

LA
BIOLOGIE DU FILTRAGE AU SABLE

PAR

Ad. KEMNA (1)

Docteur en sciences,
Directeur de la Antwerp Water Works Co.

—
Planches **IV, V, VI et VII**
—

On peut dire que les exigences pour la qualité des eaux de distribution ont toujours été les mêmes, quoiqu'elles aient beaucoup changé. Les deux termes de cette affirmation paradoxale, quoique contradictoires, sont pourtant également vrais. La condition primordiale et constante a été la pureté; mais c'est précisément la conception de pureté qui s'est graduellement modifiée, de façon à correspondre aux progrès successifs de la science.

On peut distinguer trois étapes dans cette évolution, et quoique les transitions aient été assez nettes et rapides, on rencontre encore maintenant, à l'état vivant et fonctionnellement actif, des représentants attardés de ces divers stades, de même que nous avons tous connu des géologues croyant aux cataclysmes et qu'il y a encore des médecins protestant contre les microbes.

Le premier filtre à sable a été construit en 1829 par l'ingénieur Simpson, pour la Chelsea Co de Londres. J'aurais voulu avoir le

(1) Présenté, sous forme de conférence, le 24 juin 1899.

rapport de Simpson et, à ma demande, le secrétaire de la Chelsea C^o a fouillé dans ses archives, mais sans résultat. Mais la question de l'amélioration des eaux de Londres était à l'ordre du jour, il y a plus de soixante-dix ans; une Commission royale a siégé en 1827-1828 et la Chambre des Communes avait nommé une délégation. Devant cette dernière, Simpson a déposé, le 7 juillet 1828, comme ingénieur de la Chelsea C^o. Il déclare que, depuis plusieurs années, son attention a porté sur le filtrage de l'eau, attendu que sa conviction est que la simple décantation dans des réservoirs est insuffisante pour clarifier l'eau. A la demande des administrateurs de la Société, il a parcouru plusieurs comtés d'Angleterre, notamment le Lancashire, le Lincolnshire, et a poussé jusqu'en Écosse. Il a visité plusieurs usines et des municipalités alimentées par des eaux filtrées, quelques-unes depuis plus de seize ans. A une question du président, il répond : « Je ne doute » nullement que je pourrai filtrer toute l'eau à fournir; ma Société » dispose dans ce but de plus de 4 acres (plus d'un hectare et demi) de » terrain, ce qui, à mon avis, suffit pour les besoins présents et » futurs. » Un filtre expérimental avait marché à raison de 5 $\frac{1}{2}$ mètres de colonne d'eau par vingt-quatre heures, soit environ 40 % de plus que les 2 $\frac{1}{2}$ mètres cubes, vitesse normale d'aujourd'hui.

Les résultats de la Chelsea C^o ayant été satisfaisants, les autres compagnies suivirent l'exemple qui leur était donné. Les procès-verbaux de la Lambeth C^o mentionnent qu'à la date du 25 janvier 1851, le conseil d'administration prit connaissance d'une proposition de Simpson pour établir des filtres; et le 10 février 1855, les agents de la Compagnie reçurent pour instructions de se rendre chez les abonnés et de leur laisser une circulaire annonçant que la Compagnie « avait » réussi à purifier ses eaux, lesquelles étaient maintenant fournies » dans un état qui satisfaisait tout le monde ».

Dans cette première période, la seule norme de pureté admise pratiquement, était l'aspect physique de l'eau et ses propriétés organoleptiques. Simpson ne filtrait que pour clarifier. Le mécanisme du filtrage, en d'autres mots la théorie du procédé, était évident : les particules en suspension, causes du trouble, étaient arrêtées à la surface du sable parce qu'elles étaient plus grandes que les interstices entre les grains ou ne parvenaient pas à suivre les voies sinueuses dans toute l'épaisseur de la masse de sable.

La deuxième période est caractérisée par le développement de la chimie hydrologique. La détermination de la composition chimique

des eaux a fait l'objet d'un immense labeur scientifique. On est à peu près d'accord pour les composants minéraux, sauf pour la dureté, qui s'exprime d'une demi-douzaine de façons différentes. Mais pour les « matières organiques », il y a une très grande variété de méthodes, de résultats et de modes d'expression. Cette abondance n'est pas richesse, bien au contraire, elle est une preuve de l'imperfection et de l'insuffisance de la science. Néanmoins, des chimistes ont cru pouvoir proclamer des règles, établir des maxima, que les hygiénistes ont essayé d'imposer aux hydrologues. C'est un honneur douteux pour Bruxelles que d'avoir vu, en 1885, un congrès pharmaceutique pousser à l'extrême cette tendance, heureusement sans trouver d'écho. Bien avant cette date, en fait, dès le début de la période chimique et de la constitution de l'hygiène comme un département distinct des sciences médicales, il y a eu souvent conflit; les hygiénistes dénonçaient chez les ingénieurs une appréciation insuffisante du rôle que la science doit jouer dans ces questions; et les ingénieurs, à leur tour, accusaient les hygiénistes de n'être que des théoriciens, ne tenant aucun compte des possibilités pratiques. En somme, on s'est mutuellement dit ses vérités.

Quand on applique les analyses chimiques aux eaux filtrées, on constate que les filtres auxquels on ne demandait qu'une tâche modeste, celle de clarifier, opéraient en outre une purification chimique notable; et cette action portait précisément sur les matières organiques, c'est-à-dire sur l'élément auquel les hygiénistes attachaient le plus d'importance.

Or, ces matières sont à l'état dissous; la théorie primitive de rétention mécanique ne leur est pas applicable. Mais les savants sont rarement embarrassés pour longtemps, et ils n'ont pas tardé à fournir une explication. On a rappelé que les solides à l'état pulvérulent jouissaient de la singulière propriété d'extraire de leurs solutions les matières organiques à poids moléculaire élevé; c'est sur cette propriété qu'est basé l'emploi du noir animal dans la clarification du sucre; — le noir de platine, en condensant de l'oxygène dans ses pores, peut transformer l'alcool en vinaigre; — et puis, le filtre à sable doit agir en somme comme le sol arable, auquel on doit la pureté des sources.

Tout cela semble assez plausible au premier abord. Mais en examinant de plus près, on voit que le parallèle entre le filtre à sable et le sol naturel ne peut pas être poursuivi bien avant. Le sol est un mélange intime de sable, de calcaire et d'argile, où l'argile est de loin la substance la plus absorbante, l'action du sable étant très faible, si pas nulle. En admettant que nous ayons affaire ici à des « actions de sur-

face », le degré de division de la matière est un élément important; cette division est poussée beaucoup plus loin dans la terre ordinaire que dans le sable d'un filtre. La quantité de pluie qui tombe en un an dans nos régions est d'environ 80 centimètres, soit un tiers de ce que débite un filtre en un jour. Le sol ne travaille que par intermittences et ses couches supérieures sont soumises à une aération constante; la marche d'un filtre est au contraire continue et la masse du sable est entièrement noyée. Ainsi, le filtre est composé de la substance inerte du sol, fortement surmenée et ayant à travailler dans des conditions défavorables à l'abri de l'air. Il est fort heureux que Simpson se soit fort peu préoccupé de toutes ces considérations théoriques, car nous n'aurions jamais eu le filtrage au sable.

Mais voyons un peu jusqu'où nous mène ce raisonnement; il est la démonstration scientifique de l'inefficacité du filtrage et nous fait entrer par conséquent en collision avec un fait patent, indéniable : la très grande efficacité de ce filtrage. Notre théorie est donc fautive; nous devons avoir omis un élément essentiel. Cette lacune a été comblée quand les Allemands, avec leur esprit méthodique et leur tendance scientifique, abordèrent la question, restée jusqu'à ce jour une spécialité des ingénieurs anglais.

Le troisième stade évolutif est marqué par le développement rapide de la notion de microbe et par l'intervention des considérations biologiques. Plusieurs épidémies furent reconnues, sans doute possible, comme dues à la contamination des eaux; et l'action du filtre à sable fut regardée comme une conséquence de l'activité vitale des plantes inférieures, des protozoaires et des microbes. Cet accroissement de nos connaissances se traduisit par de nouvelles exigences pour la qualité des eaux.

Les microbes devinrent très vite populaires; et comme c'est une opération très simple que d'en effectuer le dénombrement dans un centimètre cube d'eau, les bactériologistes poussèrent comme des champignons. Il y eut un moment d'affolement du public quand on lui signala qu'il avalait des milliers d'organismes dans une gorgée d'eau, et bien des braves gens se crurent morts; mais quand, après quelques jours, ils constatèrent qu'ils étaient encore vivants, leur enthousiasme du début fit place au scepticisme. C'est là la réaction inévitable contre les exagérations. Mais il ne faut pas aller trop loin en sens contraire.

C'est un fait établi que la fièvre typhoïde et le choléra se propagent par l'eau; des désastres comme le choléra de Hambourg en août 1892.

