

BROUARDEL et MOSNY

TRAITÉ D'HYGIÈNE

PUBLIÉ EN FASCICULES

SOUS LA DIRECTION DE MM.

A. CHANTEMESSE

PROFESSEUR D'HYGIÈNE
À LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS
CONSEILLER TECHNIQUE SANITAIRE DU MINISTÈRE
DE L'INTÉRIEUR
MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

E. MOSNY

MÉDECIN
DE L'HÔPITAL SAINT-ANTOINE
MEMBRE
DU CONSEIL SUPÉRIEUR D'HYGIÈNE
MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT URBAINES ET INDUSTRIELLES

PAR

le Dr **A. CALMETTE**

Membre correspondant de l'Institut et de l'Académie de médecine,
Directeur de l'Institut Pasteur de Lille.

Octobre 1910

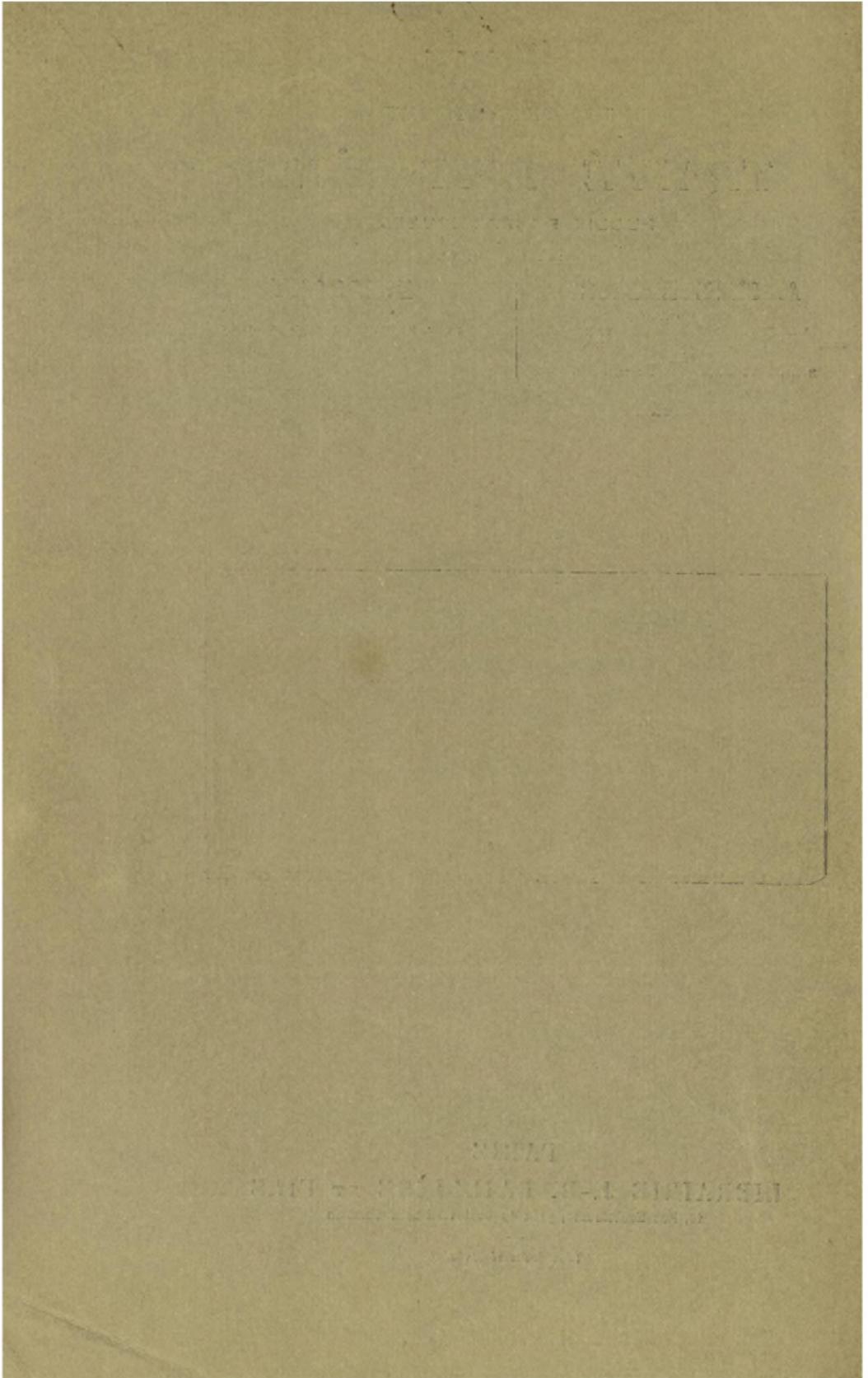
PARIS

LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS

49, Rue Hautefeuille, près du Boulevard Saint-Germain

Tous droits réservés.

1910



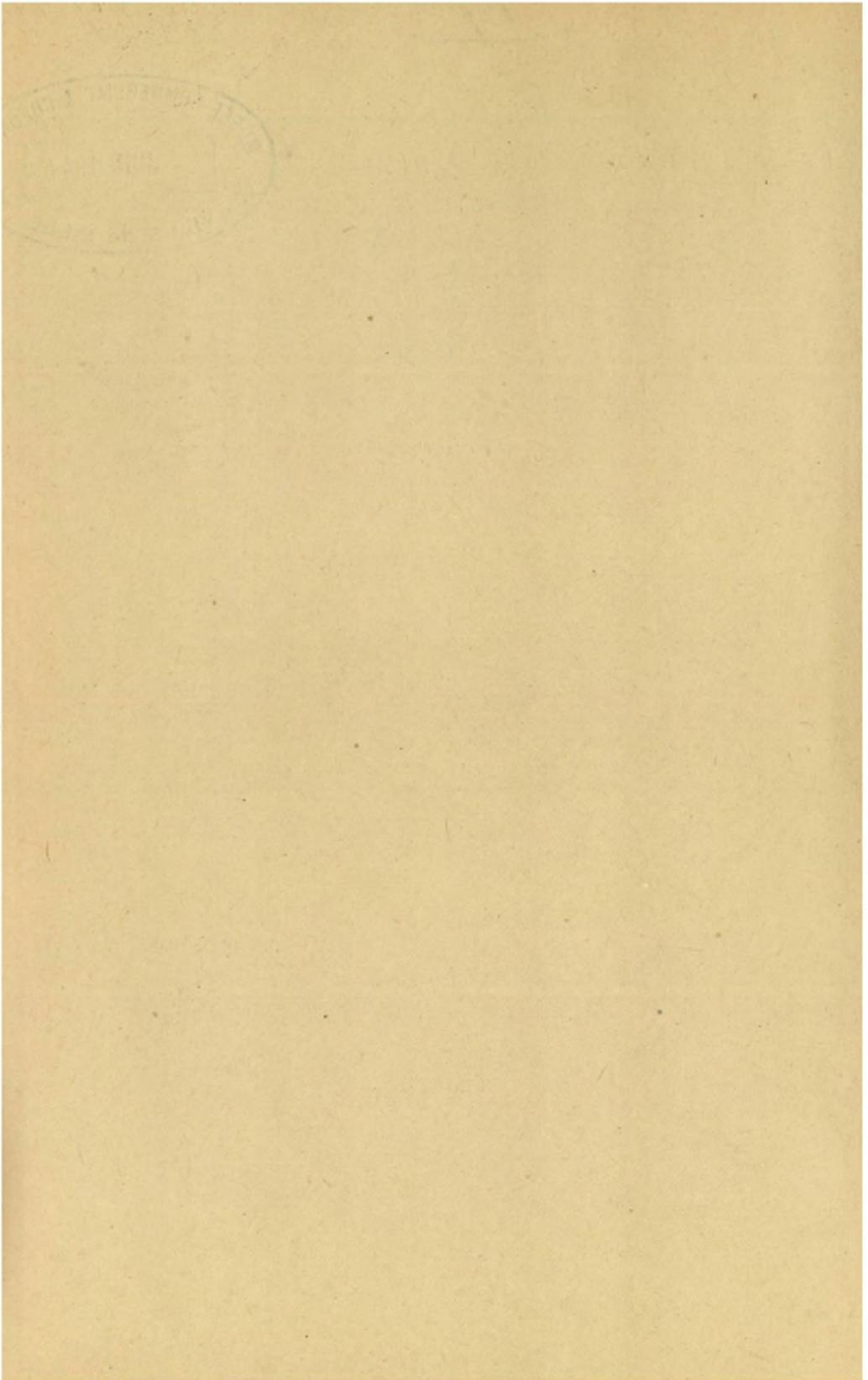
00173

~~1838~~

18/4/20



Bmic 69



N° 3907271-167692



BROUARDEL et MOSNY

TRAITÉ D'HYGIÈNE

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE

MM. CHANTEMESSE et E. MOSNY

ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT URBAINES ET INDUSTRIELLES

PAR

le Dr A. CALMETTE,

Membre correspondant de l'Institut et de l'Académie de médecine,
Directeur de l'Institut Pasteur de Lille.

I. — GÉNÉRALITÉS.

Tous les êtres vivants, depuis les microbes jusqu'à l'homme, produisent des excréments, résidus de leur nutrition et de leur activité vitale, dont l'accumulation ne tarde pas à devenir nuisible pour leur existence. La levure de bière périt en quelques semaines dans le moût sucré dont elle a achevé la fermentation alcoolique : de même les animaux supérieurs et l'homme succomberaient bientôt s'ils étaient obligés de vivre au milieu de leurs déjections. Mais la faculté qu'ils possèdent de se mouvoir sur de larges espaces leur permet heureusement de s'en éloigner.

Les anciens hommes menaient une vie nomade : aussitôt que l'endroit où ils campaient devenait insalubre, ils s'en allaient ailleurs. Le problème de la destruction des immondices ne présentait donc pour eux aucun intérêt. Plus tard, les peuples plus policés, éprouvant le besoin de construire des villes, établirent celles-ci au bord de la mer ou sur les rives des cours d'eau, qui leur servaient en même temps de voies d'accès et d'égouts.

De nos jours, il en est encore ainsi pour beaucoup de grandes cités : *Marseille, Bordeaux, Lyon, Nantes, Bruxelles, Anvers, Liège*, rejettent à la mer ou dans les fleuves la plupart de leurs résidus. *Paris, Londres, New-York, Liverpool, Hambourg* faisaient de même

jusqu'à ces dernières années. Mais l'abondance des déchets de ces énormes agglomérations devint si considérable que les fleuves restaient souillés sur une longue étendue de leur parcours et que la mer ramenait constamment sur les rivages la plus grande partie des immondices qu'on y déversait.

Un tel état de choses présentait de graves dangers pour la santé publique. On assistait de temps à autre à des hécatombes meurtrières causées par de terribles épidémies de peste, de choléra ou de typhus. Ces maladies, dont la cause était alors ignorée, fauchaient d'un seul coup des multitudes de vies humaines.

Lorsque, après les découvertes de Pasteur, on s'aperçut enfin qu'on pouvait les empêcher de se propager et de naître, et qu'il suffisait pour cela d'assainir les demeures, d'éloigner les ordures et de procurer aux habitants des villes une eau potable indemne de toute pollution, les autorités publiques se virent contraintes d'édicter des mesures pour faciliter l'évacuation et la destruction des immondices et pour protéger les cours d'eau.

Bientôt, la plupart des nations civilisées élaborèrent des lois et des règlements prescrivant l'interdiction de déverser dans les rivières ou les fleuves des matières excrémentielles ou résiduaires. Mais comme il n'existait aucun moyen pratique de se débarrasser de celles-ci autrement qu'en les utilisant comme engrais, et que cette utilisation n'était possible que dans un petit nombre de circonstances, les lois et règlements restèrent le plus souvent inappliqués.

On dut alors se mettre à la recherche de procédés permettant de purifier les eaux d'égout et de les rendre inoffensives. De nombreux travaux ont été entrepris dans ce but depuis près d'un demi-siècle, surtout en Angleterre, en Amérique et en France, sur le rôle épurant du sol cultivé, puis sur l'épuration par divers réactifs chimiques, puis enfin sur les méthodes récentes d'épuration biologique artificielle qui absorbent actuellement l'attention des hygiénistes et des ingénieurs sanitaires de tous les pays.

II. — VARIATIONS DE COMPOSITION ET DE DÉBIT DES EAUX D'ÉGOUT DES VILLES. — SYSTÈME UNITAIRE ET SYSTÈME SÉPARATIF.

Les eaux d'égout des villes contiennent en proportions extrêmement variables deux sortes de substances organiques :

1° Des substances ternaires, composées de carbone, d'oxygène et d'hydrogène, et dont les plus importantes sont les résidus celluloseux de papier ou de végétaux, l'amidon, les dextrines et les sucres, les alcools, les acides organiques (lactique, malique, succinique, etc.) 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 détritux végétaux. Les principales sont la *fibrine*, les *albumines*, les *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 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 même qu'ils décomposent, et cette décomposition aboutit à la formation d'*hydrogène libre* ou d'*hydrogène carboné* (*gaz des marais*) et d'*acide carbonique*.

Les substances *quaternaires*, abondantes surtout dans les résidus d'*abattoirs*, de *laiteries*, de *tanneries*, peuvent être désintégrées par une multitude d'espèces microbiennes anaérobies ou aérobies, c'est-à-dire capables de vivre et de se multiplier en l'absence ou en présence de l'air atmosphérique. 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 *nitrites*, avec élimination d'une proportion plus ou moins grande d'*azote libre*, d'*hydrogène libre*, ou *sulfuré*, ou *carboné* et d'*acide carbonique*.

Outre ces substances organiques, qui se trouvent *dissoutes* ou en *suspension* dans les eaux d'égout, celles-ci renferment une proportion également très variable de substances minérales (sable, charbon, argile, sels). Les quantités et la nature de ces corps présentent une importance considérable et doivent être déterminées aussi exactement que possible dans chaque cas particulier : les uns, *insolubles*, peuvent être retenus par une décantation convenable et enlevés au moyen de dispositifs mécaniques; les autres, *dissous*, sont susceptibles de favoriser ou de gêner les phénomènes biologiques de désintégration de la matière organique.

D'une manière générale, on trouve que les eaux du tout à l'égout des grandes villes, comme Paris, contiennent environ par litre 1^{er},250 de résidus solides constitués par 0^{er},800 de matières minérales et 0^{er},450 de matières organiques. Mais ces chiffres peuvent être notablement plus élevés : nous ne les donnons ici qu'à titre de simple indication.

La quantité moyenne d'eau d'égout évacuée dans les villes (convenablement alimentées en eau propre aux divers usages domestiques) est d'environ 100 litres par habitant et par jour.

Ces 100 litres entraînent toutes les matières solides ou dissoutes pro-

venant des excréments, des urines, des lavabos, bains, cuisines, etc.

Les excréments seuls, produits quotidiennement par un homme adulte normalement alimenté, fournissent 29^{gr},2 de résidus organiques (pesés après dessiccation) et les urines 37 grammes, soit ensemble, pour les excréta humains, 66^{gr},2 par jour.

Si les eaux d'égout étaient uniquement constituées par ces matières diluées dans 100 litres d'eau, chaque litre d'eau d'égout contiendrait déjà 0^{gr},662 de substances organiques. En réalité, il y en a davantage, car les résidus des cuisines, des lavages et aussi les excréments des animaux domestiques viennent s'y ajouter. De sorte que, d'après les chiffres fournis par divers auteurs, il faut admettre que chaque litre d'eau d'égout contient en moyenne de 750 à 800 milligrammes de matières organiques susceptibles d'être minéralisées par le travail d'épuration, soit 750 à 800 grammes par mètre cube.

Si, au lieu d'être diluées dans 100 litres d'eau, les mêmes matières le sont seulement dans 50 ou 25 litres, la concentration des eaux d'égout se trouve portée respectivement à 1 500 grammes et à 3 kilogrammes par mètre cube. Suivant le procédé d'épuration qu'il s'agira d'appliquer, il en résultera des difficultés plus ou moins grandes, et il importe d'en être averti.

Les conditions de l'épuration sont également très différentes suivant qu'on s'adresse à des eaux-vannes provenant d'un *réseau d'égout unitaire* ou à des eaux-vannes provenant d'un *réseau séparatif*.

Avec le *système unitaire*, qui comporte l'évacuation simultanée des eaux ménagères, des matières de vidange et des eaux pluviales, l'apport extrêmement variable de ces dernières, dont le volume peut atteindre jusqu'à 60 fois et plus celui des eaux-vannes ménagères seules, en rend l'épuration toujours très difficile à réaliser convenablement. Elle est surtout très coûteuse parce qu'elle nécessite la construction de bassins de décantation très vastes et l'aménagement d'énormes surfaces de terrains d'épandage ou de filtres artificiels.

Le *système séparatif*, de construction presque toujours plus économique, est infiniment préférable à ce double point de vue : le volume d'eau évacué chaque jour étant sensiblement constant, la capacité des bassins de décantation et les surfaces de terrains d'épandage (ou de filtres artificiels) sont réduites au minimum. En outre, la régularité du débit et la constance de composition moyenne des eaux-vannes ménagères, *non diluées par les apports trop variables d'eaux pluviales*, rend l'épuration beaucoup plus régulière, plus parfaite et moins coûteuse, quel que soit le procédé choisi.

Lorsqu'on se propose de dresser un projet pour l'épuration des eaux résiduaires d'une agglomération urbaine pourvue d'un égout séparatif, la première information à prendre est celle relative au volume moyen d'eaux-vannes produites en vingt-quatre heures.

Ce volume est extrêmement variable suivant les heures de la jour-

née ; mais, dans la plupart des villes, les grandes oscillations se produisent aux mêmes heures et à peu près exactement comme l'indique la courbe de la figure 1.

On admet généralement que les 100 litres évacués en moyenne par habitant et par jour, dans les villes, se répartissent comme suit d'après la provenance :

	Litres par personne et par jour.
Propreté corporelle, lavabos, toilette	16,5
Water-closets et urinoirs.....	15
Lavage des légumes, des assiettes, etc.....	6,5
Lavage des habitations, cours, cuisines.....	10
Boissons et préparation des aliments.....	3,5
Bains (un bain par personne et par mois, soit 10 litres par jour)	10
Lavage du linge.....	11
Divers écoulements continus, réservoirs de chasse, petites industries (boulangers, pâtisseries, etc.)..	11
Écuries, remises, lavage des fils d'eau.....	16,5

Au total, par habitant et par jour ... 100 litres.

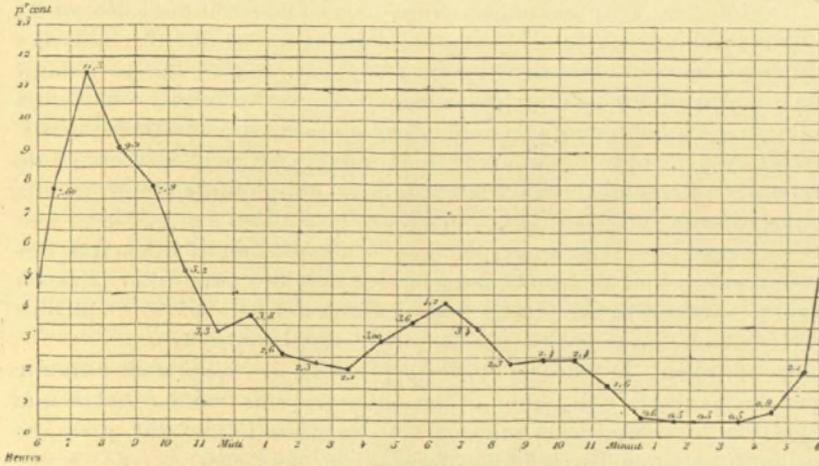


Fig. 1. — Courbe montrant les variations horaires de débit dans un égout séparatif.

COMPOSITION DES EAUX RÉSIDUAIRES INDUSTRIELLES.

— Les eaux résiduaires industrielles ont le plus souvent une composition moyenne constante, mais leur degré élevé de souillure et la nature des substances organiques ou minérales qu'elles renferment, et qui sont en rapport avec les industries qui les produisent, occasionnent ordinairement une pollution intense des rivières. Aussi la nécessité de les épurer s'impose-t-elle partout; mais les difficultés que présente cette épuration sont quelquefois si grandes et les procédés qu'on leur appliquait jusqu'à ces derniers temps se montraient si peu satisfaisants qu'on hésitait à y avoir recours.

Fort heureusement, les recherches poursuivies avec succès depuis quelques années nous ont fourni à cet égard des indications précises, dont les industriels avisés s'empressent de faire leur profit. Nous en parlerons plus loin.

CONDITIONS DÉTERMINANT LE CHOIX D'UN PROCÉDÉ D'ÉPURATION. — Beaucoup de personnes ont cru qu'il était possible de traiter les eaux résiduaires industrielles ou urbaines, quelle que fût leur provenance, par les mêmes procédés : réactifs chimiques précipitants ou irrigation agricole. Or c'était là une grave erreur qui a procuré de nombreux mécomptes. On ne doit pas envisager le problème de l'épuration comme résolu par l'adoption d'un système *passé-partout*, uniformément applicable dans tous les cas à l'assainissement des villes ou des industries. Tel procédé, parfaitement efficace lorsqu'il s'adresse à des eaux-vannes de tout à l'égout, donnera des résultats médiocres ou mauvais s'il est inconsidérément appliqué à des eaux qui renferment en abondance certains résidus industriels.

Tantôt il est avantageux, au point de vue économique, de confier aux actions microbiennes le soin de détruire la totalité des matières putrescibles contenues dans les eaux à épurer. Tantôt, lorsqu'il s'agit de résidus albuminoïdes très concentrés, par exemple, ou d'eaux industrielles contenant des acides organiques, des matières tinctoriales ou des corps minéraux trop abondants, on peut être obligé de recourir à l'emploi de réactifs chimiques précipitants, neutralisants ou oxydants.

Ailleurs enfin, il peut arriver que l'on soit conduit à séparer des eaux-vannes soit des matières grasses, soit des produits riches en azote, présentant une réelle valeur commerciale et susceptibles d'être vendus avec profit.

Donc, avant de faire choix d'un procédé, il faut d'abord établir par des analyses chimiques et des mensurations aussi exactes que possible la *composition moyenne* et les *quantités d'eau* qu'on se propose de soumettre à l'épuration.

Disons cependant tout de suite que, lorsqu'il s'agit d'eaux-vannes ménagères ou du tout à l'égout, même mélangées d'une assez forte proportion de résidus de certaines usines, telles que brasseries, tanneries, déchets d'abattoirs, laiteries, etc., il est tout indiqué de recourir à l'un des systèmes d'*épuration biologique naturelle* ou *artificielle* sur la description desquels nous nous étendrons tout à l'heure.

On réservera de préférence l'emploi des réactifs chimiques aux cas où la désintégration des matières par les microbes est impossible à réaliser.

III. — INCONVÉNIENTS DES PROCÉDÉS DE TRAITEMENT CHIMIQUE APPLIQUÉS AUX EAUX RÉSIDUAIRES URBAINES. — LA QUESTION DES BOUES.

On ne doit pas se dissimuler que l'utilisation pratique des boues qui résultent soit de la simple décantation mécanique, soit de la précipitation chimique, présente des difficultés considérables. Leur valeur comme engrais est très minime. 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 le placement immédiat, on est obligé de les céder à vil prix, puis de payer pour s'en débarrasser parce qu'on ne peut les laisser s'accumuler et qu'il est indispensable de les évacuer au loin. Les frais de transport deviennent alors beaucoup plus élevés que leur valeur propre.

Sauf quelques exceptions, la plupart des 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 kilogrammes renferment une valeur de 16 à 20 francs d'azote, par exemple. Pourquoi ces mêmes cultivateurs s'aviserait-ils alors de transporter à grands frais 2 ou 3000 kilogrammes de boues sèches, valant ensemble 10 à 12 francs d'après leur teneur en azote, c'est-à-dire ce qu'ils peuvent trouver dans moins de 100 kilogrammes 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 leurs proportions dans l'eau à traiter, suivant les changements 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 une difficulté quelquefois malaisée à vaincre.

Toutes ces considérations justifient la volonté des hygiénistes de chercher plutôt la solution du problème du côté des systèmes d'épuration qui utilisent les actions microbiennes. Ceux-ci du moins

visent à réduire le volume des boues et à la suppression des réactifs, en même temps qu'ils réalisent une *épuration* dans le sens scientifique de ce mot, par la *désintégration des matières organiques*, par la transformation de ces dernières en *éléments minéraux*, tandis que les *traitements chimiques ne font que précipiter les matières en suspension et les substances albuminoïdes coagulables*.

Il y a cependant des cas où ces traitements chimiques, *précédant les actions microbiennes d'épuration*, rendent de très grands services : par exemple lorsqu'il s'agit d'épurer des eaux d'égout urbaines, qui renferment une très forte proportion d'eaux résiduaires industrielles. Tel est le cas de la ville de *Bradford* en Angleterre, ou encore celui de la ville de *Kœpenick*, près de Berlin, dont les eaux extrêmement riches en graisses doivent être préalablement débarrassées de la majeure partie de celles-ci pour que les processus de désintégration microbienne puissent s'y accomplir.

Dans quelques circonstances, il peut encore devenir avantageux d'éliminer rapidement les matières en suspension dans l'eau d'égout au moyen d'une précipitation chimique, pour éviter certains inconvénients de la décantation lente ou pour accroître la capacité d'épuration d'un filtre biologique artificiel.

Mais, en thèse générale, on doit reconnaître que les traitements chimiques sont trop coûteux et trop compliqués pour que les villes puissent en faire usage. Ils trouvent presque exclusivement leur application aux eaux résiduaires industrielles, où ils rendent d'inappréciables services.

IV. — PRINCIPES DE L'ÉPURATION BIOLOGIQUE NATURELLE. — AUTO-ÉPURATION DES COURS D'EAU. — ÉPANDAGE. — IRRIGATION AGRICOLE. — FILTRATION INTERMITTENTE.

A. L'auto-épuration biologique des eaux d'égout dans les fleuves et les rivières. — C'est un fait bien connu que les matières organiques putrescibles contenues dans les eaux d'égout, lorsqu'elles sont déversées dans les rivières, polluent celles-ci sur une certaine étendue de leur parcours, mais qu'au bout d'un trajet plus ou moins long les eaux de ces rivières s'en débarrassent complètement. Ce phénomène résulte de ce que les matières dont il s'agit, les unes en suspension, les autres dissoutes, subissent dans le lit même de la rivière toute une série de décantations, de réactions chimiques et finalement de dégradations microbiennes d'une grande complexité. Ces dégradations microbiennes constituent ce que nous appelons l'*auto-épuration biologique*.

Celle-ci a été scientifiquement étudiée, surtout en Allemagne d'abord

par Alex. Müller, Von Pettenkoffer et Franz Hulwa, puis par H. Buchner, Prasnitz, H. Schenk, E. Salkowsky, A. Wernich, Uffelmann, etc., et en Amérique par Arthur R. Reynolds.

Les principaux facteurs de l'*auto-épuration biologique* des rivières sont naturellement, en première ligne, les *microbes*; mais les animaux inférieurs, les algues et les végétaux aquatiques y prennent aussi une grande part. Certains animaux qui se nourrissent de microbes et de vase, tels que les *Moules d'eau douce*, les *Gastéropodes*, les *Vers*, les *Bryozoaires*, certaines *larves d'insectes* et même certains *poissons* jouent ainsi un rôle très important.

