigenia quadrata*  
*Crucigenia tetrapedia*  
*Dictyosphaerium pulchellum*  
*Lagerheimia subsalsata*

## ULOTRICHIALES

*Koliella apiculiformis*  
*Planktonema lauterbornii*  
*Ulothrix tenerrima*

*Navicula cuspidata*  
*Navicula digito-radiata*  
*Navicula gastrum*  
*Navicula gracilis*  
*Navicula laterostrata*  
*Navicula oblonga*  
*Navicula peregrina*  
*Navicula pupula*  
*Navicula pygmaea*  
*Navicula radiosa*  
*Navicula rhynchocephala*

*Scourfieldia cordiformis*

*Lagerheimia wratislavensis*  
*Monoraphidium contortum*  
*Monoraphidium convolutum*  
*Monoraphidium griffithii*  
*Monoraphidium minutum*  
*Oocystis parva*  
*Pediastrum boryanum*  
*Scenedesmus acuminatus*  
*Scenedesmus acutus*  
*Scenedesmus denticulatus*

## ZYGNEMAPHYCEAE

*Staurastrum paradoxum*

*Pinnularia stauroptera*  
*Pinnularia viridis*  
*Rhopalodia gibba*  
 « v. *ventricosa*  
*Rhopalodia musculus*  
*Stauroneis anceps*  
*Stauroneis phoenicenteron*  
*Surirella linearis*  
*Surirella ovalis*  
*Surirella ovata*  
*Surirella striatula*

v. *linearis*  
*Scenedesmus ecornis*  
*Scenedesmus granulatus*  
*Scenedesmus intermedius*  
*Scenedesmus quadricauda*  
 v. *quadrispina*  
*Scenedesmus spinosus*  
*Tetraedron hastatum*  
*T. minimum* v. *apiculato-scrobiculatum*

Nous nous trouvons ainsi, dans cette eau, devant une florule importante comprenant :

<i>Cynophyceae</i>	12 espèces, soit	6,03 %	<i>Bacillariophyceae</i>	118	59,29
<i>Euglenophyceae</i>	13	6,53	<i>Prasinophyceae</i>	2	1,00
<i>Cryptophyceae</i>	8	4,02	<i>Chophyceae</i>	29	14,57
<i>Dinophyceae</i>	9	4,52	<i>Ulotrichales</i>	3	1,50
<i>Chrysophyceae</i>	4	2,01	<i>Zygnemaphyceae</i>	1	0,50
				199	99,97

## b. - Rode Geule

En janvier 1973, A. CALJON a relevé dans la Rode Geule à Assenede :

## CYANOPHYTA

*Chroococcus minutus*  
*Merismopedia glauca*  
*Anabaena spiroides* v. *longecellularis*  
*Aphanizomenon flos-aquae*  
*Oscillatoria agardhii*  
*Oscillatoria limnetica*  
*Oscillatoria limosa*  
*Oscillatoria tenuis*  
*Pseudanabaena catenata*

## CRYPTOPHYCEAE

*Cryptomonas ovata*  
 v. *curvata*

## BACILLARIOPHYTA

*Chaetoceros muelleri*  
*Cyclotella kuetzingiana*  
*Cyclotella meneghiniana*  
*Melosira varians*  
*Asterionella formosa*  
*Fragilaria construens* v. *subsalina*  
*Synedra capitata*  
*Synedra fasciculata*  
*Synedra puchella*  
 » v. *lanceolata*

## EUGLENOPHYTA

*Euglena acus*  
*Euglena agilis*  
*Euglena proxima*  
*Euglena viridis*  
*Phacus caudatus*  
*Phacus pyrum*  
*Trachelomonas volvocina*

## CHRYSOPHYCEAE

*Kephyrion moniliferum*  
*Mallomonas acaroides*

*Campylodiscus clypeus*  
*Cymatopleura solea*  
*Cymbella cistula*  
*Cymbella ehrenbergii*  
*Epithemia sorex*  
*Epithemia turgida*  
*Epithemia zebra*  
 » v. *porcellus*  
*Gomphonema angustatum*  
*Gomphonema augur*

## DINOPHYCEAE

*Amphidinium klebsii*  
*Gymnodinium pascheri*  
*Katodinium rotundatum*  
*Peridinium aciculiferum*  
*Peridinium lomnickii*  
*Peridinium palatinum*

*Pseudopedinella pyriformis* fa *guttulaefera*  
*Synura uvella*

*Navicula pupula*  
 » v. *rectangularis*  
*Navicula radiosa*  
*Navicula rhynchocephala*  
*Navicula salinarum*  
*Navicula viridula*  
*Nitzschia amphibia*  
*Nitzschia capitellata*  
*Nitzschia frustulum*  
*Nitzschia hybrida*