L'épidémie de fièvre typhoïde à Maidstone en septembre 1897, sont là pour l'attester. Ces expériences en grand démontrent en outre, de la façon la plus évidente, que le mal est fait uniquement par les germes nocifs spécifiques qui ont pu s'introduire dans les eaux; il faut plaindre ceux qui refusent de voir ces faits qui crèvent les yeux, mais surtout nous garder de suivre leurs conseils, quelle que puisse être leur compétence dans d'autres départements de la science. Il ressort en outre de plusieurs de ces enquêtes un enseignement important : c'est que le filtrage au sable est une protection efficace. Ce dernier fait n'est pas suffisamment apprécié à sa juste valeur par beaucoup d'ingénieurs, qui ne jurent que par les sources. Les ingénieurs français, et surtout le service des eaux de Paris, rejettent absolument le filtrage au sable, et l'année passée un de leurs chefs de bureau a passé le détroit pour expliquer par interprète aux membres de la Commission royale, combien Londres est encore arriéré! A Paris, on ne veut que des sources; mais tout ce qui sort de terre est dénommé « source » même quand ce n'est que la réapparition à ciel ouvert d'une rivière, après un cours souterrain dans du calcaire fissuré; le déficit est parfait avec de l'eau de Seine non filtrée, et un hygiéniste a pu qualifier la distribution de la Ville-Lumière, d'arrosoir à fièvre typhoïde.

Quand on filtre avec du sable pur et stérilisé, pendant les premières heures, on n'arrête que les particules flottantes d'assez grande dimension; il n'y a ni purification chimique, ni réduction bactériologique; le filtre n'exerce qu'une action purement mécanique. Après une couple de jours, il s'est formé une couche à la surface du sable et nous constatons alors que le filtre détruit les matières organiques et retient les microbes. Cette couche superficielle est formée d'algues vertes et bleues aux filaments entrelacés en une membrane feutrée; d'innombrables diatomées à la carapace siliceuse et aux enveloppes souvent gélifiées remplissent les mailles; des zooglées ou masses d'organismes microscopiques agglutinés recouvrent toutes les parcelles et le tout est criblé de microbes.

Le premier effet doit être le remplissage des interstices entre les grains de sable, assurant une meilleure rétention mécanique, dont l'action sera notablement augmentée par la nature poisseuse de cette matière de remplissage. Puis, nous avons à considérer que cette matière est un agrégat d'êtres vivants. On sait, depuis Priestley et Lavoisier, que les plantes purifient le milieu; vers le tiers du siècle actuel, Cagniard de la Tour, en France, et Schwann, en Allemagne, ont reconnu que les fermentations étaient le résultat de l'activité vitale de

micro-organismes. Nous avons donc des éléments suffisants pour expliquer les modifications chimiques de l'eau filtrée.

La diminution du nombre de microbes est considérable, des réductions de 96 à 98 % étant normales. A Anvers, avec 10.000, parfois 100.000 et même beaucoup plus dans l'eau brute, pendant des mois consécutifs l'eau filtrée est à 20 ou 30 colonies par centimètre cube. Cette réduction n'implique pas nécessairement une destruction; au contraire, il y a pullulation dans la couche supérieure du sable; il est probable que la couche glaireuse qui recouvre chaque grain de sable fixe le microbe qui vient en contact avec elle; le filtre agirait donc comme une toile d'araignée.

Cette comparaison pourrait être plus exacte qu'il ne paraît à première vue. La théorie d'une toile d'araignée a été donnée par le physicien anglais, le professeur Vernon Boys, avec des fibres de quartz d'une ténuité extrême. Ces fils, légèrement enduits d'une mince couche d'huile, présentent une succession de gouttelettes alternativement petites et grandes, comme un chapelet; les espaces entre les perles agissent sur la lumière comme un réseau et donnent un spectre de diffraction. C'est exactement le dispositif qu'on trouve aux fils circulaires d'une toile d'araignée. Ce perlé avait été considéré comme le produit du travail de l'animal et un cas remarquable d'instinct; il est tout simplement la conséquence des lois physiques sur l'équilibre moléculaire des liquides. Les expériences bien connues de Plateau nous ont appris que le cylindre n'est pas pour les liquides une forme d'équilibre et qu'il se fragmente en sphères. Les fibres de quartz et le fil d'araignée ont la propriété commune d'attraper les mouches, et cette propriété est encore une fois la conséquence d'une loi physique: la tension superficielle. Il n'est pas nécessaire que la substance soit poisseuse; pourvu qu'elle soit étalée en couche mince, elle pourra fixer les microbes.

La purification chimique par action vitale, la rétention mécanique des microbes, voilà probablement les points principaux du filtrage au sable; mais ici, comme dans tous les phénomènes naturels, il y a une grande complexité et d'autres éléments encore interviennent. La lumière, par exemple, est un microbicide énergique; les filtres ouverts, toutes choses égales d'ailleurs, valent donc mieux que les filtres voûtés; ce que la pratique a confirmé. Les plantes et les microbes maintiennent la composition moyenne de nos rivières en détruisant rapidement les matières organiques. D'après des travaux du Dr O. Strohmeyer, au laboratoire de la distribution d'eau de Hambourg, les algues vertes amèneraient rapidement la disparition des microbes, stérilisant com-

plètement parfois en moins d'un jour; les expériences semblent faites avec soin, mais la conclusion est si étonnante, qu'une confirmation ne serait pas inutile; l'oxygène libéré par la plante, à l'état naissant, pourrait expliquer le phénomène; l'ozone, qui n'agit que par l'oxygène naissant, est un stérilisant de premier ordre, dont on étudie en ce moment l'application en grand à la purification des eaux.

Si les microbes se multiplient dans la couche supérieure du sable, il n'en est pas moins possible, et il est même probable, que cette multiplication n'est pas égale pour toutes les espèces; il y a une concurrence vitale, et l'on peut parfaitement concevoir que certaines espèces, moins vivaces et plus délicates, puissent diminuer en nombre d'individus et même disparaître tout à fait. Ceci est d'une importance capitale pour l'hygiène pratique, car précisément les microbes pathogènes sont dans des conditions d'infériorité par rapport aux espèces aquatiles vulgaires; ils sont adaptés à la vie parasitaire, à un milieu très nutritif, à une température élevée, toutes conditions qu'ils ne trouvent pas dans l'eau. En outre, il résulte de recherches déjà anciennes de Miquel qu'une eau fortement polluée et puis purifiée cultive moins bien les microbes qu'une eau originellement pure; la première contamination semble avoir vacciné l'eau jusqu'à un certain point contre une contamination subséquente; l'eau du Gange, par exemple, est nettement nocive pour le microbe du choléra; de sorte que, étant données deux distributions, une d'eau de source et l'autre d'eau de rivière filtrée, une même contamination serait plus dangereuse pour la première que pour la seconde.

Dé nombreuses expériences ont été faites sur la rétention ou la destruction des microbes pathogènes par les filtres à sable; on doit écarter tout ce qui a été fait avec des filtres de laboratoire de dimensions forcément restreintes. Le filtrage au sable est une opération qui réussit très facilement en grand, qui ne donne pas de résultats en petit — à peu près comme une distillation fractionnée, la terreur des assistants de laboratoire et qui donne industriellement au premier jet, de l'alcool à 92°. A Berlin, en 1889, on a travaillé en grand; des filtres ordinaires ont reçu du choléra, de la fièvre typhoïde et un microbe aquatile, mais rare, un violacé: tous ont passé. Ces résultats indéniabiles seraient de nature à justifier tout ce qu'on pourrait dire contre le filtrage, s'ils n'étaient pas en contradiction formelle avec l'expérience des villes alimentées depuis cinquante ans d'eaux filtrées.

Le bactériologiste anglais Percy Frankland a donné une explication qui est probablement la bonne. Il s'est d'abord demandé ce qu'il faut avaler de microbes pour devenir malade; une seule bactérie pathogène

ingurgitée a peu de chances d'échapper aux nombreux phagocytes qui font pour ainsi dire la police du tube digestif ; il en sera de même pour deux, trois, dix, cent microbes isolés et pris individuellement ; certes il y aura une limite, mais elle peut être assez élevée. Mais au lieu de supposer dix microbes isolés et uniformément répartis dans un verre d'eau, supposons-les massés sur un filament quelconque, flottant dans l'eau ; chacun des phagocytes qui rencontreront ce filament sera impuissant et, au lieu de détruire, sera détruit ; grâce à leur concentration, les microbes triompheront et pourront pulluler dans l'organisme. Or, un filtrage même sommaire, retiendra sûrement ces parcelles flottantes.

Le professeur Alexandre Bain, dans son *Traité de Logique inductive et déductive*, a fait remarquer que dans le plus ordinaire des procédés industriels ou des questions d'application, il intervient plusieurs sciences, de sorte que la *science pratique* est plus difficile que la science seule ou la pratique seule. Le filtrage au sable, tel qu'on le comprend aujourd'hui, est un bon exemple de cette vérité. Il doit son existence uniquement à la hardiesse d'un homme pratique et, comme nous l'avons vu, les considérations de science, loin d'avoir présidé à sa naissance, n'auraient fait qu'entraver son apparition. Mais le manque d'esprit scientifique de certains ingénieurs anglais l'a maintenu pendant cinquante ans à l'état de procédé purement empirique. Le filtre n'était pour eux qu'un tas de sable par-dessus lequel on versait de l'eau, qu'on soutirait par le bas ; c'était le contre-maitre qui dirigeait cette opération ; il y a malheureusement encore bien des localités où les choses sont restées en cet état. Sur le continent, il en est autrement ; en Allemagne et en Hollande, l'élément scientifique est apprécié à sa juste valeur.