L'*auto-épuration* s'effectue avec une rapidité plus ou moins grande suivant la température, suivant l'intensité des courants et suivant la composition chimique des eaux, qui est plus ou moins favorable à la vie des espèces microbiennes, animales ou végétales, dont l'intervention est le plus efficace.

F. Hulwa a publié à ce sujet un très intéressant travail sur les eaux de l'Oder (1), dont voici résumés les résultats :

	Milligrammes par litre.			
	Résidu total.	Perte à la calcination.	Ammoniaque.	Azote albuminoïde.
Eau de l'Oder, en amont de Breslau.....	169	38	0,07	0,24
— en amont de l'embouchure des égouts.....	172	39	0,20	0,24
— immédiatement en aval de l'embouchure des égouts...	533	179	10,34	2,98
— à la sortie de la ville.....	186	43	1,12	0,42
— à 9 kilomètres en aval.....	179	43	0,48	0,33
— à 14 — en aval.....	194	28	0,17	0,30
— à 32 — en aval.....	183	34	0,54	0,23

Ce trajet de 32 kilomètres est effectué en quinze heures environ.

Aux rapports publiés par Arthur R. Reynolds sur la pollution du *Mississipi* entre le lac *Michigan* à *Chicago* et *Saint-Louis*, nous empruntons le schéma ci-après, qui montre de la manière la plus saisissante la marche de l'*auto-épuration* dans l'Illinois après les déversements d'eaux d'égout de la ville de *Chicago* dans le lac et le canal *Michigan* (fig. 2).

Il est évident que, quelque efficaces et puissants que puissent être les processus biologiques qui réalisent ainsi l'*auto-épuration* des rivières et des fleuves, la lenteur relative avec laquelle ils produisent leurs effets n'empêche pas les eaux d'égout et les eaux résiduaires industrielles fortement polluées d'occasionner des *nuisances*, comme disent les Anglais, soit en raison des dépôts de matières fermentescibles qui encombrant le lit des cours d'eau, soit en raison des odeurs que les fermentations dégagent, soit encore parce que les

(1) Beiträge zur Schwemmkanalisation, etc., der Stadt Breslau, 1890.

gaz ou les produits de désintégration moléculaire qui résultent de ces fermentations exercent une action toxique sur les organismes animaux ou végétaux supérieurs.

Il est donc tout à fait indispensable d'accélérer le plus possible la minéralisation de toutes ces substances, de les rendre inoffensives et de leur permettre en même temps de rester dans le cycle de la vie.

Tel est précisément le but que l'homme et les peuples civilisés atteignent de plus en plus par l'étude et l'adoption des méthodes scientifiques, dont la plus simple est l'épuration biologique naturelle.

B. Épandage. — Irrigation agricole et filtration intermittente. — C'est surtout à trois éminents savants français, Berthelot, Th. Schlœsing et Müntz, que nous devons la connaissance exacte des fonctions épuratrices du sol et du rôle des microbes qu'il renferme. C'est à ces microbes, dont la terre végétale recèle d'innombrables espèces, que la nature confie le soin de décomposer toutes les substances organiques végétales ou animales, résidus ou déchets des êtres vivants qui naissent, pullulent et meurent à sa surface. Ce sont eux aussi qui, dans la pratique de l'épandage, désintègrent et minéralisent la matière organique apportée par les eaux d'égout.

La puissance épurante du sol qui leur sert de support est en relation directe avec leur vitalité et leur nombre. Or tous les sols ne sont pas également aptes à faciliter leur multiplication : ils ont besoin de beaucoup d'oxygène, qu'ils empruntent à l'air et qui leur sert à oxyder la matière organique; il leur faut un milieu chimique neutre ou légèrement alcalin, et ils craignent les températures trop basses.

Les sols argileux, compacts, imperméables à l'air et peu absorbants, de même que les sols tourbeux à réaction acide, ne sauraient leur convenir.

L'épandage n'est donc possible que sur les terrains perméables à l'air sur une profondeur suffisante et bien drainée.

Pour que l'épuration s'effectue, il faut en outre que le sol fixe la matière organique dissoute, comme un tissu fixe une teinture, et qu'il

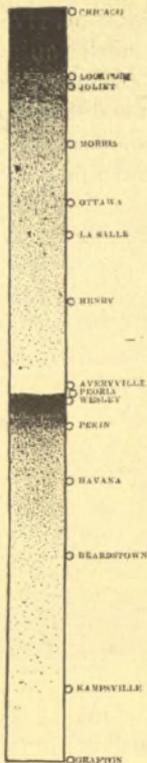


Fig. 2. — Schéma montrant l'auto-épuration des eaux polluées entre le débouché des égouts collecteurs principaux à Chicago et le confluent de la rivière Illinois et le Mississippi à Grafton, près de Saint-Louis (d'après A.-R. Reynolds).

ne se laisse pas traverser trop rapidement par l'eau. Le sable mélangé d'un peu d'argile, de calcaire ou d'humus, est beaucoup meilleur à ce point de vue que le sable pur à grains fins.

D'autre part, les *microbes nitrificateurs* qui transforment l'*ammoniaque en nitrates* étant essentiellement aérobies, il importe de ne jamais noyer pendant plusieurs heures de suite les terrains d'épandage. *L'air doit y pénétrer en même temps que l'eau.* Il faut donc proportionner les quantités d'eau d'égout déversées, de manière à ne jamais entraver la pénétration de l'air, et il est indispensable de ne pratiquer l'irrigation que *par intermittences*, pour éviter le colmatage des couches superficielles par les matières organiques non dissoutes, dont la décomposition est plus lente.

La nécessité de cette intermittence de la filtration s'était imposée dès 1888 aux expérimentateurs américains de la station de *Lawrence (Massachusetts)*, alors dirigée par Hiram Mills.

En déversant l'eau, par intermittences soigneusement réglées, sur des lits de sable à gros grains, profonds d'environ 2 mètres et riches en microbes nitrificateurs, ces savants avaient constaté les premiers que l'on parvenait à brûler sur une surface de 1 hectare presque toute la matière organique contenue dans 1 350 mètres cubes d'eau d'égout par jour, ce qui correspond à 135 litres par mètre carré, ou à une couche d'eau de 135 millimètres !

Le sol sableux du *Massachusetts* se prête admirablement à l'emploi de cette méthode de *filtration intermittente*, telle que l'avait proposée Frankland dès 1870. Malheureusement elle ne peut pas être appliquée partout : elle nécessite des surfaces trop considérables (environ 1 hectare par 2 000 habitants), et l'accumulation plus ou moins rapide des boues sur les lits de sable rend indispensables de fréquents raclages ou hersages et des périodes souvent longues de repos permettant l'aération du sable dans toute sa masse.

Avec l'*épandage sur sol cultivé (irrigation agricole)*, les surfaces nécessaires sont encore plus considérables. Les meilleurs terrains perméables et homogènes, *cultivés en prairies*, pourraient, d'après P. Vincey, recevoir sans difficultés jusqu'à 100 litres d'eau d'égout par mètre carré et par jour. Mais ce chiffre n'est jamais atteint dans les *champs d'épandage de la ville de Paris*, où les décrets du 11 avril 1899 ont fixé comme *maximum 40 000 mètres cubes par hectare et par an*, soit 11 litres par mètre carré et par jour.

A *Berlin*, les terrains d'irrigation, formés de sable argileux mais peu profonds, reçoivent seulement un volume d'eau quatre fois moindre (*12 000 mètres cubes par hectare et par an ou 3¹,29 par mètre carré et par jour*).

Si l'on ne veut point être exposé à sacrifier trop souvent les intérêts de la culture aux nécessités de l'épandage, on doit considérer ce taux de 12 000 mètres cubes par hectare et par an comme ne devant

pas être dépassé. Or, une ville de 10 000 habitants produisant en moyenne, à raison de 100 litres par habitant et par jour (en faisant abstraction des eaux pluviales), un volume quotidien de 1 000 mètres cubes d'eau d'égout, doit pouvoir disposer, si elle veut faire de l'irrigation agricole, d'une surface de terrains culturaux d'au moins 30 hectares.

En supposant qu'une telle surface, suffisamment perméable, fût disponible à son voisinage, elle serait le plus souvent d'un prix trop élevé, d'autant qu'il faut encore tenir compte des frais d'aménagement, de drainage et d'entretien d'un réseau très étendu de canaux souterrains pour la distribution des eaux sur toutes les surfaces à irriguer.

On comprend donc que ce système, malgré ses résultats incontestablement excellents, n'ait pu être adopté que par de grandes capitales comme Paris, Berlin, ou quelques villes comme Reims, Breslau, Fribourg-en-Brisgau, Dantzig, Magdebourg, Odessa, qui avaient à leurs portes de vastes terrains sablonneux ou calcaires, très abondants et de peu de valeur.

Les villes de moindre importance ou moins favorablement situées sont dans l'impossibilité d'y avoir recours.

D'autre part, il ne faut pas se dissimuler qu'on a commis une erreur en comptant, comme on l'a fait au début, sur le rôle épurant de la culture. Les promoteurs de l'épandage à Paris, Mille et Durand-Claye, supposaient que les plantes agissent de deux manières en se développant : ils pensaient que la pénétration de leurs racines rend le sol plus perméable, ce qui est exact ; mais ils croyaient aussi qu'elles peuvent 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 n'assimilent pas les matières organiques azotées complexes. Il faut, pour que ces matières organiques servent d'aliments aux plantes, qu'elles soient préalablement minéralisées ou transformées en ammoniaque et en nitrates solubles par les actions microbiennes dues aux ferments figurés du sol.

On a également commis une erreur en cherchant à développer l'utilisation de l'eau d'égout dans la culture maraîchère. Outre que les terrains consacrés à cette culture ne peuvent absorber qu'une très faible quantité d'eau pendant les mois d'été pour ne pas noyer les récoltes, il est manifestement contraire à l'hygiène d'épandre dans les sillons, au voisinage de légumes destinés pour la plupart à être mangés crus (céleris, salades, raiforts, artichauts, etc.), des matières fécales non dissoutes, qui se décomposent lentement à l'air et favorisent la dissémination, par les vents et par les insectes ailés, de toutes sortes de vers, parasites intestinaux (*trichocéphales*, *ascaris*, *oxyures*, etc.) ou *bacilles pathogènes*.

L'expérience ne prouve pas, il est vrai, que les habitants de *Gennevilliers* ou des communes voisines des autres champs d'épandage parisiens soient plus particulièrement frappés par les maladies contagieuses depuis que les champs d'épandage existent, mais rien ne démontre qu'ils n'en souffriraient pas cruellement si quelques cas de choléra, par exemple, survenaient un jour à Paris, et rien ne prouve surtout que les légumes apportés aux halles ne contribueraient pas à diffuser rapidement une épidémie de cette nature, comme on les accuse déjà de répandre dans la population parisienne les parasites intestinaux et l'appendicite!

On pourrait, il est vrai, comme le veulent les prescriptions du *Conseil supérieur d'hygiène publique de France*, ne tolérer l'épandage des eaux d'égout que sur les prairies naturelles ou artificielles, ou sur des cultures fourragères qui permettent une large irrigation. Mais, quoi qu'en pense P. Vincey, l'alimentation du bétail par des fourrages récoltés dans ces conditions présente aussi certains risques (tels que la propagation de la fièvre charbonneuse, du tétanos et de diverses épizooties). Il faut donc n'y recourir qu'avec prudence et, lorsqu'on le pourra, se résoudre de préférence à pratiquer tout simplement l'épuration par *épandage intermittent sur un sol naturel perméable non cultivé*, ou sur un *sol artificiel poreux (lit bactérien)*.

Plusieurs villes américaines ont trouvé avantageux de combiner la filtration intermittente sur sol *non cultivé* et l'irrigation agricole. La ville de *Brochton*, par exemple, qui compte 40 000 habitants et produit 5 600 mètres cubes d'eau d'égout par jour, évacue celle-ci par un canal dans un bassin collecteur couvert, de 2 000 mètres cubes de capacité, à l'entrée duquel on enlève à l'aide de peignes mécaniques toutes les grosses impuretés. De ce bassin collecteur, les eaux sont envoyées par deux pompes aux lits filtrants, qui occupent une superficie de 8^{ha},7 et qui sont éloignés de toute habitation. Les lits filtrants sont au nombre de vingt-trois et remplis de sable (dont les grains ont de 0^{mm},04 à 0^{mm},75 de diamètre), sur une moyenne de 2^m,30 de profondeur. L'arrivée de l'eau sur chaque filtre dure environ trente minutes. Quatre filtres sont spécialement affectés aux eaux qui se sont accumulées pendant la nuit dans les tuyaux et qui sont très riches en sédiments. On les nettoie après vingt remplissages, et on enlève de leur surface 1 700 tonnes de boues par an. Celles-ci sont vendues aux agriculteurs.

Les autres filtres ont rarement besoin d'être labourés : on se contente d'enlever les herbes qui y croissent. Quelques-uns d'entre eux sontensemencés chaque année avec du maïs, qui paraît être la culture la mieux appropriée. En automne, on dispose la surface des lits en sillons, de sorte que la neige et la glace restent en hiver dans les sillons, tandis que l'eau se répartit au-dessus. La moyenne de la température annuelle des eaux est de 10 à 12°. Par les froids les plus

rigoureux, on a encore 7 à 8^o. On ne peut épurer par jour que 30 litres environ par mètre carré. Les eaux brutes sont très impures : elles renferment en moyenne 70 milligrammes d'ammoniaque par litre et, après filtration, elles n'en contiennent plus que 2 milligrammes. Le coefficient de l'épuration est de 98 p. 100. Les dépenses de première installation se sont élevées à 1 062 000 francs, et les frais d'exploitation annuels sont de 19 000 francs, soit 2 fr. 22 par habitant, ce qui est excessif.

Du reste, — et nous reviendrons sur ce sujet avec plus de détails, — l'expérience montre que le traitement des eaux d'égout par l'*épandage avec utilisation agricole* entraîne, lui aussi, des dépenses annuelles considérables. Si, pour les très petites villes ou pour les établissements collectifs isolés (asiles d'aliénés, écoles d'agriculture, etc.), elles peuvent s'abaisser à 0 fr. 675 dans des conditions exceptionnellement favorables (soit 12 fr. 80 par 1 000 mètres cubes), elles s'élèvent le plus souvent à 1 fr. 50 et même à 2 fr. 15 par habitant et par an (soit de 28 à 37 francs par 1 000 mètres cubes).

L'épuration chimique entraîne, bien entendu, des frais encore plus élevés (2 fr. 25 par habitant et par an : moyenne de cinq grandes villes anglaises).

V. — PRINCIPES DE L'ÉPURATION BIOLOGIQUE ARTIFICIELLE.

Le principe des divers systèmes d'*épuration biologique artificielle*, dont l'étude force depuis quelques années l'attention des hygiénistes et des ingénieurs sanitaires de tous les pays, consiste à *utiliser exclusivement les actions microbiennes pour dissoudre les matières organiques que renferment les eaux d'égout et pour les décomposer jusqu'à ce qu'elles soient ramenées à l'état d'éléments minéraux (nitrates, acide carbonique, hydrogène, formène, eau, azote gazeux)*.

Le processus d'épuration est donc exactement le même que dans l'épandage agricole ou que dans la filtration intermittente sur sol perméable non cultivé. Dans l'un et les autres cas, les mêmes microbes interviennent. La seule différence, et elle est capitale, consiste en ce fait que, dans l'épuration biologique artificielle, on accélère, on règle et on série à volonté le travail des microbes, tandis que, dans l'épandage agricole ou dans la filtration intermittente, les phénomènes s'accomplissent au gré des conditions locales atmosphériques et géologiques.

On peut très exactement comparer ces phénomènes à ceux que l'on observe dans la fabrication de la bière, par exemple. Certains brasseurs, particulièrement en Belgique, laissent fermenter *spontanément* leurs moûts dans les tonneaux, sans y ajouter de levure. La

transformation de la maltose en alcool s'effectue alors avec une grande lenteur, et une partie de cette maltose ou de l'alcool formé se change en acide lactique ou en vinaigre, sans qu'on puisse empêcher cette mauvaise utilisation de la matière première.

Le plus grand nombre des brasseurs, au contraire, trouvent plus avantageux d'ensemencer immédiatement des levures alcooliques dans leurs moûts: ils achèvent ainsi la fermentation en un temps beaucoup plus court; ils utilisent mieux leur matière première et obtiennent des produits de qualité plus parfaite.

L'épuration biologique artificielle présente les mêmes avantages; elle permet d'épurer dans un temps très court, et sur des surfaces très réduites, une quantité d'eau d'égout infiniment plus considérable (*jusqu'à 2 mètres cubes et quelquefois plus par mètre carré de surface et par jour au lieu des 11 litres d'épandage parisien*), avec des résultats pleinement satisfaisants pour l'hygiène publique et pour les services de protection des cours d'eau.

VI. — PHASES DE L'ÉPURATION BIOLOGIQUE NATURELLE OU ARTIFICIELLE.

L'épuration biologique naturelle ou artificielle des eaux d'égout comprend quatre phases bien distinctes :

1° *La séparation ou désagrégation des résidus solides non putrescibles (sable, gravier, scories, charbon, débris de fer, de pierres, etc.);*

2° *L'élimination par décantation, par précipitation chimique ou par désintégration microbienne (fermentation septique) des matières organiques;*

3° *La fixation des matières organiques dissoutes sur des substances (terre végétale ou lits bactériens) capables de servir en même temps de supports aux microbes oxydants aérobie;*

4° *La transformation, par les microbes, des matières azotées dissoutes et fixées en nitrites, puis en nitrates solubles, et des matières ternaires en produits gazeux et en eau.*

Dans la première phase, purement mécanique, les microbes ne jouent aucun rôle.

Le travail d'épuration proprement dite ne commence qu'à la seconde phase, qui consiste à recevoir l'eau, débarrassée des corps minéraux non putrescibles, dans des bassins disposés en vue d'y permettre tantôt la décantation simple des matières organiques en suspension, tantôt, en même temps que cette décantation, la pullulation rapide et abondante des *microbes anaérobies stricts* ou *facultatifs*, agents naturels des putréfactions. Dans ce dernier cas, les matières organiques doivent y être retenues pendant un temps suffisant pour que leur dissolution complète s'effectue : les *substances*

ternaires ou hydrocarbonées s'y décomposent en *carbure d'hydrogène (formène)*, en *acide carbonique* et en *eau*. Les *substances quaternaires ou azotées* s'y désintègrent en *peptones*, en *composés amidés solubles* et en *ammoniaque*.

Au sortir de ces bassins, l'eau ne contenant plus de matières solides en suspension, est dirigée sur ce que l'on appelle les *lits d'oxydation* ou *lits bactériens*. Ceux-ci, généralement constitués par une couche plus ou moins épaisse de scories ou mâchefer, ou de coke, ou de briques concassées, ou de calcaire dur, doivent être alternativement mouillés et aérés dans toute leur masse. Pendant les périodes de *mouillage* par l'eau d'égout, les fragments de scories ou de calcaire fixent la matière organique dissoute, et cette troisième phase de l'épuration représente exactement un phénomène de teinture : les *matériaux poreux se teignent en matière organique*.

Pendant les périodes d'*aération* qui suivent les précédentes, les microbes, dont la multiplication s'effectue très activement dans les anfractuosités des scories ou du coke, *oxydent* et *nitrifient* la matière organique fixée sur leurs supports, grâce à l'oxygène qu'ils empruntent à l'air atmosphérique. Cette quatrième phase de l'épuration termine le cycle. L'eau sort des lits, débarrassée de toute substance putrescible et définitivement épurée.

Certains dispositifs permettent d'accomplir simultanément les deux dernières phases : nous les trouverons réalisés dans les systèmes dits *percolateurs* continus ou intermittents.

Dans d'autres, connus sous le nom de *procédés de contact* ou *lits bactériens de contact*, les deux phases restent, au contraire, nettement séparées.

Nous les étudierons successivement un peu plus loin.

VII. — DÉCANTATION PRÉALABLE DES EAUX D'ÉGOUT. — SÉPARATION DES MATIÈRES EN SUSPENSION ET DES GRAISSES.

A. Grilles. — Quel que soit le procédé d'épuration auquel on s'adresse (précipitation chimique, épandage ou traitement biologique artificiel), il est d'abord indispensable d'éliminer des eaux d'égout les matières minérales non putrescibles, les matières organiques en particules de dimensions supérieures à 3 centimètres qui peuvent être retenues par des grilles, et enfin les graisses.

Cette *ségrégation* préalable des matières minérales et des matières organiques difficilement solubles est surtout nécessaire lorsque le système d'épuration choisi est soit l'*épandage agricole*, soit le *traitement biologique artificiel*.

Elle doit avoir pour objet non seulement d'arrêter les corps volu-

mineux, dont la dissolution par les actions microbiennes serait trop lente, mais aussi d'empêcher que les sables, graviers, scories, débris

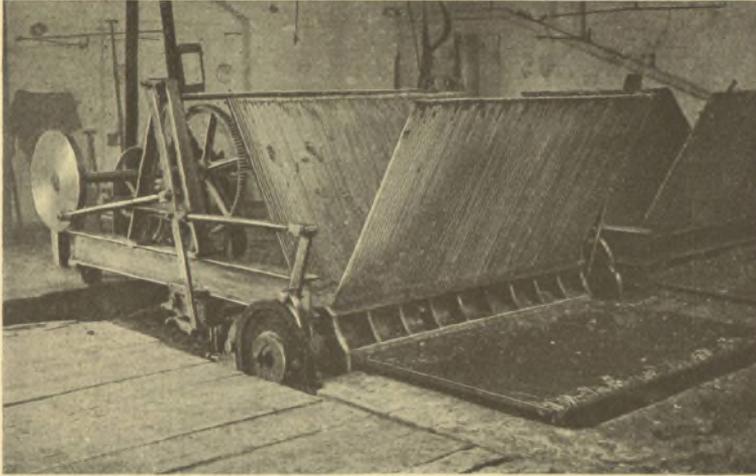


Fig. 3. — Grille à râpeaux mobiles de Garfield.

métalliques, cendres, etc. viennent colmater le sol ou encombrer les bassins de fermentation (*fosses septiques*), diminuer leur capacité

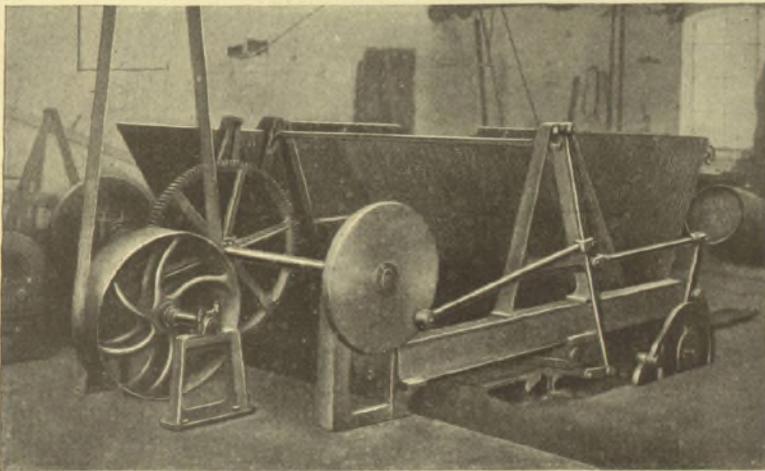


Fig. 4. — Grille à râpeaux mobiles de Garfield.

volumétrique utile et rendre nécessaires de trop fréquents dragages.

On a imaginé un grand nombre d'appareils qui répondent à ce but. Le plus anciennement connu est la *grille à peignes mobiles*, que

l'on peut voir fonctionner à l'usine de refoulement des eaux d'égout de Paris, à Clichy.

Dans cette station et dans toutes celles du même genre qui datent de la même époque, les grilles placées devant les pompes de refoulement consistent en barreaux de fer inclinés à angle de 30 à 45° et espacés de 15 à 40 millimètres. En amont de ces grilles, l'eau traverse des puits où les matières les plus lourdes s'accablent et d'où elles sont enlevées par des corbeilles ou dragues mécaniques.

Les grilles sont maintenues constamment libres au moyen de



Fig. 5. — Grilles roulantes de J. Smith, à Birmingham.

peignes ou râtaux mobiles qui s'engagent entre leurs barreaux pour en extraire les dépôts.

Parmi les dispositifs plus récents et plus perfectionnés, nous citons les grilles à râtaux mobiles tournants de J. Garfield (fig. 3 et 4), utilisées à *Bradford*, et le tamis rotatif de John Smith (de *Carshalton*), que l'on peut voir fonctionner à *Chester*, à *Birmingham* et à *Nuneaton* (fig. 5). Ce tamis, placé à la façon d'une large courroie sur deux cylindres mobiles, est mis en mouvement par le courant d'eau d'égout. Les matières en suspension retenues à sa surface sont enlevées par une brosse tournante et envoyées dans une gouttière spéciale, d'où une vis sans fin peut les conduire automatiquement au dehors et les déverser dans des wagonnets ou des chariots.

L'appareil de Riensch (fig. 6) se compose d'un tamis circulaire presque horizontal et animé d'un mouvement de rotation.

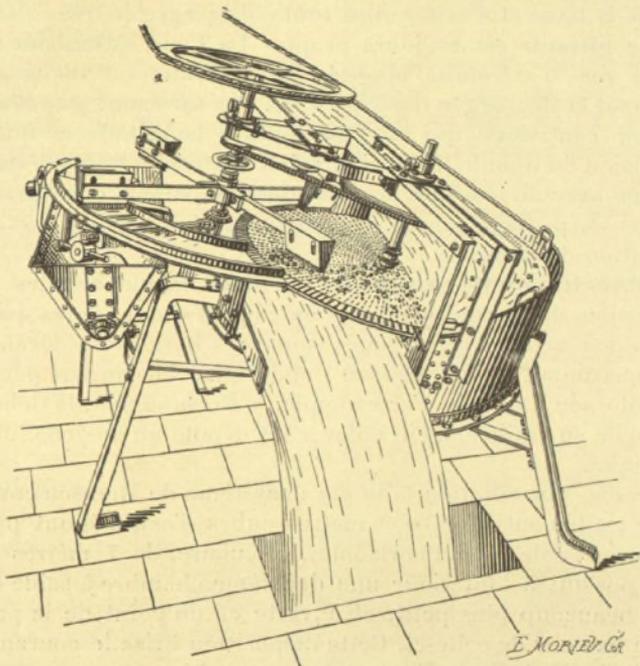


Fig. 6. — Appareil de Riensch pour la séparation des matières flottantes (d'après Dunbar).

Le *ségrégateur* ou crible inventé par Weand et employé à Reading (Pennsylvanie) (fig. 7) consiste en un cylindre de 1^m,80 de diamètre sur 4^m,80 de longueur, qui tourne sur un axe horizontal. Le crible proprement dit est formé d'une toile de cuivre à seize mailles au centimètre carré, qui est fixée sur une seconde toile métallique plus grosse, en fer galvanisé, à mailles de 17^{mm},5. L'eau d'égout entre dans le crible à une de ses extrémités par un tuyau dont l'orifice, exactement dans l'axe de l'appareil, trouve devant lui une plaque brisante obligeant le liquide à

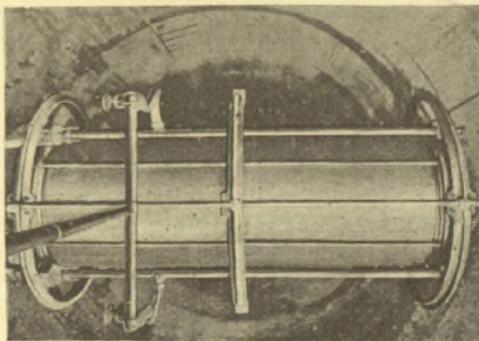


Fig. 7. — Ségrégateur ou tambour-filtre tournant de Weand, à Reading.

se répandre sur toute la circonférence de la grille. A l'extérieur de celle-ci, des jets d'eau, de vapeur et d'air comprimé, permettent de délayer la boue et d'éviter ainsi tout colmatage, de telle sorte que la surface filtrante est toujours propre. La boue s'avançant graduellement vers l'extrémité opposée du tambour est reçue dans un wagonnet et déchargée dans des sacs. Ces sacs sont placés dans une machine centrifuge qui fait 800 tours à la minute et qui achève l'expulsion du liquide. Le résidu solide est vendu comme engrais ou mélangé avec du charbon pour être utilisé comme combustible.

