

177

7

D' CALMETTE



CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DE

L'Épuration

des

Eaux résiduaires

DES VILLES ET DES INDUSTRIES



RAPPORT

Présenté au Congrès d'Hygiène sociale d'Arras

(Juillet 1904).



BORDEAUX

IMPRIMERIE DE *L'Avenir de la Mutualité*

Rue Saint-Christoly, 10-12

1904



00177



CONTRIBUTION A L'ETUDE

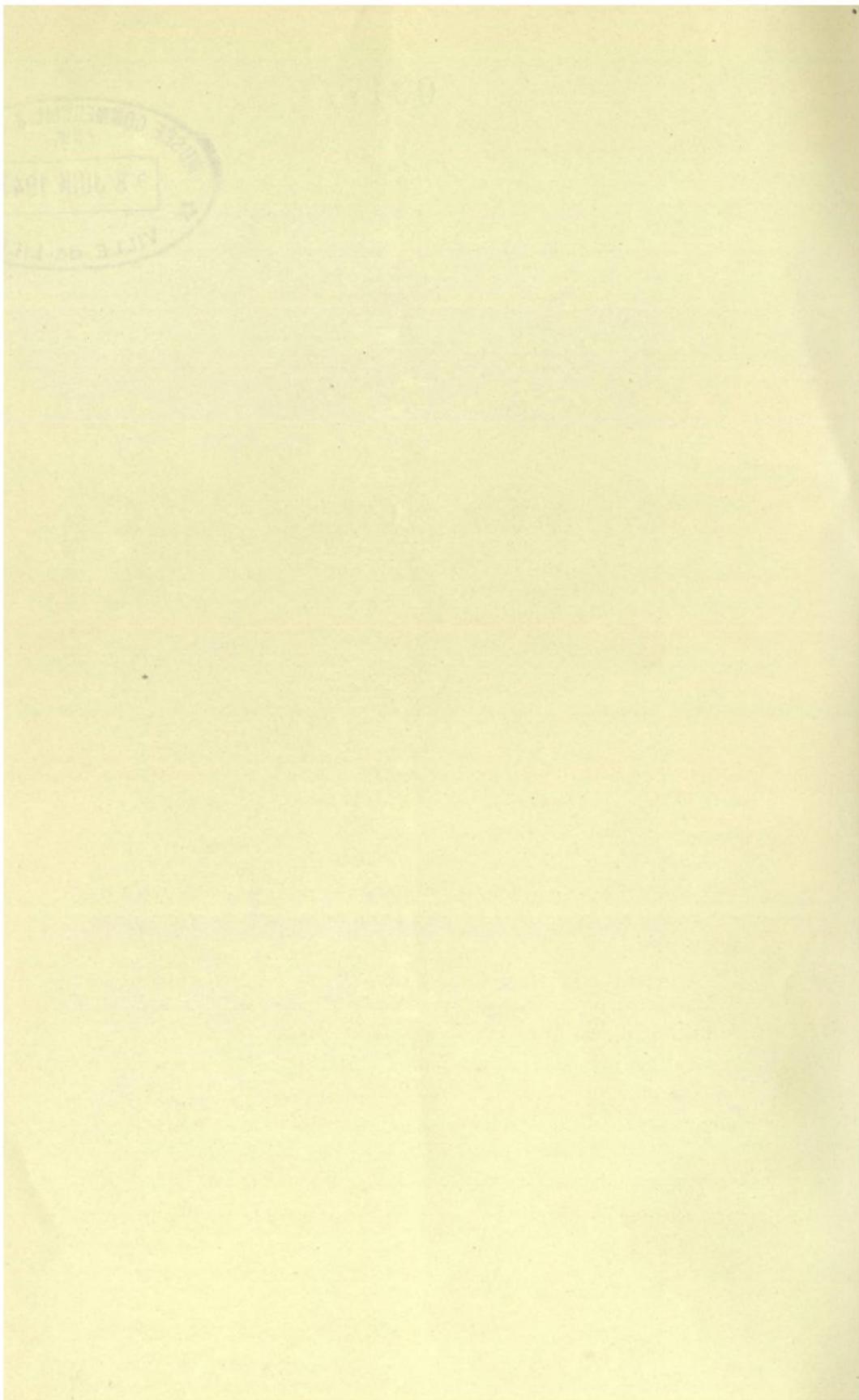
L'EPURATION DES EAUX RESIDUAIRES

DES VILLES ET DES INDUSTRIES

L'un des plus graves problèmes dont la solution s'impose aux villes et aux grandes industries est celui de l'épuration des eaux résiduaires.

Par le terme épuration, il faut entendre la destruction complète des matières organiques putrescibles et la neutralisation de celles-ci, c'est-à-dire leur désintégration en éléments minéraux simples.

On a longtemps confondu et on confond encore souvent l'épuration avec la clarification. Or la clarification des eaux résiduaires se borne à réaliser la séparation mécanique ou la précipitation par des sels chimiques des particules solides, non dissoutes ou coagulables. Elle ne réalise pas une véritable épuration car elle laisse intactes toutes les substances organiques dissoutes telles que les peptones, les matières colorantes, l'huile qui renferme une proportion plus ou moins considérable de substances putrescibles, elle reste insuffisante, car toutes



N° Bib 389 4851-165.914

BMC 64



CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DE

L'ÉPURATION DES EAUX RÉSIDUAIRES

DES VILLES ET DES INDUSTRIES

L'un des plus graves problèmes dont la solution s'impose aux villes et aux grandes industries est celui de l'*épuration des eaux résiduaires*.

Par ce terme *épuration*, il faut entendre la destruction complète des matières organiques putrescibles et la *minéralisation* de celles-ci, c'est-à-dire leur désintégration en éléments minéraux simples.

On a longtemps confondu et on confond encore souvent l'*épuration* avec la *clarification*. Or, la clarification des eaux résiduaires se borne à réaliser la séparation mécanique, ou la précipitation par des réactifs chimiques des particules flottantes non dissoutes ou coagulables. Elle ne réalise pas une véritable *épuration* car elle laisse intactes toutes les substances organiques dissoutes telles que les peptones, les amides, l'ammoniaque. L'eau qui renferme une proportion plus ou moins considérable de ces substances est putrescible; elle reste malodorante; elle pollue

les cours d'eau et elle est nuisible à la vie des poissons ou des plantes. On ne peut donc pas la considérer comme *épurée*.

Toutes les fois qu'on traite des eaux d'égout ou des eaux résiduaires industrielles par la simple décantation ou par des réactifs divers, chaux, sulfate d'alumine, sulfate ferreux ou sulfate ferrique, chlorures ou hypochlorites alcalins, on fait de la *précipitation chimique*, on débarrasse l'eau des matières albuminoïdes coagulables et des corps flottants, mais l'épuration reste incomplète.

Les seuls agents capables d'effectuer la désintégration et la minéralisation des molécules organiques sont les *microbes* ou la combustion directe par le feu.

Ce sont les microbes qui désagrègent et décomposent les cadavres d'animaux et de végétaux et les fumiers que l'on enfouit dans la terre ou qui s'accumulent à la surface de celle-ci.