Une fois qu'il était établi que des êtres vivants jouaient le principal rôle dans le filtrage, il semblerait qu'on eût dû aussitôt se demander quels étaient ces organismes. Pendant plus de dix ans, personne n'a répondu à cette question. On peut s'expliquer ce silence quand on songe que la question est du domaine tout à fait spécial de la botanique et de la zoologie. Or, les biologistes avaient fort à faire à compléter le catalogue des êtres et à scruter leur organisation et leur développement. Aucun d'eux n'a songé à entreprendre un travail en somme fastidieux et sans grande portée théorique.

Si à la fin ce travail a été commencé, on le doit à l'épidémie de choléra de Hambourg. Cette épidémie, à Hambourg et dans quelques

autres villes, a fait 10.000 victimes, le tiers de ce que coûte une grande bataille. Sous l'influence de la peur qu'elle a causée, on a pu faire en six semaines plus d'hygiène pratique qu'autrement en six mois. Le laboratoire de Hambourg pour l'étude scientifique du filtrage au sable sera une excellente institution. La voie a été ouverte par le bureau d'hygiène de l'État de Massachusetts; les stations zoologiques d'eau douce méritent également une mention; la première en date est celle fondée par Zacharias en 1892, près du lac de Plön, dans le Holstein; récemment le professeur Birge a commencé en Amérique pour le lac Mendota; les administrateurs de la distribution d'eau de Brooklyn ont créé à Mount Prospect un laboratoire biologique sous la direction de Whipple.

Le travail préliminaire à Hambourg a consisté à suivre pendant une année les variations de la flore des Algues; on a négligé les plantes supérieures qui, du reste, n'ont jamais le temps de se développer. Chaque fois qu'un filtre était nettoyé, la pellicule était examinée au microscope.

Les Algues peuvent être considérées comme des plantes unicellulaires; la substance vivante est une petite masse nucléée de protoplasme, dans une membrane de cellulose, dont les couches extérieures sont souvent gélifiées. Le protoplasme renferme des inclusions colorées et parfois de forme constante chez une même espèce; la couleur est verte, brune ou bleu verdâtre. On sait que ce protoplasme coloré a le pouvoir d'utiliser l'énergie des radiations solaires pour décomposer l'acide carbonique, l'eau et les composés azotés inorganiques pour en faire de nouveau de la matière organique; il y a libération d'oxygène.

A strictement parler, un grand nombre d'Algues sont composées de plus d'une cellule; mais toutes ces cellules sont semblables; il n'y a pas de spécialisation de fonctions. Les cellules sont réunies pour constituer des filaments, des masses aplaties ou sphériques, parfois même pour constituer un organisme simulant une tige, des branches et des feuilles.

La classification la plus pratique pour notre usage peut se baser sur la couleur. Les Algues bleues représentent le type inférieur d'organisation, la présence ou l'absence d'un noyau cellulaire étant encore une question controversée. Les Algues vertes commencent également par des formes très simples, mais vont beaucoup plus haut par les termes supérieurs de la série. Les Algues brunes, ou diatomées, constituent un groupe à part, caractérisé par une enveloppe siliceuse composée de deux moitiés, comme une boîte de carton avec son couvercle.

Outre les Algues qui constituent la pellicule filtrante sur le sable, il y a lieu de tenir compte des Algues flottantes. Elles doivent leur diminution de densité à des gouttelettes d'huile qui farcissent le protoplasme ou à des bulles de gaz. Les Algues du fond montent aussi parfois à la surface, lorsqu'une nutrition énergique dégage beaucoup d'oxygène qui s'accumule dans les paquets formés de filaments entrelacés. Ce fait accidentel a pourtant une assez grande importance pratique, car la montée de ces paquets, se produisant simultanément sur de grandes étendues, dénude le sable, et les microbes passent. On doit, aussitôt qu'on constate l'apparition de ces masses flottantes et une augmentation spontanée du débit du filtre, réduire ce débit et traiter le filtre comme un filtre neuf.

Les espèces normalement flottantes, constituant ce que l'on nomme le « plankton », finissent par mourir et s'accumulent alors sur le sable. Une espèce peut apparaître en énorme quantité, comme d'épais nuages, colorant l'eau. Il en résulte d'abord une obstruction rapide du filtre, forçant à des nettoyages plus fréquents et diminuant par conséquent le débit général de l'installation, précisément aux époques de grande chaleur où la consommation est maximum. Il est clair aussi que le passage préalable de l'eau à travers une couche de végétaux morts ne peut qu'influer défavorablement sur la composition chimique. Enfin, plusieurs de ces espèces du plankton sont fortement odorantes, même à l'état vivant, et causent ainsi de très graves inconvénients.

Cette question des odeurs des eaux a été soigneusement étudiée en Amérique, et l'on en trouvera un excellent résumé dans l'ouvrage récent de Whipple, sur la microscopie des eaux potables. Chaque espèce a son odeur particulière, et avec un peu d'habitude on peut prédire par l'odeur quelle sera l'espèce dominante. Parmi les Algues bleues, *Anabaena* vient en première ligne. En traitant des cultures par la gazoline, Jackson et Ellms ont pu extraire le principe odorant, qui est une huile essentielle, se résinifiant facilement à l'air; l'odeur est herbacée et terreuse, mais devient repoussante quand la plante se décompose. Une diatomée flottante composée de quelques cellules grêles groupées en étoile, d'où le nom générique de *Asterionella*, est très fréquente dans les distributions d'eau non filtrée en Amérique; elle donne une odeur aromatique rappelant le géranium, qui devient une odeur de poisson à la décomposition. Deux espèces de Flagellés, *Uroglena* et *Synura*, jouissent aussi d'une détestable réputation: la première à cause de son odeur d'huile de poisson; la seconde ayant l'odeur vireuse des cucurbitacées et nettement perceptible, avec cinq à dix colonies par centimètre cube.

Lorsque les Algues bleues se décomposent, la matière colorante est plus ou moins libérée, et il se forme à la surface de l'eau une écume bleu verdâtre, comme de la couleur à l'huile. L'été de 1896 a amené un développement extraordinaire d'*Anabaena* et plusieurs fossés de l'enceinte d'Anvers étaient entièrement recouverts de cette écume, dont l'odeur incommodait les gens vivant à proximité.

On a trouvé à Hambourg une certaine régularité dans la nature des plantes constituant la couche filtrante. En hiver, les Diatomées sont pour ainsi dire seules ; il y a beaucoup moins d'espèces qu'en été, mais quelques-unes sont en nombre immense. Les Algues vertes se montrent au début du printemps et acquièrent leur maximum de développement vers le milieu de l'été ; on n'en trouve que très peu en hiver. Les Algues bleues se montrent surtout vers la fin de l'été et se maintiennent une partie de l'automne. Mais constamment, à toutes les époques, il y a des diatomées, et ce sont elles qui sont par conséquent l'élément efficace par excellence des filtres à sable.

Je puis confirmer cette conclusion dans ses grandes lignes. A Waelhem (station de filtration de la distribution d'eau d'Anvers), chaque filtre nettoyé a sa pellicule soumise à un examen microscopique ; on fait une demi-douzaine de préparations en portant directement sur la lamelle le raclage de la surface ; la séparation avec le sable par agitation avec de l'eau peut fausser les résultats ; les formes filamenteuses ou très collantes ne sont pas suffisamment mises en évidence par cette méthode. Je n'ai pas cru nécessaire de compter le nombre réel des formes ; les méthodes longues et pénibles appliquées par Hensen, de Kiel, pour le plankton de l'Océan, par Zacharias en Allemagne, Sedgwick et Rafter en Amérique, peuvent avoir une utilité relative pour les formes flottantes ; mais ici les chiffres n'auraient plus aucune signification, puisque nous avons les organismes accumulés, soustraits à toute la masse de l'eau qui a passé par ce filtre. Je me suis arrêté à une approximation assez grossière ; je représente par 40 le total des organismes constituant la couche filtrante et puis chaque genre a dans ce total sa part proportionnelle. Par exemple :

<i>Melosira varians</i>	5
<i>Fragilaria capucina</i>	4
<i>Spirogyra</i>	1
(<i>S. tenuissima</i> dominant)	

signifie qu'environ la moitié de la couche est formée de *Melosira*, puis il y a un peu moins de *Fragilaria* et à peu près 10% de divers

Spirogyra, surtout *S. tenuissima*. Les résultats auxquels arrivent pour un même filtre divers observateurs, sont suffisamment concordants.

Outre les formes dominantes, on signale aussi comme formes accessoires celles qui, sans être en quantité suffisante pour pouvoir participer au total 10, sont cependant suffisamment nombreuses pour pouvoir être mentionnées; une forme, accessoire pendant quelque temps, peut devenir par la suite une forme dominante. Tel est, par exemple, le cas pour la diatomée *Synedra*, tout au plus accessoire pour les filtres nettoyés en avril, et qui, dans les filtres nettoyés vers le milieu du mois de mai, est devenue forme dominante avec la quote-part 3.

Enfin, on mentionne encore les raretés et les formes intéressantes à un titre quelconque, les divers événements biologiques qu'on a pu observer dans ce filtre pendant toute sa marche, et l'on donne une description de l'état physique de la pellicule.