Après son passage dans le *ségrégateur*, l'eau est pompée et refoulée à la station d'épuration.

B. Bassins de décantation. — Dans la plupart des stations d'épuration des grandes villes, les eaux d'égout, après passage à travers les grilles, sont reçues dans des bassins de décantation à fond horizontal, qu'un appareil débourbeur mécanique peut racler sur toute son étendue. Par exemple, à *Birmingham*, le débourbeur est mobile sur rails et peut enlever les dépôts au moyen d'une grue mécanique.

A *Dresde*, l'installation faite par le système de Riensch comprend, pour le traitement de 43 000 mètres cubes d'eau d'égout par jour, une fosse à sable à fond horizontal, circulaire, de 7 mètres de diamètre, portant à l'intérieur une deuxième chambre à sable concentrique, beaucoup plus petite et ouverte en un point de la paroi sur toute la hauteur de celle-ci. Cette disposition brise le courant d'eau et facilite le dépôt des corps lourds.

Pour les installations peu importantes, on adopte généralement en Allemagne un dispositif en forme de puits dans lequel plonge un panier en toile perforée, qu'on peut soulever à volonté pour en opérer la vidange lorsqu'il est plein.

Les recherches les plus intéressantes effectuées dans ces dernières années sur la *décantation des eaux d'égout* sont celles de Steuernagel à *Cologne*, de Bock et Schwartz à *Hanovre*, et de Schmidt à *Oppeln*.

Steuernagel a constaté que le fond des bassins de décantation doit être incliné *en sens inverse du courant et non pas dans le sens du courant*. Ses expériences ont été effectuées sur les bassins de décantation de *Cologne*, qui, longs de 45 mètres, présentent, au point d'arrivée des eaux, une fosse à boues vers laquelle s'incline le fond du bassin, en sens inverse du courant. Dans ces conditions, avec une vitesse de courant de 4 millimètres à la seconde, les bassins retiennent 72,31 p. 100 des matières en suspension. Avec un courant de 20 millimètres à la seconde, ils retiennent encore 69,08 p. 100 de ces matières. Avec 40 millimètres, la proportion s'abaisse à 58,9 p. 100.

On a constaté en outre que, pour la vitesse de 4 millimètres à la seconde, 70,7 p. 100 des boues sont retenues dans la fosse à boues et

que 29,3 se répartissent sur le fond du bassin. A 20 millimètres, la fosse ne recueille plus que 51 p. 100 des boues et 49 p. 100 se répandent dans le bassin. A 40 millimètres, la fosse à boues retient 45 p. 100, le bassin 55 p. 100.

Avec un courant de 4 millimètres par seconde, on a recueilli pour 1 000 mètres cubes d'eau 4^{me},04 de boues; avec un courant de 20 millimètres, 2^{me},474; avec un courant de 40 millimètres, 1^{me},838. Et on a calculé que la teneur en eau de ces boues était la suivante :

					Eau p. 100.	Substance sèche.
Avec un courant de 4 millimètres par seconde.					95,57	4,43
—	20	—	—	92,87	7,13
—	40	—	—	91,34	8,66

Dans ces conditions, si l'on compare les quantités de matières sèches retenues par un courant de 4 millimètres à la seconde et un courant de 40 millimètres, on voit que ces quantités sont à peu près équivalentes. Mais ces recherches portent seulement sur un essai d'un seul jour, et il est très possible que les résultats ne soient pas identiques avec des essais prolongés pendant plusieurs jours (Dunbar).

Bock et Schwartz ont constaté à *Hanovre* que les eaux qui arrivent pendant la nuit ne fournissent presque pas de dépôts, et qu'au contraire elles tendent à entraîner ceux qui se sont déposés pendant le jour. Il paraît donc avantageux de supprimer pendant la nuit le passage de l'eau dans les bassins de décantation, ce qui permet d'augmenter par le repos la précipitation des matières retenues dans ces bassins.

Bock et Schwartz ont également étudié les courants qui se produisent dans les bassins, et ils ont pu vérifier que les eaux se déplacent tantôt en haut, tantôt en bas, tantôt sur les côtés, avec une vitesse deux ou trois fois plus grande que celle apparente.

Schmidt, à *Oppeln*, a fait des constatations analogues. Quand les journées sont froides, les eaux coulent à la surface, au-dessus de la partie profonde du bassin. Quand les journées sont chaudes, les courants d'eau s'abaissent vers le fond pour revenir vers la surface à la sortie du bassin.

Mairich a construit pour *Stargard* et *Neustadt* des décanteurs (fig. 8) profonds de 6^m,80, dans lesquels l'eau arrive par douze tuyaux tangentiels à 4^m,50 au-dessous du niveau supérieur. La décantation des boues se fait par l'orifice *b*, tandis qu'un agitateur *c* délaie la masse des dépôts.

Mairich a construit également des petits décanteurs qu'on réunit en groupes. C'est ainsi que la ville de *Ohrdruf* possède vingt-huit décanteurs pour 6 000 personnes; *Guben* en possède quatre-vingt-quatre pour le traitement journalier de 9 000 mètres cubes d'eau d'égout.

Ces petits décanteurs ont en général 2^m,60 de hauteur sur 5 mètres carrés de surface.

Le décanteur du type *Dortmund*, très répandus en Allemagne et en Angleterre, sont beaucoup plus simples et très pratiques. Ils sont constitués par un cône renversé, généralement en ciment armé, où s'accumulent les boues et d'où, par simple pression de l'eau sur leur masse, elles sont évacuées par intermittences au moyen d'un robinet-vanne. Le liquide décanté remonte vers la surface et se déverse de chaque côté d'une passerelle à bords perforés formant gouttière, d'où il est conduit aux réservoirs de fermentation (fosses septiques).

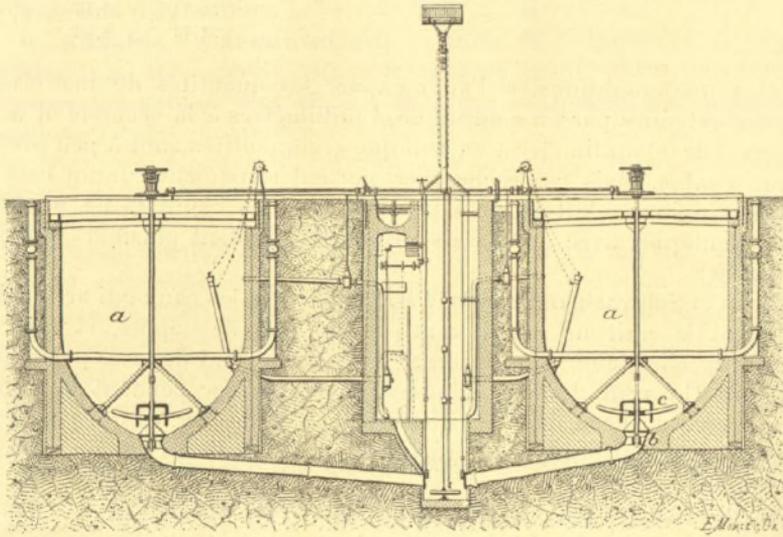


Fig. 8. — Décanteurs automatiques de Mairich, à Neustadt (Silésie).

A *Birmingham*, avant d'être distribuées aux lits bactériens, les eaux traversent des décanteurs *Dortmund* de 750 mètres cubes de capacité, où elles séjournent quatre heures. Chaque décanteur, à raison de six remplissages par jour, peut recevoir quotidiennement 4500 mètres cubes.

Le travail dans les bassins à fond plat est toujours beaucoup plus simple que dans les décanteurs, qui laissent souvent échapper, lors de la vidange des boues, de grandes quantités d'eau, et il est probable que la préférence sera toujours donnée aux bassins ordinaires, dont on pourra aisément enlever les boues sans avoir à les vider. Dans cet ordre d'idées, des essais ont été faits à *Bolton*, et Fidler a fait construire par Ham, Baker et C^{ie}, un appareil (fig. 9) qui a pour but de diriger les boues vers un orifice central d'évacuation.

Ce même appareil fonctionne en grand aux *Bury Corporation sewage's works*, près de *Birmingham*.

A *Barmen-Elberfeld*, on a récemment disposé au fond des bassins de décantation une série de dépressions en forme d'entonnoirs, d'où la boue est évacuée.

Les décanteurs Emscher (de Imhoff) (1) réunissent en un même appareil le bac de décantation mécanique et la fosse septique. La figure 10 en représente les dispositions. L'eau entre alternativement dans l'appareil de droite et dans l'appareil de gauche, mais ceux-ci communiquent par leur partie supérieure à l'endroit où se trouve le canal qui reçoit les eaux décantées. Les gaz ne se dégagent pas dans

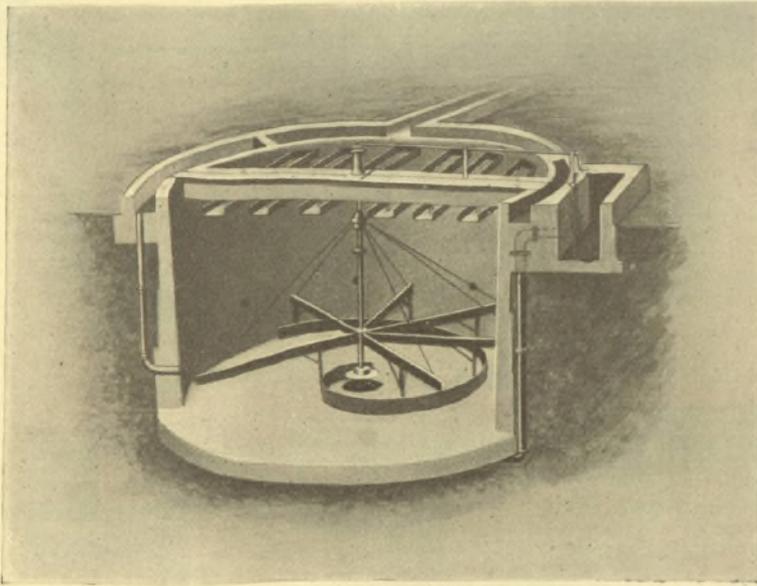


Fig. 9. — Coupe d'un bassin de décantation, système Ham-Baker (Bolton et Birmingham).

ce canal, mais se rassemblent dans un espace recouvert avec des planches.

Ces appareils retiennent 70 p. 100 des matières en suspension quand l'eau y séjourne de trois quarts d'heure à une heure. La boue qu'on en extrait est presque inodore, et elle est si concentrée qu'elle devient solide au bout de cinq à six jours sur un sol bien drainé, et qu'elle peut être incinérée dans des fours Custodis par exemple.

La teneur en eau n'est pas supérieure à 50 p. 100.

Les avantages de ces décanteurs sont les suivants :

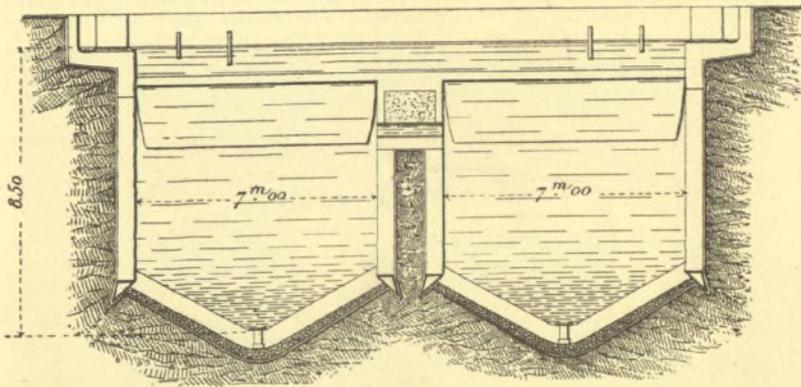
1° L'eau arrive non fermentée et sans odeur aux lits bactériens ou sur les terrains d'épandage, où elle s'épure plus aisément ;

(1) Construits par la maison Heinrich Scheven (de Dusseldorf).

2° Les boues, très concentrées, sont facilement évacuées et n'occupent qu'un faible volume ;

3° Ces appareils sont très commodes pour séparer les matières en suspension, qui sont entraînées hors des lits bactériens et qui troublent l'eau épurée. On évite par leur emploi les fermentations secondaires, qui donnent souvent aux eaux épurées une odeur désagréable.

Coupe a,b.



Coupe c,d,e,f,g,h

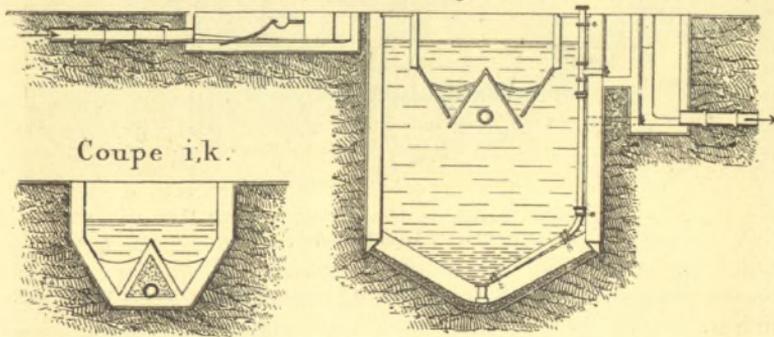


Fig. 10. — Décanteur Emscher, de Imhoff.

Il existe déjà en Allemagne près de cent installations de ces décanteurs Emscher : les frais de leur construction sont de 1^m^k,60 à 3 marks par tête d'habitant (de 2 francs à 3 fr. 75), suivant les localités.

C. Centrifugation des boues. — De nombreux essais ont été entrepris récemment pour séparer en partie l'eau des boues, afin d'obtenir une matière plus sèche, plus transportable et plus facile à utiliser. On a cherché notamment à centrifuger les boues brutes des bassins de décantation.

Quand on centrifuge ces boues, les matières se séparent dans l'ordre de leur densité : les minérales, qui sont les plus lourdes, se réunissent contre le manteau du tambour; puis viennent les substances organiques; enfin les corps légers, l'eau et les graisses, se rassemblent au voisinage de l'axe de rotation de l'appareil.

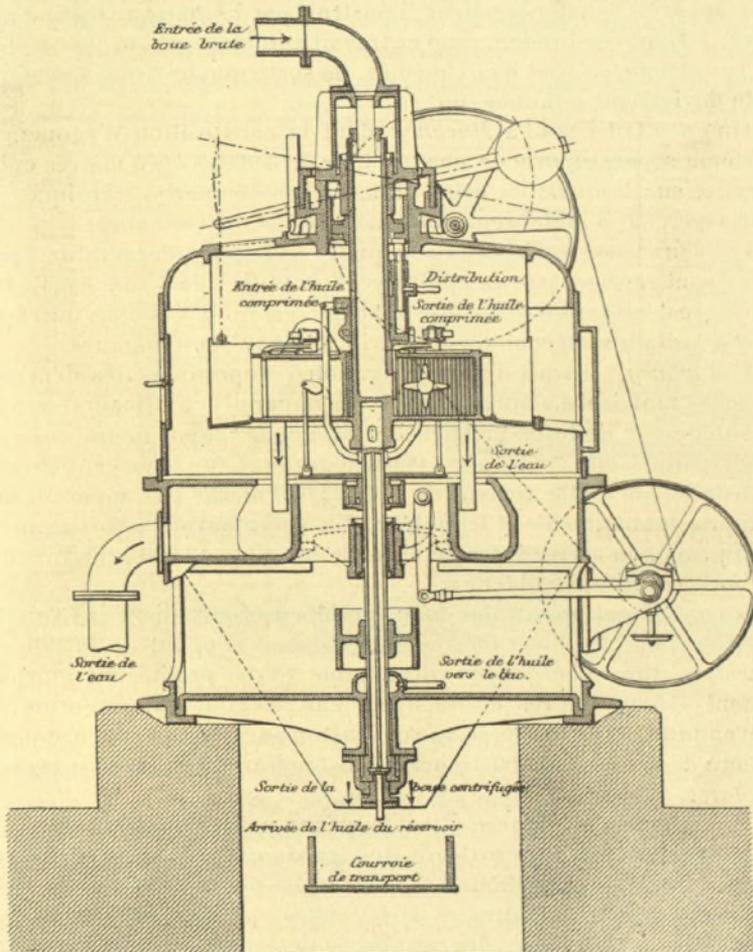


Fig. 11. — Appareil à centrifuger les boues, système Schäfer-ter-Meer.

Dans les premiers essais, on a tenté de séparer l'eau en employant un tambour perforé, animé d'un mouvement de rotation rapide et fonctionnant comme une turbine de sucrerie; mais les matières en suspension encrassent rapidement la toile métallique du tambour, qui ne laisse plus passer l'eau. Les mauvais résultats obtenus avec

cette méthode ont conduit à placer la sortie de l'eau près de l'axe de la turbine et à utiliser un tambour non perforé ; ces appareils fonctionnent alors comme les écrémeuses centrifuges en laiterie. Toutefois, même en employant cette méthode, l'opération reste longue. En outre, il faut enlever à bras d'homme l'anneau de boue centrifugée, ce qui rend le procédé trop coûteux dans la pratique.

L'appareil Schäfer-ter-Meer, construit par la maison Georg-Egestorff, à Hanovre-Linden, rend ce travail automatique ; le chargement et la vidange se font d'eux-mêmes, de sorte que les frais d'exploitation deviennent minimes (fig. 11).

On en a fait l'essai à *Harburg*, dont la canalisation d'égouts, du système séparatif, évacue chaque jour de 3 000 à 4 000 mètres cubes d'eaux, sur lesquels les eaux industrielles (tanneries, fabriques de gutta-percha, d'huile) représentent 600 à 700 mètres cubes.

Les eaux passent d'abord dans quatre bassins de décantation, puis elles sont reprises par des pompes et évacuées dans un canal. Les boues restées dans les bassins sont aspirées, refoulées dans un réservoir à agitation mécanique et distribuées aux centrifugeurs.

À *Harburg*, les frais de centrifugation comprennent les dépenses de force motrice, l'amortissement des appareils et la main-d'œuvre. Les dépenses de force motrice ont atteint 0^{mk},2 par mètre cube de boue brute, soit 1^{mk},63 par 1 000 kilogrammes de boue centrifugée. L'installation totale revient de 22 à 25 000 marks par appareil, non compris les bâtiments et le moteur. En comptant un amortissement de 5 p. 100, on arrive à une dépense de 2^{mk},87 par 1 000 kilogrammes de boue centrifugée obtenue.

La centrifugation entraîne donc une dépense journalière de 13 marks environ pour les 3 500 mètres cubes d'eaux d'égout de la ville de *Harburg*. Pour une grande ville comme Paris, produisant journellement 775 000 mètres cubes d'une eau d'égout qui renferme en moyenne 1^{sr},25 de matières en suspension par litre, la dépense journalière dépasserait 7 000 francs, et il faudrait 400 appareils centrifugeurs.

La méthode n'est donc applicable qu'aux petites installations.

D. Séparation mécanique des graisses. — Appareil Kremer. — Il est très important de séparer le plus possible les graisses flottantes des eaux résiduaires et aussi celles qui sont entraînées par les dépôts, car les boues dégraissées se dessèchent plus facilement et se désagrègent plus vite. En outre, leur emploi en agriculture est bien plus facile.

Le procédé Kremer présente sous ce rapport un grand intérêt. De petits appareils ont d'abord été installés dans un grand nombre de villes allemandes, notamment dans des hôtels, des casernes, des hôpitaux, pour tirer parti des graisses précédemment évacuées sans aucun profit dans les égouts. En 1903, on installa le premier grand

appareil à *Osdorf*, près de Berlin. Depuis juillet 1907, la station de *Charlottenbourg* et la ville de *Cremnitz* en possèdent trois (fig. 12).

L'appareil Kremer a pour but de séparer les matières légères et les matières lourdes en suspension dans l'eau. Il se compose en principe de quatre caisses placées les unes dans les autres, de manière à laisser entre elles un espace libre. La caisse extérieure est terminée en entonnoir; la caisse centrale est munie d'un couvercle qui sert à la répartition de l'eau dans l'appareil. L'eau passe d'abord dans un bassin, où elle se débarrasse du sable, puis elle coule sur le couvercle, se répartit de chaque côté dans l'appareil et pénètre dans

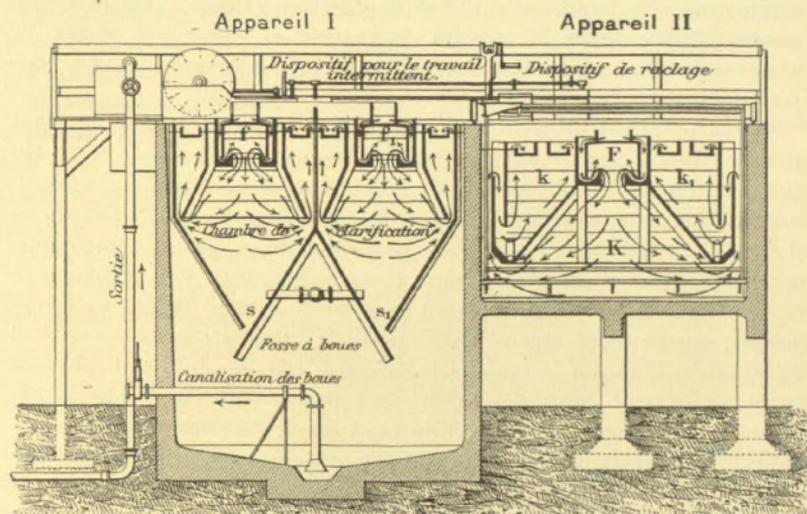


Fig. 12. — Séparation mécanique des graisses. Appareil Kremer.

la caisse centrale. Là, elle remonte un éperon, qui retarde son mouvement de descente et dirige le courant vers le haut. Dans ces conditions, il se produit une séparation des matières en suspension : les matières légères sont entraînées vers la surface, où elles s'accablent sous le toit *f*, en formant une couche plus ou moins épaisse ; les matières lourdes suivent la direction des grandes flèches droites et se rassemblent au fond. L'eau, après avoir subi ce mouvement vers le haut, reprend son chemin dans la direction des flèches courbes et s'écoule à l'extérieur. En outre, il se forme aussi, le long des parois, de véritables colonnes d'eau dormante, où se rassemblent encore quelques substances légères qui ont échappé à la première séparation.

La surface occupée par un appareil Kremer est de 15 mètres carrés ; sa hauteur est de 1^m,20 à 2 mètres, et un tel appareil peut traiter 1 000 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures. Les essais effectués

à *Osdorf* ont montré que l'eau, à la sortie, est débarrassée de la majeure partie des graisses et des matières en suspension. En travail continu, l'appareil élimine environ 50 p. 100 de ces matières ; en travail discontinu, c'est-à-dire en laissant l'appareil dix minutes en fonctionnement, puis dix à vingt minutes en repos, on arrive à éliminer en moyenne 70 p. 100 de ces matières.

Les avantages de l'appareil Kremer sont les suivants : économie de place, facilité d'extension en augmentant le nombre des éléments, récolte facile des graisses et des boues, séparément à la surface et au fond. L'inconvénient principal est que, quand on doit traiter de grandes masses d'eau, ce qui est le cas des grandes villes, il faut tous les jours enlever la couche de graisse et vider les boues, ce qui nécessite une main-d'œuvre continue, que n'exigent pas les bassins de décantation.

Les matières extraites sont d'autant plus faciles à utiliser qu'elles sont séparées en matières lourdes et en matières grasses. Avec les eaux d'égout traitées à *Osdorf*, la couche superficielle récoltée contient en moyenne 86 p. 100 d'eau et 6 p. 100 de graisse. Cette couche est donc déjà assez sèche. Elle se prête très bien, grâce à sa teneur en graisse, à la combustion ; mais il est préférable d'en extraire la graisse. La matière sèche contient en effet 45 à 50 p. 100 de matières grasses, qui peuvent être utilisées pour la fabrication des savons et des bougies. Quant à la couche inférieure, elle ne contient plus de graisse : elle peut donc être facilement pressée et employée, après dessiccation, comme engrais. Elle peut servir également à faire des briquettes combustibles, car elle contient une proportion notable de cellulose.

Voici un exemple, emprunté à un travail du *Pr* Backhaus, des résultats fournis par le traitement préalable au Kremer des eaux d'égout de *Berlin* destinées à l'épandage :

	Milligr. par litre d'eau	
	primitive.	après traitement.
Extrait sec.....	1560	875
Perte au rouge.....	670	340
Résidu au rouge.....	890	535
Azote total.....	91,7	86,5
Ammoniaque.....	65,5	65,5
Permanganate décomposé.....	1115,1	1121,8
Oxygène correspondant.....	282,2	283,8

Les résidus obtenus ont été utilisés en partie pour l'extraction des graisses, en partie pour la fabrication des briquettes combustibles. La détermination de la valeur calorifique de ces briquettes a donné 3467 calories, et leur composition était la suivante :

Carbone.....	32,93 p. 100.
Hydrogène.....	3,22 —
Oxygène, azote, soufre, etc.....	16,74 —
Cendres.....	47,11 —

Les cendres résiduelles peuvent elles-mêmes être avantageusement employées comme engrais.

E. Évacuation des boues. Leur utilisation agricole. Extraction chimique des graisses; incinération. — Les boues recueillies dans les bassins de décantation contiennent en général de 90 à 97 p. 100 d'eau. C'est assez dire que leur manipulation est onéreuse autant que désagréable, car il s'agit là de matières organiques fraîches en pleine décomposition putride.

Suivant les circonstances, on les évacue par pompage, par compression ou par gravitation, soit dans des bassins d'attente d'où elles sont chargées sur des navires, des chalands, des wagons ou des tombereaux, soit directement dans des tranchées creusées parallèlement les unes aux autres à 1 mètre environ de profondeur en plein champ.

Évacuation à la mer. — Le déversement à la mer par l'intermédiaire de navires ou de chalands spéciaux est préféré partout où il est possible. On le pratique pour *Londres* à l'embouchure de la Tamise, pour *Manchester* à l'embouchure de la *Mersey*. Il est employé aussi à *Glascow*, à *Dublin*, à *Salford*, à *Southampton*.

Les dépenses qui en résultent varient suivant les distances.

Par tonne de boues fraîches (90 p. 100 d'eau en moyenne), ces dépenses sont :

0 fr. 455 à Londres.
0 fr. 54 à Glascow.
0 fr. 994 à Manchester.
1 fr. 690 à Southampton.