Ce sont eux encore qui réalisent l'épuration spontanée des rivières ou des fleuves auxquels l'homme confie le soin d'éloigner de lui les déchets de la vie.

Et c'est grâce à eux enfin que, dans les procédés de l'*épannage*, le sol cultivé transforme les souillures de toute sorte qu'on déverse à sa surface en éléments gazeux qui s'échappent dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau, d'azote libre ou d'acide carbonique, et en nitrates de soude, de potasse ou de chaux qui servent d'aliments aux plantes.

Il était donc tout indiqué qu'à partir du moment où ce rôle des microbes nous fut révélé par la science, on cherchât à adapter ceux-ci plus directement à nos besoins de destruction rapide des résidus de nos agglomérations et de nos industries.

Et c'est ainsi qu'on a été amené à la découverte des procédés récents d'épuration biologique sur lesquels l'attention des ingénieurs sanitaires et des hygiénistes du monde civilisé est aujourd'hui concentrée.

Je dois me borner à indiquer ici les principes sur lesquels s'appuient les principaux d'entre eux et j'exposerai brièvement

le plan des recherches nouvelles que j'ai pu entreprendre à leur sujet à l'Institut Pasteur de Lille et dans l'installation expérimentale de La Madeleine, grâce aux libéralités de la Caisse Nationale des Recherches Scientifiques.

L'épuration biologique des eaux résiduaires peut être réalisée par diverses méthodes basées sur le travail exclusif des microbes ou par des systèmes mixtes qui utilisent certains réactifs chimiques avec des actions microbiennes consécutives.

Lorsqu'on s'adresse aux microbes seuls, il faut que ceux-ci désagrègent et dissolvent d'abord les corps organiques en suspension dans l'eau, et qu'ils oxydent ensuite les molécules organiques dissoutes, pour les minéraliser.

Dans le second cas, si l'on fait précéder les actions microbiennes de l'emploi d'un réactif chimique capable de précipiter les matières en suspension et les albuminoïdes coagulables, le rôle des microbes se réduit à un travail d'oxydation et de minéralisation des molécules organiques dissoutes.

La détermination des matières entraînées par les eaux nous montrera tout de suite quels peuvent être les avantages et les inconvénients respectifs de ces deux systèmes.

Les eaux d'égout des villes et les eaux résiduaires industrielles contiennent, en proportions très variables, deux sortes de substances :

1° Des substances ternaires, composées surtout de carbone, d'oxygène et d'hydrogène, et dont les plus importantes sont les résidus cellulosiques de papier ou de végétaux, l'amidon, les dextrines et les sucres, les alcools, les acides organiques (lactique, malique, succinique, etc.), les matières colorantes et les graisses :

2° Des substances quaternaires composées elles aussi de carbone, d'oxygène et d'hydrogène, et en plus, d'azote avec des proportions plus ou moins considérables d'autres corps minéraux simples tels que le soufre, le phosphore, l'arsenic, le fer, le manganèse, les métaux alcalins ou alcalino-terreux, etc. On les trouve dans les résidus animaux et dans une foule de détri-

tus végétaux. Les principales sont la fibrine, les albumines, caséines, la lécithine, l'urée, le gluten, etc.

La désintégration moléculaire des substances ternaires s'effectue surtout par des microbes *anaérobies* ou par des espèces microbiennes capables de vivre en anaérobies facultatifs, c'est-à-dire à l'abri de l'oxygène de l'air. Ces microbes empruntent alors l'oxygène dont ils ont besoin comme tous les êtres vivants aux substances mêmes qu'ils décomposent et cette décomposition aboutit à la formation d'hydrogène libre ou d'hydrogène carboné (CH_4 ou gaz des marais) et d'acide carbonique.

Les substances quaternaires, abondantes surtout dans les eaux d'égout des villes ou de certaines industries (abattoirs, laiteries, tanneries) peuvent être désintégrées par une multitude d'espèces microbiennes *anaérobies*, *anaérobies facultatives* ou *aérobies*. Leur désintégration s'opère par une série d'étapes successives qui aboutit à la formation de peptones, de composés ammoniacaux et d'ammoniaque libre, puis de nitrites et de nitrates alcalins, avec élimination d'une proportion plus ou moins grande d'azote libre, d'hydrogène libre ou carboné et d'acide carbonique.

Suivant que l'un ou l'autre de ces deux ordres de substances prédominera, il sera plus avantageux, au point de vue économique, de confier aux actions microbiennes le soin de détruire la totalité des matières contenues dans les eaux à épurer, ou de séparer d'abord, par une précipitation mécanique ou chimique, celles de ces matières qui peuvent être vendues avec profit comme engrais.

On ne doit pas se dissimuler cependant que la récupération des résidus, même riches en azote, des eaux d'égout est une opération rarement rémunératrice. Au début d'une exploitation de quelque importance, on parvient presque toujours à écouler ces résidus au voisinage des grandes villes. La culture les achète volontiers. Mais bientôt celle-ci n'en ayant plus l'utilisation immédiate, on est obligé de les céder à vil prix, puis de payer pour s'en défaire, parce qu'on ne peut les laisser s'accumuler et

qu'il devient indispensable de les évacuer au loin. Les frais de transport deviennent alors plus élevés que leur valeur propre.

Toutes les villes qui ont essayé l'application en grand des systèmes d'épuration chimique ont éprouvé ces vicissitudes et ces déboires. On ne saurait en être surpris si l'on veut bien réfléchir à ce fait que partout, à l'heure actuelle, l'usage des engrais chimiques s'est largement répandu, et qu'il est facile aux cultivateurs éclairés de se procurer des engrais riches dont 100 kilos renferment une valeur de 10 à 12 fr. d'azote par exemple. Pourquoi ces mêmes cultivateurs s'aviseraient-ils alors de transporter à grands frais deux ou trois mille kilos de boues sèches valant ensemble 10 ou 12 fr. d'après leur teneur en azote, c'est-à-dire exactement ce qu'ils peuvent trouver dans 100 kilos d'un engrais chimique de composition plus constante et répondant plus exactement à leurs besoins ?

Outre cet inconvénient si grave de l'encombrement des boues, les procédés chimiques en présentent d'autres également redoutables : ils obligent à des dépenses continuelles pour l'achat de réactifs et pour que ceux-ci agissent efficacement, il est indispensable de varier à chaque instant leurs proportions dans l'eau à traiter, suivant les changements incessants de composition que présente celle-ci. Dans les villes aussi bien que dans les industries, les eaux résiduaires subissent de larges oscillations dans leur volume, dans leur aspect et dans la nature des résidus qu'elles reçoivent. Il est facile de comprendre que les quantités de réactifs à mélanger doivent osciller parallèlement, si l'on veut que la précipitation s'effectue d'une manière satisfaisante. Et c'est là, peut-être, la difficulté la plus malaisée à vaincre !

Toutes ces considérations nous incitent à chercher plutôt la solution du problème du côté des systèmes d'épuration exclusivement biologiques. Ceux-ci, du moins, visent à la suppression des boues et à la suppression des réactifs, en même temps qu'ils réalisent une épuration vraie par la désintégration totale des matières organiques et non plus seulement la précipitation des matières en suspension ou des substances albuminoïdes coagulables.