Strohmeier fait observer avec raison que la masse d'Algues qu'on trouve sur le sable quand le filtre est mis à sec, est si considérable, que depuis longtemps il semblerait que l'eau ne pouvait plus passer. Il attribue une grande importance pratique à une formation modérée de gaz, qui maintient les filaments dressés dans l'eau, alors que couchés, ils obstrueraient le filtre. En outre, l'eau, ayant passé à travers ce gazon, abandonne aux tiges gélatineuses une bonne partie des plus fins éléments en suspension; il y a donc là un dégrossissage préliminaire qui sauve le filtre et prolonge sa durée. Cette influence est surtout marquée quand on a la chance d'avoir une végétation d'*Hydrodictyon*, une Algue verte dont les cellules allongées forment des mailles pentagonales; j'ai vu des filtres entièrement couverts d'une couche de 15 centimètres, que les ouvriers roulaient comme un tapis.

Tous les filtres mis en marche depuis janvier et qui ont commencé à être nettoyés en mars avaient une composition identique; les diatomées agrégées en longs filaments, *Melosira* et *Fragilaria*, constituaient presque exclusivement la couche filtrante. Deux ou trois fois, il-y avait intervention de *Spirogyra* et, dans ce cas, la couche était notablement plus feutrée et cohérente; dans les cas où *Synedra*, une forme isolée, intervenait dans une proportion notable, la couche était très mince, sans cohésion, et l'on ne pouvait en prélever une partie pour l'examen microscopique sans avoir en même temps des grains de sable sur la lame de verre. Les diverses allures des couches s'accordent donc parfaitement avec leur composition biologique.

Les modifications de la flore, qui mettent en évidence successivement les Algues brunes, vertes et bleues, sont la conséquence des

saisons. Aux époques de transition, j'ai souvent constaté, sans cause apparente, un plus grand nombre de microbes dans l'eau filtrée ; je me demande si le changement de flore ne peut pas être cette cause. Quand les conditions climatiques deviennent défavorables pour la flore existante, il en résulte un arrêt, à la fois dans le développement et dans toute l'activité vitale ; si maintenant les nouvelles formes saisonnières ne pullulent pas aussitôt, il y a une espèce d'interregne, une période transitoire d'activité réduite. A cette cause probable, mais difficile à démontrer en fait, vient maintenant se surajouter la modification de la flore bactériologique elle-même ; les espèces dominantes d'été ne sont pas les mêmes que celles d'hiver ; chaque groupe apparaît souvent par poussée, et puis il semble que le filtre soit comme vacciné contre ce microbe spécial.

Il résulte de cet exposé que, malgré quelques inconvénients, les Algues sont un auxiliaire des plus précieux pour le filtrage. Le règne animal s'impose également à l'attention, mais avec lui, le bien est minime.

On a accusé l'éponge d'eau douce (*Spongilla*) d'avoir corrompu les eaux de plusieurs distributions en Amérique. Comme toutes les formes fixées et se nourrissant des matières en suspension appelées par un courant ciliaire, les éponges peuvent agir comme agent de clarification ; mais en revanche, lorsqu'elles se décomposent, il y a naturellement pollution. Il semble toutefois que la Spongille ait été accusée à tort et que la vraie cause du mal était le Flagellé *Synura*.

Une autre forme fixée est le groupe des Bryozoaires d'eau douce ; ils affectionnent, pour fixer leurs tubes cornés entrelacés, tout ce qui est fer ; j'ai eu un tuyau de 24 pouces de diamètre (0^m,60), entièrement recouvert à l'intérieur d'une couche de 15 centimètres ; le débit de ce tuyau était considérablement réduit et l'eau était fortement polluée. Je me suis débarrassé de ces hôtes incommodes en faisant passer un courant de vapeur et puis un fort courant d'eau ; environ 200 mètres de ce tuyau ont fourni deux charretées de Bryozoaires.

A Rotterdam, toute la canalisation a été, en 1887, infestée par une Algue inférieure, brune par dépôt de fer dans la gaine externe, le fameux *Crenothrix* ; le hotaniste Hugo de Vries, chargé de faire une étude, a trouvé que tous les aqueducs et réservoirs étaient tapissés d'animaux fixés, et décrit en termes enthousiastes la richesse de cette faune et la beauté des exemplaires ; ce gazon animé se nourrissait des débris d'une infinité de petits crustacés xylophages, c'est-à-dire

mangeurs de bois, qui rongeaient la tête des pilotis supportant toutes les constructions. Quant au *Crenothrix* lui-même, il était apporté avec les eaux d'infiltration du sous-sol dans les réservoirs non étanches et se multipliait, grâce à la teneur élevée de l'eau en matières organiques. A Berlin, en 1877, le même cas s'est présenté, des kilomètres de tuyaux étaient bouchés par la végétation de *Crenothrix*. Dans tous ces cas, un bon filtrage fait disparaître l'inconvénient en enlevant aux animaux de quoi se nourrir.

Les organismes fixés, plantes ou animaux, ne peuvent pas causer directement des inconvénients majeurs. Leur extension est limitée à un seul plan; les parois du réservoir, même en les supposant entièrement recouvertes, n'ont qu'une influence assez faible sur la masse d'eau. Mais les organismes flottants peuvent occuper les trois dimensions de l'espace et envahir le cube d'eau tout entier. Toutes les espèces mentionnées comme pouvant communiquer une odeur à l'eau, sont des formes flottantes.

Dans un embranchement plus élevé du règne animal, l'embranchement des crustacés, le groupe nageur des Cladocères constitue un élément important du limnoplankton, ou faune flottante des eaux douces.

La forme la plus commune est *Daphnia*; un repli de la peau enveloppe latéralement l'animal, comme la coquille d'un mollusque bivalve; la deuxième paire d'antennes est énormément développée et sert de rames. Il y en a plusieurs genres et j'en ai une assez belle collection; je puis certainement doubler le nombre d'espèces renseigné dans la *Faune de Belgique* par Lameere.

Les Cladocères deviennent nombreux au printemps, mais on ne trouve que des femelles. Chaque individu forme un certain nombre d'œufs, qui se développent dans une poche incubatrice dorsale, sans fécondation préalable; c'est donc un cas de parthénogénèse. Comme les générations agames se succèdent rapidement, on comprend que le nombre des individus s'accroisse; ils infestent les réservoirs de décantation, les filtres; on voit de gros nuages se mouvoir dans l'eau. Leurs cadavres recouvrent le sable et la couche filtrante est impuissante pour détruire toute la matière organique qui entre en dissolution. C'est d'ordinaire en juin que se produit cette pullulation; en 1898, le printemps et le commencement de l'été ayant été très froids, les crustacés ne sont devenus un peu nombreux qu'en août. En 1896, leur développement a été absolument extraordinaire; j'ai été forcé de tamiser toute l'eau allant aux filtres en la faisant passer par des écrans de toile

métallique et pendant plusieurs semaines, nuit et jour, il a fallu six hommes pour changer constamment les écrans; j'évalue à 10 tonnes (10.000 kilogr.) au moins, la quantité de crustacés ainsi enlevés.

A mesure que la saison avance, on voit apparaître les mâles en petit nombre et les femelles ne produisent plus que deux œufs, mais de dimensions plus grandes, qui s'entourent d'une coque formée par la cavité incubatrice; cette coque a quelque peu l'aspect d'une selle, ce qui lui a valu le nom d'*éhippium*. Ce sont les œufs d'hiver qui doivent être fécondés et qui ne se développeront qu'au printemps suivant. Quand nous voyons apparaître les œufs d'hiver, nous savons que c'est le commencement de la fin. Les éhippies flottantes sont poussées par le vent dans un coin du filtre; on les enlève au filet et on les transporte sur les champs dans une brouette.

Deux insectes sont parfois gênants dans les filtres. L'un est un petit moustique, *Chironomus*, avec une larve aquatique rouge sanguin; cette larve se construit un tube avec des grains de sable. Ces tubes sont parfois si nombreux, que la surface du filtre, au lieu d'être unie et lisse, est comme chagrinée. Tant que la larve reste dans son tube, le filtre travaille convenablement; mais quand elle doit se métamorphoser, elle quitte le fond pour venir à la surface et comme les tubes restent béants, la surface filtrante présente l'aspect d'une écumoire. Après une dizaine de jours de fonctionnement, le filtre se met soudain à débiter plus d'eau. Mais alors, les hirondelles viennent tournoyer au-dessus de ce filtre pour prendre les insectes ailés et servent d'indicateurs; on n'attend pas les trois jours nécessaires pour les cultures de microbes sur plaque et le filtre est immédiatement fermé. Les œufs du Chironome sont groupés dans un cordon gélatineux et parfois la paroi du filtre, à la hauteur du niveau de l'eau, est entièrement garni de ces cordons.

Le second insecte est un hémiptère, *Corixa*, voisin du genre bien connu *Notonecta*. Dans l'espèce la plus commune, *C. striata*, les trois paires de pattes sont très différentes. La paire antérieure est assez courte, épaisse et courbée en dedans; la paire moyenne est au contraire longue, grêle et pendante; et la paire postérieure, dirigée en arrière, garnie de soies sur un de ses bords, sert de puissant organe natatoire. Dans un grand bocal, aussitôt que brille le soleil, on voit les *Corixa* se mettre au travail; ils plongent jusqu'à la couche de végétaux et de détritux qui s'est accumulée au fond, en saisissent une certaine quantité avec la deuxième paire grêle et remontent lentement, en fouillant leur prise avec les membres antérieurs, puis la laissent retomber pour aller cueillir une nouvelle provision. Avec trois ou quatre

individus, en une demi-heure, tout le fond est remué et l'eau, primitivement claire, entièrement trouble. Toutefois, dans les filtres, les *Corixa* ne sont pas assez nombreux pour devenir un ennui sérieux.