Compression des boues. — Sous forme de tourteaux comprimés, beaucoup de villes trouvent à se débarrasser de leurs boues au prix de 0 fr. 60 la tonne. Pour passer les boues aux filtres-presses, on les additionne généralement de 0,5 à 1 p. 100 de chaux sous forme de lait. Les tourteaux obtenus ne contiennent plus que 50 à 65 p. 100 d'eau. Ce mode de traitement coûte environ 2 fr. 50 à 6 fr. 25 par tonne de tourteaux produits, suivant la nature des boues, la quantité de chaux ajoutée et l'importance de l'exploitation. La chaux a pour effet d'agglomérer les matières.

Le pressurage des boues, sauf pendant les mois très chauds, peut s'effectuer sans dégagement d'odeurs trop nauséabondes, pourvu que le local soit bien ventilé et isolé de toute habitation.

À *Birmingham-Tyburn*, la méthode d'enfouissement en tranchées est très scientifiquement mise en œuvre. Le flot d'eau d'égout quotidien y est réparti entre cinq bassins de décantation de 4500 mètres cubes de capacité chacun, divisés en trois compartiments. L'eau y circule à une vitesse moyenne de 0^m,35 à la minute et y reste environ *quatre heures trente-six minutes*. Une grande quantité de débris de rues et de matières lourdes s'arrêtent dans le premier compartiment et sont enlevées une fois par semaine au moyen d'une drague Priestman.

Ces débris contenant 50 p. 100 d'eau sont enlevés par des wagonnets et incinérés dans un four à ordures ménagères ou *destructor*.

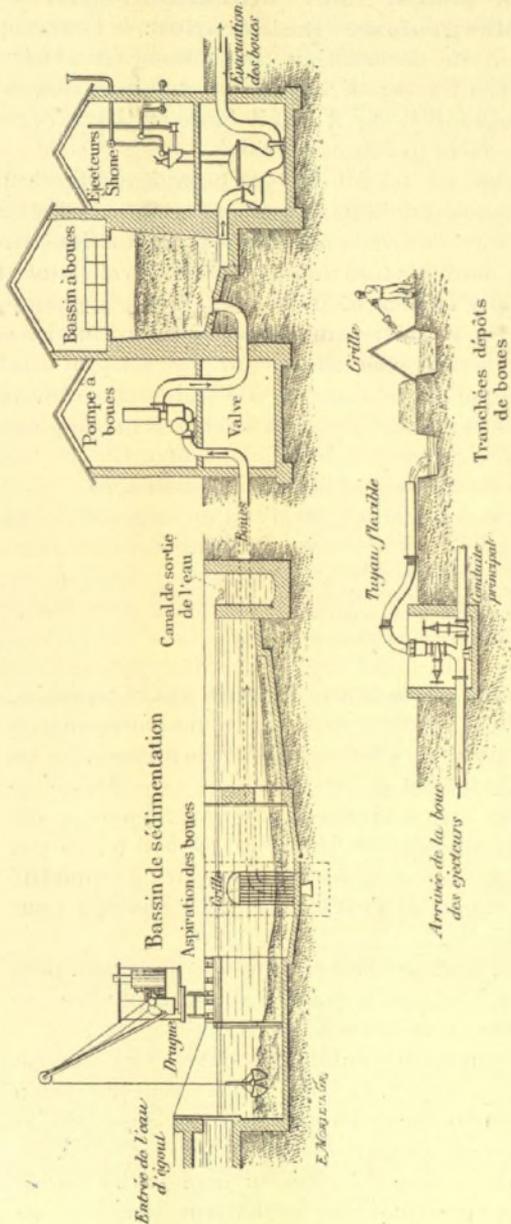


Fig. 13. — Dispositifs employés à Birmingham pour l'évacuation des boues.

La boue du second compartiment (à 90 p. 100 d'eau) est également extraite une fois par semaine et dirigée par gravitation vers un éjecteur Shone (à air comprimé), qui la refoule dans une canalisation de 10 kilomètres de longueur, pour la distribuer par des vannes spéciales dans des tranchées parallèles de 0^m,90 de largeur sur 0^m,45 de profondeur, creusées en plein champ (fig. 13).

Lorsqu'une série de ces tranchées est pleine de boue, on la recouvre immédiatement avec de la terre et, si la saison est favorable, on y sème du seigle. L'été suivant, après une récolte, on laboure profondément le sol et on le laisse en jachère. Deux ans après, on peut y creuser de nouvelles tranchées, y faire un déversement de boues, et ainsi de suite.

Quarante hectares de terre sont exclusivement consacrés à cet épandage spécial.

Le coût total, comprenant la main-d'œuvre, le pompage, l'amortissement et la location des terres, est d'environ 5 francs par tonne

de boue à 90, 95 p. 100 d'eau. On en évacue ainsi de 60000 à 80000 tonnes par an.

A *Guildford*, on enfouit annuellement de la même manière 18720 tonnes de boues avec une dépense moyenne de 6 fr. 45 par tonne.

Dessiccation à l'air en « lagunes ». — Dans certains cas, en préfère creuser simplement dans le sol un bassin dont le fond, drainé par des tuyaux, est garni d'une couche plus ou moins épaisse de mâchefer. Les boues liquides y sont déversées et y restent jusqu'à ce qu'elles soient suffisamment sèches pour être manipulées à la pelle, ce qui nécessite de deux à six mois suivant le temps et suivant la profondeur de la masse. A *Accrington*, les boues ainsi desséchées sont chargées sur des chalands et vendues au prix de 1 fr. 37 la tonne aux bateliers qui les transportent dans les districts agricoles.

L'inconvénient de ce système est que les *étangs de boues* dégagent pendant longtemps des odeurs désagréables et qu'ils constituent un danger pour les travailleurs, surtout pour les enfants exposés à y tomber.

Utilisation agricole. — L'utilisation agricole des boues, lorsque celles-ci sont produites en grande quantité, est très difficile au voisinage des villes, et nous avons expliqué plus haut les raisons pour lesquelles leur transport au loin ne sera jamais possible.

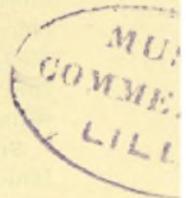
Les expériences de conversion en engrais, qui ont été faites par la *Board of Agriculture* et par *The Royal Agricultural Society*, de 1905 à 1907, en Angleterre, ont montré qu'unité pour unité l'azote et le phosphate de ces boues sont moins utilisés par les cultures, toutes circonstances étant égales d'ailleurs, que les mêmes éléments employés sous la forme habituelle des engrais chimiques.

A *Glasgow (Dalmarnock)*, on a employé le procédé Melvin pour la fabrication du *Globe fertiliser*, qui n'est autre chose que la boue obtenue par précipitation des eaux d'égout au moyen de la chaux et du sulfate ferrique. Cette boue, séchée à 65-70°, est passée dans un moulin à farine. Elle en sort à l'état de poudre brune, dont la composition moyenne est la suivante :

Humidité	22,51 p. 100.
Matières volatiles au rouge.....	33,98 —
Matières fixes.....	43,51 —
	<hr/>
	100,00 —

Les matières fixes sont constituées par :

Cendres.....	10,75 p. 100.
Oxyde de fer et d'alumine.....	13,42 —
Chaux	12,09 —
Potasse (soluble dans HCl).....	0,10 —
Aide phosphorique.....	1,11 —
Phosphate tribasique de chaux.....	2,42 —
Azote total	1,30 —



Le coût de la fabrication de cet engrais est de 12 fr. 50 par tonne. L'économie réalisée par sa vente sur le coût de l'épuration est d'environ 5 francs pour 4 540 mètres cubes d'eau traitée. L'écoulement du produit est assez facile autour de *Glascow* jusqu'à présent.

Incinération. — On a fait beaucoup d'essais en vue de brûler les boues, soit seules, soit mélangées avec des ordures ménagères, du charbon, des huiles ou des résines. La plupart de ces tentatives ont échoué, soit à cause des frais que nécessite la dessiccation préalable, soit parce qu'on a voulu traiter directement les boues humides contenant environ 90 p. 100 d'eau. Il est cependant possible de brûler les boues comprimées en tourteaux. A *Ealing*, les boues ainsi comprimées (à 60 p. 100 d'eau) sont additionnées d'ordures ménagères sèches dans la proportion de 1,5 à 2 d'ordures pour 1 de tourteau de boue, et brûlées dans un four à ordures.

A *Huddersfield*, les boues de précipitation chimique pressées sont mélangées avec 20 p. 100 de coke et incinérées dans un four *Horsfall*. Le coût total du traitement, y compris le pressurage des boues, est, par tonne de boues pressées et brûlées, de 6 fr. 40.

A *Koepenick*, près de *Berlin*, on précipite 4000 mètres cubes d'eau d'égout par jour au moyen d'un mélange de liquide et de sulfate d'alumine. Les eaux sont d'abord additionnées de 900 grammes de lignite en poudre grossière par mètre cube, puis d'une solution concentrée de sulfate d'alumine à la dose de 200 grammes de sel par mètre cube. Les boues ainsi obtenues, lentement décantées dans de vastes bassins qui occupent une superficie de 12 350 mètres carrés, sont égouttées et transportées sous un hangar, où elles sèchent en partie. Au bout de trois semaines environ, elles ne contiennent plus que 60 p. 100 d'eau. On y ajoute alors un cinquième de leur poids en charbon. En cet état, elles servent de combustible à une usine électrique qui fournit l'éclairage et la force motrice aux tramways et aux industries.

On peut admettre que 1 mètre cube d'eau d'égout donne environ 3 kilogrammes de boues à 60 p. 100 d'eau, soit environ 400 tonnes par mois.

Bien que les prix de vente de l'électricité soient assez réduits (0 fr. 50 le kilowatt-heure pour l'éclairage et 0 fr. 175 pour la force motrice), l'exploitation semble devoir donner de bons résultats financiers; mais la quantité de matières combustibles retirées des eaux d'égout étant minime, il semble que ce soit seulement à la proportion considérable de lignite et de charbon ajoutée que ces résultats satisfaisants soient dus.

Substances extractibles des boues. — Le principal exemple de boues dont il est possible d'extraire des substances utilisables est *Bradford*, en Angleterre. Les eaux d'égout de cette ville, comme celles de *Roubaix-Tourcoing* en France, contiennent une quantité

considérable de résidus de lavage de laines (savons et graisses).

Depuis plusieurs années, on y a expérimenté de nombreux procédés, et J. Garfield, ingénieur, a réussi à tirer un parti avantageux de ces substances, dont la valeur vient en déduction des frais d'épuration.

Le débit des égouts par temps sec est, à *Bradford*, de 59000 mètres cubes par jour, dont la moitié est constituée par des eaux résiduaires industrielles et 20 p. 100 par des eaux de peignages de laine.

Le procédé utilisé est le suivant : l'eau d'égout passe à travers des bassins de décantation, où elle abandonne environ 7^mc,164 de dépôts grossiers par jour, puis à travers des grilles. On lui ajoute ensuite de l'acide sulfurique en quantité telle que le liquide garde une acidité de 0,10 p. 1000 en SO⁴H².

L'eau d'égout ainsi traitée se rend alors dans d'autres bassins de décantation, disposés en séries. Le tableau suivant indique la composition du liquide décanté par rapport au liquide brut :

	Liquide brut.	Liquide décanté.
Matières en suspension.. .. .	0,84	0,16
Matières en solution.....	1,81	2,24
Oxygène absorbé en 24 heures.....	0,17	0,11
Ammoniaque libre.....	0,03	0,01
Azote albuminoïde.....	0,02	0,01

Les boues évacuées des bassins de décantation sont transportées dans des caissons métalliques : on y ajoute une nouvelle quantité d'acide sulfurique ; on les chauffe aux environs de 100° avec la vapeur d'échappement des chaudières, et on les passe aux filtres-presses. Ces derniers sont également chauffés à la vapeur, et on y lance alternativement de la vapeur, puis des boues chaudes. Le liquide qui s'en échappe consiste en eau et en graisse. On le conduit dans des récipients spéciaux, où la graisse se sépare ; après quoi celle-ci est bouillie avec de l'acide et de l'oxyde brun de manganèse pour lui donner des qualités marchandes.

Chaque année on produit environ 100000 tonnes de boues contenant 80,15 p. 100 d'eau et 7,43 p. 100 de graisses, soit 37,7 de graisses p. 100 de matières sèches.

Les boues comprimées et dégraissées représentent un poids de 20000 tonnes par an (à 27 p. 100 d'eau). Une partie est brûlée dans un four spécial ; l'autre est vendue aux cultivateurs à 4 fr. 50 la tonne, au rail.

Pendant six mois, en 1907, la dépense totale de la station, non compris les frais d'installation et les intérêts, s'est élevée à 249000 francs, et les recettes provenant de la vente des graisses ont été de 293150 francs.

A *Cassel (Allemagne)*, les boues décantées sont additionnées d'acide sulfurique dans un réservoir en bois, de façon que le liquide soit légèrement acide au rouge-Congo. Après repos, il se sépare une

certaine quantité d'eau qui est évacuée. Débarrassées ensuite des matières volumineuses par criblage, les boues sont portées à l'ébullition par un courant de vapeur, puis, reprises par des monte-jus, elles sont passées au filtre-pressé. Les tourteaux obtenus (à 50-60 p. 100 d'eau) sont séchés sur des cylindres par la vapeur surchauffée, jusqu'à ce qu'ils ne contiennent plus que 20 à 30 p. 100 d'eau.

On les traite alors par déplacement par des benzols ou des pétroles (de densité 0,8). Par distillation, on récupère le benzol et la matière grasse purifiée. Cette dernière vaut alors 375 francs la tonne. Le tourteau épuisé contient 2 à 2,5 p. 100 d'acide phosphorique. Il peut être vendu comme engrais à un prix modéré.

Dans les bassins de décantation de *Cassel*, on recueille environ 80 p. 100 des matières en suspension des eaux d'égout. La boue sèche contient 18 p. 100 de matières grasses, dont 15 p. 100 peuvent être extraites. On traite annuellement 15 000 mètres cubes de boues à 90 p. 100 d'eau, soit environ 1 500 tonnes de tourteaux secs. On en sépare 240 tonnes de matières grasses, et il reste 1 350 tonnes de tourteaux engrais.

F. Coût comparé des différentes méthodes de traitement des boues. — Les dépenses afférentes au traitement des boues varient beaucoup suivant les circonstances locales. Néanmoins les chiffres ci-après, relevés par la *Commission royale anglaise pour l'étude des procédés d'épuration*, fournissent de bons éléments de comparaison :

Méthode de traitement.	Coût moyen par tonne de boue à 90 p. 100 d'eau (y compris les intérêts, l'amortissement et toutes charges).
	Fr.
Dessiccation simple à l'air, « en lagunes ».....	0,20
Transport et évacuation à la mer.....	0,50
Enfouissement dans le sol, en tranchées.....	0,50
Compression en tourteaux.....	De 0,60 à 1,15
Compression en tourteaux et incinération (non compris intérêt et amortissement).....	1,85

Il n'est pas douteux que les boues provenant de la décantation des eaux d'égout aient une certaine valeur comme engrais. Mais les matières fertilisantes qu'elles renferment étant nécessairement mélangées à une masse considérable de substances inertes (sable, mâchefer, cendres, etc.), la possibilité de leur utilisation dépend surtout du prix de revient de leur transport à pied d'œuvre.

On doit prohiber l'emploi cultural des boues qu'on soupçonnerait pouvoir contenir des spores de bactériidies charbonneuses. Ce cas est exceptionnel d'ailleurs, mais il peut se présenter lorsque les eaux d'égout renferment une grande quantité d'eaux résiduaires de tanneries ou d'usines de lavage de laines.

VIII. — ÉLIMINATION PAR PRÉCIPITATION CHIMIQUE DES MATIÈRES EN SUSPENSION DANS LES ÉGOUTS. SYSTÈME VIAL.

Lorsque les eaux d'égout renferment une forte proportion d'eaux résiduaires industrielles, comme c'est le cas par exemple dans les villes manufacturières, telles que *Leeds, Glasgow, Salford, Huddersfield, Bradford*, il est indispensable ou tout au moins avantageux de rendre la décantation des matières en suspension plus rapide et plus complète, en la faisant précéder d'un traitement chimique.

L'addition de réactifs précipitants à des eaux-vannes ménagères peut être recommandable comme traitement préliminaire, lorsqu'il s'agit d'épurer ensuite celles-ci par une surface très restreinte de sol perméable ou de lits bactériens. Les substances chimiques choisies doivent alors produire une sorte de collage entraînant les particules solides en même temps que les matières albumineuses coagulables.

Les réactifs auxquels on s'adresse varient naturellement selon la nature des eaux à traiter et selon les conditions économiques locales. Les principaux sont :

- La chaux ;
- La chaux et le sulfate ferreux ;
- La chaux et le réactif alumino-ferrique ;
- Le sulfate d'alumine et de fer ;
- Le sulfate d'alumine avec sang et poudre de charbon (procédé anglais dit *A-B-C* : « *Alum, Blood and Coal* ») ;
- Le ferrozone ;
- Le sulfate ferrique ;
- Le chlorure ferrique ;
- L'acide sulfurique ;
- Le chlorure de chaux.

Le sulfate d'alumine et de fer est le plus généralement usité en Angleterre et en Écosse. On peut cependant affirmer que, d'une manière générale, tant sous le rapport de l'économie que sous celui de l'efficacité, le sulfate ferrique permet d'obtenir de meilleurs résultats. Immédiatement après vient le sulfate ferreux, employé avec la chaux.

La chaux seule est à rejeter, parce qu'elle facilite la dissolution des matières putrescibles. D'autre part, il en reste toujours trop en solution (sauf lorsqu'il s'agit d'une eau d'égout acide) et lorsque les matières organiques dissoutes additionnées de cette substance sont diluées dans les rivières, elles entrent immédiatement en fermentation putride et produisent des odeurs nauséabondes.

Quels que soient les réactifs choisis, ceux-ci (sauf la chaux) seront employés en solutions et en quantités variables suivant les volumes d'eau d'égout à traiter. Toutefois, dans les petites stations d'épuration, comme ce réglage est très difficile, on trouvera plus commode de faire traverser à l'eau d'égout un panier ou un bassin contenant les réactifs à l'état de blocs solides.

La chaux, lorsqu'on ne pourra pas éviter d'y avoir recours, sera utilisée sous forme de *lait de chaux*, car, à l'état d'eau de chaux, elle nécessiterait un volume énorme de réactif à mélanger à l'eau d'égout.

Il a été récemment beaucoup question, surtout en Belgique, d'un procédé basé sur l'emploi de cette substance et sur une méthode spéciale de décantation qui présente seule quelque originalité. Ce procédé, connu sous le nom de son inventeur M. Vial, vient d'être appliqué à *Ostende*, après avoir été essayé à *Haren*, près de *Bruxelles*.

En voici la description :

Les bassins dans lesquels s'effectue la décantation sont formés de deux parties : la poche à boues et le bassin de clarification. On utilise pour la précipitation (à *Haren*) de 250 grammes à 1 kilogramme de chaux éteinte par mètre cube. Cette chaux donne à l'analyse 67 à 68 p. 100 de CaO.

La décantation s'effectue en marche continue : une lame de liquide de quelques centimètres d'épaisseur parcourt tout le bassin avec une vitesse de 2 mètres environ par minute, en glissant sur une masse d'eau immobilisée par des cloisons sans qu'il s'y produise ni remous ni courants internes : pendant ce temps, elle abandonne toutes ses matières en suspension. L'eau reste ainsi le moins possible en contact avec les matières précipitées.

Celles-ci s'accumulent particulièrement en deux endroits du bassin ; de là elles sont enlevées par une pompe, en mélange avec beaucoup d'eau, et envoyées dans un grand récipient, où elles se déposent. Elles sont concentrées ensuite dans un appareil spécial dit « concentrateur », qui est une espèce de filtre : les boues liquides arrivent sous une pression de 3 à 4 mètres, obtenue par différence de niveau dans une cuve renfermant des tubes en toile serrée ; les matières solides sont retenues et s'amassent dans l'appareil, tandis que l'eau est évacuée à l'intérieur des tubes vers un conduit central. Les boues sortent de cet appareil à l'état pâteux, ne renfermant plus que 70 à 80 p. 100 d'eau. Elles sont ensuite séchées.

La quantité de boues produites varie suivant la concentration des eaux d'égout et suivant la quantité de réactif employé. Dans les expériences de *Haren* effectuées sur les eaux d'égout du collecteur de *Bruxelles*, pour 288 grammes de matières en suspension, on obtenait 395 grammes de boues (pesées à l'état sec) par mètre cube. Lorsqu'il y avait 1^{kg},500 de matières en suspension, la proportion de boues s'élevait à 2^{kg},142 par mètre cube.

Leur valeur était assurément très minime. Elles renfermaient seulement :

Azote ammoniacal.....	0 ^{sr} ,083	au maximum p. 100	de matières sèches.
— organique.....	1 ^{sr} ,762	—	100 —
— phosphorique.....	0 ^{sr} ,83	—	100 —

Soit pour environ 1 fr. 85 de matières fertilisantes (dans les cas les plus favorables, c'est-à-dire avec l'eau d'égout la plus concentrée) par 100 kilogrammes de matières sèches.

Les décanteurs Vial permettent incontestablement d'obtenir une eau bien débarrassée de matières en suspension et, si la quantité de réactif ajoutée est suffisante, une partie des matières en solution est également précipitée. Mais il reste toujours dans l'effluent une importante proportion d'azote albuminoïde et d'ammoniacque, de sorte qu'on ne peut pas le considérer comme réellement *épuré*. Tant que le liquide reste très alcalin, il ne se putréfie pas, mais, dès qu'il se trouve dilué avec de l'eau de rivière et que le taux de son alcalinité s'abaisse jusqu'à permettre la vie des germes microbiens, ceux-ci entrent en action et manifestent leur activité par un dégagement abondant d'odeurs nauséabondes.

Les eaux d'égout traitées par le système Vial ne pourraient donc être rejetées dans les rivières qu'à la condition d'être *épurées* ultérieurement par épandage ou par lits bactériens, après dilution convenable de manière à permettre la vie des ferments nitrificateurs.

L'emploi d'un tel procédé ne paraît en aucune manière pouvoir convenir aux villes de quelque importance, d'abord parce qu'il est extrêmement onéreux en raison surtout des dépenses de réactif et de main-d'œuvre, et ensuite parce que, loin de solutionner favorablement le problème des boues, il l'aggrave en accroissant le volume de celles-ci, ainsi que les difficultés de leur manutention.

A *Salford*, grande ville industrielle de 220 000 habitants qui fait partie de l'agglomération de *Manchester*, les eaux d'égout, mélangées d'un énorme volume d'eaux résiduaires industrielles, se rendent, après passage à travers des grilles, dans un *mélangeur* où elles reçoivent une mixture de *chaux* et de *sulfate ferreux* (0^{sr},05 de chaux et 0^{sr},02 de sulfate ferreux par litre). On les dirige ensuite par deux canaux vers *dix* bassins de précipitation, qui ont chacun 33 mètres de longueur sur 24 mètres de largeur et de 1^m,80 à 2^m,70 de profondeur, soit une capacité de 22 715 mètres cubes (fig. 14).

Ces bassins, munis de vannes de fond, permettent d'évacuer les boues, sans les draguer, et d'envoyer celles-ci dans un large réservoir d'où on les refoule par des pompes jusqu'à un navire de 600 tonnes qui les transporte périodiquement à une distance de 60 milles environ, en mer, à l'embouchure de la *Mersey*. Ce navire fait, en moyenne, 230 voyages par an.

L'effluent des bassins de précipitation est dirigé sur six filtres dégrossisseurs, à travers une épaisseur de 0^m,50 de gravier de calibre mélangé de 7 à 50 millimètres, qu'on peut nettoyer par un système de barbotage d'air, deux ou trois fois par jour.

Ces filtres travaillent normalement à raison de 215000 mètres cubes par hectare et par jour.

Toutes ces installations occupent une surface de près de 5 hectares.

L'épuration proprement dite de l'effluent de précipitation chimique est réalisée par un vaste lit bactérien à bacs pulvérisateurs,

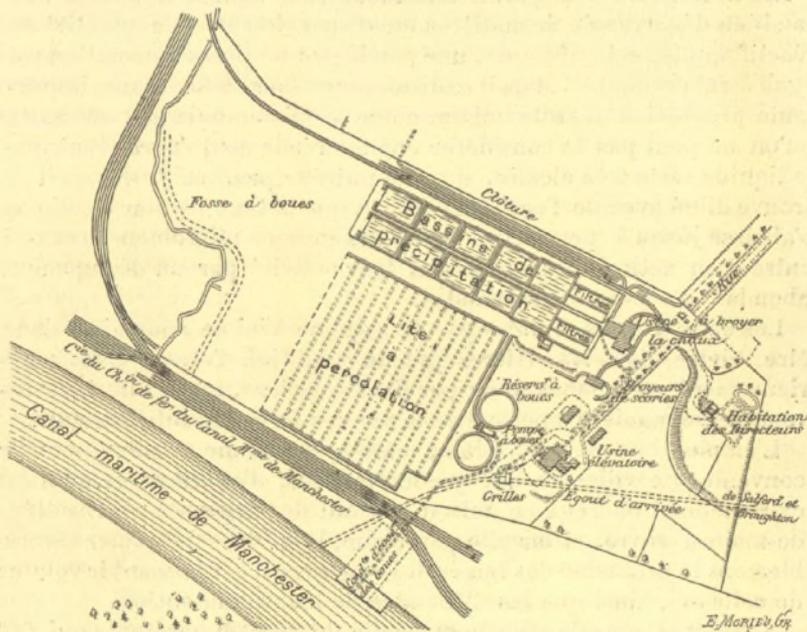


Fig. 14. — Station d'épuration de Salford.

de 2^{ha},5 de superficie. Les résultats en sont pleinement satisfaisants.

À la station expérimentale de la *Madeline-lès-Lille*, M. Buisine a fait, sur notre demande, en 1905, des essais comparés de précipitation avec différents réactifs, en vue de déterminer ceux de ces réactifs dont l'emploi est le plus avantageux pour le traitement préliminaire des eaux d'égout urbaines lorsqu'on jugera plus commode d'y avoir recours.

Les meilleurs résultats ont été obtenus avec le *sulfate ferrique*, avec le *chlorure ferrique* ou avec les *sels ferriques combinés au chlorure de chaux*.

Le *sulfate ferrique*, que l'industrie prépare très économiquement par l'action de l'acide sulfurique sur la cendre de pyrite de fer,

coûte bon marché et joint à ses propriétés précipitantes une action désodorisante qui doit le faire préférer dans la plupart des cas.

La quantité de ce réactif qu'il faut employer pour avoir une bonne précipitation varie, suivant la teneur de l'eau d'égout en impuretés, de 100 à 250 grammes par mètre cube. Les réactions qu'il provoque peuvent se résumer ainsi :

D'abord le sulfate ferrique est décomposé par les sels alcalins et alcalino-terreux que l'eau renferme toujours. L'oxyde ferrique, ainsi précipité, entraîne avec lui la totalité des matières en suspension, se combine aux matières albuminoïdes, forme des laques avec les matières colorantes, décompose les savons, les principes odorants, les sulfures, et fixe ces derniers à l'état de sulfure de fer insoluble.

L'agent épurant, l'oxyde ferrique précipité, qui est gélatineux, forme avec les matières organiques azotées une sorte de *laque* qui entraîne les particules les plus ténues ; il en résulte un véritable collage du liquide.

L'eau brute, chargée de matières en suspension, plus ou moins colorée et possédant l'odeur spéciale des eaux d'égout, est rendue, après ce collage, parfaitement limpide, inodore et imputrescible aussi longtemps qu'elle n'est pas mélangée à une quantité suffisante d'eau de rivière pour que l'action antiseptique du réactif ne puisse plus exercer ses effets.