Le prototype de ces systèmes biologiques est représenté par *l'épandage* avec ou sans utilisation agricole. Le sol est, sans conteste, le meilleur agent d'épuration parce qu'il constitue l'habitat normal des innombrables espèces microbiennes auxquelles la nature a confié le soin de décomposer toutes les substances organiques, végétales ou animales, résidus ou déchets des êtres vivants.

Mais pour qu'il soit efficace, deux conditions essentielles s'imposent : le sol choisi doit être très absorbant et perméable à l'air.

L'épandage n'est donc possible que sur les sols poreux, profonds et très bien drainés.

Dans le nord de la France, les sols de porosité moyenne sont capables d'épurer environ 110 mètres cubes d'eau d'égout par jour et par hectare sur un mètre de profondeur. Or ce chiffre, qui correspond à 40.000 mètres cubes par hectare et par an, est celui qui a été adopté par la ville de Paris pour les champs d'épandage d'Achères.

Il ne peut être que rarement dépassé.

A ce taux, une ville de 100.000 habitants produisant avec le tout à l'égout à raison de 100 litres par habitant et par jour, 10.000 mètres cubes d'eaux résiduaires ou 3.650.000 mètres cubes par an, nécessiterait une surface d'épandage égale à 91 hectares.

En supposant qu'une telle surface, uniformément perméable, fût disponible à son voisinage, elle serait le plus souvent d'un prix trop élevé.

Et si l'on tient compte de la difficulté extrême que rencontrent les villes à se procurer à bon compte des terrains peu éloignés et convenables pour l'épandage, on comprend que ce système d'épuration n'ait pu être adopté que par de grandes capitales comme Paris, Berlin ou par quelques villes comme Reims qui avaient à leurs portes de vastes terrains sablonneux ou calcaires très absorbants et presque sans valeur.

Les cités industrielles du nord de la France, Lille, Roubaix, Tourcoing, pour ne citer que les plus importantes, ne songe-

ront jamais à s'adresser à lui pour épurer leurs eaux d'égout. Outre que le sol arable y possède une valeur énorme (10.000 fr. l'hectare), sa perméabilité est très faible à cause de la couche épaisse d'argile qui recouvre les assises calcaires sur presque toute la région.

Il est incontestable, d'autre part, que l'épandage présente, au point de vue de l'hygiène, des inconvénients graves qui ne permettent plus d'en conseiller l'emploi lorsqu'on peut l'éviter.

L'exemple de Gennevilliers et d'Achères, et surtout celui de Carrière-Triel montre que les nappes souterraines qui alimentent les puits des villages voisins se contaminent trop facilement par les infiltrations profondes du sol, et que la grande culture, sur laquelle on avait fondé tant d'espérances, souffre très souvent d'être obligée d'absorber de trop grandes quantités d'eau d'égout.

C'était d'ailleurs une erreur de compter, comme on l'a fait au début, sur le rôle épurant de la culture. On supposait que les plantes agissaient de deux manières en se développant : on pensait que la pénétration de leurs racines rendait le sol plus perméable, ce qui est exact ; mais on croyait aussi qu'elles pouvaient utiliser pour leur nutrition une grande partie des matières organiques de l'eau d'égout. Or la science a montré, depuis les acquisitions récentes de la physiologie végétale et de la bactériologie, que les plantes ne peuvent assimiler les matières organiques qu'à l'état de nitrates solubles. Il faut, pour que ces matières organiques servent d'aliments aux plantes, qu'elles soient préalablement minéralisées ou transformées en nitrates solubles par les actions microbiennes dues aux ferments figurés du sol. Il y a donc tout avantage à réaliser cette transformation dans les eaux résiduaires avant d'utiliser celles-ci pour l'irrigation.

Enfin, il est aujourd'hui démontré que l'accumulation des matières organiques en train de se décomposer à la surface du sol arable, favorise le développement et la multiplication d'insectes tels que les moustiques et les mouches dont le rôle comme



agents de transmission des maladies infectieuses apparaît de plus en plus important. Elle favorise aussi le développement sur les végétaux de toutes sortes de vers et de parasites intestinaux (trichocéphales, ascaris, oxyures) capables de produire des désordres souvent graves chez l'homme et chez les animaux domestiques nourris avec les légumes crus ou avec les fourrages que l'on cultive sur les champs d'irrigation.

Le seul moyen d'éviter ces inconvénients consiste à ne pratiquer l'épandage que sur les sols perméables, *non cultivés* ou seulement boisés, assez loin de toute agglomération et même de toute habitation pour que les nappes souterraines superficielles qui alimentent des forages et des puits ne puissent en éprouver aucune contamination.

Les acquisitions de la science relatives à la putréfaction et aux fonctions des microbes du sol arable comme agents de désintégration des matières organiques devaient forcément conduire les chimistes et les bactériologistes à l'essai de procédés d'épuration exclusivement *biologiques*. En précisant les conditions nécessaires à la vie des microbes capables, d'une part, de solubiliser les substances ternaires et quaternaires complexes que charrient les eaux d'égout, et, d'autre part, d'en disloquer les molécules pour les ramener à l'état d'éléments minéraux simples, on devait théoriquement réaliser la destruction complète de tous les débris humains, animaux et végétaux.

On pouvait donc concevoir un système idéal d'assainissement qui supprimerait les accumulations de boues encombrantes laissées par la précipitation chimique et qui permettrait de ne rendre au sol arable, aux rivières et aux fleuves, que des eaux parfaitement limpides et imputrescibles, immédiatement utilisables, s'il le fallait, pour les besoins alimentaires, agricoles ou industriels de l'homme.

Il ne semble plus douteux aujourd'hui que ce but soit bien près d'être atteint.

Les expériences poursuivies depuis dix ans à la suite des importantes démonstrations de Dibdin, de sir Henry Roscoe, de

Percy Frankland, de Gilbert Fowler en Angleterre, de Dunbar en Allemagne, de Hiram Mills et Kinnicut en Amérique, ont forcé l'attention des ingénieurs sanitaires de tous les pays.

Plus de vingt-deux villes anglaises, au premier rang desquelles il convient de citer la grande ville industrielle de Manchester, n'emploient déjà plus que les procédés *biologiques ou bactériens* pour se débarrasser de leurs eaux d'égout et, malgré les tâtonnements inévitables dans l'application pratique de toute nouvelle découverte, les résultats obtenus sont déjà signalés partout comme très satisfaisants.

Le système bactérien appliqué aux eaux du tout à l'égout comprend *trois phases* bien distinctes :

1° La décantation et la séparation des résidus solides non putrescibles (sable, gravier, scories, charbon, débris de fer, de pierres, etc.);

2° La dissolution des matières organiques par *fermentation anaérobie en fosse septique* ;

3° La transformation des matières organiques dissoutes en nitrites et en nitrates par *oxydation sur lits bactériens aérobie*s.

Dans la première phase purement mécanique, les microbes ne jouent aucun rôle. Il s'agit seulement d'empêcher l'introduction dans les fosses septiques, des corps étrangers minéraux, plus ou moins abondants dans toutes les eaux d'égout, qui ne sont pas susceptibles de se décomposer et qui entraîneraient bientôt une réduction importante de la capacité des fosses septiques.