Il reste encore à mentionner, dans cette ménagerie particulière de l'ingénieur des eaux, deux espèces de poissons : l'anguille et l'épinoche.

A plusieurs reprises, on a vu, en ouvrant un robinet domestique, sortir une anguille. Le cas s'est présenté à Londres il y a quelques années, et tous les journaux s'en sont occupés. A première vue, il semble impossible d'expliquer la présence d'un animal de cette taille, autrement que par l'introduction d'eau de rivière directement dans la canalisation et sans passage préalable par les filtres. Seulement, le cas s'est produit dans des installations où il n'y avait aucune communication directe de ce genre et où par conséquent une telle introduction d'eau était une impossibilité matérielle. La chose peut s'expliquer aisément quand on tient compte des mœurs de l'animal. C'est un fait connu que l'anguille peut sortir de l'eau et accomplir des voyages à l'air; les jeunes anguilles montent sur des surfaces verticales de plusieurs pieds de hauteur, surtout quand une mince nappe d'eau coule le long de la paroi. Beaucoup de filtres ont des tuyaux à l'air libre communiquant avec le gravier du fond et munis d'un flotteur pour indiquer le niveau de l'eau sous le sable et par conséquent la perte de charge due au filtrage; comme il est indispensable de laisser se perdre les premières eaux d'un filtre nouvellement nettoyé, il faut un tuyau menant vers un réservoir autre que celui d'eau pure; même quand ce tuyau débouche au-dessus du niveau de l'eau dans ce réservoir, l'anguille peut s'élever le long de la paroi externe et s'introduire ainsi dans les caniveaux sous le gravier et de là gagner la canalisation de distribution. Tous les débouchés de ce genre doivent être soigneusement protégés par des chapeaux en toile métallique.

A l'usine de Waelhem, l'eau des bassins de prise est levée par des vis d'Archimède pour être versée sur les filtres; dans le bac où débouche en haut la vis, il y a un écran en toile métallique assez serrée. Le lundi 24 mai 1899, une de ces vis cassa, et il fallut mettre en marche une pompe centrifuge; la disposition du tuyau de décharge de cette pompe est telle qu'il faut enlever l'écran du bac. Les analyses bactériologiques de ce jour donnaient pour les filtres nos 5, 7 et 8, respectivement 14, 54 et 52 colonies par centimètre cube. Le lendemain, ces mêmes filtres donnent 258, 292 et 242; le surlendemain, les résultats sont redevenus normaux.

Le filtre n° 7 fut nettoyé le jeudi 27 mai. On constata que la surface présentait en certains endroits des perforations nombreuses, assez régulièrement distribuées autour d'un centre occupé par un grand trou de plusieurs centimètres de longueur. Il y avait une vingtaine de ces constellations, occupant une surface totale de 12 mètres carrés environ. Le directeur du filtrage crut d'abord que l'air ayant pu s'introduire sous le sable, avait, en s'échappant, formé ces petits cratères, et des observations furent faites aux ouvriers qui auraient été coupables de négligence en ne signalant pas une baisse trop forte de l'eau; toutefois les ouvriers protestaient de leur innocence.

Le mardi 2 mai, ce fut au tour du filtre n° 8 d'être nettoyé et l'on y trouva une centaine de ces constellations. Un examen attentif fit découvrir que dans le trou central de chacune d'elles, sous une couverture d'algues, de brindilles et de petites pierres, il y avait une masse d'œufs: c'était un nid d'épinoche (*Gasterosteus aculeatus*). (Voir planche VII.)

Le filtre n° 4, nettoyé le 4 mai, présentait le même caractère, mais moins marqué.

L'enlèvement des écrans a permis aux épinoches d'arriver sur les filtres. On sait que le mâle construit un nid et prend soin des jeunes, comme c'est du reste la règle générale chez les vertébrés inférieurs. Quand il a fait choix d'un emplacement, il y creuse un trou qu'il garnit de brindilles; c'est probablement en cherchant ses matériaux de construction qu'il fore les nombreux trous qui entourent sa demeure et qui sont tous obliques en dehors et en bas.

Un grand nombre d'autres faits curieux pourraient être cités, car le sujet de la biologie du filtrage est coextensif avec la zoologie et la botanique des eaux douces et avec une bonne partie de la bactériologie; mais je me suis borné aux points les plus intéressants, et une fois de plus je me permets d'insister sur le caractère scientifique de ces études et sur leur importance pratique.

NOTES ADDITIONNELLES

(séance du mardi 17 octobre 1899).

Filtrage au sable en France. — Il y a une dizaine d'années, M. l'ingénieur Noël a installé des filtres à sable et des purificateurs Anderson par le fer métallique pour la ville de Libourne. Peu de temps après, sur l'initiative de M. Boutan, ingénieur de la Compagnie générale des eaux, on installait à Boulogne-sur-Seine, puis à Choisy-le-Roi, le même système pour la banlieue de Paris. Ces essais ont été suivis, quant aux résultats bactériologiques, par M. Miquel, dont on connaît la compétence. Il paraît que la ville de Paris elle-même a décidé de recourir au filtrage au sable. Avec l'épandage appliqué depuis quelques mois à la totalité des eaux d'égout, ce qui arrête radicalement la pollution de la Seine, la capitale de la France n'aura désormais plus à craindre la comparaison au point de vue de l'hygiène avec les autres grandes villes, — bien entendu si le filtrage est appliqué convenablement et consciencieusement.

II. *Variations de composition de la couche filtrante.* — Depuis fin mars jusque fin septembre 1899, tous les filtres nettoyés à l'établissement de Waelhem, au nombre de 90, ont été examinés au point de vue de la composition biologique de la couche supérieure. Les résultats sont tabulés ci-dessous.

La première colonne donne le numéro d'ordre du filtre; la deuxième la date de mise en marche et celle du nettoyage; les autres colonnes donnent la composition de la couche supérieure, d'après la méthode d'évaluation qui a été expliquée; la dernière fournit des observations d'ordre généralement zoologique.

Avant de passer à l'étude de ce tableau, nous devons faire plusieurs remarques préliminaires.

Il n'est tenu compte que des formes dites dominantes, c'est-à-dire de celles qui sont en nombre suffisamment considérable pour pouvoir être considérées comme jouant le rôle prépondérant dans la filtration.

On comprend que la couche supérieure, qui a arrêté tout ce qu'il y avait dans la masse relativement énorme d'eau filtrée, contienne autre

Tableau montrant les variations de composition de la couche filtrante du 1^{er} avril au 30 septembre 1899.

No des filtres.	PÉRIODES D'ACTION.	No des filtres.										OBSERVATIONS.
		<i>Fragilaria.</i>	<i>Melosira.</i>	<i>Synedra.</i>	<i>Cyclotella.</i>	<i>Asterionella.</i>	<i>Navicula.</i>	<i>Coscinodiscus.</i>	<i>Oscillariées.</i>	<i>Protococcus, etc.</i>	<i>Spirogyra.</i>	
1	29 janvier - 27 mars	4	4	2	»	»	»	»	»	»	»	
7	4 février - 3 avril	4	»	2	»	»	»	»	»	»	4	Rares exemplaires de <i>Daphnia longispina</i> .
8	7 février - 10 avril	5	3	»	»	»	»	»	»	»	2	<i>Cyclopsina castor</i> assez nombreux; larves et chrysalides de <i>Chironomus</i> .
6	19 février - 15 avril	4	5	»	»	»	»	»	»	»	1	
3	23 février - 17 avril	4	4	»	»	»	»	»	»	»	2	
5	1 ^{er} mars - 17 avril	3	4	»	»	»	»	»	»	»	3	
4	15 mars - 19 avril	4	5	»	»	»	»	»	»	»	1	Quelques <i>Corixa striata</i> .
2	12 mars - 21 avril	4	4	»	»	»	»	»	»	»	2	Nombreux filaments d'un <i>Nostoc</i> (?)
1	28 mars - 25 avril	3	6	»	»	»	»	»	»	»	1	
7	5 avril - 27 avril	3	5	1	»	»	»	»	»	»	1	Épinoches.
8	12 avril - 2 mai	3	6	1	»	»	»	»	»	»	»	Épinoches.
3	18 avril - 4 mai	3	6	1	»	»	»	»	»	»	»	Épinoches; un nid avait affecté, par 336 trous, une surface de 1 ^m ,10 × 1 ^m ,40. Algues vertes totalement absentes. — <i>Bosmina</i> .
5	19 avril - 6 mai	3	5	1	1	»	»	»	»	»	»	
6	16 avril - 8 mai	1	6	3	»	»	»	»	»	»	»	
4	21 avril - 9 mai	1	5	4	»	»	»	»	»	»	»	
2	26 avril - 11 mai	3	5	2	»	»	»	»	»	»	»	
7	28 avril - 13 mai	1	2	2	5	»	»	»	»	»	»	<i>Gammarus pulex</i> en quantité.
1	26 avril - 15 mai	3	6	1	»	»	»	»	»	»	»	<i>Gammarus pulex</i> en quantité.
8	3 mai - 16 mai	1	2	1	6	»	»	»	»	»	»	<i>Gammarus pulex</i> en quantité. — <i>Daphnia</i> avec œufs d'été.
2	26 avril - 16 mai	2	2	1	5	»	»	»	»	»	»	Mis à sec, les 10-11 mai.
3	4 mai - 17 mai	1	1	2	6	»	»	»	»	»	»	
4	10 mai - 18 mai	»	»	1	9	»	»	»	»	»	»	
5	7 mai - 18 mai	»	1/2	1/2	9	»	»	»	»	»	»	
6	9 mai - 19 mai	»	»	1/2	9	1/2	»	»	»	»	»	
1	26 avril - 20 mai	1	1	1	7	»	»	»	»	»	»	Mis à sec, les 14-15 et 19 mai.
7	14 mai - 24 mai	»	»	1/2	9	1/2	»	»	»	»	»	<i>Cyclops</i> nombreux.
3	17 mai - 25 mai	»	»	1/2	9	1/2	»	»	»	»	»	
8	17 mai - 27 mai	»	»	1/2	9	»	1/2	»	»	»	»	
4	19 mai - 29 mai	»	»	1	9	»	»	»	»	»	»	
6	20 mai - 31 mai	»	»	1	9	»	»	»	»	»	»	
5	19 mai - 1 ^{er} juin	»	»	1	9	»	»	»	»	»	»	
2	18 mai - 2 juin	»	»	1	9	»	»	»	»	»	»	
1	21 mai - 3 juin	»	»	1/2	9	1/2	»	»	»	»	»	
7	25 mai - 5 juin	»	»	2	8	»	»	»	»	»	»	<i>Daphnia</i> nombreux. — <i>Argulus</i> sur alevins d'éperlans.
3	27 mai - 6 juin	»	2	2	6	»	»	»	»	»	»	
8	28 mai - 8 juin	»	»	1	9	»	»	»	»	»	»	
4	30 mai - 9 juin	»	2	1	7	»	»	»	»	»	»	
6	1 ^{er} juin - 10 juin	»	2	1	7	»	»	»	»	»	»	<i>D. longispina</i> et <i>B. longirostris</i> nombreux.
5	2 juin - 12 juin	»	»	1	9	»	»	»	»	»	»	<i>D. longispina</i> et <i>B. longirostris</i> nombreux.