Le prix de revient du réactif pour la clarification de l'eau d'égout de la Madeleine est de 1 centime environ pour 1 mètre cube (le sulfate ferrique coûtant 4 francs les 100 kilogrammes).

Le *chlorure ferrique* coûte un peu plus cher : 7 francs les 100 kilogrammes en gros. Son action est la même, mais il présente l'avantage de ne pas introduire dans l'eau de l'acide sulfurique, qui passe à l'état de *sulfates*, lesquels, par les actions microbiennes subséquentes, peuvent être réduits à l'état de sulfures.

Le *chlorure de chaux*, mélangé au *sulfate ferrique* à une dose correspondant à 5 litres de chlore actif par mètre cube d'eau d'égout à traiter, permet d'oxyder les matières hydrocarbonées sur lesquelles l'hydrate ferrique est sans action et de détruire complètement les microbes pathogènes que la plupart des autres réactifs précipitants épargnent toujours en partie.

Nous reviendrons d'ailleurs sur son utilisation, bien plus avantageuse à ce point de vue, pour la stérilisation de l'effluent des lits bactériens.

A *Kingston-on-Thames*, on a expérimenté sur une grande échelle le *procédé A-B-C* (alumine-sang-charbon), qui, tout en éliminant 83 p. 100 de l'azote albuminoïde des eaux d'égout, permettrait d'obtenir des boues sèches valant 90 francs la tonne et que l'on baptisa « guano indigène ». Mais les rapports officiels établirent bientôt l'exagération de son prix de revient, et un inconvénient très grave ne

tarda pas à se révéler : l'eau épurée devenait le siège d'un développement extraordinaire de certains organismes qui finissaient par menacer d'obstruction les conduites : il s'agissait surtout de *Sphaerotilus natans*, de *Crenothrix ochracea* et d'une algue cyanophycée, probablement du genre *Sirosiphon*.

Ce mode de traitement de l'eau d'égout dut donc être abandonné.

IX. — L'ÉPURATION BIOLOGIQUE NATURELLE SUR LA TERRE ARABLE.

A. Rôle épurant du sol. — Ferments nitrificateurs. —

Les premières observations scientifiques sur la purification des eaux d'égout par filtration dans le sol sont dues à *Hiram Mills* et à ses collaborateurs du *Board of Health of Massachusetts*. Elles ont été faites à partir de 1886 sur de grandes cuves en bois, de 5 mètres de diamètre et de 2 mètres de profondeur, garnies de matériaux variés : terre végétale, sable de différentes grosseurs, tourbe, marne et mélanges de ces différents éléments.

L'eau d'égout, préalablement analysée, était distribuée à la surface de ces cuves, en volumes variables et par arrosages *continus* ou *intermittents*.

On constata tout d'abord qu'avec la *filtration continue* il n'y avait pas de nitrification possible, tandis que celle-ci s'effectuait très régulièrement avec la *filtration intermittente*. On vit ensuite que cette même nitrification était nulle ou très faible dans les terres trop fines ou compactes, imperméables à l'air ; qu'elle était très active dans les sols poreux et que, dans ces sols poreux, son intensité s'accroissait même jusqu'à une certaine limite maxima, de telle sorte que, à une période donnée de *maturité* du filtre, on pouvait lui faire brûler jusqu'à 250 grammes environ de matière organique par mètre carré et par jour, ce qui fait 2500 kilogrammes (correspondant à 2000 mètres cubes d'eau d'égout) à l'hectare.

Depuis des siècles, on connaissait les propriétés fertilisantes des eaux d'égout. On les utilisait sur des centaines d'hectares dans les *Marcites de Milan* et dans les *Huertas de Valence*, immenses champs de culture, célèbres par leur fécondité si colossale qu'on y pouvait faire jusqu'à six coupes de fourrage par an !

Mais la fonction *épurante* du sol, c'est-à-dire l'appétitude qu'il possède de désintégrer la matière organique par étapes successives jusqu'à la minéralisation complète de celle-ci, nous a été révélée vers 1878 par la célèbre expérience de Schloësing et Müntz.

En faisant couler de l'eau d'égout à travers de longs tubes remplis de terre, ces savants virent que la transformation des matières azotées en nitrates ne s'effectuait plus si la terre était préalablement

stérilisée par chauffage à 110°, ou si l'eau d'égout était additionnée d'un peu de chloroforme.

La meilleure terre arable, ainsi privée de germes microbiens, devient incapable de nitrifier les solutions de sulfate d'ammoniaque. Mais si, après l'avoir privée de germes, on y enseme de nouveau les microbes nitrificateurs que Winogradsky, Omeliansky, Boullanger et Massol nous ont fait connaître et nous ont appris à cultiver, elle redevient promptement apte à réaliser la nitrification. Celle-ci est donc fonction de la vie de certains microbes, hôtes normaux de la plupart des sols, et comme ces microbes sont aérobies, comme ils ne peuvent vivre et oxyder l'ammoniaque qu'à la faveur de l'oxygène atmosphérique, on ne les rencontre que dans les couches superficielles du sol, c'est-à-dire jusqu'où l'air peut pénétrer.

Nous savons aujourd'hui qu'il existe de nombreuses espèces de ferments nitrificateurs, les unes prenant l'ammoniaque pour le transformer en azote nitreux ou en *nitriles*, les autres s'emparant de ces nitrites pour en faire de l'azote nitrique, des *nitrites*, dernier terme de la minéralisation de la matière organique azotée.

Nous savons aussi qu'à côté de ces ferments *nitrificateurs* il y a dans le sol, surtout dans les couches profondes, plus difficilement accessibles à l'air, d'autres microbes *anaérobies* capables d'emprunter aux nitrates l'oxygène dont ils ont besoin pour assurer leur existence. Ces microbes *dénitrificateurs* jouent un rôle important dans l'épandage des eaux d'égout. S'ils se multiplient en abondance, comme il arrive dans les terrains compacts, ou colmatés, ou mal drainés, les nitrates sont détruits au fur et à mesure de leur formation, et il n'en reste plus assez pour les besoins des plantes.

La *nitrification* est donc un phénomène de *vie microbienne aérobie*, la *dénitrification* un phénomène de *vie microbienne anaérobie*.

Ces faits fondamentaux nous permettent de comprendre le processus d'épuration des eaux d'égout dans le sol. Ce processus s'accomplit en deux étapes : l'une de *fixation* de la matière organique par adhérence capillaire sur les particules poreuses de l'humus ou des autres matériaux constituant la terre arable ; l'autre d'*oxydation* aboutissant soit à la *nitrification* d'une partie de la matière organique fixée, soit à la *dénitrification* ou à la *désintégration en produits gazeux* (*azote, acide carbonique, hydrogène*) d'une autre partie de cette matière organique fixée.

Les deux phénomènes, *fixation* et *oxydation*, sont évidemment sous la dépendance de conditions multiples que tous les sols ne réalisent pas au même degré. Ces conditions sont : le pouvoir fixateur ou tinctorial, la capacité de rétention pour l'eau, la porosité ou perméabilité à l'air. De sorte qu'il existe entre les différents sols d'énormes variations dans leur aptitude à épurer les eaux d'égout.

Indépendamment de ces *qualités* du sol, l'efficacité de l'épuration

par épandage résulte en outre d'autres facteurs dont l'importance ne saurait être méconnue, tels que le volume d'eau déversé par rapport à la surface, l'intermittence des déversements, la manière dont ceux-ci sont effectués (en nappes, en billons, par infiltration), la saturation préalable du sol par les précipitations d'eaux pluviales, la température, l'intensité de l'évaporation.

Lorsque tous ces facteurs sont harmonieusement équilibrés, — et ce n'est malheureusement que dans des cas exceptionnellement rares, — l'épuration biologique naturelle, autrement dit l'épandage, constitue le mode le plus parfait et le plus rationnel de traitement des eaux d'égout, puisqu'il permet, par l'utilisation plus ou moins immédiate des produits de désintégration des déchets de la vie, de reconstituer de la matière végétale vivante et de fermer le cycle de la rotation de la matière.

On a calculé que les déjections de vingt personnes peuvent suffire pour entretenir en bon état de culture 1 hectare de terrain si elles ne laissent rien perdre. Ces vingt personnes, vivant en symbiose avec les microbes du sol, pourraient donc s'alimenter sur 1 hectare de terre sans rien emprunter à l'extérieur pour leur nourriture. Or la France, dans son ensemble, ne compte pas un habitant par hectare : avec une meilleure utilisation de notre sol national, la population pourrait décupler sans s'appauvrir. Il y a donc encore de la place. « Nous élargissons le monde quand nous en découvrons les lois » (Duclaux).

B. Utilisation agricole des eaux d'égout. — Dans la Rome antique, chaque maison avait ses latrines, généralement situées, comme on peut le voir à Pompéi, à côté des cuisines, probablement pour servir aux esclaves. Le maître avait la *sella*, la chaise, qu'on plaçait pour la nuit et qu'on emportait le matin. Les vidanges, avec l'évier des cuisines et les tuyaux de toiture, arrivaient à une sorte de fosse fixe qui était en communication avec l'égout; par lui les liquides se déchargeaient au *Cloaca maxima*, qu'avait fait construire Tarquin l'Ancien pour l'écoulement des pluies, au milieu du Forum, et se rendaient ensuite au Tibre (1).

L'utilisation des eaux d'égout pour la culture fut réalisée pour la première fois par les Lombards, dans les *Marcites* milanaises (de *marcescere*, pourrir), vastes prairies qui durent depuis six siècles et comprennent près de 1 500 hectares, enrichissant leurs propriétaires et leurs fermiers grâce aux huit coupes de fourrage qu'elles fournissent chaque année.

Elle le fut ensuite dans la *Huerta* des environs de Valence (Espagne), dont les terres, irriguées à l'eau d'égout, ou *regados*, se vendent couramment de 12 000 à 13 000 francs l'hectare, tandis que les terres des régions non arrosées, les *secanos*, valent à peine 1 000 francs.

(1) A. MILLE, Assainissement des villes, Paris, Dunod, éd. 1886.

Au commencement du XIX^e siècle, la réforme de l'assainissement des villes fut mise à l'étude par les ingénieurs anglais. Le *Board of Health* ou *Conseil supérieur de salubrité*, sous l'impulsion hardie de *Chadwick*, avait formulé un programme d'après lequel, dans toute ville moderne, l'eau pure devait traverser les maisons, emportant immédiatement dans les égouts les déchets susceptibles de vicier l'air, pour aller se répandre en irrigations sur un sol cultivé, dont elle deviendrait la fumure et où elle serait *épurée*. Les environs d'*Édimbourg* fournissaient, depuis plus de cent années, la preuve que ce programme était réalisable : des sables marins, stériles, avaient été arrosés avec les eaux d'égout contenant les liquides des water-closets, et ils étaient devenus les *Craigentimy meadows*, prairies si fertiles qu'elles donnent cinq coupes de fourrage vert aux vaches dont le lait et la crème alimentent les habitants de la ville.

C. **Épandage agricole à Paris.** — Bien que le jet des matières usées dans les rivières eût été proscrit par des ordonnances royales dès 1669, la Seine est restée jusqu'à ces dernières années et elle reste encore partiellement aujourd'hui le grand égout collecteur de *Paris* et de sa banlieue.

Ce qu'écrivait en 1876, dans son journal d'hygiène, de *Pietra Santa* peut être réédité sans qu'actuellement un seul mot cesse d'être vrai :

« En amont de *Paris*, dans la traversée de la capitale, ainsi qu'entre les fortifications et *Asnières*, la Seine présente un aspect satisfaisant. Les poissons vivent dans toute la largeur de la rivière ; des végétaux d'ordre élevé poussent sur les berges ; le fond est formé de sables blancs.

« En aval du pont d'*Asnières*, la situation change brusquement. Sur la rive droite de la Seine, au débouché du grand collecteur de *Clichy*, un courant considérable d'eau noirâtre sort de ce collecteur et s'épanouit en Seine, en formant une couche parabolique qui se rapproche parfois de la rive gauche.

« Cette eau est d'un aspect répugnant : elle est chargée de débris organiques de toutes sortes, recouverte d'une couche de matière grasseuse ; une vase grise, mélangée de débris organiques, s'accumule le long de la rive en formant des bancs d'atterrissements.

« Cette vase, qui descend jusqu'au thalweg du fleuve, est le siège d'une fermentation active qui se traduit par d'innombrables bulles de gaz (hydrogène carboné et sulfuré) venant crever à la surface de l'eau. »

A la même époque, dans un rapport présenté au nom de la Commission d'enquête du département de la Seine, *Schlœsing* disait :

« 1^o L'infection de la Seine par les eaux d'égout de *Paris* est un fait absolument incontestable. La Commission, réitérant un avis déjà énoncé par le Conseil général des Ponts et Chaussées et par le Conseil de salubrité de la Seine, déclare que cette infection doit cesser dans le plus bref délai ;

« 2° Les causes de l'infection résident dans les matières organiques des eaux d'égout solubles et insolubles ;

« 3° Lors même que les matières insolubles seraient éliminées, les matières solubles suffiraient pour corrompre les eaux de la Seine ;

« 4° Il est indispensable que les eaux d'égout soient dépouillées des matières organiques avant d'être admises dans la Seine. »

Or, dix ans auparavant, dès 1886, on avait déjà commencé, d'abord à *Clichy*, puis à *Gennevilliers*, des expériences d'utilisation culturale et d'épuration par le sol. En présence des résultats obtenus, et s'appuyant sur les travaux de De Freycinet, de Schlœsing, de P. Frankland et de Marié-Davy, on décida d'étendre l'expérimentation sur une plus large échelle, et une mission d'études à l'étranger était confiée à l'ingénieur des Ponts et Chaussées A. Mille.

En 1869, une partie des eaux du collecteur était refoulée à *Gennevilliers*, où la ville avait acheté une propriété de 6 hectares (jardin modèle d'aujourd'hui).

Malheureusement ces essais furent interrompus presque aussitôt par la guerre franco-allemande, et ce n'est qu'en 1872 qu'ils purent être repris.

Pour relater aussi exactement que possible leurs résultats successifs et les discussions qu'ils ont provoquées, nous ne saurions mieux faire que d'analyser ici le rapport présenté par M. Marié-Davy à la Conférence d'hygiène de Seine-et-Oise le 7 juin 1903 (1).

En 1876, 295 hectares seulement étaient irrigués à *Gennevilliers* et, tandis qu'une pétition était adressée aux Chambres pour réclamer la suppression de l'épandage, une contre-pétition, couverte d'un nombre à peu près égal de signatures, comprenant des médecins, des pharmaciens, des membres des municipalités, plaidait pour l'extension de ces mêmes irrigations.

Le mouvement favorable ne fait dès lors que s'accroître. En 1881, la municipalité de *Gennevilliers*, jusqu'alors hostile, cesse son opposition et passe avec la Ville de *Paris* un traité lui assurant la « jouissance » des eaux d'égout pendant douze ans.

En 1884, le chiffre d'hectares irrigués s'élève à 616. En 1892, il atteint 776, et tous ces terrains appartiennent à des particuliers qui ne sont aucunement forcés d'avoir recours à l'irrigation.

Des terrains dont la valeur locale était de 90 à 150 francs l'hectare atteignaient en 1892 jusqu'à 400 et 500 francs.

La valeur foncière des mêmes terrains était passée de 10 à 12000 francs l'hectare à 20000 et 22000 francs. Et la population de *Gennevilliers*, suivant une progression semblable, passait de 4445 habitants en 1886 à 7386 en 1896.

On accusait, il est vrai, l'épandage de porter une grave atteinte à

(1) *Journal d'hygiène*, 25 juillet 1903.

la salubrité générale du pays, de donner lieu à des fièvres intermittentes, de surélever et de polluer la nappe souterraine. Mais les enquêtes sanitaires furent assez rassurantes, tout au moins au sujet d'une partie de ces allégations, car la mortalité totale de *Gennevilliers*, bien que supérieure à celle de Paris, n'était pas plus considérable qu'à *Asnières*. Par contre, en ce qui concernait la surélévation de la nappe souterraine, le cri d'alarme était fondé. Voici ce qu'écrivait M. Schlœsing, chargé par la Commission d'enquête du département de la Seine d'étudier la question :

« La nappe des eaux souterraines est actuellement surélevée d'environ 2 mètres au-dessus de l'ancien niveau de l'étiage antérieur à l'année 1868. A cet exhaussement, on peut assigner trois causes : la surélévation de 1 mètre au moins du niveau de la Seine depuis l'établissement du barrage de *Bezons*; le gonflement de la nappe souterraine à la suite des pluies tombées en février et mars 1876; les irrigations. La Commission n'a nul besoin de mesurer la part de chaque cause dans le résultat général; il lui suffit de constater l'état actuel, pour en conclure la nécessité absolue de drainer le sol partout où l'irrigation est ou sera établie, afin que, la nappe souterraine ayant un libre écoulement, le sol filtrant conserve au-dessus d'elle l'épaisseur nécessaire pour l'épuration. »

Et il conclut :

« En ce qui concerne les intérêts matériels des populations, les oppositions à l'avant-projet, fondées sur l'insalubrité des irrigations, ne sont plus motivées, du moment que cette insalubrité n'existe pas. Celles qui sont fondées sur l'exhaussement du plan d'eau perdront également toute valeur par l'exécution du drainage recommandé par la Commission. »

Progressivement, le programme tracé par Belgrand, Mille et Durand Claye en 1875 fut exécuté. On acheta d'abord le domaine d'*Achères*, puis *Carrières-Triel* et *Méry-Pierrelaye*, en tout 6000 hectares environ, dont 1765 de domaines municipaux et le reste en cultures libres, presque toutes ces terres constituées par des sables argileux, assez uniformément perméables.

Les domaines municipaux, mis en régie, devaient permettre d'épurer tout ce que les cultivateurs libres ne pourraient pas utiliser sur leurs champs. Disons tout de suite que cette mise en régie des terres à irrigation forcée fut une faute : elle devint une source de perpétuelles difficultés et d'interminables procès entre la ville, qui exigeait le déversement d'un volume déterminé d'eau d'égout, et les fermiers régisseurs qui se refusaient à noyer dans cette eau d'égout leurs cultures lorsqu'un excès d'humidité était préjudiciable à celles-ci.

En 1902, sur la surface totale irrigable de 6000 hectares environ, on avait distribué 226544409 mètres cubes d'eau d'égout, soit en moyenne 42744 mètres cubes par hectare et, en 1903, 253031563 mètres

cubes, soit en moyenne 42 083 mètres cubes par hectare. Ces volumes sont voisins de la dose maxima de 40 000 mètres cubes par hectare et par an, autorisée par les lois des 4 avril 1889 et 10 juillet 1894 et par le décret du 11 avril 1896, qui règlent les conditions de l'épandage agricole pour la ville de *Paris*.

En 1904, les 905 hectares de *Gennevilliers* ont reçu 41 689 361 mètres cubes, soit 46 065 mètres cubes par hectare.

Les 1 500 hectares d'*Achères* ont reçu 57 850 522 mètres cubes, soit 38 567 mètres cubes par hectare.

Les 2 150 hectares de *Méry-Pierrelaye* ont reçu 74 858 805 mètres cubes, soit 34 818 mètres cubes par hectare.

Les 950 hectares de *Carrière-Triel* ont enfin reçu 41 568 540 mètres cubes, soit 43 756 mètres cubes par hectare.

Pendant cette même année, le volume total d'eaux d'égout débité par les collecteurs parisiens fut de 268 397 561 mètres cubes, dont

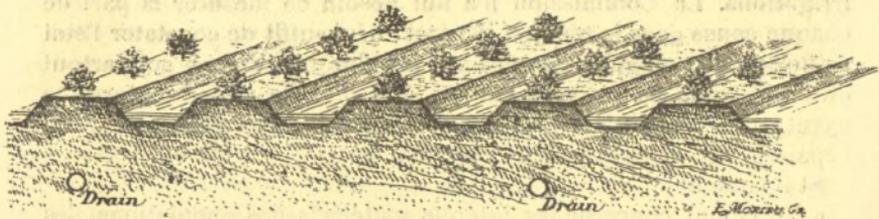


Fig. 15. — Méthode d'irrigation agricole par déversement intermittent des eaux d'égout entre billons.

215 967 228 mètres cubes ont été refoulés par les pompes sur les champs d'irrigation, et 51 509 828 mètres cubes (soit 141 670 mètres cubes par jour) ont été déversés directement en Seine, soit à *Clichy*, soit à la porte de *la Chapelle*.

En 1907, les quatre régions d'apandage ont reçu un total de 203 453 703 mètres cubes d'eau d'égout.

L'irrigation se fait sur les champs d'épandage par la méthode dite d'*infiltration*. L'eau d'égout est amenée aux réseaux par les *émis-saires*, grosses canalisations d'où part toute une série de conduites en ciment.

Le réseau partiel de chaque section se compose d'une conduite principale sur laquelle s'embranchent normalement, de part et d'autre, à des intervalles variables (400 mètres pour *Achères*) les conduites de service.

La distribution de l'eau s'effectue au moyen de bouches placées au-dessus ou au niveau du sol et branchées directement sur les conduites. Chacune de ces bouches dessert environ 3 à 4 hectares.

L'eau y est amenée dans des rigoles assez profondes, entre lesquelles sont dressés les billons ou planches de culture (fig. 15), et les déversements s'y font par *intermittences*, celles-ci, nous l'avons déjà dit, étant indispensables à la nitrification de la matière organique. Ces

intermittences se répètent à des intervalles variables, suivant les besoins de la végétation dans la culture libre et suivant les nécessités de l'épuration dans les domaines municipaux.

D'après Bechmann, qui a dirigé pendant de longues années les services d'assainissement de la ville de Paris, « le passage répété des eaux d'égout dans les rigoles et l'infiltration qui s'y produit par le fond et par les côtés, ont pour conséquence la formation rapide d'un dépôt de matières solides sur les parois. Tant que ce dépôt est assez mince, il se fendille entre deux épandages, se détache en lamelles et ne s'oppose point à la pénétration de l'eau ; mais, lorsque, par la superposition de nombreuses couches successives, il acquiert une épaisseur un peu grande, sa perméabilité diminue, s'annule même, et l'eau ne pénètre plus dans les terres. Il faut alors rafraîchir les surfaces de contact, soit en curant les rigoles et en rejetant le produit du curage sur les planches intermédiaires, soit en les déplaçant à la bêche ou à la charrue ; dans l'un et l'autre cas, les dépôts sont incorporés à la terre à titre de supplément d'engrais ; les substances organiques qu'ils contiennent ne tardent pas à y être transformées, et les matières minérales tendent à modifier peu à peu la composition originaire du sol arable, qui se recouvre de la sorte d'une couche d'humus, dont l'épaisseur croît d'ailleurs très lentement ».

Dans les cultures « libres » de Gennevilliers, l'irrigation porte en moyenne chaque jour sur un neuvième de la surface totale irrigable, c'est-à-dire que le même sol cultivé reçoit *tous les neuf jours* une ration d'eau d'égout. Chaque hectare reçoit donc environ 1 000 mètres cubes, soit une nappe de 0^m,10 de hauteur d'eau d'égout à chaque irrigation, et celle-ci est répétée quarante fois par an. Elle dure en moyenne six heures, et la terre reste en état d'aération pendant un temps trente-six fois plus considérable, soit deux cent seize heures.

Il est bien évident qu'il ne s'agit là que de chiffres moyens, très variables d'ailleurs avec les diverses cultures. Les prairies, par exemple, peuvent être irriguées tous les deux jours, alors que les asperges ne doivent l'être que trois fois par an.

Dans les domaines municipaux, la culture est entièrement subordonnée aux nécessités de l'épuration, de sorte que l'irrigation culturale n'y pourrait être poursuivie utilement qu'à la condition d'y organiser un système d'assolement rationnel permettant d'absorber en tout temps la quantité maxima d'eau d'égout.

Dans son étude récente sur les champs d'épandage (1910), M. Vincey montre que les déversements d'eaux d'égout en Seine, qui avaient fléchi de 1899 à 1902, ont, par la suite, régulièrement augmenté. Si l'on tient compte du contingent des pluies ordinaires, c'est-à-dire de toutes les eaux souillées dont la ville de Paris a l'obligation légale

(1) P. VINCEY, Épuration terrienne des eaux d'égout de la Ville de Paris et l'assainissement de la Seine *Mémoires de la Soc. nat. d'agriculture*, 1904 et 1910.

d'assurer l'épuration, on voit que, dans les années 1906, 1907, 1908, les déversements directs d'eau non épurée au fleuve s'élèvent à 21, 22 et 25 p. 100 de la totalité des eaux d'égout.

Ces déversements sont relativement peu importants de juin à octobre, mais beaucoup plus élevés en automne et surtout au printemps. Ils sont aussi plus abondants la nuit que le jour, toutes proportions gardées du débit correspondant des collecteurs parisiens. Il y a lieu de remarquer que les égouts des départements de la Seine et de Seine-et-Oise évacuent dans le fleuve un volume double de celui qui est rejeté par la ville de Paris.

D'après l'expérience de quarante années, on peut, suivant M. Vincey, admettre que la dose d'irrigation culturale et épuratrice est susceptible d'atteindre 1 000 mètres cubes par hectare moyen.

L'irrigation normale dure depuis quatre heures, en terrains sableux, jusqu'à huit heures en sols argileux, soit six heures consécutives environ, pour les terres de perméabilité moyenne. Elle revient approximativement tous les sept jours. Or nous savons que, d'après les limites légales, les intervalles entre deux irrigations seraient de neuf jours. En pratique, les intervalles ne peuvent être moindres que quarante-huit heures, car généralement l'irrigation cesse alors d'être soit culturale, soit épuratrice. C'est ainsi que l'expérience a fait abandonner les *mares stagnantes*, qui avaient conduit à l'apparition des *taches chlorotiques* dans lesquelles toute culture et toute épuration étaient devenues impossibles pendant des périodes de très longue durée.

Toujours d'après M. Vincey, l'irrigation culturale et épuratrice à l'eau d'égout peut être pratiquée sur tous les sols. Mais la quantité d'eau utilisée varie considérablement selon leur perméabilité. La durée des intervalles entre les irrigations normales peut être d'autant plus réduite que les terrains mettent moins de temps à se dessécher. Aussi, dans les graviers sableux anciens, la dose légale peut être doublée, tandis que, dans les alluvions anciennes, limoneuses, elle doit être réduite au cinquième.

Ayant ainsi exposé les connaissances actuelles sur l'épandage, résumées ici brièvement, M. Vincey établit, en prenant pour base l'année normale 1906, un projet par lequel il montre que, par l'aménagement convenable des assolements culturaux et le règlement judicieux des irrigations, les terrains d'épandage de la ville de Paris pourraient être capables de satisfaire aux nécessités de l'assainissement parisien sans compromettre en rien les résultats de l'agriculture. Dans les domaines administratifs, il supprime les céréales et les betteraves industrielles, dont la culture supporte fort mal l'irrigation épuratrice. Il réduit sensiblement les productions potagères, la pomme de terre hâtive notamment, dont la faculté irrigatrice est insuffisante. Par contre, il instaure largement la prairie,

dont le coefficient d'irrigation culturale est très élevé, sans aucun préjudice pour l'épuration des eaux d'égout.