La seconde phase est d'une importance capitale. Elle consiste à recevoir dans des bassins de trois mètres de profondeur environ, qui doivent rester constamment pleins, toutes les substances organiques putrescibles qui restent en suspension dans l'eau : les débris de papier, de végétaux divers, les détritus ménagers de toutes sortes (viande, graisses), les résidus d'abattoirs ou de laiteries, les excréments humains et animaux, les déchets industriels.

La dimension des fosses septiques doit être calculée de telle manière que les eaux qui y pénètrent puissent y séjourner pendant environ vingt-quatre heures, c'est-à-dire qu'à chaque quantité d'eau admise à l'entrée, doit correspondre un volume égal à la sortie. Les fosses restent ainsi constamment pleines et déjà quelques jours après leur mise en travail, il s'y établit une fermentation spontanée très active. Les microbes anaérobies s'y multiplient en formant un véritable levain et s'attaquent à toutes les molécules organiques solides en suspension, aussitôt que celles-ci arrivent à leur contact.

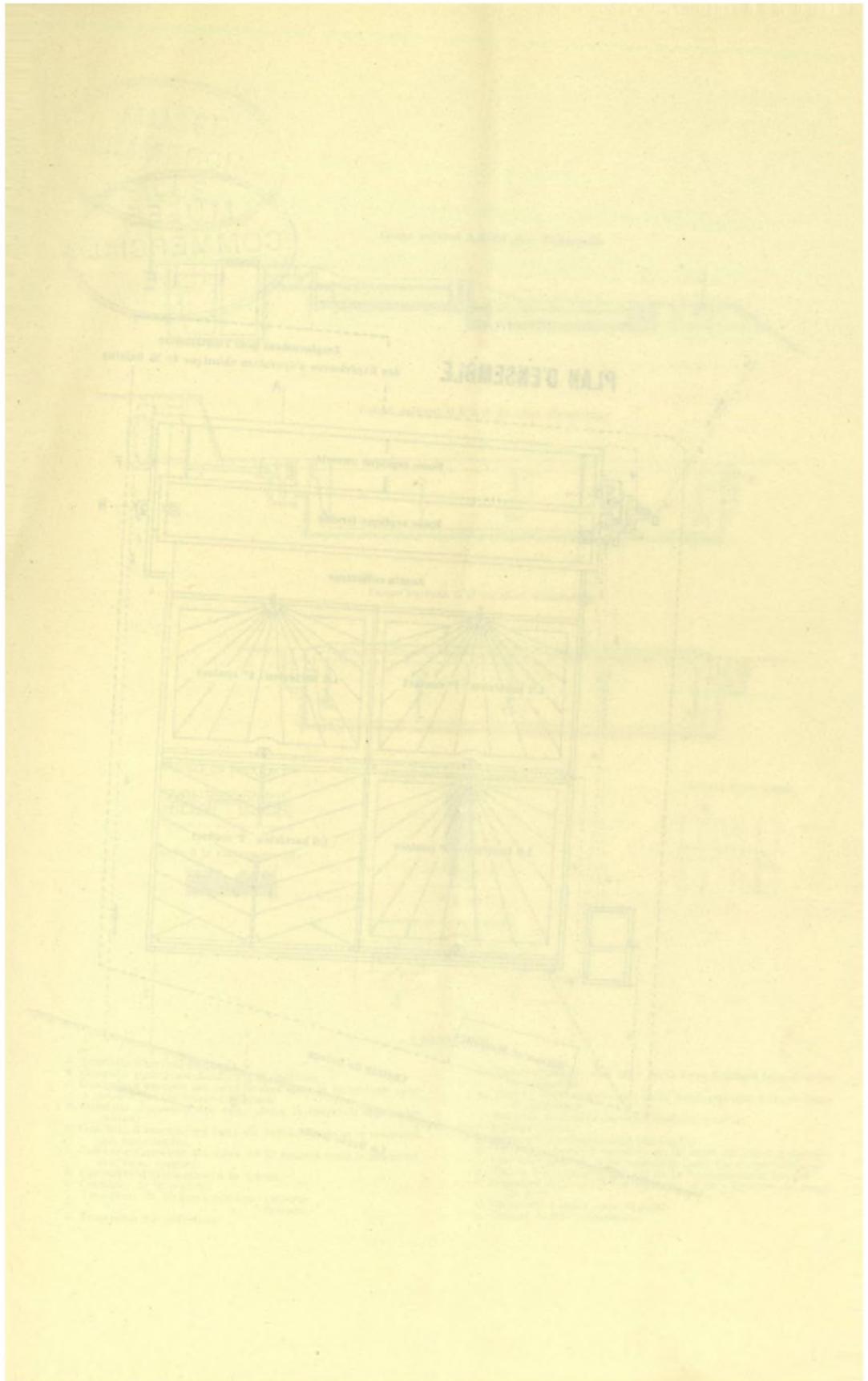
Lorsque ce levain est constitué, on trouve qu'il est capable de dissoudre en vingt-quatre heures un poids de matières organiques en suspension égal à celui que les eaux d'égout apportent dans le même temps. Il en résulte que, même après plusieurs années de fonctionnement, le volume des boues qui se déposent au fond des fosses n'augmente plus.

Au sortir des fosses septiques, l'affluent ne contenant plus que des matières organiques dissoutes (à l'état de peptones, d'amides, ou d'ammoniaque libre) doit être dirigé vers un canal collecteur qui permet le déversement alternatif sur une série de lits bactériens d'oxydation, où l'épuration proprement dite s'effectuera. C'est la troisième phase.

Celle-ci, dans le langage technique adopté, comporte un, deux ou trois *contacts* successifs sur lits bactériens, c'est-à-dire que l'eau à épurer devra traverser successivement un, deux ou trois bassins peu profonds, remplis de scories ou mâchefer, qui servent de supports aux microbes oxydants.

Ces bassins, dont la capacité utile est telle que chacun d'eux puisse être facilement rempli en une heure et vidé dans le même temps, sont construits en pente douce à partir de la vanne d'entrée jusqu'à la vanne de sortie, et d'un drainage en forme d'arête de poisson, assurant l'écoulement facile de l'eau qui y est admise.