Tableau montrant les variations de composition de la couche filtrante du 1^{er} avril au 30 septembre 1899 (suite).

N ^o des filtres.	PÉRIODES D'ACTION.	<i>Fragilaria.</i>	<i>Melosira.</i>	<i>Synedra.</i>	<i>Cyclotella.</i>	<i>Asterionella.</i>	<i>Navicula.</i>	<i>Coccinadiscus.</i>	<i>Oscillariées.</i>	<i>Protococcus, etc.</i>	<i>Spirogyra.</i>	OBSERVATIONS.
2	3 juin - 13 juin	»	»	1	9	»	»	»	»	»	»	
1	4 juin - 14 juin	»	»	1	9	»	»	»	»	»	»	
3	7 juin - 15 juin	»	»	»	10	»	»	»	»	»	»	
7	5 juin - 17 juin	»	»	2	5	»	»	»	3	»	»	
4	10 juin - 24 juin.	»	»	»	8	»	»	»	2	»	»	<i>Chironomus plumosus</i> nombreux.
5	13 juin - 24 juin.	»	»	»	8	»	»	»	2	»	»	
8	9 juin - 26 juin	»	»	»	5	»	»	»	5	»	»	
6	11 juin - 27 juin.	»	»	»	8	»	»	»	2	»	»	
2	16 juin - 28 juin.	»	»	»	8	»	»	»	2	»	»	
3	16 juin - 29 juin.	»	»	»	4	»	»	»	»	6	»	
7	18 juin - 3 juillet	»	»	»	2	»	»	»	4	4	»	
1	18 juin - 5 juillet	»	»	»	2	»	»	»	4	4	»	
4	24 juin - 6 juillet	»	»	5	3	»	»	»	»	2	»	
8	27 juin - 10 juillet.	1	»	2	1	»	»	»	6	»	»	<i>Aphanizomenon</i> et <i>Anabaena</i> flottants.
5	25 juin - 13 juillet.	2	3	»	»	»	»	»	5	»	»	
3	30 juin - 15 juillet.	1	»	6	»	»	»	»	3	»	»	
2	29 juin - 18 juillet.	1	»	4	»	»	»	»	5	»	»	<i>Leptodora hyalina.</i>
1	6 juillet - 24 juillet	2	5	1 1/2	»	»	»	»	1 1/2	»	»	Jaunes colonies d' <i>Hydrodictyon</i> ; <i>Cristatella.</i>
7	4 juillet - 24 juillet	2	8	»	»	»	»	»	»	»	»	Nombreuses éphippies de <i>Daphnia.</i>
6	28 juin - 25 juillet.	1/2	9	»	»	»	»	»	1/2	»	»	
4	7 juillet - 28 juillet	»	9	1/2	»	»	1/2	»	»	»	»	
2	19 juillet - 31 juillet.	»	1	1	8	»	»	»	»	»	»	
3	16 juillet - 1 ^{er} août.	»	1	1	8	»	»	»	»	»	»	
6	26 juillet - 5 août	»	1	1	8	»	»	»	»	»	»	
8	11 juillet - 11 août.	»	1/2	»	9	»	1/2	»	»	»	»	Eau renouvelée deux fois. — <i>Leptodora</i> et <i>Simocephalus sima</i> nombreux.
4	29 juillet - 11 août.	»	1	»	8	»	»	1	»	»	»	
2	1 ^{er} août - 16 août	»	1	»	6	»	»	1	»	2	»	
3	2 août - 17 août.	»	1	»	6	»	»	1	»	2	»	
5	30 juillet - 19 août.	»	1	»	6	»	»	1	»	2	»	
1	23 juillet - 22 août.	»	»	»	4	»	»	1	»	5	»	Eau renouvelée le 8 août.
7	25 juillet - 24 août.	»	1	»	3	»	»	4	»	2	»	Eau renouvelée le 10 août. — <i>Hydrodictyon.</i>
2	17 août - 28 août	»	2	»	4	»	»	4	»	»	»	
6	6 août - 29 août	»	»	»	5	»	»	4	»	1	»	
8	12 août - 30 août	»	2	»	6	»	»	2	»	»	»	
3	18 août - 31 août	»	2	»	4	»	»	4	»	»	»	
5	22 août - 1 ^{er} septembre.	»	2	»	4	»	»	4	»	»	»	
4	15 août - 2 septembre	»	2	»	4	»	»	4	»	»	»	
1	23 août - 5 septembre	»	1	»	8	»	»	1	»	»	»	
6	30 août - 9 septembre	»	1	»	3	»	»	6	»	»	»	

Tableau montrant les variations de composition de la couche filtrante du 1^{er} avril au 30 septembre 1899 (suite).

N ^o des filtres.	PÉRIODES D'ACTION.										OBSERVATIONS.		
		<i>Fragilaria.</i>	<i>Melosira.</i>	<i>Synedra.</i>	<i>Cyclotella.</i>	<i>Asterionella.</i>	<i>Navicula.</i>	<i>Coccinodiscus.</i>	<i>Oscillariées.</i>	<i>Protococcus, etc.</i>		<i>Spirogyra.</i>	
3	1 ^{er} septembre - 11 septembre . .	«	3	»	3	»	»	4	»	»	»	Eau renouvelée le 6 septembre. — Nombreuses amibes.	
2	29 août - 12 septembre.	»	3	»	3	»	»	4	»	»	»		
5	2 septembre - 12 septembre . .	»	3	»	3	»	»	4	»	»	»		
8	31 août - 13 septembre.	»	3	»	3	»	»	4	»	»	»		
4	6 septembre - 18 septembre. . .	»	2	»	2	»	»	6	»	»	»		Nombreuses cristatelles.
7	25 août - 20 septembre.	»	4	»	2	»	»	4	»	»	»		
4	9 septembre - 21 septembre. . .	»	4	»	2	»	»	4	»	»	»		
6	10 septembre - 22 septembre . .	»	4	»	2	»	»	4	»	»	»		
5	13 septembre - 23 septembre . .	»	4	»	2	»	»	4	»	»	»		
3	12 septembre - 25 septembre . .	»	4	»	2	»	»	4	»	»	»		
8	14 septembre - 26 septembre . .	»	5	»	2	»	»	3	»	»	»		
2	13 septembre - 27 septembre . .	»	3	»	4	»	»	3	»	»	»		
1	19 septembre - 28 septembre . .	»	5	»	2	»	»	3	»	»	»		
4	22 septembre - 4 octobre.	»	4	»	3	»	»	3	»	»	»		

chose encore que trois ou quatre espèces. Bien au contraire, c'est par centaines que l'on pourrait les compter. Les unes sont encore en grand nombre et l'ensemble de ces espèces, dites accessoires, contribue encore, dans une large mesure, à assurer l'efficacité d'action du filtre.

Parmi les formes isolées ou en petit nombre, il y en a qui, sans avoir aucune importance pratique, ont quelquefois une portée scientifique. C'est ainsi que j'ai trouvé une seule fois, dans l'eau de la rivière *Attheya Zacharasi*, une diatomée à valve très fine, en quadrilatère allongé avec une longue soie à chaque angle (VAN HEURCK, *Traité des Diatomées*, 1899, p. 420). Cette espèce, étroitement alliée à des formes marines flottantes, a été considérée comme indiquant une origine marine des lacs où elle se trouve; au point de vue morphologique et systématique, elle a donné lieu à d'intéressantes théories. Si donc le diatomologiste sera heureux de la rencontrer, l'ingénieur, au contraire, passera à côté sans même l'honorer d'un regard dans le microscope.