*Synedra ulna*  
*Achnanthes conspicua* v. *brevestriata*  
*Achnanthes delicatula*  
*Achnanthes lanceolata*  
*Cocconeis placentula* v. *euglypta*  
*Rhoicosphenia curvata*  
*Amphiprora alata*  
*Amphiprora paludosa*  
*Amphora ovalis* v. *affinis*  
 » v. *pediculus*  
*Anomoeoneis sphaerophora*  
 » v. *sculpta*  
*Bacillaria paradoxa*  
*Caloneis amphisbaena*  
*Caloneis subsalsa*  
*Caloneis ventricosa*

*Gomphonema gracilis*  
*Gomphonema lanceolatum*  
*Gomphonema olivaceum*  
*Gomphonema parvulum*  
*Gomphonema acuminatum*  
*Gyrosigma strigilis*  
*Navicula capitata*  
 » v. *hungarica*  
*Navicula crucicula*  
*Navicula cryptocephala*  
 » v. *veneta*  
*Navicula cuspidata*  
*Navicula digito-radiata*  
*Navicula gracilis*  
*Navicula laterostrata*  
*Navicula oblonga*  
*Navicula peregrina*

*Nitzschia kuetzingiana*  
*Nitzschia palea*  
*Nitzschia sigma* v. *rigida*  
 » v. *rigidula*  
*Nitzschia sigmoidea*  
*Nitzschia tryblionella*  
*Nitzschia vitrea*  
*Nitzschia vivax*  
*Pinnularia gentilis*  
*Pinnularia major*  
*Pinnularia viridis*  
*Rhopalodia gibba*  
*Stauroneis phoenicenteron*  
*Surirella patella*  
*Surirella striatula*

PRASINOPHYTA

*Pyramimonas grossii*

*Scourfieldia cordiformis*

CHLOROPHYTA

*Chlamydomonas asymmetrica*  
*Chlamydomonas umbonata*  
*Chloromonas subdivisa*  
*Chloromonas ulla*  
*Pandorina morum*  
*Actinastrum hantzschii*  
*Chlorella vulgaris*  
*Crucigenia apiculata*

*Crucigenia quadrata*  
*Lagerheimia wratislavensis*  
*Monoraphidium contortum*  
*Monoraphidium griffithii*  
*Monoraphidium minutum*  
*Oocytis parva*  
*Pediastrum boryanum*  
*Pediastrum tetras*

*Scenedesmus acuminatus*  
*Scenedesmus acutus*  
*Scenedesmus armatus* v. *boglariensis*  
*Scenedesmus ecornis*  
*Scenedesmus granulatus*  
*Scenedesmus intermedius*  
*Scenedesmus quadricauda*  
*Tetraedron minimum* v. *apiculato-scribicularatum*

ULOTRICHALES

*Koliella spiculiformis*  
*Microthamnion kuetzingianum*

Pour tout le cycle 1973-1974, la florule devient, suivant A. CALJON :

CYANOPHYTA

*Chroococcus minutus*  
*Gomphosphaeria pusilla*  
*Merismopedia minima*  
*Merismopedia tenuissima*  
*Microcystis aeruginosa*

*Anabaena spiroides* v. *longicellularis*  
*Lyngbya martensiana*  
*Oscillatoria agardhii*  
*Oscillatoria limnetica*

*Oscillatoria limosa*  
*Oscillatoria tenuis*  
*Pseudoanabaena catenata*  
*Spirulina major*

EUGLENOPHYTA

*Colacium elongatum*  
*Euglena acus*  
*Euglena agilis*  
*Euglena deses*  
*Euglena oxyuris* v. *charkoviensis*  
*Euglena proxima*

*Euglena viridis*  
*Phacus acuminatus*  
*Phacus brevicaudatus*  
*Phacus caudatus*  
*Phacus pleuronectes*  
*Phacus pseudonordstedtii*

» v. *minuscula*  
*Phacus pyrum*  
*Trachelomonas bulla*  
*Trachelomonas hispida*  
*Trachelomonas volvocina*

CRYPTOPHYTA

*Chilomonas striata*  
*Chroomonas salina*  
*Chroomonas vectensis*

*Cryptomonas marssonii*  
*Cryptomonas ovata* v. *curvata*  
*Cryptomonas ozoleni* v. *minor*

*Hemiselmis simplex*  
*Rhodomonas minuta*

DINOPHYTA

*Amphidinium klebsii*  
*Amphidinium larvale*  
*Gymnodinium incoloratum*  
*Gymnodinium inversum*

*Gymnodinium paradoxum*  
*Gymnodinium pascheri*  
*Katodinium asymmetricum*

*Peridinium aciculiferum*  
*Peridinium lomnickii*  
*Peridinium palatinum*

CHRYSOPHYTA

*Chrysococcus biporus*  
*Kephyrion cupuliforme*

*Kephyrion moniliferum*  
*Mallomonas acaroides*

*Pseudopedinella pyriforme* f. *guttulaefera*  
*Synura uvella*

XANTHOPHYTA

*Tribonema vulgare*