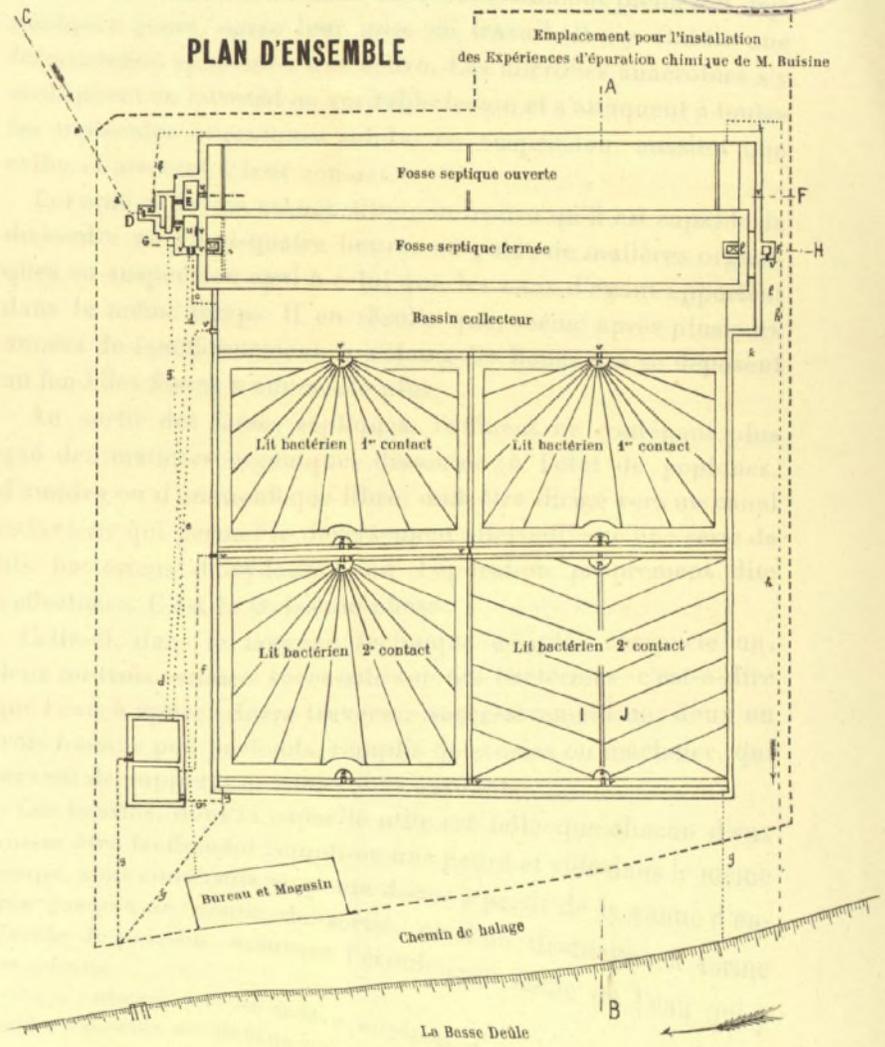
On y entasse, sur un mètre environ d'épaisseur, d'abord des grosses scories au-dessus des drains, puis des scories de 5 cen-



MUSEE
COMMERCIAL
LILLE

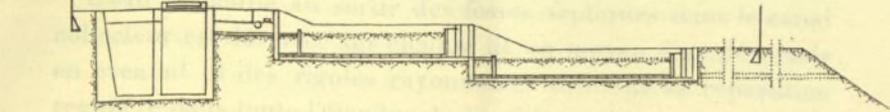
PLAN D'ENSEMBLE

Emplacement pour l'installation
des Expériences d'épuration chimique de M. Buisine

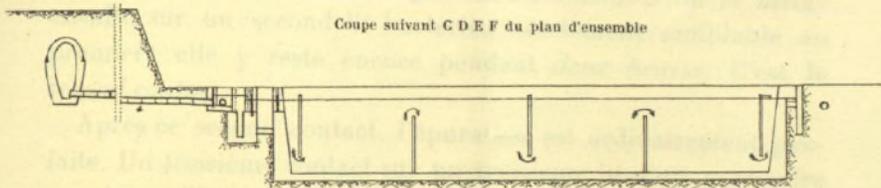




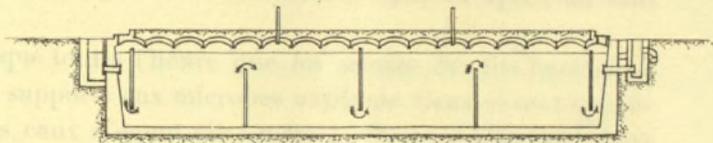
Coupe suivant A B du plan d'ensemble



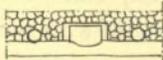
Coupe suivant C D E F du plan d'ensemble



Coupe suivant G H du plan d'ensemble



Drainage du fond des lits



Rigole à la surface des lits



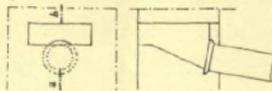
Coupe des scories des lits



Déversoir de jauge

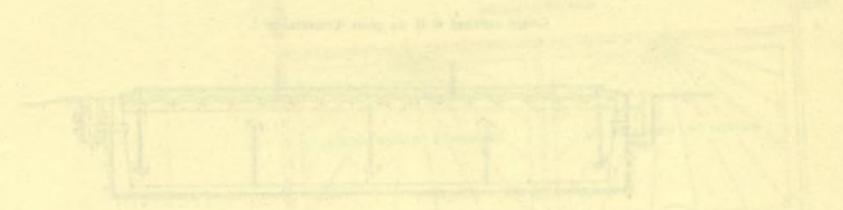
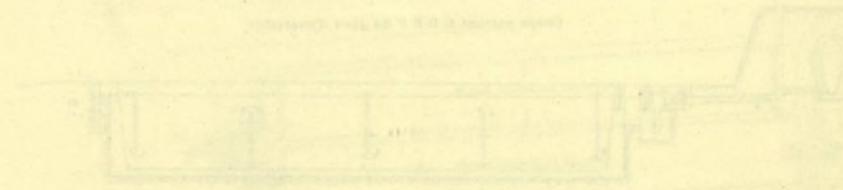
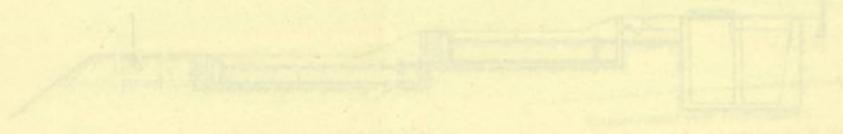


Déversoir de trop plein



LÉGENDE

- a. Conduite d'arrivée des eaux.
- b. Conduite pour l'installation de M. Buisine.
- c. Conduite d'aménée des eaux brutes dans le collecteur sans passer par les fosses septiques.
- d. Conduite d'aménée des eaux dans le réservoir des eaux brutes.
- e. Conduite d'aménée des eaux du collecteur dans le réservoir des eaux brutes.
- f. Conduite d'aménée des eaux du 1^{er} contact dans le réservoir des eaux épurées.
- g. Conduites d'évacuation à la Deule.
- h. Conduite de trop-plein.
- i. Trop-plein de la fosse septique ouverte.
- j. " " " fermée.
- k. Trop-plein du collecteur.
- l. Tuyau d'aménée des eaux de la fosse septique fermée dans le collecteur.
- m. Canal d'aménée des eaux de la fosse septique ouverte dans le collecteur.
- n. Regards au-dessus de fosse septique fermée.
- o. Prolège-vanne.
- p. Déversoir de distribution sur les lits.
- q. Tube de l'appareil enregistreur de débit des eaux à épurer.
- r. Chicanes de fond et de superficie dans les fosses septiques.
- s. Tuyau d'évacuation des gaz de la fosse septique fermée.
- t. Chambre de la grille du déversoir et de l'appareil de jauge 2^m x 4^m.
- u. Chambres à sable avec chicane.
- v. Vannes de 0.25 d'ouverture.