Or, dans la région de *Méry-Pierrelaye*, près de la moitié du territoire consacré à la culture libre portait, en 1903, soit des cultures d'*asperges*, soit des *pois*, qui n'utilisent presque pas d'eau d'égout. Pour les cultures domaniales, on voit également que les assolements choisis ne répondent en aucune manière aux besoins de l'épandage. Pour le printemps notamment, la possibilité d'irrigation culturale est absolument insuffisante. Il en résulte des déversements abusifs, qui ont des effets désastreux aussi bien pour la culture que pour l'épuration.

Ces faits regrettables peuvent-ils être évités par l'adoption, dans les domaines municipaux, d'assolements convenables, et peut-on établir des assolements capables de satisfaire à la fois l'épuration et la culture?

M. Vincey répond affirmativement, et il déclare qu'avec l'étendue actuelle et la nature éminemment favorable des terrains, les champs d'épandage de la ville de Paris seraient suffisants pour assurer en tout temps la parfaite épuration culturale des 775 000 mètres cubes d'eau, qui doivent journellement aboutir aux collecteurs d'égouts. Mais, au lieu de récoltes qui ne répondent qu'à des intérêts privés (fort mal compris d'ailleurs), il faudrait pratiquer, dans les domaines administratifs tout au moins, des cultures qui cadrent avec les nécessités de l'assainissement, et adopter des assolements dont la possibilité d'irrigation épuratrice et culturale soit correspondante en tout temps aux besoins généraux. En portant à 1300 hectares la totalité des prairies, on pourrait y épandre au printemps 375 000 mètres cubes d'eau d'égout, à cause de la grande capacité épuratrice de cette culture. Les 4000 autres hectares pourraient être soumis à des cultures capables de supporter la dose de 100 mètres cubes par hectare et par jour, ce qui correspond à peu près à la dose légale.

En Allemagne, la pratique a démontré que la dose convenable d'irrigation à l'eau d'égout, sur les sables fins des environs de *Berlin*, pour l'épuration et la culture, n'est que de 12 à 15 000 mètres cubes par hectare et par an. En France, l'expérience de *Gennevilliers* avait permis d'admettre la dose de 40 000 mètres cubes.

Étant donnée la nature des terrains dont dispose la ville de Paris, ce chiffre eût pu encore être dépassé dans une proportion très notable si l'exploitation agricole des champs d'épandage eût été plus scientifiquement conduite.

Devant les difficultés de concilier les besoins de l'épuration avec les intérêts de la culture libre, on est en droit de se demander si cette dernière a sa raison d'exister. Les fermiers ou maraîchers ayant à leur disposition la manœuvre des bouches d'irrigation, il est clair qu'ils se gardent bien d'irriguer lorsque l'état de la culture ne le

permet pas, ou pendant la nuit. De sorte que la ville de Paris, qui expédie chaque jour environ 600 000 mètres cubes d'eau d'égout vers les champs d'épandage, ne peut pas dire quel est exactement le volume *utilisé et épuré*.

On peut évidemment déterminer avec exactitude la quantité d'eau d'égout envoyée journallement aux champs d'épandage en se basant sur le nombre des tours de machines; mais on n'a aucun moyen de se renseigner sur le volume *réellement employé en irrigation*.

Les fermiers ou maraîchers prennent ce qui leur est nécessaire, et le surplus, sans épuration, est rejeté en Seine.

Pour dissimuler cette situation fâcheuse, on a créé à certains moments des *zones régulatrices*, vastes marais d'eau d'égout de plusieurs hectares, et l'on a soumis de grandes surfaces de prairies à l'irrigation intensive. Mais ces mesures, si préjudiciables à la mise en valeur des terrains, se sont encore montrées insuffisantes, surtout au printemps, de sorte qu'à cette époque de l'année les déversements d'eau non épurée en Seine ont dépassé la proportion de 35 p. 100 du volume total!

Il en résulte que le degré d'épuration des eaux sortant des drains des champs d'épandage, que M. Vincey a dit atteindre 99,9 p. 100, n'est plus qu'un trompe-l'œil. En effet, si l'on tient compte des 35 p. 100 d'eau non épurée déversée en Seine, le taux d'épuration moyen descend à 65 p. 100!

En 1904, par exemple, le fleuve a reçu par déversement direct, tant à *Clichy* qu'à *La Chapelle*, 151 670 mètres cubes d'eau non épurée chaque jour, en moyenne annuelle (dont 90 986 mètres cubes pour les eaux d'égout parisiennes seules et 50 684 mètres cubes pour les eaux de banlieue), contre 591 965 mètres cubes envoyés aux champs d'épandage, soit 23,9 p. 100.

Par conséquent, les centaines de millions dépensés depuis 1868 pour l'achat, la mise en état et l'entretien des champs d'épandage, n'ont permis jusqu'à présent d'atténuer la pollution de la Seine que dans une proportion tout à fait insuffisante.

D. Résultats chimiques et bactériologiques de l'épandage parisien. — Au point de vue chimique, il est indéniable que l'irrigation culturale sur les terrains d'épandage parisiens donne, en *général*, des résultats satisfaisants, sauf dans les circonstances exceptionnelles où des fautes ont été commises, ou lors des accidents survenus aux canalisations. La nitrification est à peu près partout très active, principalement à *Gennevilliers*, dans les champs de culture libre, où les déversements sont mesurés par les fermiers suivant l'état du sol et celui des cultures. On peut s'en rendre compte par le tableau ci-après, tiré des *Annales de l'observatoire municipal de Montsouris* (4 août 1905);

	Moyennes générales (en milligr. par litre).				
	Matière organique.	Azote.			Résidu sec à 80°.
		Nitrique.	Ammoniacal.	Organique.	
<i>Eaux d'égout :</i>					
Bassin de dégrossissage de Clichy	43,3	0,3	22,0	2,4	520
<i>Eaux de drainage :</i>					
Drains de Gennevilliers..	1,025	31,1	0,0	»	1,022
— d'Achères.....	1,750	17,9	0,475	»	818
— de Méry-Pierrelaye.	0,817	14,23	0,0	»	685
— de Carrières-Triel.	1,240	26,24	0,0	»	874

Par contre, au point de vue bactériologique, l'épuration est beaucoup moins régulière.

La numération des germes contenus dans l'eau des différents drains ne fournit d'indications utiles que pour le drain dans lequel le prélèvement a été effectué.

Il n'est possible d'en faire état que lorsqu'on veut se rendre compte de la marche de l'épuration dans tel ou tel secteur.

L'épuration peut être parfaite en un point déterminé du champ d'épandage et très défectueuse à quelques mètres plus loin. Bien plus, en un même endroit, le chiffre des bactéries peut varier considérablement d'un jour à l'autre.

En voici quelques exemples :

Au drain de *La Bonne-Ville* (*Méry-Pierrelaye*), le Dr Miquel, chef du Service micrographique du laboratoire de Montsouris, trouvait, le 10 janvier 1902, 200 bactéries par centimètre cube, et du 10 au 31 du même mois, une moyenne journalière de 216. Tout à coup, le 7 février, il en compte 39785. Le 14, il n'en passe plus que 145 et le régime normal se rétablit jusqu'au 7 mars. A cette date, l'analyse accuse 161 780 germes par centimètre cube!

A la même époque, l'eau d'un puits voisin (puits *Loraint*, à *La Bonne-Ville*) contenait habituellement de 1 100 à 2 700 germes par centimètre cube. Le 19 février, elle en renferme 22 040!

Cette région de *Méry-Pierrelaye* montre avec évidence combien est variable la puissance épurante des différentes parcelles. Pendant le premier trimestre 1902, on relève dans l'eau de ces différents drains les moyennes générales suivantes, au point de vue de la teneur en bactéries :

Drain de Méry.....	1 355	} Moyenne : 3 690 bactéries par cent. cube.
— de La Bonne-Ville.....	16 970	
— d'Épluches	595	
— de Courcelles.....	2 430	
— de la Chaussée Jules-César.	230	
— de la Ruelle-Darras.....	560	

A *Carrières-Triel*, des faits identiques se présentent.

Le drain de *Saint-Blaise* donne 3744 bactéries le 4 octobre 1901,

et il n'en fournit plus que 60 le 11 octobre, 32 le 29 novembre, 12 le 6 décembre, 264 le 27 décembre.

Le drain de *Carrières*, dont la teneur moyenne est de 200 germes, en accuse 2 829 le 15 novembre et 5 281 le 13 décembre !

Les moyennes fournies par les différents drains de toute la presqu'île de *Carrières*, pendant le quatrième trimestre de cette année 1901, étaient les suivantes :

Drains de l'Est.....	{	<i>Saint-Blaise</i>	525 bact. par cc.)	} Moyenne 340.
		<i>Carrières</i>	780 —	
		<i>Goupil</i>	275 —	
		<i>Chautemps</i>	300 —	
Drains du Sud.....	{	<i>Denouval</i>	17 —	} Moy. 7 720.
		<i>Saint-Louis</i>	8 165	
		<i>Beauregard</i>	7 275	
Drains de l'Ouest....	{	<i>Gilbertes</i>	450 300	} Moy. 221 910.
		<i>Côtes Barthelius</i>	211 145	
		<i>Triel</i>	4 280	

On voit donc combien sont variables les effets de l'épuration par l'épandage sur les parcelles d'un même territoire !

De sorte que, pour bien juger les effets de l'irrigation agricole au point de vue de l'assainissement de la Seine, le seul procédé vraiment exact dont nous puissions disposer consiste à rechercher la teneur en bactéries des eaux du fleuve en divers endroits de son parcours, *en amont* et *en aval* des points de déversement des drains et des eaux d'égout non épurées.

Or, à cet égard, voici ce que nous enseignent les *Annales de l'observatoire de Montsouris* (t. V, fasc. 3, p. 288) :

Teneur en bactéries, par centimètre cube, des eaux de la Seine, pendant le 3^e trimestre 1904 :

A Choisy-le-Roy.....	150 000 bact. par c. c.
Au Pont-Royal.....	119 460 —
Au Point-du-Jour.....	293 220 —
Au Pont de Saint-Ouen (après les déversements du trop-plein du grand collecteur de Clichy).....	900 000 —
A Argenteuil (après les drains de Gennevilliers).....	10 145 000 —
Au Pont de Conflans (après les drains d'Achères).....	61 560 000 —

Plus loin, après le confluent de l'*Oise*, l'auto-épuration s'effectue très vite et, à *Mantes*, la teneur en germes redevient à peu près ce qu'elle était *en amont de Paris*.

Rien, mieux que les chiffres qui précèdent, ne peut nous fixer sur les imperfections de l'épandage agricole, et rien ne peut mieux nous faire comprendre que, si ce système est parfaitement capable de donner d'excellents résultats *sur des surfaces réduites, perméables et homogènes, convenablement drainées et bien surveillées* ou sur de vastes espaces, à la condition de n'épandre que des eaux très diluées comme

dans les *Marcites* de Milan, ou les *Huertas* de Valence, ce serait une grave erreur de compter sur son efficacité pour épurer régulièrement, chaque jour, un volume de près de 800 000 mètres cubes d'eau d'égout et pour assainir la Seine!

E. Résultats économiques de l'épandage parisien. — Les procédés de gestion financière des domaines municipaux ne permettent pas d'établir avec précision le bilan des recettes brutes et des dépenses de culture des champs d'épandage parisiens. Nous ignorons quelle est la valeur des frais de main-d'œuvre et celle des produits récoltés, de sorte qu'il n'est pas possible de savoir ce que coûte en somme, à la Ville, le travail d'épuration. Nous savons seulement que le total des dépenses du service d'assainissement s'élève à près de 4 000 000 par an (3 884 839 francs pour 1907), dont 608 000 francs pour l'entretien des champs d'épandage et que, d'après les calculs de ce service, le prix moyen du mètre cube d'eau épuré reviendrait actuellement à 0 fr. 00177.

Les seuls renseignements que nous avons pu nous procurer sont relatifs à la valeur comparée des terres avant et après l'irrigation.

Sans faire entrer en ligne de compte les travaux d'aménage des eaux d'égout jusqu'aux champs d'épandage et les dépenses énormes qu'ils ont nécessitées (machines, aqueducs, canalisations, travaux d'art, etc.), il est tout au moins intéressant de savoir quelle plus-value en est résultée pour les terrains exploités par la culture libre.

A *Gennevilliers*, les fermiers usent librement et gratuitement des eaux d'égout. La Ville n'en retire aucune rémunération. Au point de vue financier, elle a donc fait une opération désastreuse, car l'accroissement de la valeur des terrains susceptibles d'être irrigués par les eaux d'égout profite uniquement aux propriétaires. Les parcelles qui se louaient autrefois 90 et 100 francs l'hectare atteignent couramment aujourd'hui 400 et 500 francs. La valeur moyenne du fonds s'élève à 10 000 et même 15 000 francs l'hectare.

Dans les domaines municipaux, la ville reçoit, il est vrai, le produit de la location, mais celui-ci est loin d'être en rapport avec les dépenses effectuées.

A *Achères*, on louait jadis les bons terrains de 90 à 100 francs l'hectare ; les moyens, 70 francs, et les mauvais, sableux, 20 francs. Avec l'irrigation, tous se louent indifféremment de 130 à 150 francs.

Les bons terrains se vendaient jadis de 4 000 à 5 000 francs l'hectare ; les moyens, de 2 500 à 3 000 francs et les mauvais 1 000 francs. Ils se vendent aujourd'hui de 4 000 à 6 000 francs.

Dans la région de *Triel*, les terrains sableux se louaient avant l'irrigation 35 francs l'hectare, et ils se vendaient 1 500 francs. Aujourd'hui, ils se louent 150 francs et se vendent 5 000 francs.

La Ville a loué à *Achères* environ 800 hectares de terres cultivables pour une période de douze années, de 1901 à 1913. Le prix de lo-

cation a été établi par périodes de quatre en quatre années, à raison d'environ 40 francs par hectare pour la première période, de 45 à 47 francs pour la seconde et de 60 francs pour la troisième. Si nous prenons le chiffre moyen de 50 francs, nous voyons que les recettes brutes à provenir de cette location s'élèvent à $800 \times 50 = 40\,000$ francs. Encore y a-t-il lieu d'en déduire les frais généraux d'entretien des canalisations, des vannes, des routes et chemins, qui restent à la charge du service d'assainissement.

Le résultat financier est donc aussi déplorable pour les domaines municipaux que pour la culture libre.

Le seul profit réalisé par la Ville résulte de l'accroissement de la valeur de son domaine. Mais cet accroissement n'a pu être obtenu que moyennant des dépenses très importantes d'aménagement des terres et des frais d'exploitation relativement lourds.

« La culture à l'eau d'égout, écrit M. Bechmann, suppose en effet le règlement soigné des surfaces, qui implique parfois des terrassements considérables, puis la confection d'un réseau de rigoles, l'établissement d'un drainage. Si l'on ajoute à ces travaux d'appropriation du terrain ceux qui sont nécessaires pour l'aménage et la distribution de l'eau, conduites forcées, rigoles en terre ou à revêtement maçonné, bouches, ventelles, etc., il n'est pas rare d'arriver à un total qui s'élève à 1000, 1500, 2000 francs l'hectare et plus. L'acquisition même du terrain revient quelquefois assez cher, parce que les propriétaires escomptent par avance la plus-value qu'on attend de l'irrigation et entendent en bénéficier (1). »

F. L'épandage agricole à Reims et dans d'autres villes françaises. — Depuis 1887, la ville de *Reims* a traité avec la Compagnie des eaux-vannes (filiale de la Compagnie générale des eaux de Paris) pour l'épuration de ses eaux d'égout par épandage agricole. Elle paie à cet effet une redevance annuelle variable, qui ne dépasse en aucun cas 66 000 francs et qui est calculée à raison de 0 fr. 0045 par mètre cube. La Compagnie fournit une partie des terrains, 397 hectares, et la ville 183 hectares, soit en tout 580 hectares, lesquels sont loués à un unique fermier et s'étendent entre *Champigny, La Neuville et Merfy*.

Les eaux d'égout y sont amenées par deux grands aqueducs et refoulées par quatre machines élévatoires, dont trois avec pompes à pistons plongeurs et une avec pompes centrifuges.

Les champs d'épandage sont pourvus de drains représentant une longueur de 13 kilomètres, et les eaux épurées s'écoulent dans la rivière la *Vesle*.

L'irrigation se fait à des doses qui n'excèdent généralement pas 25 000 mètres cubes par hectare et par an, sur des cultures de betteraves

(1) BECHMANN, Distributions d'eau et assainissement, Ch. Béranger, éditeur, Paris, 1899.

industrielles, de choux, d'artichauts, de céréales et sur des prairies.

Le sol est constitué par des sables et de la craie. Les eaux envoyées aux champs d'épandage comprennent presque exclusivement les eaux vannes ménagères et les eaux résiduaires industrielles. A *Reims*, les matières de vidange sont encore, presque partout, retenues dans des fosses fixes.

Outre *Paris* et *Reims*, quelques autres villes françaises réalisent l'épuration totale ou partielle de leurs eaux d'égout par déversement sur des champs d'épandage plus ou moins bien aménagés et qui ne sont d'ailleurs l'objet d'aucune surveillance régulière.

Parmi ces villes, nous citerons : *Poitiers*, *Montélimar*, *Rodez*, *Commeny*, *Salon*, *Château-Renard*, *Vic-sur-Cère*, *Ussel*, *Guéret*, *Revel*, *Yssingaux*, *Bruyères*.

Nous ne possédons aucun renseignement sur les résultats chimiques et bactériologiques obtenus dans ces diverses installations, très rudimentaires pour la plupart.

G. Champs d'épandage en Allemagne (1). — **Ville de Berlin.** — Les domaines agricoles utilisés par la ville de *Berlin* pour l'épuration de ses eaux d'égout comprenaient environ, en 1905, 15722 hectares. Sur ce chiffre, 8000 sont actuellement aménagés pour l'épandage ; les terrains disponibles atteignent donc encore 7722 hectares, qui se répartissent de la façon suivante :

Terres labourables.....	1 831 hect.	Parcs, jardins, etc.....	124 hect.
Prairies.....	599 —	Oseraies.....	33 —
Bois.....	1 564 —	Terres affermées.....	857 —
Cours, chemins, fossés, etc..	1 400 —	Jachère.....	1 314 —

La quantité d'eau d'égout à traiter journellement atteint en moyenne 240000 mètres cubes : comme la ville dispose de 8000 hectares aménagés pour l'épandage, chaque hectare doit donc recevoir journellement une dose de 30 mètres cubes d'eau, soit 3 litres par mètre carré de surface et par jour. L'expérience a démontré que cette quantité peut parfaitement être supportée par les terres, surtout si l'on fait précéder l'épandage d'une décantation préalable de l'eau d'égout, opération qui sera étudiée plus loin. Comme la surface aménagée peut être portée au minimum à 12000 hectares, il en résulte que la ville de *Berlin* possède des terrains suffisants pour traiter une quantité d'eau supérieure de moitié à la quantité actuellement traitée.

Avec la dose de 30 mètres cubes par hectare et par jour, 1 hectare de terrain correspond environ à 250 habitants. Il est hors de doute que, même avec cette faible alimentation, on perd une quantité sensible de matières nutritives pour les plantes. Pour utiliser d'une

(1) Les renseignements relatés ici proviennent en partie du rapport du Dr *BACKHAUS* sur l'épandage à *Berlin* en 1904 et en partie de documents recueillis sur place.

façon rationnelle les substances fertilisantes contenues dans les eaux, il faudrait augmenter beaucoup la surface des champs d'épandage : mais le bénéfice réalisé par une meilleure utilisation des matières résiduelles serait illusoire, à cause du prix élevé des terrains aux environs de *Berlin* et à cause de l'augmentation de la main-d'œuvre et des difficultés d'écoulement des produits. Au point de vue agricole, il n'est donc pas rationnel de chercher à diminuer ce chiffre de 30 mètres cubes par hectare et par jour ; on examine plutôt, au contraire, s'il ne serait pas possible de l'augmenter.

Administration. — Les propriétés agricoles de la ville de *Berlin* sont divisées en huit *administrations*, d'environ 2 000 hectares chacune, et correspondant chacune à une canalisation déterminée. La ville exploite ainsi directement ses domaines, et les terres affermées ne représentent qu'une faible portion de l'étendue totale. Les administrations d'Osdorf, de Malchow, de Falkenberg et de Blankenfelde, qui entourent immédiatement la ville de *Berlin*, sont organisées surtout pour la vente directe du foin, de betteraves, de la paille et des fruits à la ville ; elles ont, en outre, trouvé à louer des terres à des jardiniers pour la culture des légumes. L'administration de Grossbeeren, placée près du chemin de fer d'Anhalt, écoule ses produits par cette voie ; celle de Buch a pu jusqu'ici se maintenir grâce à l'exploitation rationnelle de la laiterie et de la distillerie, et elle trouve dans les établissements avoisinants de bons débouchés. Mais, pour les administrations de Sputendorf et de Schmetzdorf, beaucoup plus mal situées, le problème de l'écoulement des produits est très difficile et n'est pas encore résolu.

Sol. — Aménagement. — Le sol des environs de *Berlin* est un sol d'alluvions, tantôt marneux, tantôt sableux, tantôt argileux et sableux, parfois tourbeux. Les sols les plus légers ne sont pas ceux qui y donnent les meilleurs résultats ; l'épuration y laisse souvent à désirer. Le sol qui se montre le plus favorable, aussi bien au point de vue agricole qu'au point de vue épuration, est le sol moyen, constitué par du sable argileux.

On a remarqué que l'aménagement des champs a, au début, une influence très défavorable sur la culture. Le nivellement exige en effet, dans beaucoup d'endroits, l'enlèvement de la terre arable superficielle, et, dans d'autres endroits, l'apport de terres provenant de fossés, de chemins, etc. A *Malchow*, les conséquences de cet aménagement sont encore sensibles après vingt-cinq ans. En outre, l'aménagement a occasionné des pertes considérables de terrain sous la forme de fossés et de chemins. Le meilleur moyen de réduire ce dernier inconvénient consiste à adopter des parcelles assez grandes. Mais, par contre, les petites surfaces sont celles qui se prêtent le mieux à un épandage régulier ; l'expérience a démontré qu'à *Berlin* l'eau ne pouvait pas être conduite régulièrement plus loin que

50 mètres. On a donc dû adopter des dimensions moyennes, et la meilleure paraît être celle de 50 ares, 50 mètres de large sur 100 mètres de longueur. L'exploitation agricole en est plus facile, mais souvent ces dimensions ne peuvent être adoptées qu'au prix d'un nivellement onéreux.

Si on rapporte à l'hectare les dépenses effectuées par la ville de *Berlin* pour le drainage et l'aménagement de ces terres, on arrive au chiffre de 1 322 marks par hectare.

Capital. — En 1903, les dépenses totales effectuées pour les 14 184 hectares de terres ont atteint 54 184 075 marks, soit 3 820 marks par hectare. Sur ce chiffre, 1 858 marks correspondent à l'achat, 1 322 marks au drainage et à l'aménagement et 640 marks aux bâtiments, matériel et dépenses diverses. Le capital se trouve ainsi réparti :

	Par hectare.		Chiffres normaux.	
	Marks.	P. 100.	Marks.	P. 100.
Valeur du sol.....	1858	48,76	} 360	30
Aménagement.....	1322	34,50		
Bâtiments.....	509	13,32	276	23
Inventaire matériel.....	43	1,12	144	12
Inventaire animaux.....	59	1,54	240	20
Capital courant.....	29	0,76	180	15
Total.....	3820	100,00	1200	100

On voit, par le tableau qui précède, emprunté au rapport du P^r Backhaus, que la plus grande partie du capital est prise par l'achat du sol et l'aménagement, tandis que les autres fractions, qui doivent être considérées en agriculture comme les plus lucratives, sont extraordinairement basses. En outre, le capital total est au moins trois fois plus élevé que dans les conditions normales. Le capital n'a donc pas été épargné pour cette mise en exploitation, mais sa répartition laisse à désirer, à cause des conditions spéciales où se trouve cette culture au point de vue de l'achat des terrains et de l'aménagement.

Cultures. — Assolements. — Au voisinage immédiat de *Berlin*, la culture la plus rémunératrice est celle des légumes, qu'on écoule à la ville; aussi trouve-t-on aisément à louer des terrains à des maraîchers à raison de 240 marks, soit 300 francs par hectare. Il est cependant à remarquer que ces légumes sont dépréciés sur le marché de *Berlin*.

Les betteraves et les pommes de terre constituent d'excellentes cultures. La pomme de terre a l'inconvénient de ne pas supporter l'épandage au printemps et en été; mais on arrive cependant, par épandage exclusif en hiver et par un mode rationnel de culture, à bien faire venir la pomme de terre sur les champs d'épandage.

La prairie est la culture idéale pour l'épandage: elle donne, à *Berlin*, facilement six coupes de foin d'excellente qualité; mais l'in-

convénient de cette exploitation réside dans la difficulté d'écoulement de ce produit. On y remédie partiellement en desséchant le foin dans des appareils dessiccateurs spéciaux, dont un certain nombre sont actuellement à l'étude.

La betterave à sucre, le houblon, le tabac ne peuvent être cultivés sur les champs d'épandage à *Berlin*, car ils fournissent des produits de trop basse qualité. Le cumin, le colza, la navette donnent de bons résultats, mais les prix de ces produits sont si bas qu'on en cultive assez peu. On a également tenté la culture du chanvre.

Enfin les céréales sont également cultivées, mais le moins possible, car les produits obtenus ne sont jamais comparables à ceux qu'on obtient dans les autres exploitations agricoles. La qualité des grains est médiocre, sa conservation en greniers est mauvaise.

La culture fruitière, notamment des pommiers, se fait le long des chemins et des fossés et réussit bien ; elle permet de compenser en partie les pertes de terrain occasionnées par les chemins. Il en est de même des oseraies dans les fossés.

Les champs non aménagés sont soumis à la culture ordinaire : on y fait surtout de la pomme de terre, du seigle et de l'avoine. Enfin 1 750 hectares de bois sont conservés jusqu'au moment où leur aménagement pour l'épandage deviendra nécessaire ; bien exploités, ils fournissent le mode d'attente le plus rémunérateur.

Voici quelques exemples d'assolements des champs d'épandage :

- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1° | |
| 1. Loué.
2. —
3. —
4. Céréales d'été.
5. Céréales d'hiver.
6. Betteraves ou pommes de terre. | 7. Céréales d'été.
8. }
9. } Prairie.
10. }
11. Betteraves ou pommes de terre.
12. Céréales d'été. |
| 2° | |
| 1. }
2. }
3. } Prairie.
4. }
5. }
6. } | 7. Betteraves ou pommes de terre.
8. Céréales d'été.
9. Céréales d'hiver.
10. Colza.
11. Céréales d'hiver.
12. Céréales d'été. |
| 3° | |
| 1. Betteraves ou pommes de terre.
2. Céréales d'été.
3. Céréales d'hiver.
4. Colza. | 5. Céréales d'hiver.
6. Betteraves ou pommes de terre.
7. Céréales d'été. |
| 4° | |
| 1. Betteraves ou pommes de terre.
2. Céréales d'été.
3. }
4. } Prairie.
5. }
6. } | 7. Colza.
8. Céréales d'hiver.
9. Betteraves ou pommes de terre.
10. Céréales d'été. |

Épandage proprement dit. — L'eau d'égout est envoyée par des pompes dans les canalisations en fonte jusque sur les champs. La longueur de ces canalisations est parfois très considérable, et certaines administrations sont environ à 20 kilomètres de la section dont les eaux doivent être épurées. Ces canalisations sont, par suite, extrêmement coûteuses. Un des faubourgs de *Berlin*, *Wilmersdorf*, a dû faire construire une canalisation de 18 kilomètres, qui a coûté 4 000 000, pour conduire ses eaux à un endroit suffisamment vaste pour pouvoir y faire l'application des *procédés biologiques artificiels*, la surface utilisable étant encore, même à cette distance, tout à fait insuffisante pour y pratiquer l'épandage avec utilisation agricole !