Les filtres n^{os} 1 à 6 ont chacun 900 mètres carrés de superficie, les filtres n^{os} 7 à 8, chacun 1,600. Sur une surface de cette étendue, la composition de la couche filtrante peut varier. A Hambourg, où les filtres ont des dimensions beaucoup plus considérables (au delà de 7,000 mètres), une de ces causes de variations est le vent qui accumule les formes flottantes du côté vers lequel il souffle. A Waelhem, des échantillons prélevés en divers endroits se sont montrés assez constants dans leur composition. Du reste, cette objection est de la même nature que celle qui a été soulevée au début contre l'analyse bactériologique de l'eau; avec plus d'esprit railleur que de bon sens scientifique, on a voulu faire ressortir que pour juger des milliers et des milliers de mètres cubes, on prenait quelques centimètres cubes, parfois même quelques gouttes.

La régularité et la constance de composition dont il vient d'être question s'appliquent à la couche supérieure du sable, au revêtement brunâtre, composé souvent uniquement de diatomées, accompagnées parfois d'algues vertes ou bleues, empâtées dans cette mince couche glaireuse. Il n'en est pas de même des algues qui ne demandent à cette couche qu'un point d'appui, qui n'y sont pas incorporées, qui se développent dans le liquide. Leur distribution est irrégulière; les rapports mentionnent fréquemment que le filtre est parsemé de taches vertes. Les espèces qui les constituent ne sont pas mentionnées dans le tableau; celui-ci ne donne donc une idée que de la composition de la couche pour ainsi dire intime du filtre; le rôle des algues vertes et

bleues est donc, en réalité, beaucoup plus important qu'il n'appert des chiffres du tableau. Il aurait fallu déterminer approximativement la superficie occupée par ces taches et puis leur composition moyenne; mais c'eût été une complication considérable pour un premier travail d'orientation. Comme exemple d'un développement considérable d'une algue, je citerai le filtre n° 7, nettoyé le 24 août, qui était recouvert d'un épais tapis d'*Hydrodictyon*. Très fréquemment on trouve une abondante végétation de *Cladophora glomerata* sur les degrés de la cascade où se déverse l'eau alimentant les filtres.

Un autre inconvénient résulte de ce que l'analyse ne porte que sur la constitution du filtre au moment où il est mis hors d'usage, c'est-à-dire l'état final après une période de travail qui peut aller, comme il ressort des dates de la première colonne, de huit jours à deux mois. Il est fort improbable qu'il ne se produise pas de changements dans cette flore pendant ce laps de temps. Il y a des preuves de modifications considérables et rapides. On peut filtrer pendant une dizaine de jours une eau fortement chargée d'algues flottantes (*Aphanizomenon*, *Anabaena*) sans trouver autre chose que des traces dans la pellicule. A la vérité, cette absence peut être expliquée par le fait même de la vie flottante de ces espèces, qui les maintient dans la masse de l'eau; mais il arrive, par un léger changement de température, que toute cette flore flottante disparaisse en quelques heures, tous les individus étant frappés de mort. Selon leur densité à ce moment, la plus grande partie vient à la surface former cette écume bleu verdâtre dont il a été question; mais une partie notable coule au fond. En une couple de jours, tout a disparu par la décomposition.

L'attention a porté principalement sur les plantes de la couche filtrante. En fait d'animaux, rien ne se développe sur la surface de sable; on ne trouve ni Spongilles, ni Bryozoaires, si ce n'est à l'état de débris. Mais j'ai souvent remarqué un nombre considérable d'amibes de toute sorte, à gros pseudopodes lobés, ou à pseudopodes plus grêles (*A. radiosa*); leur présence doit avoir une influence assez marquée sur l'efficacité du filtrage. En outre, quand on examine attentivement la masse amorphe qui constitue une partie importante de toute préparation microscopique, on y trouve des débris de carapace de Protozoaires, *Arcella*, *Euglypha*, etc. Enfin, les grains de sable sont très souvent agglutinés en sphères creuses ressemblant à *Pseudodiffugia*, et quelquefois ces sphères sont encore remplies de protoplasme vivant, qui émet par l'orifice de la coquille son bouquet de pseudopodes acuminés. Une fois qu'on est

averti, on reconnaît que parfois le quart ou le tiers des masses de sable dans une série de préparations présente ce caractère. Il doit donc y avoir un développement considérable de Sarcodiales dans la couche filtrante, et une étude poussée dans cette direction aura probablement des résultats d'une certaine importance pratique.

L'absence des formes animales fixées est assez étonnante; j'ai déjà mentionné que l'éponge d'eau douce et les Bryozoaires se fixent sur le fer, même dans un tuyau où il y a un courant très rapide. J'ai toujours, immergées dans les réservoirs de décantation, quelques bouteilles attachées à du fil de cuivre; quand on les retire au bout de quelques semaines, chacune d'elles est un vrai jardin zoologique; à l'intérieur, il y a une centaine d'Hydres et, à l'extérieur, des colonies de *Plumatella repens* (Bryzoaire) en pleine croissance, ainsi que des colonies rampantes de *Cristatella*. Il semble donc que l'absence des formes fixées soit uniquement une question de support, le sable ne convenant pas. Le seul être qui soit parfois assez nombreux sur les filtres est *Cristatella*, mais c'est une colonie non fixée, capable de se mouvoir.

Si maintenant nous passons à l'examen du tableau, le premier fait qui se dégage est l'importance prépondérante des Diatomées. Des 92 filtres nettoyés, 61 ne montrent pas autre chose. Les *Spirogyra* interviennent pour les filtres nettoyés en avril; les Oscillariées diverses et autres Algues bleues pendant les cinq semaines de mi-juin à fin juillet; les Algues vertes inférieures pendant une semaine à cheval sur juin et juillet et pendant la deuxième quinzaine d'août.

Mais les Diatomées elles-mêmes varient comme genres. Les espèces dominantes en avril sont *Fragilaria* et *Melosira*. Les grands *Synedra*, présents sur les deux premiers filtres, reparaissent à la fin du mois pour se maintenir avec un coefficient peu élevé jusqu'à la mi-juin; après une éclipse de trois semaines, ils reviennent assez irrégulièrement pendant les deux derniers tiers de juillet et les premiers jours d'août; après quoi ils disparaissent définitivement comme forme dominante.

Vers la mi-mai, *Fragilaria* et *Melosira*, qui ont graduellement diminué d'importance, sont remplacés par *Cyclotella*, qui atteint rapidement des coefficients très élevés. Jusque près de fin juin, cette espèce forme de loin la plus grande masse de la couche filtrante, avec addition, d'abord de *Synedra* et occasionnellement *Melosira*, puis avec des Oscillariées. Au commencement de juillet, les Algues vertes *Protooccus*, *Pleurococcus*, etc., s'ajoutant aux Oscillariées, la part proportionnelle des Diatomées en général s'abaisse notablement et, chose curieuse,

Cyclotella est remplacée par les anciennes espèces *Fragilaria*, *Synedra* et surtout *Melosira*. Mais avec le commencement d'août, *Cyclotella* reprend sa prééminence par suite de la disparition définitive des *Fragilaria* et la réduction brusque de *Melosira* de 9 à 1.

Dans le deuxième tiers d'août, un *Coscinodiscus* apparaît et constitue vers la fin du mois 40 % de la couche filtrante. Cette situation se maintient avec peu de variation jusque près de la fin de septembre; mais alors se manifeste une légère diminution.

III. *Expériences sur la manœuvre des filtres.* — Dans le courant du mois de mai, j'ai fait des essais dans le but de remplacer l'enlèvement de la couche supérieure du sable par la simple dessiccation au soleil. La diminution des frais de nettoyage qui pourrait résulter de ce procédé n'a qu'une importance secondaire; mais je pensais qu'en laissant sur le filtre un grand nombre de germes de spores de tout ce qui avait constitué la couche de la période précédente, j'obtiendrais vite toute l'efficacité purificatrice. Comme par le dessèchement la couche devient craquelée, la perméabilité du filtre serait de nouveau assez grande. Dans les deux expériences qui ont été faites, la perte de charge s'est élevée en quatre jours à 1 mètre d'eau, quoique le débit n'ait été dans l'un des cas que le tiers, dans l'autre moins du cinquième du débit normal. Au point de vue de la composition bactériologique, les résultats n'ont pas été favorables non plus, les deux filtres ayant donné au début 1,500 et 1,000 colonies par centimètre cube, et encore 120 le troisième jour. En outre, comme on a laissé les filtres à sec avant de les remplir de nouveau, l'immobilisation d'une partie des installations est relativement grande. Le procédé n'est donc pas à recommander.

Dans la plupart des distributions d'eau, on a l'habitude de nettoyer avec beaucoup de soin les parois du filtre; à Londres, on les crèpe même avec un lait de chaux. C'est de la propreté purement extérieure, et quand on réfléchit que les eaux de lavage vont nécessairement imprégner le sable, on peut se demander si l'on ne fait pas plus de mal que de bien. C'est pour éviter cet inconvénient que dans les nouveaux filtres construits à Waelhem en 1894, il y a un petit mur qui entoure le fond de la cuvette et qui s'élève jusqu'à la moitié de la hauteur du sable; tout ce qui ruisselle le long des parois est arrêté par ce mur et évacué par un drain spécial. L'idée de ce dispositif vient en réalité de M. Van Hasselt, ingénieur au service des eaux d'Amsterdam. Pour

éviter l'imprégnation du sable par les eaux de lavage, on pourrait procéder au nettoyage, non quand le filtre est à sec, mais avant de le vider, ou même en cours de marche, quand il est plein d'eau.