Il s'agit d'un plan de coupe d'un bâtiment à deux étages. Le plan est divisé en plusieurs sections par des murs et des colonnes. On peut voir des détails de la structure, comme des poutres et des fondations. Le titre du plan est 'Plan de coupe'.

Il s'agit d'un plan de coupe d'un bâtiment à deux étages. Le plan est divisé en plusieurs sections par des murs et des colonnes. On peut voir des détails de la structure, comme des poutres et des fondations. Le titre du plan est 'Plan de coupe'.

timètres de diamètre environ, puis, à la surface, des scories fines criblées de 1 centimètre à 5 millimètres de hauteur.

L'eau recueillie au sortir des fosses septiques dans le canal collecteur est déversée sur chaque lit au moyen d'un déversoir en éventail et des rigoles rayonnantes assurent sa répartition régulière dans toute l'étendue du lit. Elle y séjourne pendant un temps variable qui n'excède jamais *deux heures*. On la dirige ensuite sur un second lit bactérien exactement semblable au premier; elle y reste encore pendant *deux heures*. C'est le *second contact*.

Après ce second contact, l'épuration est ordinairement parfaite. Un troisième contact sur un troisième lit n'est nécessaire que lorsqu'il s'agit d'épurer certaines eaux résiduaires d'usines extrêmement chargées. Celles, très diluées, du tout à l'égout des villes sont en général suffisamment épurées après un seul contact.

J'ai indiqué tout à l'heure que les scories des lits bactériens servent de supports aux microbes oxydants. Ceux-ci sont apportés par les eaux d'égout elles-mêmes. Ils se multiplient dans les anfractuosités des scories et fixent la matière organique dissoute comme par une sorte de phénomène de teinture. Cette fixation ne s'effectue bien que lorsque les lits sont *mûrs*, c'est-à-dire après un ou deux mois de fonctionnement, lorsque les microbes aérobies sont assez nombreux.

A partir de ce moment, on règle les périodes alternatives d'immersion et d'aération des lits de la manière suivante :

- 1 heure pour remplir,
 - 2 heures de plein,
 - 1 heure pour vider,
 - 4 heures de vide, pour aérer les scories,
- soit *huit heures* par période.

Chaque lit peut fonctionner suivant trois périodes semblables par jour de 24 heures.

Si leur capacité est calculée de manière qu'à chaque période ils puissent recevoir en moyenne 333 litres d'eau d'égout

par mètre cube ou par mètre carré de surface de lit ($1/3$ de la capacité volumétrique des lits, les deux autres tiers étant occupés par les scories), il en résulte qu'on peut déverser facilement sur chaque lit un mètre cube d'eau d'égout par mètre carré de surface et par jour.

Avec deux contacts, on épurera donc au total 500 litres par mètre carré de surface et par jour, soit 5 000 mètres cubes par hectare et par jour, c'est-à-dire un volume d'eau d'égout au moins *45 fois plus considérable que par l'épandage* (5.000 mètres cubes par hectare et par jour, au lieu de 110 mètres cubes si l'on adopte le taux réglementaire pour les champs d'épandage parisiens).

L'eau sortant du second lit bactérien, et souvent même du premier, doit être rendue imputrescible, d'une limpidité égale à celle des eaux de rivière et inoffensive pour les plantes aquatiques et les poissons.

Lorsque les bassins de décantation séparent bien les matières lourdes imputrescibles (sable, gravier, charbon et scories) et lorsque la solubilisation en fosse septique des matières putrescibles s'effectue convenablement, les scories qui servent de supports aux microbes oxydants ne reçoivent que des eaux chargées de substances organiques *dissoutes* : elles ne se colmatent ou ne s'encrassent donc jamais et elles restent intactes pendant de longues années. Tout au plus doit-on, tous les deux ou trois mois, râcler leur surface au rateau, et, tous les quatre ou cinq ans, retourner à la bêche leurs couches superficielles.

On pouvait craindre que, pendant les hivers rigoureux, la congélation des lits empêchât les phénomènes d'oxydation de se produire. L'expérience a prouvé que cette éventualité devait être écartée : les eaux d'égout sont toujours maintenues assez chaudes par les fermentations exothermiques qu'elles subissent, pour empêcher le gel des scories et on a constaté en Angleterre que, même par les plus grands froids, la nitrification s'effectue avec une activité un peu ralentie, mais suffisante pour assurer l'épuration.

Dans toutes les villes anglaises, déjà nombreuses, où le système biologique a été appliqué à l'épuration des eaux d'égout (Manchester, Exeter, Yeovil, Birmingham, York, Hampton, Huddersfield, Lincoln, Oldham, Oswestry, Sheffield), les autorités sanitaires sont unanimes à déclarer que ses résultats sont des plus satisfaisants. Les dispositions adoptées dans la plupart de ces villes sont cependant loin d'être parfaites et elles ne réalisent qu'incomplètement les trois phases essentielles que j'ai décrites.

En certains endroits, comme à Hampton, on n'a aménagé ni chambres de décantation pour séparer les corps lourds imputrescibles, ni fosses septiques et on reçoit directement l'eau d'égout sur une série successive de trois étages de lits bactériens. Il en résulte que le premier lit fonctionne mal, se colmate et nécessite soit des périodes de repos prolongées, soit un labourage trop fréquent.

A Manchester même, où l'installation est de beaucoup la plus parfaite et la plus grandiose qu'on puisse voir, on a voulu utiliser, comme fosses septiques et par mesure d'économie, d'anciens bassins de précipitation chimique qui ne sont ni assez vastes ni assez profonds pour permettre la bonne marche des fermentations anaérobies. On a négligé aussi d'assurer, par des bassins de décantation préalable, la séparation des corps lourds, imputrescibles, de sorte que les fosses septiques reçoivent une grande quantité de sable, de scories et de charbon. Leur capacité volumétrique se trouve ainsi réduite en quelques semaines aux deux tiers de la capacité initiale et on est obligé de les vider, ce qui n'arrive jamais lorsqu'on prend soin, comme à Birmingham, de n'y admettre que des eaux bien décantées.

On discute encore la question très importante de savoir s'il convient de couvrir les fosses septiques, comme le préconise Cameroun et le *Septic Tank Syndicate*, ou s'il est possible d'éviter cette dépense considérable en laissant une profondeur suffisante aux fosses septiques pour que les fermentations anaérobies s'y poursuivent régulièrement.

Enfin, une foule de systèmes, pour l'exploitation desquels leurs inventeurs ont pris des brevets, proposent de supprimer l'intermittence de fonctionnement des lits bactériens et de répartir l'eau d'égout à la surface de ces derniers à l'aide de moyens mécaniques souvent aussi compliqués qu'ingénieux (tourniquets hydrauliques, gouttières basculantes, etc.)

Tels sont les systèmes Stoddert, Wittaker, Bryant, Wermer-Gandy, etc.

On voit donc combien sont nombreux les essais tentés par nos voisins d'Outre-Manche en vue d'appliquer le travail des microbes à l'épuration aussi complète et aussi rapide que possible des eaux d'égouts !