On peut assez exactement contrôler, dans les stations de pompes, les quantités d'eaux envoyées à l'épuration : on trouve que le volume total des eaux est d'environ 240 000 mètres cubes par jour ; chaque administration reçoit donc environ 32 000 mètres cubes. Il est assez difficile de connaître la composition chimique moyenne de ces eaux, car elle varie sans cesse. Voici cependant des analyses, dues à *Hagen* et *Grandtke* :

Extrait sec par mètre cube.....	1178 grammes.
Azote	109 —
Potasse.....	74 —
Acide phosphorique.....	29 ^{gr} ,4

D'autres analyses plus récentes semblent montrer que ces chiffres sont trop élevés ; la quantité d'azote par mètre cube ne paraît pas dépasser par exemple le chiffre de 95 grammes.

La bonne répartition de l'eau sur les champs d'épandage est un problème difficile, qui attire toute l'attention des administrateurs. Les quantités d'eau que peuvent absorber les terres sont variables avec la nature des cultures ; en outre, il se produit assez fréquemment des fausses manœuvres qui font que certains champs reçoivent trop d'eau et d'autres pas assez. Lorsque le nivellement du terrain n'est pas parfait, et notamment sur les grandes parcelles, les points bas reçoivent beaucoup plus d'eau que les points élevés ; les dépôts s'accumulent alors dans les creux, et le colmatage ne tarde pas à s'y manifester.

On n'est pas encore fixé, à *Berlin*, sur le chiffre le plus favorable à adopter pour le volume d'eau à épandre. Il est certain qu'il y a des cultures qui peuvent parfaitement supporter plus de 30 mètres cubes par hectare et par jour, tandis que pour d'autres cultures, comme les céréales, ce chiffre est déjà trop élevé.

Traitement préalable des eaux. Utilisation des boues. —

Pendant longtemps, on s'est contenté d'envoyer directement les eaux sur les champs d'épandage sans aucun traitement préalable. Les dommages causés par le colmatage des terres ont amené peu à peu les administrateurs à adopter des bassins de décantation préalable, qui retiennent une grande quantité de boues, notamment les parti-

cules grossières et les graisses, et ne laissent passer que l'eau et les fines particules. L'inconvénient de ce mode de travail est que l'exploitation devient beaucoup plus coûteuse : ces bassins de dépôt font perdre du terrain ; il faut prévoir dans leur voisinage des espaces suffisants pour l'égouttage des boues ; leur vidange exige une main-d'œuvre coûteuse et donne naissance à des odeurs très désagréables. Enfin les boues sont assez difficiles à utiliser.

A Osdorf, le traitement préalable des eaux se fait ordinairement

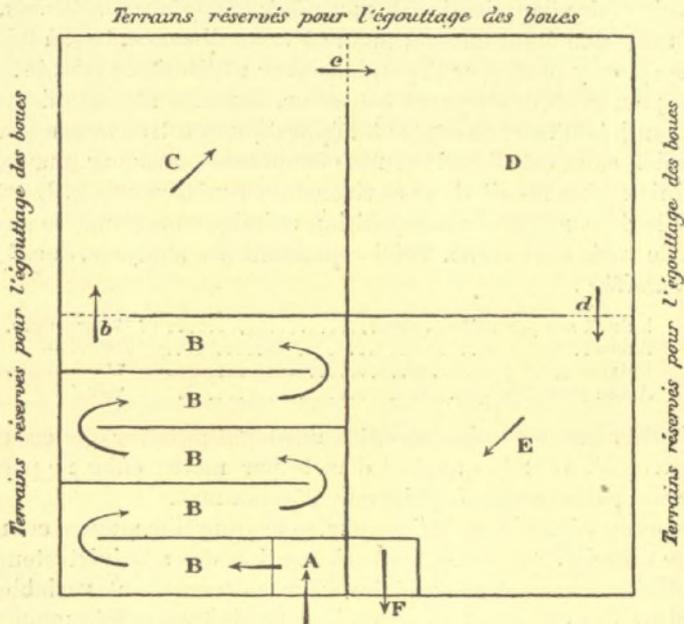


Fig. 16. — Schéma des bassins de dépôt pour le traitement préalable des eaux destinées à l'épandage, à Osdorf (Berlin).

de la façon suivante. Les eaux brutes arrivent en A (fig. 16) et parcourent d'abord une série de compartiments B, disposés en chicanes sous forme de canaux de 20 centimètres de profondeur ; le courant s'y ralentit peu à peu et est devenu très faible quand l'eau arrive à la grille *b* du premier bassin C. Les bassins, au nombre de trois, ont environ chacun 10 mètres de côté et 1 mètre de profondeur. L'eau arrive d'abord dans le bassin C, passe par la grille *c* dans le bassin contigu D, puis par la grille *d* dans le bassin E et s'écoule en F vers les champs d'épandage.

A la surface du bassin C se forme bientôt une croûte très épaisse de graisses et de corps flottants, tandis que les matières lourdes se déposent. Dans le bassin D, on constate le même phénomène, mais moins accentué ; enfin, dans le troisième bassin E, la croûte superficielle est devenue très faible.

L'eau, qui entre noire et chargée de graisses et de dépôts lourds, sort encore noirâtre, mais elle ne contient plus que des dépôts très légers, qui flottent dans toute la masse.

Les grilles sont généralement formées tout simplement par des osiers. Sur les côtés des bassins, on a réservé un espace à peu près égal pour l'égouttage et la dessiccation des boues.

Celles-ci sont généralement enlevées deux fois par an, et pendant cette période le bassin ne fonctionne pas. Les boues, dont l'odeur est très désagréable, sont étendues sur le sol qui entoure les bassins et abandonnées à la dessiccation. L'analyse des boues fraîches retirées d'un bassin de décantation d'Osdorf a fourni au P^r Salkowsky les résultats suivants :

	Boues.	Cendres p. 100.		Boues.	Cendres p. 100.
Chaux.....	4,000	20,24	Oxyde de cuivre....	0	1,39
Potasse.....	0,071	0,36	Eau.....	36,73	
Soude.....	0,290	1,46	Graisse.....	6,18	
Acide phosphorique.	0,950	4,78	Cellulose.....	31,39	
Chlorure de sodium.	0,044	0,22	Azote.....	3,23	

On voit que ces boues sont surtout composées de cellulose et de graisses qui ne peuvent avoir sur les terres qu'une influence nuisible. Par contre, leur teneur en azote, en acide phosphorique et en potasse en fait un engrais d'assez grande valeur. Mais il est nécessaire, pour pouvoir les employer comme engrais, de les abandonner d'abord à l'air libre au moins pendant six mois, en les retournant pour permettre la destruction partielle des graisses et de la cellulose par les moisissures et par l'oxygène de l'air. Elles sont alors recueillies, laissées en repos encore, parfois pendant un an, puis broyées et utilisées comme engrais sur les terres non aménagées.

Des expériences entreprises à *Berlin* sur la valeur fertilisante de ces boues ont montré que, quand on les mélange intimement à la terre, elles ont sur la végétation une influence néfaste. Il est nécessaire, après avoir répandu ces boues, de les enfouir à 15 ou 18 centimètres de profondeur, afin que les racines des plantes ne les atteignent que quand elles sont déjà décomposées : on observe alors une action favorable. On a également cherché à brûler ces résidus de décantation qui sont très combustibles par suite de leur richesse en cellulose et en graisses. On les transforme alors en briquettes, et on cherche actuellement à utiliser comme engrais les cendres qui proviennent de cette combustion.

Des essais ont été faits, en outre, à *Osdorf*, sur le traitement préalable des eaux au moyen de l'appareil *Kremer* pour séparer les matières en suspension dans l'eau et les diviser en deux groupes : les matières légères et les graisses, qui vont à la surface, et les matières lourdes, qui tombent au fond.

Il résulte de tout ce qui précède que la décantation préalable des eaux avant l'épandage est considérée aujourd'hui comme nécessaire par la ville de *Berlin*. Chaque litre d'eau d'égout apporte en effet près de 1500 milligrammes de matières en suspension, et on peut évaluer, d'après les analyses de Schreiber, à 20 grammes par tête d'habitant et par jour la quantité de graisse apportée par l'eau d'égout. Il est donc nécessaire de tenir compte, dans les prix de revient de l'épandage agricole, de l'espace employé pour l'aménagement de ces dispositifs de décantation et des frais nécessités par le traitement ultérieur des boues.

Quantités de matières fertilisantes apportées par l'eau d'égout. — Voici, d'après le P^r Backhaus, quelles sont, en kilogrammes, les quantités de matières fertilisantes apportées par les eaux d'égout sur les champs d'épandage, dans les diverses administrations de la ville de Berlin :

	OSDORF : 12 378 mètr. cub. par hectare et par an.	GROSSBERG : 11 167 mètr. cub. par hectare et par an.	SPITENDORF : 10 283 mètr. cub. par hectare et par an.	FALKENBERG : 12 001 mètr. cub. par hectare et par an.	MALCHOW : 1 325 mètr. cub. par hectare et par an.	BLANKENFELDE : 9 622 mètr. cub. par hectare et par an.
Azote.....	859	807	1 033	1 220	1 016	998
Acide phosphorique.....	161	197	243	313	193	268
Potasse.....	711	807	697	752	757	653

Ce sont là des quantités énormes, mais il ne faut pas perdre de vue que beaucoup de substances, notamment de l'azote et un peu de potasse, sont enlevées par les eaux de drainage. En tenant compte de la composition et des volumes moyens des eaux de drainage, on peut évaluer ainsi ce qui reste, pour les 12378 mètres cubes de l'administration d'*Osdorf* :

Azote.....	454 kilogrammes.
Acide phosphorique.....	154 —
Potasse.....	637 —

On voit que les rapports de l'acide phosphorique à la potasse et à l'azote sont de 1 à 4 et de 1 à 3, tandis que, dans la pratique, on adopte ordinairement les rapports de 1 à 2 et de 1 à 1. On a songé, pour rétablir l'équilibre, à ajouter de l'acide phosphorique et à réduire les quantités d'eau ; mais cette mesure n'est pas pratique, et ses avantages ne compenseraient pas ses inconvénients.

Voici enfin quelques chiffres moyens de la composition des eaux de drainage des champs d'épandage de la ville de *Berlin* :

COMPOSITION MOYENNE DE L'EAU DE DRAINAGE POUR 100 000 PARTIES (1903).

	ADMINISTRATIONS.					
	OSDORF.	GROSS-BEEREN.	SPUTEN-DORF.	MAL CHOW.	FALKENBERG.	BLANKENFELDE.
Nombre des analyses..	8	4	10	4	8	5
Extrait sec.....	203,25	82,00	88,62	112,44	113,19	100,70
Perte au rouge.....	17,39	14,46	10,50	12,76	12,18	12,28
Résidu au rouge.....	185,86	67,54	78,12	99,68	101,01	88,42
Permanganate de potasse.....	3,77	4,46	2,65	2,97	2,94	2,41
Ammoniaque.....	0,13	0,11	0,08	0,19	0,17	0,15
Azote organique en AzH ³	0,20	0,21	0,11	0,24	0,22	0,18
Acide nitreux.....	0,07	0,10	0,03	0,05	0,05	0,05
— nitrique.....	0,63	1,34	0,29	0,35	0,28	0,23
— phosphorique.....	17,90	13,27	10,25	13,62	13,51	14,85
— sulfurique.....	0,03	0,04	0,02	traces.	0,03	traces.
Chlore.....	16,88	4,41	6,07	14,10	10,29	8,95
Potasse.....	66,26	14,91	15,15	20,38	21,97	15,25
Soude.....	3,55	2,86	2,28	4,34	2,73	1,83
Germes par cent. cub..	57,86	16,87	13,56	21,46	27,25	12,50
	4 850	86 620	29 137	2 226	2 207	3 837

COMPOSITION MOYENNE DE L'EAU DE DRAINAGE, POUR 100 000 PARTIES
COMPARÉE A L'EAU BRUTE ET AVEC DIFFÉRENTES CULTURES.

	EAU BRUTE (190).	EAU DE DRAINAGE (1903).			
		Betteraves	Prairies.	Betteraves et prairies.	Fossés.
Nombre des analyses.....	6	19	20	39	30
Extrait sec.....	102,58	121,44	119,62	120,51	74,49
Perte au rouge.....	29,57	14,37	11,94	13,12	8,95
Résidu au rouge.....	73,01	107,07	107,68	107,39	65,54
Permanganate de potasse.....	37,39	3,16	5,09	3,13	3,91
Ammoniaque.....	10,23	0,15	0,12	0,14	0,38
Azote organique en AzH ³		0,05	0,20	0,05	0,19
Acide nitreux.....	»	0,41	0,51	0,46	0,47
— nitrique.....	»	16,10	11,48	13,73	4,47
— phosphorique.....	2,20	0,01	0,04	0,03	0,01
— sulfurique.....	5,71	»	10,11	10,11	»
Chlore.....	20,42	23,29	31,61	27,56	14,69
Potasse.....	6,13	»	2,93	2,93	»
Soude.....	22,22	»	24,91	24,91	»
Germes par cent. cub.....	»	22 271	14 162	18 113	29 893

On voit par les tableaux qui précèdent que la composition de l'eau de drainage est très variable, ce qui s'explique aisément par les différences dans la nature des sols d'épandage. On voit notamment que, pour *Grossbeeren*, les chiffres relatifs au permanganate, à l'acide nitreux et au nombre de germes par centimètre cube sont peu satisfaisants, très probablement à cause de la légèreté et de la perméabilité du sol. Les autres administrations, situées en terrains plus forts et plus argileux, fournissent une épuration meilleure.

Récoltes. — Les récoltes obtenues en moyenne par hectare, de

1898 à 1902, sur les champs d'épandage de la ville de *Berlin*, ont été les suivantes :

Cultures.	Grains.	Paille.
	Racines ou graines. Kg.	Kg.
Navette d'hiver	1 224,25	2 298,25
Navette d'été.....	723,25	2 500,00
Moutarde.....	516,44	1 405,75
Blé d'hiver.....	1 707,84	3 110,19
Blé d'été.....	1 527,21	2 816,78
Seigle d'hiver.....	1 624,32	2 930,93
Orge.....	1 921,25	3 055,45
Avoine.....	1 420,23	2 180,10
Féveroles.....	1 114,40	2 317,10
Pois.....	1 225,35	2 797,66
Betteraves fourragères.....	31 209,53	»
Carottes.....	24 652,03	»
Pommes de terre.....	11 709,03	»
Colza d'hiver.....	1 535,66	3 378,50
Choux blancs.....	15 687,00	»
Osier cultivé.....	14 540,75	»
Lupin.....	1 111,00	2 381,00
Seigle d'été.....	867,00	1 630,66
Betteraves à sucre.....	22 375,60	»

On voit, par ce qui précède, que le colza fournit des résultats supérieurs à la navette d'hiver, et que celle-ci donne de meilleurs rendements que la navette d'été. Le seigle, qui croit sur des terrains beaucoup plus mauvais que le blé, donne des rendements à peu près égaux. L'avoine, qui est cultivée surtout sur les terres défectueuses, donne une récolte plus faible. Les féveroles, les pois, les betteraves fourragères, les pommes de terre, les betteraves à sucre, les lupins, le seigle d'été, donnent des rendements assez peu satisfaisants.

Si l'on retranche de la recette brute les frais de culture et de récolte, on arrive au produit brut suivant :

	Épandage agricole. Produit brut par hectare en marks.
Blé d'hiver.....	154,58
Blé de printemps.....	131,20
Seigle d'hiver.....	144,54
Orge.....	110,34
Avoine.....	36,58
Betteraves fourragères.....	80,74
Pommes de terre.....	69,32
	Culture ordinaire.
Prairies naturelles.....	70,99
Seigle d'hiver.....	112,72
Avoine.....	108,76
Pommes de terre.....	60,92

Ces chiffres montrent qu'il y a peu de différence entre la culture ordinaire et l'épandage. Ils sont d'ailleurs très variables suivant les prix de vente et suivant les frais généraux, qui sont assez difficiles à déterminer.

Animaux, bâtiments et matériel. — Les animaux de trait utilisés

sur les champs d'épandage sont au nombre total de 1400, qui se répartissent de la façon suivante :

ADMINISTRATIONS.	SURFACES (hectares).	NOMBRE de chevaux.	NOMBRE de bœufs.	NOMBRE TOTAL 3 bœufs = 2 chevaux.	CHEVAUX par hectare.	HECTARES pour un cheval.
<i>Osdorf</i>	1 625	84	172	197	0,12	8,23
<i>Grossbeeren</i> ..	998	58	118	136	0,14	7,33
<i>Sputendorf</i> ...	1 428	74	140	166	0,12	8,60
<i>Falkenberg</i> ...	1 459	57	160	164	0,11	8,89
<i>Malchow</i>	1 026	45	125	126	0,12	8,14
<i>Blankenfelde</i> ..	1 341	50	115	144	0,11	9,31
<i>Buch</i>	918	46	50	79	0,09	11,62
Total....	8 795	414	910	1 012	»	»

On peut donc compter qu'il y a en moyenne, sur les champs d'épandage de la ville de *Berlin*, un cheval de trait par 9 à 10 hectares.

Si on examine maintenant les bâtiments qui se trouvent sur les domaines, on trouve les moyennes suivantes pour toutes les administrations :

	SURFACES.	VALEUR des bâtiments au 1 ^{er} déc. 1904.	VALEUR par hectare des bâtiments.
	Hectares.	Marks.	Marks.
Surface totale	14 227	7 238 986	508,82
Surface cultivée y compris les terres louées.....	10 054	7 238 986	720,01
Surface cultivée non compris les terres louées.....	9 036	7 238 986	801,12

Ces chiffres sont beaucoup trop élevés et ne devraient pas dépasser 500 marks au maximum par hectare de surface cultivée. Ce fait tient à la nécessité de construire des maisons pour les travailleurs et aux frais de construction, qui sont très élevés au voisinage des grandes villes.

L'inventaire du matériel et des animaux, rapporté en bloc à toutes les administrations, donne les chiffres suivants :

SURFACE.	VALEUR DE L'INVENTAIRE.			VALEUR PAR HECTARE.		
	Matériel.	Animaux.	Totale.	Matériel.	Animaux.	Totale.
	Marks.	Marks.	Marks.	Marks.	Marks.	Marks.
Totale	605 498	837 380	1 442 878	42,55	58,85	101,40
Cultivée, y compris les terres louées.....	605 498	837 380	1 442 878	60,22	83,28	143,50
Cultivée, non compris les terres louées.....	605 498	837 380	1 442 878	69,66	96,34	166,00

Ces chiffres doivent être en général considérés comme trop bas, particulièrement ceux qui sont relatifs au matériel. Ils doivent être normalement à peu près égaux à ceux qui se rapportent aux bâtiments, c'est-à-dire atteindre environ 400 à 500 marks par hectare de surface cultivée.

Main-d'œuvre. — Le tableau suivant résume la main-d'œuvre utilisée par les diverses administrations, exprimée en journées de travail par an :

ADMINISTRATIONS.	JOURNÉES DE TRAVAIL		SURFACE cultivée non compris les terres louées.
	d'hommes.	de femmes.	
<i>Osdorf</i>	60 860	39 840	Hectares. 1 625
<i>Grossbeeren</i>	48 792	27 514	998
<i>Sputendorf</i>	58 270	15 200	1 428
<i>Falkenberg</i>	61 134	19 518	1 459
<i>Malchow</i>	59 547	26 000	1 026
<i>Blankenfelde</i>	51 795	20 952	1 341
<i>Buch</i>	23 600	18 195	918
Total.....	363 998	167 219	8 795
Soit par hectare.....	41,39	19,01	»

Ces chiffres ne comprennent pas les surveillants d'épandage et des canalisations. On voit que cette main-d'œuvre est trop élevée : elle se monte en moyenne à 200 marks à l'hectare, tandis qu'on ne dépasse pas 150 marks dans les autres exploitations avec culture intensive. Cette augmentation de la main-d'œuvre est occasionnée par la présence de petites parcelles où on ne peut pas employer les machines, et aussi par le grand travail manuel qu'occasionnent le nivellement des terres, l'enlèvement des boues, la façon des sillons, etc.

Production du lait et industries diverses. — Comme les prix du foin et des betteraves deviennent de plus en plus bas, on a cherché un remède dans l'engraissement des bestiaux et dans la production du lait. L'engraissement est particulièrement recommandable ; il fournit un moyen d'utiliser à la fois les produits et tous les résidus qu'on ne peut vendre ; en outre, le fumier peut servir pour les terres non agencées. Mais c'est surtout vers la production du lait que des efforts doivent être tentés. Dans les débuts de l'épandage, des essais furent faits pour déterminer les avantages de l'exploitation laitière aux environs de *Berlin* ; les résultats n'en furent pas satisfaisants. Mais aujourd'hui les conditions sont bien différentes : les produits se vendent moins cher et beaucoup plus difficilement ; les institutions telles que les hôpitaux, les asiles, se sont multipliées autour des grandes villes et fournissent un débouché assuré pour le lait ; la grande étendue des domaines agricoles permet l'exploitation

laitière sur une vaste échelle. Les hôpitaux et asiles paient en effet le lait pur de 16 à 18 pfennig le litre, et le lait écrémé 11 pfennig. Les domaines agricoles de la ville de *Berlin* peuvent parfaitement fournir le lait à ce prix, et rien que les hôpitaux de la ville en consommeraient journellement 5000 litres. L'administration de *Buch* est déjà entrée dans cette voie, et tout son lait est très aisément venu aux asiles d'aliénés et autres institutions voisines.

En dehors de la laiterie, la seule industrie annexée aux domaines agricoles de la ville est la distillerie. Il y a deux distilleries sur les administrations de *Buch* et de *Schmetzdorf*, et leurs résultats financiers sont excellents. L'alcool se fait au moyen des pommes de terre, et les vinasses obtenues servent à l'engraissement du bétail. Les avantages offerts par cette industrie et les bons résultats qu'elle donne dans les deux administrations ci-dessus font croire à la possibilité d'étendre ultérieurement la distillerie sur les domaines agricoles de la ville de Berlin.

D'autres villes allemandes épurent leurs eaux d'égout par irrigation agricole. Les principales sont : *Breslau*, *Dantzig*, *Magdebourg*, *Brunswick*, *Darmstadt*, *Worms*, *Fribourg-en-Brisgau*.

Dantzig a installé la première un « Riese-feld » (champ d'épandage) en 1871 sur un terrain de 500 hectares dans les dunes de *Heubude*.

Breslau possède un domaine de 1250 hectares, dont le sol est constitué par du sable et du gravier. Il a coûté en moyenne pour l'achat et l'aménagement 2957 marks par hectare (3696 francs).

A *Fribourg-en-Brisgau* l'irrigation se fait seulement à la dose de 14200 mètres cubes par hectare et par an sur un terrain formé de gravier qu'on a dû artificiellement drainer. Ce terrain, d'une superficie de 254 hectares, a nécessité pour frais d'achat et d'aménagement une dépense de 3650 marks par hectare (4562 francs). La nitrification y est satisfaisante, mais l'eau épurée contient encore environ 20000 bactéries par centimètre cube, dont le colibacille.

H. Épandage agricole en Angleterre. — Beaucoup de villes anglaises ont tenté d'épurer leurs eaux d'égout par épandage agricole. En 1878, on en comptait déjà 64 qui possédaient des *sewage farms*. Mais la plupart d'entre elles ont dû les abandonner, n'en ayant obtenu que des résultats médiocres ou mauvais, parce que les terrains n'étaient pas suffisamment perméables ou parce que les nappes aquifères souterraines étaient trop superficielles. Elles se sont décidées depuis à adopter les nouvelles méthodes d'épuration biologique artificielle.

Pourtant il existe encore des champs d'épandage à *Oxford*, à *Banbury*, à *Warwick*, à *Nottingham*, à *Leicester*, à *Cambridge*, à *Croydon* (près de *Londres*). Le champ de *Croydon* a servi de modèle pendant longtemps. Il occupe une superficie de 226 hectares, et l'irrigation s'y fait successivement sur trois étages. Le ray-grass y fournit quatre

coupes par an. Les prairies sont arrosées pendant trois ou quatre jours. Tous les trois ans, on les laboure pour y cultiver du blé ou des betteraves. Les eaux collectées par les drains n'indiquent pas que l'épuration y soit très satisfaisante : elles contiennent peu de nitrates et encore une assez forte proportion d'ammoniaque (5 à 6 milligrammes par litre, d'après *Frankland*).

I. Frais d'installation des champs d'épandage. — Si l'on avait à établir le devis d'installation d'un champ d'épandage pour épurer, par exemple, 5 000 mètres cubes d'eau d'égout par jour (ville de 50 000 habitants), voici les chiffres approximatifs sur lesquels il faudrait tabler :

Devis approximatif des frais d'installation d'un champ d'épandage pour épurer 5 000 mètres cubes d'eau d'égout par jour (conformément à la figure 17).

1° Terrain :

	Mètres carrés.
Surface utile pour l'épandage sur la base de 110 mètres cubes par hectare et par jour (40 000 mètres cubes par hectare et par an) : 50 hectares ou.....	5 000 000
Route centrale de 10 mètres de largeur = $1\,200 \times 10$	12 000
Chemin de pourtour, de 6 mètres, soit $3\,300 \times 6$	19 800
Chemins de service, de 4 mètres, soit $2\,100 \times 4$	8 400
Réserve en prairies.....	50 000
Ferme, hangars, dépôts et divers.....	10 000
Total.....	600 200
	ou 60 hectares.

	Francs.
Prix d'achat du terrain, à raison de 3 000 francs l'hectare....	180 000

2° Préparation du sol en vue de l'utilisation culturale :

Déplacements de terres, nivellement des surfaces pour l'irrigation, environ 1 000 francs l'hectare, pour 55 hectares.....	55 000
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------

3° Drainage :

Collecteur principal en 300 millimètres de diamètre, y compris fouilles et remblais, 1 100 mètres à 12 francs le mètre....	13 200
Tuyaux de drainage secondaire en 200 millimètres y compris fouilles et remblais, 6 500 mètres à 8 francs.....	52 000
Regards de nettoyage des drains, maçonnerie et couverture : 52×120 francs.....	6 240

4° Routes et empièvements :

Route centrale de 10 mètres de largeur, empièchement sur $6^m,50$ de largeur, nivellement, préparation de la forme, cailloux, $1\,200 \text{ m.} \times 6,50 = 7\,800$ mètres carrés à 5 fr. 50.....	42 900
Chemins de pourtour de 6 mètres de largeur, comme ci-dessus : $3\,300 \text{ m.} \times 3\,000 = 9\,900$ mètres carrés à 5 fr. 50....	54 450
Chemins transversaux de culture, sans empièchement, mais nivelés, 4 mètres de largeur ; $2\,100 \text{ m.} \times 4 = 8\,400 \text{ m.}$ à 0 fr. 25.	2 100

5° Conduites et appareils d'irrigation :

Conduite principale d'amenée en ciment armé de 400 millimètres de diamètre, y compris, bagues, tranchées et remblais: 1200 mètres à 22 fr. 50.....	27 000
Conduites secondaires en ciment armé de 300 millimètres de diamètre comme ci-dessus: 2500 à 17 francs.....	42 500
Dix vannes de 300 millimètres pour arrêts, joints et pose, à 300 fr.	3 000
Trente bouches d'irrigation de 250 millim.: 30 à 20 francs....	6 000
Trente puisards circulaires en maçonnerie avec accessoires, vannes en bois et châssis, à 80 francs	2 400
Rigoles de distribution communiquant avec les puisards des bouches d'irrigation: 6600 mètres à 1 franc.....	6 600
Traversées en tuyaux de 300 millimètres, sous les chemins de service: 21 x 4 mètres = 96 mètres y compris terrassements et raccords: 96 mètres à 17 francs.....	1 632
Fossés pour eaux pluviales sur route centrale: 2 400 mètres à 1 franc.....	2 400
Fossés pour eaux pluviales sur les chemins de pourtour: 6600 mètres à 0 fr. 50.....	3 300
Travaux divers évalués à.....	4 378
Total.....	505 100

Ce devis ne comprend *aucun travail relatif à la ferme* : les eaux sont supposées amenées à l'entrée du terrain d'épandage. Il en est de même des eaux sortant des drains, qui sont conduites jusqu'à la sortie de ce même terrain.