A la suite des travaux faits en Amérique et démontrant que le mauvais goût des eaux est dû généralement à des organismes flottants, l'attention a tout particulièrement porté sur le limnoplankton. Aussitôt que sont apparues les Algues bleues flottantes *Aphanizomenon* et *Anabaena*, j'ai donné les instructions suivantes : au moins une fois par jour, un échantillon était pris de chaque filtre au tuyau de décharge de l'eau pure ; l'épreuve du goût était faite par le chef du filtrage, le chef mécanicien et le garçon de laboratoire ; un essai direct était fait pour l'ammoniaque avec le réactif de Nessler.

Je n'ai pas pu constater un goût tant que les plantes étaient bien vivantes et en suspension dans la masse du liquide ; j'ai eu pourtant des filtres très fortement chargés d'*Aphanizomenon*, au point que l'eau était nettement verte. Bien au contraire, les filtres donnent alors une eau excellente, meilleure au goût que celle des filtres non infestés de cette végétation surabondante. Ce fait peut s'expliquer facilement par le pouvoir purificateur bien connu de l'activité vitale des plantes. A l'encontre de ce qui se faisait auparavant, j'ai maintenu ces filtres en marche, et leur débit a même été poussé au maximum. Mais aussitôt que l'eau sur ces filtres se clarifie, il faut faire attention ; cette clarification, en effet, ne peut résulter que de la précipitation des substances en suspension par suite de leur mort ; il se produit une décomposition rapide qui se traduit nettement au goût du filtrat ; en même temps, il apparaît de l'ammoniaque en quantité croissante ; le filtre est alors de suite mis hors d'usage.

Les choses se passent à peu près de même avec *Hydrodictyon* ; il est rare que le réseau vienne flotter à la surface ; la densité de cette espèce semble réglée d'une façon si précise, que la masse repose légèrement sur le fond, les mailles ouvertes et formant un tapis très épais. Quand la plante meurt, tout s'affaisse et se décompose, provoquant un mauvais goût.

Ainsi qu'il a été dit, la présence de ces Algues flottantes en quantité considérable enlève une grande partie des matières minérales en suspension et effectue un dégrossissage préliminaire. Le dépôt d'argile à la surface du sable est beaucoup moins abondant, la perméabilité se maintient plus longtemps. En fait, les filtres auraient pu marcher encore plusieurs jours, si le mauvais goût n'avait forcé à les mettre

hors d'usage. Pour sauver un nettoyage, inutile au point de vue purement mécanique de la perméabilité, et éviter les inconvénients bien connus d'une remise en marche, j'ai essayé de changer tout simplement l'eau du filtre. Presque toujours, les résultats ont été très satisfaisants; je crois qu'ils le seront à coup sûr, si l'on a soin de vider le filtre quand l'eau est trop chargée, mais quand toutes les plantes sont encore en flottaison et avant qu'elles se soient accumulées au fond.

ADDENDA

M. le Dr H. Van Heurck, dont la compétence en fait de Diatomées résulte d'études prolongées pendant trente ans, a bien voulu m'envoyer l'intéressante lettre que voici :

MON CHER KEMNA,

J'é vous remercie de m'avoir communiqué votre travail sur *La Biologie des Filtres*. Comme botaniste, mais surtout comme diatomiste, j'y ai trouvé des renseignements très intéressants. Ce que vous dites de la succession des formes dans les filtres, confirme ce que l'on sait par les récoltes faites par les diatomistes dans la nature.

Comme, pendant l'hiver, les eaux dépourvues de végétaux supérieurs laissent largement pénétrer la lumière, indispensable aux diatomées, c'est à cette époque aussi que l'on trouve en quantité les formes qui vivent sur la vase et sur les objets immergés. Le *Fragilaria capucina*, la forme la plus commune dans nos environs, apparaît ensuite; on la trouve flottant par quantités considérables sous forme de grands flocons bruns. Quant aux *Synedra*, qui sont des parasites, on ne les trouvera que quand des Algues supérieures (*Spirogyra*, etc.) ou des phanérogames leur donneront le support nécessaire. Il est bien connu aussi — William Smith le dit déjà en 1855 — que, après la division, les individus quittent fréquemment leur coussinet ou leur stipe gélatineux, et qu'on les trouve alors à l'état libre. C'est ainsi qu'ils sont arrivés sur les filtres de Waelhem.

Ces filtres ont permis de vérifier sur une échelle immense les rensei-

gnements que les diatomistes n'avaient pu apprendre que petit à petit, par des recherches incessantes et au prix de beaucoup de fatigues. Le rôle considérable que les diatomées jouent dans la purification des eaux a pu aussi, grâce à vos intelligentes recherches, être mis bien en lumière et semble être encore bien plus considérable qu'on le croirait en voyant ces êtres minuscules.

Le fait le plus curieux que je relève dans votre travail, c'est la présence et même l'abondance d'un *Coscinodiscus*. J'ai pu constater sa présence dans la plaque de culture que vous m'avez remise. C'est la forme de *Coscinodiscus* que j'ai figurée et décrite sous le nom de *Coscinodiscus subtilis* var. *Normanni* (Greg.) H. V. H. dans mon *Traité des Diatomées* (1899) et dans mon *Synopsis* (1885). Rattray, dans sa monographie des *Coscinodiscus*, a admis cette détermination, car il cite, à l'appui de son texte, et ma figure et le n° 532 de mes types, quoiqu'il fasse une espèce de ce qui ne me semble qu'une variété. Et cependant mon type n° 532, qui est du Holstein, n'est pas tout à fait conforme à ma figure, qui est faite d'après un exemplaire de l'Escaut à Anvers. Mon type a des ponctuations plus grandes, se rapprochant de la forme alvéolaire vers le centre de la valve. La figure de Greville, qui le premier décrit la forme à la suite d'une communication manuscrite de Gregory, montre cette dernière structure, et c'est cette figure aussi qui a servi aux déterminations de tous les auteurs.

Je me demandais si je n'avais pas été induit en erreur et si ma forme ne constituait pas un type propre à l'Escaut quand j'ai pu, heureusement et par une véritable chance, résoudre la question qui me paraissait d'abord insoluble. J'ai pu retrouver dans ma collection de Walker-Arnott, la récolte originale de Normann, récolte qui avait servi à la création du type de Gregory, et j'y ai étudié la forme qui nous occupe. Cette étude me montre que je suis dans le vrai et que la figure donnée par Greville est légèrement fautive.

Ce luxe de détails vous paraîtra à première vue superflu, mais j'arrive au motif qui me les fait vous donner et qui exigeait que je fusse absolument certain de l'identité de ma forme.

Le *Coscinodiscus Normanni* Greg. semble être une forme marine, comme le sont d'ailleurs à peu près tous les vrais *Coscinodiscus*, car la récolte de Normann a été faite, à Hull, dans des estomacs d'Ascidies. L'intérêt que présente le *Coscinodiscus* de Waelhem, c'est le doute qu'il fait émettre sur son habitat. Ce *Coscinodiscus*, qui était considéré par tous les auteurs comme une forme marine, ne serait en réalité

qu'une forme d'eau saumâtre, se contentant au besoin d'une quantité de chlorure de sodium extrêmement minime, comme c'est le cas des eaux de Waelhem où il n'y en a guère que 25 à 30 milligrammes par litre. Sa présence dans des estomacs d'Ascidies ne serait que fortuite, et le cas serait identique à celui signalé par le Dr Dickie, qui découvrit également des *Himantidium*, *Tabellaria*, etc., dans des estomacs d'Ascidies à 6 milles de la côte.

Ce qui semble encore me confirmer dans l'idée que ce *Coscinodiscus*, que l'on croyait jusqu'à maintenant marin, ne serait en réalité qu'une espèce saumâtre, c'est qu'en consultant le livre de bord de mon yacht, j'y remarque que les 12 et 13 août 1890, — dates qui correspondent à celles où le *Coscinodiscus* a été abondant, cette année, dans vos filtres, — j'ai dragué tout l'Escaut de Gand à Tamise (1), et que partout, aussi bien au fond que sur la vase des rives, je n'ai trouvé à peu près exclusivement qu'une Diatomée discoïde qui, d'après le nouvel examen que je viens d'en faire, se montre bien être le *Coscinodiscus subtilis*. Mon exemplaire toutefois est en général un peu plus petit et à perles un peu plus grosses que celui de la forme que vous avez récoltée à Waelhem, mais je n'attache pas une grande importance à ces minimes variations.

Bien à vous,

Dr HENRI VAN HEURCK.

(1) A noter que notre collègue M. E. Van den Broeck a naguère recueilli des vases sableuses dans l'Escaut, à Tamise, — soit à 20 kilomètres en amont d'Anvers et à 90 kilomètres de l'embouchure du fleuve, — lesquelles contenaient de nombreux Foraminifères (*Nonionina Polystomella*, etc.), dont la fraîcheur dénotait que ces types rhizopodiques d'eaux marines et saumâtres devaient avoir vécu dans ces parages. (Note ajoutée pendant l'impression.)