En Allemagne et plus encore aux Etats-Unis, on se préoccupe activement de résoudre le même problème. Dunbar à Hambourg, Kinnicut à Worcester (Etats-Unis) ont publié, dans cet ordre d'idées, d'importants travaux dont nous devons faire notre profit.

En France, il n'est malheureusement pas douteux qu'un très petit nombre d'hygiénistes sont au courant de ces questions, pourtant d'une si haute portée. Dans les sphères officielles, on considère encore l'épandage comme réalisant l'idéal de la perfection et, sous prétexte qu'il donne d'excellents résultats partout où on dispose de terrains suffisamment vastes et perméables pour l'appliquer comme à Paris et à Reims, on oublie trop que la plupart des grandes villes, pour les raisons que j'ai indiquées précédemment, sont dans l'impossibilité absolue d'y avoir recours.

J'ai donc pensé qu'il était nécessaire, non seulement de répandre dans nos milieux scientifiques les notions qui se dégagent déjà très nettes des travaux étrangers, mais d'instituer aussi chez nous, à proximité d'une grande ville industrielle et d'un laboratoire bien outillé, de nouvelles recherches orientées dans la même direction. Grâce à la Caisse Nationale des Recherches Scientifiques, qui a bien voulu mettre à ma disposition les crédits

indispensables et grâce aussi au mouvement d'opinion et de solidarité provoqué par le Consortium d'assainissement du Nord, sous l'impulsion énergique et dévouée de son Président, M. Ory, j'ai pu organiser à Lille tout un centre d'études pour cet objet.

Avec la collaboration de M. A. Buisine, professeur de chimie industrielle à la Faculté des sciences; de M. le Dr Marmier, de MM. Rolants, Boullanger, Bonn, Constant et Massol, chimistes ou ingénieurs agronomes, et de M. Le Noan, conducteur des Ponts et Chaussées, j'ai tracé tout un programme de travaux dont les résultats devront être contrôlés par une commission supérieure composée des membres de la Caisse des Recherches Scientifiques et de délégués du Comité consultatif d'hygiène de France. Je me suis proposé tout d'abord de réaliser à proximité de la ville de Lille et en empruntant tout l'égout collecteur d'un de ses faubourgs, une grande expérience d'épuration d'eaux d'égouts particulièrement difficiles à épurer à cause de leur concentration et de leur teneur élevée en résidus industriels de toutes sortes (brasseries, teintureries, filatures, usines métallurgiques). J'ai arrêté mon choix sur l'égout collecteur de la Madeleine, qui se déverse dans la Basse-Deûle en un point très voisin des fortifications de Lille, dont le débit moyen oscille entre 500 et 700 mètres cubes par vingt-quatre heures.

J'ai donc loué sur la rive droite de la Basse-Deûle, un terrain de 1.500 mètres carrés de superficie, surélevé d'environ 1^m90 au-dessus du niveau supérieur de la rivière et j'ai dérivé vers l'angle le plus élevé de ce terrain la totalité de l'égout collecteur dont il s'agit. L'espace dont je disposais ainsi m'a permis d'aménager toute une installation d'expériences pour l'épuration biologique chimique ou chimico-bactérienne d'un volume d'eau d'égout tel qu'on ne puisse plus objecter qu'il s'agit là de simples essais de laboratoire. J'y trouvais en outre la possibilité d'expérimenter simultanément ou successivement, sur la même eau d'égout, tous les systèmes d'épuration qu'il était intéressant ou utile de mettre à l'étude. Je dressai donc mes plans de manière que cette même eau pût être soumise aux traitements ci-après :

1° Décantation des matières minérales non putrescibles, et séparation des corps flottants de plus de 5 centimètres de diamètre ;

2° Fermentation anaérobie en fosse septique *ouverte* à l'air libre de 3 mètres de profondeur ;

3° Fermentation anaérobie en fosse septique *couverte* de trois mètres de profondeur ;

4° Oxydation de l'effluent de chaque fosse septique sur lits bactériens aérobie ;

5° Epuration directe de l'eau d'égout sur lits bactériens sans fermentation anaérobie en fosse septique ;

6° Traitement initial des eaux d'égout par divers réactifs chimiques ;

7° Oxydation sur lits bactériens aérobie de l'effluent chimique après séparation des boues précipitées.

Les plans de cette installation d'expériences indiquent très clairement la disposition respective des fosses septiques, l'une ouverte, l'autre couverte ; celle du bassin collecteur destiné à recevoir les eaux sortant des fosses septiques et celle des lits bactériens de premier et de second contact qui reçoivent les eaux à épurer du bassin collecteur.

Au point d'arrivée des eaux en D, fig. 1, celles-ci passent à travers une grille à larges mailles et pénètrent dans l'ouverture rectangulaire d'un déversoir qui permet d'en mesurer constamment le débit soit par l'épaisseur de la lame d'eau déversée, soit au moyen d'un enregistreur de niveau, mû par un mouvement d'horlogerie.

Du déversoir les eaux passent, à volume égal, dans leurs bassins de décantation ou chambres à sable (*au*) qui ont chacun deux mètres cubes de capacité, un mètre de profondeur et dont il est facile d'enlever avec une drague à main tous les corps lourds qui se déposent. Elles sont ensuite dirigées, toujours en volume égal, dans chacune des deux fosses septiques dont la capacité volumétrique est de 250 mètres cubes, soit 500 mètres cubes pour les deux fosses. Leur profondeur utile est de 2^m60.

Elles sont munies de cinq cloisons incomplètes ou *chicanes* (fig. 2, coupe suivant CDEF) alternativement disposées de la surface à 0^m60 du fond, et du fond à 0^m60 de la surface.

L'extrémité de chaque fosse septique opposée à celle où l'eau arrive est munie d'un déversoir F et H, fig. 1, qui prend seulement la nappe d'eau située à 0^m50 de la surface, de manière à ne point entrainer les croûtes ni les matières grasses flottantes dont la décomposition n'est pas achevée.

La fosse septique couverte est munie de deux cheminées de 0^m10 de diamètre (55 fig. 2 coupe suivant GH) permettant l'évacuation et l'analyse chimique des gaz qui résultent de la fermentation à l'abri de l'air.

Le bassin collecteur destiné à recevoir l'effluent de chacune des deux fosses ou, si l'on veut, directement l'eau d'égout brute, a 50 mètres cubes de capacité et seulement 0^m40 de profondeur utile et commande les vannes de déversement sur les lits bactériens aérobies de premier contact (*vv*).

Entre les lits de premier et de second contact j'ai disposé une rigole permettant d'évacuer directement à la rivière l'eau sortant des premiers lits (par *f* et *g*) ou de déverser celle-ci à volonté sur chacun des deux lits de second contact.

Les lits bactériens, au nombre de quatre, deux pour le premier et deux pour le second contact, ont chacun 150 mètres cubes de capacité volumétrique et 50 mètres cubes de capacité utile, les deux tiers de la capacité volumétrique étant occupés par les scories. Le drainage et la distribution des eaux à leur surface est disposé, comme je l'ai indiqué précédemment, de manière à assurer une répartition aussi égale que possible de l'eau à épurer dans toute la masse des scories et de manière à permettre après chaque période d'immersion, la vidange rapide et l'aération facile des lits.

Les vannes de sortie après le second contact (*oo*) déversent l'eau complètement épurée à la rivière (par *g*); une dérivation permet de recueillir dans un petit bassin spécial deux mètres cubes d'eau épurée, afin de se rendre compte de son aspect et de son aptitude à permettre la vie des plantes et des poissons.

Une autre dérivation avant l'entrée aux fosses septiques (en *b*) dirige vers deux bassins de précipitation chimique l'eau brute sur laquelle il s'agit d'expérimenter les divers réactifs chimiques dont l'emploi pourrait paraître avantageux.

Toute l'installation d'épuration bactérienne a été mise en marche le 8 juillet. La maturation des lits bactériens exigeant environ un mois, je publierai seulement à la fin de cette année 1904 les premiers résultats d'ensemble que nous fourniront les analyses.

Je me borne à indiquer ci-dessous la composition moyenne des eaux de l'égout collecteur de La Madeleine à l'entrée de nos fosses septiques.

Ces eaux, dont l'aspect est noir, putride, sulfhydrique, ont une réaction le plus souvent alcaline et correspondant entre 35 et 365 millig. de carbonate de chaux par litre. Elles renferment de 235 à 882 millig. de matières organiques et de 670 millig. à 1 gr. 367 millig. de matières minérales dissoutes, de 3 à 24 millig. d'ammoniaque libre ou saline, et de 1 à 19 millig. d'azote organique.

Elles sont beaucoup plus souillées que les eaux de la Deûle dans laquelle elles se déversent et qui, à la même période, donnaient à l'analyse de 145 à 170 millig. de matières organiques, et de 242 à 295 millig. de matières minérales dissoutes, avec 3 à 8 millig. d'ammoniaque libre ou saline et 0 millig. 7 à 3 millig. d'azote organique.

En même temps que l'installation expérimentale de La Madeleine va nous permettre de réaliser, sur une assez large échelle, l'étude comparative des procédés biologiques, chimiques et chimico-bactériens appliqués à la même eau d'égout et à la totalité des eaux résiduaires d'une petite ville de 12.500 habitants, nous avons outillé spécialement un de nos laboratoires de l'Institut Pasteur de Lille, en vue des recherches à entreprendre sur l'épuration des eaux résiduaires de chacune des grandes industries de la région du Nord de la France et sur la biologie des microbes nitrificateurs.

MUS
COMME
LIL

Actuellement, les industries puissantes qui enrichissent cette région sont obligées de se débarrasser de leurs eaux usées en les rejetant dans les rivières et canaux : il en résulte des inconvénients de toutes sortes dont le plus grave, en dehors même de réels dangers pour la santé publique, est que les industries ne pourront bientôt plus trouver dans les nappes souterraines polluées assez d'eau propre pour subvenir à leurs besoins.

Il était donc urgent d'aborder l'étude des moyens pratiques à proposer aux industriels pour leur permettre d'épurer leurs eaux usées, de manière qu'ils puissent sans dommage, soit les rejeter dans les rivières, soit les utiliser de nouveau immédiatement.

A ce point de vue spécial, nous avons déjà obtenu des résultats très importants en ce qui concerne les eaux résiduaires de sucrerie et d'amidonnerie.

Nous avons entrepris pendant les deux dernières campagnes sucrières, avec la collaboration de MM. Leroux et Vié, Ingénieurs, des essais d'épuration des eaux résiduaires de sucreries à l'usine de la Société Say à Pont-d'Ardres (P. D. C.) : ces essais ont porté sur un volume d'environ 300 mètres cubes par jour.

Ils ont montré que les eaux résiduaires de sucreries, que l'on rangeait jusqu'à ces derniers temps parmi les plus difficiles à épurer, sont parfaitement justiciables du système biologique, sous réserve de certaines modifications aux dispositifs habituellement employés pour les eaux d'égout.

Tout d'abord, il est indispensable de ne pas faire usage de fosses septiques avec ces eaux qui renferment presque exclusivement des matières hydrocarbonées, telles que la cellulose, les matières pectiques et le sucre. L'emploi des fosses septiques aurait pour effet de développer des fermentations anaérobies *butyriques* et de donner naissance à des quantités considérables d'acide butyrique qui générerait par la suite les actions oxydantes sur lits bactériens à cause de son pouvoir antiseptique relativement élevé.

D'autre part, les eaux de presses à cossettes de sucreries étant très concentrées et riches en sucres (elles renferment par litre

4 à 6 grammes de matières organiques dont 2 gr. 8 à 3 gr. 2 de sucre et 3 à 6 grammes de pulpes flottantes), il est nécessaire de les diluer avec un tiers ou un demi d'eaux provenant du lavage des betteraves qui contiennent une quantité très grande de microbes du sol et qui facilitent puissamment l'action oxydante des lits bactériens.

On reçoit donc directement et successivement les eaux de presses à cossettes diluées sur une série de trois lits bactériens aérobies. Elles séjournent deux heures sur chaque lit et sortent du dernier contact sans trace de sucre. Le pourcentage de l'épuration totale sur chaque lit s'élève progressivement :

30 p. 100 après le premier contact ;

65 p. 100 après le deuxième contact ;

90 p. 100 et jusqu'à 92 p. 100 après le troisième.

L'eau épurée n'est ni putrescible ni toxique pour les poissons alors que ces derniers succombent presque instantanément quand on les plonge dans l'eau brute.

M. G. Barrois-Brame, fabricant de sucre à Marquillies (Nord) a bien voulu, lui aussi, essayer l'épuration bactérienne de ses eaux de presses à cossettes pendant la dernière campagne sucrière. Il a employé pour cette expérience trois bacs en tôle, de 5 mètres cubes environ de capacité chacun, surélevés en cascade au-dessus du sol. Au fond de chacun d'eux, on a disposé des drains et au-dessus de ceux-ci, une couche d'un mètre d'épaisseur de mâchefer.

J'ai fait laver les scories une fois par jour pendant une semaine avec de la délayure de terre arable, pour provoquer une multiplication plus rapide des microbes oxydants. On y a admis ensuite les eaux des presses à cossettes d'abord diluées aux deux tiers avec de l'eau de lavage de betteraves, puis diluées à un demi, puis diluées à un tiers.

Les résultats ont été identiques à ceux obtenus à la sucrerie de Pont-d'Ardres.

On peut donc considérer comme résolu le problème de l'épuration des eaux résiduaires de sucreries.

Nous entreprendrons ainsi successivement, avec le concours d'industriels éclairés de la région du Nord, l'étude des meilleurs systèmes à employer dans les diverses industries et nous publierons tous nos résultats d'expériences à mesure qu'ils nous paraîtront pouvoir servir de base à des applications définitives.

Nous espérons de la sorte, mes collaborateurs et moi, contribuer utilement aux progrès de nos connaissances sur l'assainissement des industries et des villes et nous nous efforcerons de justifier la confiance que le Conseil d'administration de la Caisse des Recherches Scientifiques veut bien nous témoigner en nous accordant les moyens de poursuivre nos travaux.