Il faudrait y ajouter les dépenses de défrichements et celles relatives à la confection des billons.

Disons tout de suite qu'une *installation d'épuration biologique arti-*

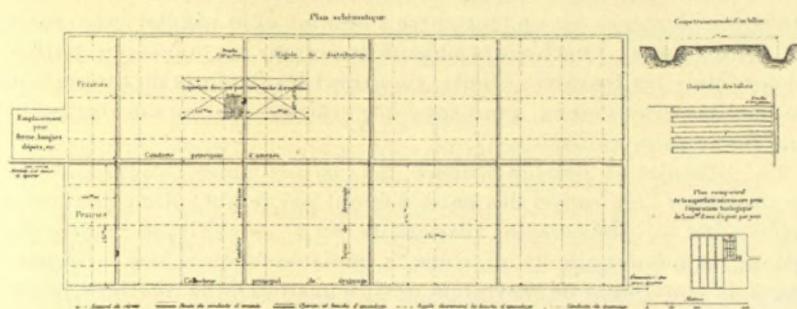


Fig. 17. — Plan d'aménagement d'un champ d'épandage pour épurer par irrigation agricole 5 000 mètres cubes d'eau d'égout par jour.

ficielle de même puissance occuperait une surface cinquante fois moindre, soit 12 000 mètres carrés au lieu des 600 200 mètres carrés indispensables pour l'épandage agricole (plan comparatif en bas et à droite de la figure 17).

Et le coût, comprenant la construction des bassins de décantation, des fosses septiques et des lits bactériens, d'aménagement des chemins, d'appareillage, etc., serait au maximum de 200 000 francs au lieu de 500 000 francs.

X. — L'ÉPURATION BIOLOGIQUE ARTIFICIELLE.

Nous avons vu précédemment que, pour réaliser convenablement l'épuration des eaux d'égout par irrigation agricole ou par épandage, il était nécessaire de disposer de terrains perméables, homogènes, faciles à drainer, suffisamment vastes et peu coûteux. Or ces conditions ne se trouvent que très exceptionnellement réunies, surtout au voisinage des villes de quelque importance.

D'autre part, la crainte de contaminer les nappes aquifères souterraines oblige très souvent à renoncer à cette méthode d'épuration. Il est rare, en effet, que le sol soit d'une composition assez uniforme ; chaque couche dont il se compose a des épaisseurs différentes suivant les lieux et présente des cassures, des failles, dans lesquelles les eaux d'égout peuvent s'engouffrer pour aller directement rejoindre les nappes aquifères utilisées pour l'alimentation. Comme les eaux d'égout charrient fréquemment des microbes pathogènes, elles peuvent donc propager de graves épidémies.

Même si l'épuration est certaine et la protection des nappes aquifères assurée, la simple prudence commande d'interdire sur les champs d'irrigation la culture de tout légume ou fruit destiné à être consommé cru, car leur ingestion n'est pas sans dangers. L'irrigation doit se faire sur les terres de grande culture ou dans les prairies. Dans ce dernier cas, on met entre l'homme et le végétal une sorte de filtre animal, l'herbivore, chargé de retenir les microbes pathogènes. Mais les travaux récents, montrant les dangers de l'ingestion de bacilles tuberculeux, peuvent faire craindre que ce ne soit point une précaution suffisante.

La difficulté et, dans la plupart des circonstances, l'impossibilité de pratiquer l'épuration des eaux d'égout par le sol a donc conduit à rechercher si, par certains dispositifs, on ne pouvait pas mettre en œuvre les mêmes agents microbiens, mais de façon à leur faire produire le maximum de travail de désintégration de la matière organique sur le minimum d'espace possible et dans le minimum de temps.

C'est ce qu'on a pu réaliser par les procédés *biologiques artificiels*.

Une installation d'épuration biologique artificielle se compose ordinairement de *bassins de décantation préalable* ou chambre de dépôt pour les sables, scories, cendres, etc., de *fosses septiques* ou *bassins de digestion*, et de *lits bactériens* ou *filtres nitrificateurs*.

La *décantation préalable* a pour but de séparer les matières minérales non putrescibles et les matières volumineuses qui se trouvent en suspension dans les eaux d'égout. Elle s'effectue soit avec l'un quelconque des appareils que nous avons déjà décrits soit avec de simples bassins de sédimentation en *eau stagnante* ou en *eau courante*.

La *sédimentation en eau stagnante* s'obtient en laissant séjourner les eaux d'égout en repos complet pendant deux ou trois heures avant d'évacuer vers les dispositifs d'épuration proprement dits l'effluent décanté.

La *sédimentation en eau courante* est plus généralement adoptée. Elle consiste à faire traverser à l'eau d'égout un ou plusieurs bassins successifs, dans lesquels la nappe superficielle seule est en mouvement de translation continue, du point d'entrée au point de sortie. Les matières lourdes tombent au fond, dans des cuvettes ou sur un plan incliné, ou sur une toile métallique mobile, de telle sorte qu'on puisse aisément les enlever soit par dragages intermittents, soit par entraînement continu.

Aucune règle ne permet de déterminer d'avance les dimensions ou la capacité que doivent présenter ces bassins de décantation préalable. Tout dépend de la nature des eaux d'égout à traiter, de leur volume et du temps nécessaire pour assurer le dépôt de toutes les substances inorganiques que les fermentations subséquentes ne sauraient dissoudre et dont l'accumulation dans les fosses septiques serait bientôt gênante. Des expériences préliminaires sont donc indispensables pour préciser ces différents facteurs dans chaque cas.

A. Fosses septiques (septic tanks ou bassins de digestion). — C'est en 1881 que, le premier, Louis Mouras (de Vesoul) proposa de supprimer la vidange des fosses d'aisances en transformant ces dernières en réservoirs de fermentation anaérobie suivant les principes de Pasteur, de telle sorte que les matières y puissent subir une véritable dissolution résultant de la vie microbienne.

A la surface du liquide accumulé dans cette fosse, dont nous reparlerons avec plus de détails, les substances les plus légères venaient former une sorte de chapeau plus ou moins épais ; au fond, les substances les plus lourdes se déposaient et se liquéfiaient peu à peu.

La zone intermédiaire ne renfermait bientôt plus qu'un liquide jaune ambré, légèrement louche, peu odorant, riche en ammoniaque. C'est dans celle-ci que plongeait le tuyau de déversement.

Au fur et à mesure que l'on déversait dans la fosse de nouvelles quantités de matières, un volume égal de liquide s'échappait par le déversoir ; et ce liquide, à demi épuré, pouvait être employé très utilement en irrigations sur le sol. Il ne présentait plus les inconvénients ni les dangers de l'épandage des substances putrescibles, et il gardait toute la valeur de celles-ci comme engrais.

C'est cette même fosse Mouras, agrandie, appliquée non plus à la solubilisation des matières excrémentielles fournies par une seule maison, mais à celles évacuées par toute une ville, qui nous est revenue d'Angleterre en 1896, brevetée de nouveau par Cameron sous la dénomination de *septic tank* ou *fosse septique*, après avoir été expérimentée à *Exeter*.

Cameron, convaincu que le processus de solubilisation était surtout anaérobie, donnait à sa fosse la forme d'un bassin rectangulaire, profond d'environ 2^m,5, entièrement couvert d'un plafond en maçonnerie ou en ciment. Le bassin était intérieurement disposé de manière à ce que les courants y fussent suffisamment lents et que les substances organiques en suspension s'y déposassent dans l'ordre de leur densité. Sa capacité était calculée pour retenir le flot d'eau d'égout produit en vingt-quatre heures. L'entrée de

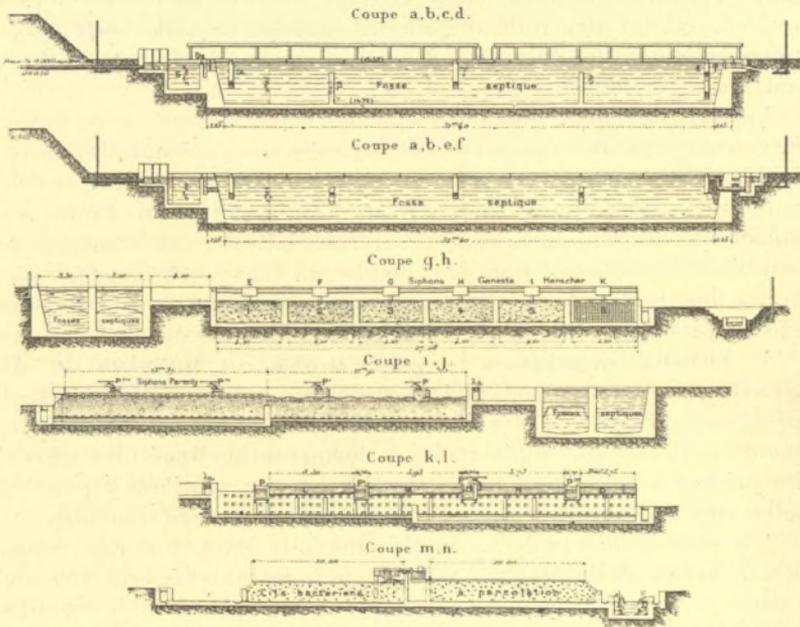


Fig. 18. — Station expérimentale de la Madeleine (fosses septiques et lits bactériens percolateurs).

l'eau d'égout se faisait à l'une des extrémités, un peu au-dessous de la surface, et la sortie du liquide ne contenant plus que des matières dissoutes s'effectuait sous la protection d'une chicane plongeant transversalement, fendue à 30 centimètres environ de cette même surface. Les gaz provenant des fermentations microbiennes étaient conduits à l'extérieur par une cheminée perçant la voûte; ils pouvaient être brûlés dans un bec de gaz ou captés dans une cloche pour être employés à tout autre usage.

Depuis les essais d'*Exeter*, de nombreuses villes anglaises ont tenté d'appliquer le *septic tank* à l'épuration de leurs eaux d'égout. On étudia le système successivement à *Leeds*, à *Manchester*, à *Sutton*, à *Sheffield*, à *Ilford*, etc., en y apportant des modifications plus ou moins profondes.

Nous-même, à la station expérimentale de *la Madeleine*, près de *Lille*, avons fait construire en 1904, pour le traitement de 500 à 800 mètres cubes d'eau d'égout par jour, deux fosses septiques de 250 mètres cubes de capacité chacune, profondes de 2^m,60, longues de 33 mètres, l'une entièrement couverte d'un plafond en ciment armé, l'autre ouverte à l'air libre sur toute sa surface (fig. 18).

Les deux fosses sont pourvues de cloisons incomplètes ou *chicanes*; les unes émergent de la surface et plongent jusqu'à 60 centimètres du fond; les autres partent du fond et ne s'élèvent que jusqu'à 60 centimètres de la surface.

La fosse ouverte porte en son milieu une passerelle avec un thermomètre enregistreur à longue tige, plongeant dans l'eau à 2 mètres de profondeur.

La fosse couverte est abritée de l'air extérieur par son revêtement, et celui-ci porte une enveloppe de terre végétale de 30 centimètres d'épaisseur, semée de gazon, pour former une protection efficace contre le froid. Ce revêtement est percé de trois ouvertures, l'une au milieu, pour un thermomètre enregistreur plongeant, les deux autres pour permettre l'échappement et l'analyse des gaz produits par la fermentation anaérobie de l'eau d'égout.

À l'extrémité de chacune des fosses, se trouve une chicane de surface plongeant seulement à 60 centimètres et destinée à retenir les parcelles de matières en suspension que le courant aurait pu entraîner jusque-là. Immédiatement après, un déversoir très large laisse échapper les eaux ne contenant plus que des matières organiques dissoutes. Ce déversoir est divisé en deux lames d'inégale largeur : la plus étroite permet de diriger *un centième* du débit total vers un bassin spécial où s'effectuent des prises d'échantillons moyens destinés à l'analyse.

Grâce à ce bassin et à un autre semblable, situé près de l'orifice d'entrée et qui reçoit une quantité équivalente de l'eau brute apportée directement par l'égout, nous avons pu nous rendre compte aussi exactement que possible de ce qui se passe dans ces *fosses septiques* et établir comparativement le bilan du travail fourni par les fermentations anaérobies, soit à l'air libre, soit à l'abri de l'air.

Lorsque nous avons commencé nos expériences, on affirmait en Angleterre que le *septic tank* solutionnait la question des boues et que toutes les matières organiques en suspension pouvaient y être solubilisées. On prétendait également que les microbes pathogènes y étaient détruits.

On affirmait enfin que l'eau d'égout, préalablement fermentée en *septic tank*, était plus facile à purifier par oxydation subséquente sur *lits bactériens* que l'eau d'égout simplement décantée ou traitée par les réactifs chimiques précipitants.

On sait aujourd'hui que la première de ces revendications en

faveur des *septic tanks* n'est pas absolument exacte : en fait, toutes les matières organiques ne sont pas solubilisables, et la quantité de ces matières qu'un *septic tank* peut dissoudre varie suivant les caractères de l'eau d'égout, suivant la dimension des bassins par rapport au volume traité et suivant la fréquence des dragages qui y sont effectués.

Le pourcentage des matières organiques dissoutes après un séjour de vingt-quatre heures varie de 30 à 50 p. 100, rarement davantage.

On sait également que la seconde revendication relative à la disparition des microbes pathogènes est encore moins justifiée : l'effluent des *septic tanks* est bactériologiquement au moins aussi impur, généralement même beaucoup plus riche en microbes que l'eau d'égout brute : et cela se conçoit, puisque le *septic tank* est le siège de fermentations dont l'activité est fonction de la multiplication des microbes capables de désintégrer les matières en suspension.

La troisième revendication est aussi très exagérée : la *Commission royale anglaise* a fait la preuve que la fermentation septique ne favorise en aucune manière l'épuration subséquente sur lits bactériens.

Donc, aucun des avantages primitivement attribués aux *fosses septiques*, ou *septic tanks*, ne peut leur être reconnu. En revanche, et c'est à cette conclusion que, comme nous-même, a abouti la *Commission royale anglaise*, il n'est pas douteux que la fermentation septique, comme procédé de traitement préliminaire des eaux d'égout, soit, dans beaucoup de circonstances, efficace et économique. Elle assure une décantation presque parfaite, et elle permet d'éliminer par digestion au moins de 30 à 35 p. 100 des matières organiques en suspension dans l'eau d'égout brute. Les boues qui restent accumulées dans les bassins doivent être évacuées de temps en temps par *dragage* et non par vidange totale de ces bassins, car il importe de n'y point interrompre la bonne marche des fermentations septiques, et il est essentiel que le volume d'eau d'égout qui les traverse reste sensiblement constant.

La durée du séjour de l'eau d'égout en fosse septique est subordonnée aux conditions suivantes :

La décantation et la solubilisation des matières en suspension doivent être aussi complètes que possible ;

Le mélange de la masse doit fournir un effluent de concentration moyenne à peu près constant.

D'une manière générale, on peut admettre, comme limite maxima de durée, vingt-quatre heures et, comme limite minima, douze heures. La dimension des fosses septiques sera donc calculée de manière à retenir le flot moyen d'une période de vingt-quatre heures en temps

sec. Plus le séjour de l'eau d'égout en fosse septique est prolongé au delà du délai optimum, plus les odeurs dégagées par l'effluent sont désagréables et plus difficile est l'épuration subséquente sur lits bactériens.

On a beaucoup discuté la question de savoir si les fosses septiques doivent être ouvertes ou couvertes, la couverture étanche réalisée dans la fosse Mouras, ou dans la fosse Cameron par exemple, étant supposée favoriser les fermentations anaérobies. Disons tout de suite qu'actuellement on est d'accord pour admettre que, sauf dans les cas où il est indispensable d'éviter les odeurs, la couverture est le plus ordinairement inutile et qu'elle peut même présenter des dangers par suite de l'accumulation et de l'explosion possible des gaz.

A la station expérimentale de *la Madeleine*, près Lille, nous avons suivi comparativement pendant trois années consécutives le travail de solubilisation des matières organiques dans nos deux fosses, l'une couverte, l'autre ouverte à l'air libre, de mêmes dimensions et recevant toutes deux un volume égal d'eau d'égout dans le même temps.

Des dispositifs particuliers nous permettant de diriger vers des réservoirs d'échantillonnage une partie de l'eau d'égout brute à l'entrée et une partie du liquide sortant de chaque fosse septique, nous obtenions ainsi des échantillons moyens destinés à l'analyse chimique et permettant d'établir le travail de solubilisation respectivement fourni par les fermentations à l'abri de l'air ou à l'air libre.

I. *Bilan de l'azote et du carbone à l'entrée et à la sortie des fosses septiques.* — Les expériences rapportées ici ont été faites à la station de *la Madeleine* par E. Boullanger. Ce savant a déterminé les quantités totales de carbone organique et d'azote organique et ammoniacal *entrées* dans la fosse septique pendant une période déterminée et les quantités totales de carbone organique et d'azote organique et ammoniacal *sorties* pendant cette même période.

Pour effectuer cette détermination, il fallait connaître les volumes d'eau entrés chaque jour et recueillir pour l'analyse un échantillon moyen journalier représentant aussi exactement que possible la composition de l'eau entrée et sortie pendant les vingt-quatre heures. Il fallait en outre opérer pendant une période assez longue pour avoir un chiffre moyen acceptable. C'est pourquoi l'expérience fut répétée pendant quinze jours de suite. La fosse septique était en marche régulière depuis un an. Il s'était formé au fond une certaine quantité de dépôts qui étaient le siège de fermentations très actives, et ces dépôts se gazéifiaient en grande partie sous l'action des microbes : une autre partie passait après solubilisation dans l'effluent de sortie.

Enfin une certaine proportion restait inattaquée et devait être étudiée à part.

L'expérience a montré que, pour la période de quinze jours, le chiffre de carbone et d'azote solubles éliminés par la fosse septique est resté à peu près constant.

Les résultats obtenus peuvent être résumés comme suit :

1° Le carbone organique est toujours beaucoup moins abondant à la sortie qu'à l'entrée ;

2° L'azote ammoniacal est beaucoup plus abondant à la sortie ;

3° L'azote organique est en plus faible quantité dans l'effluent de sortie que dans l'eau d'égout à l'entrée.

Pendant la période d'expérience, on a retrouvé en moyenne à la sortie 54 p. 100 du carbone entré. On peut donc dire que la moitié environ du carbone disparaît dans la fosse septique, soit sous la forme gazeuse, soit sous la forme de dépôts qu'on extraira lors des dragages.

Quant à l'azote organique, on n'en retrouve que 64 p. 100 à la sortie. Mais cette perte est en grande partie compensée par l'augmentation de l'azote ammoniacal. Toutefois on ne retrouve pas tout l'azote entré. Il y a une perte de 8 p. 100 qui peut être attribuée à plusieurs causes. D'abord le liquide ammoniacal de la fosse septique est le siège de dégagements gazeux incessants, qui entraînent forcément avec eux une certaine quantité d'ammoniaque dans l'air. Ensuite une petite proportion de matières azotées reste dans la fosse sous forme de dépôts, qu'on élimine au bout d'un temps plus ou moins long. Celle-ci est faible, mais cependant non négligeable. On comprend donc qu'on ne retrouve pas, à la sortie de la fosse septique, tout l'azote qui y était entré.

La comparaison du travail de la fosse septique ouverte avec celui de la fosse fermée a montré que les résultats étaient un peu inférieurs avec la fosse fermée.

Somme toute, il est évident que la fosse septique, ouverte ou fermée, contribue très efficacement à dégrader et à détruire les matières hydrocarbonées. Vis-à-vis de l'azote, son rôle se borne à solubiliser et à transformer en ammoniaque les matières azotées complexes.

Il serait incorrect de lui attribuer une fonction plus étendue et de la considérer comme un instrument d'épuration.

L'épuration, c'est-à-dire la minéralisation de l'azote organique, ne peut être réalisée qu'ultérieurement par les actions microbiennes aérobies sur les lits bactériens.

II. *Boues des fosses septiques. Leur élimination.* — Dans les expériences de la *Madeleine*, les dépôts de boues restant dans les fosses septiques se sont élevés pour une moyenne de trois années, à 0^m⁵,352 par mètre cube.

Leur composition était la suivante :

		MATIÈRES sèches p. 100 de boues humides.	MATIÈRES volatiles au rouge.	MATIÈRES fixes au rouge.	MATIÈRES grasses.	AZOTE.
Fosse septique ouverte.	(Moyenne	20,65	34,7	65,5	5,4	1,37
	(Minimum entrée.	18,0	31,2	68,8	3,18	0,85
Fosse septique couverte.	(Maximum sortie.	21,2	39,0	61,0	7,27	1,80
	(Moyenne	21,54	28,62	71,38	5,64	1,04
	(Minimum	18,33	2,5	78,5	3,67	0,86
	(Maximum	28,28	32,4	67,6	7,35	1,27

Bien entendu, la composition chimique des boues varie suivant la nature des eaux d'égout. Les chiffres qui précèdent ne valent donc qu'à titre d'indication.

Lorsqu'on remplit pour la première fois une fosse destinée à être une fosse septique, celle-ci fonctionne d'abord comme simple bassin de décantation. Les matières lourdes s'y déposent par ordre de densité et les matières légères (graisses, débris de légumes, bouchons, pailles, etc.) viennent flotter à la surface.

Peu à peu, en dix ou vingt jours suivant la saison (plus rapidement en été qu'en hiver), la fermentation septique s'y établit. On ne tarde alors pas à voir apparaître des bulles de gaz de plus en plus nombreuses, qui viennent crever à la surface et, dans les premiers compartiments, les graisses flottantes s'accablent en formant un chapeau plus ou moins épais.

Au bout d'un mois environ, le levain de microbes aéro-anaérobies s'est constitué, et la solubilisation des matières organiques azotées marche de pair avec la gazéification des matières hydrocarbonées. Dès lors, il n'y a plus à intervenir, si ce n'est pour effectuer périodiquement la *vidange des boues*.

Celles-ci sont principalement formées d'argile ou de poussières minérales très fines, mélangées à des débris de cellulose ou de substances organiques particulièrement résistantes à la putréfaction (poils, déchets de laine ou de coton, fragments de cuir ou de tissus, etc.). A la longue, elles finissent par former au fond de la fosse septique une couche dense, assez épaisse, et elles tendent à s'accumuler dans les parties les plus déclives et les plus voisines du point d'arrivée. Lorsque leur volume devient assez considérable, — ce dont il est facile de se rendre compte par la résistance que l'on éprouve en y enfonçant un bâton terminé par une palette plate, — il est nécessaire de les évacuer, soit par dragage mécanique ou à la main, soit au moyen de vanes de fond, soit par aspiration à l'aide de pompes ou par refoulement à l'air comprimé. On les dirige alors

dans un bassin d'égouttage creusé à côté de la fosse, directement dans le sol, entre talus de terre, ou bien dans des tranchées.

Ces boues, de couleur noire très foncée, ne dégagent aucune odeur nauséabonde : elles s'égouttent et se dessèchent avec une grande facilité et, lorsqu'elles ne renferment plus que 50 p. 100 d'eau environ, elles ont l'aspect de la *tourbe*.

On peut les livrer sans autre préparation aux cultivateurs comme amendement pour les sols argileux; ou bien on en fait des briquettes pour les brûler.

La quantité de boues qu'on doit extraire ainsi des fosses septiques est naturellement très variable suivant les localités et suivant la nature des résidus que charrient les eaux d'égout.

Avec le système *séparatif*, elles ne dépassent généralement pas un dixième de l'ensemble des matières en suspension. Or le poids total de celles-ci s'élevant à 9^{kg},320 par mètre cube environ (à 85 p. 100 d'eau, soit 110 grammes à l'état sec), on devra compter sur une accumulation quotidienne de 935 grammes ou environ 1 kilogramme par mètre cube, soit 5 tonnes par jour pour 5 000 mètres cubes.

En se basant sur ces chiffres, qu'il sera toujours prudent de vérifier par quelques essais préliminaires, on évacuera chaque mois environ 150 tonnes de boues. On assurera ainsi le fonctionnement aussi régulier que possible de la fosse septique, et la capacité volumétrique de celle-ci ne sera jamais sensiblement amoindrie.

Avec le système *unitaire*, il est de règle, dans les installations anglaises, que les fermentations ne parviennent guère à dissoudre ou à gazéifier plus de 30 p. 100 des matières en suspension. Il sera donc indispensable d'opérer plus souvent la vidange des boues et de prévoir un bassin d'égouttage plus étendu.

A *Dorking*, Eric-H. Richards a fait des expériences très démonstratives de l'efficacité des fosses septiques pour l'élimination des boues. Il a étudié comparativement le poids de ces boues abandonnées par un volume d'eau d'égout dans un bassin de décantation simple, dans un bassin de précipitation chimique et dans une fosse septique. Ces poids ont été dans les rapports ci-après :

		Décantation.	Précipitation.	Fosse septique.
Boues	{ humides	3	5	1
	{ sèches	2	2,5	1

Les données qui précèdent attestent donc que, contrairement à l'opinion émise en France (sans preuves d'ailleurs) par quelques auteurs, en particulier par Vincey, et en Russie par S. K. Dziergowski, les fosses septiques permettent de réduire d'au moins un tiers, et parfois de la moitié, le volume des boues que les eaux d'égout déposeraient par la simple décantation.

III. *Gaz dégagés par les fosses septiques.* — Outre les phé-

nomènes de *dissolution* dont on ne peut nier l'existence, il est facile de constater qu'une fosse septique en bonne marche est toujours le siège de *dégagements gazeux* attestant que la matière organique y subit une désintégration plus ou moins complète. Certains de ces gaz, en particulier l'acide carbonique et l'hydrogène sulfuré, se dissolvent en fortes proportions dans le liquide de la fosse. Ce qui ne peut y être dissous se dégage dans l'atmosphère, et les bouillonnements que l'on perçoit à la surface sont, en général, intermittents et ressemblent à ceux produits par une forte ébullition : aussi les volumes de gaz dégagés par jour, mesurés à un endroit déterminé, sont-ils très variables. La seule explication possible de ces variations est que, dans la profondeur de la fosse, les gaz s'accablent sous des amas de boue et y forment des poches qui ne se crèvent que lorsque leur tension est suffisante pour vaincre la pression du liquide sus-jacent.

Dans les expériences faites à la station de *la Madeleine*, on a constaté que les dégagements de gaz ne semblent pas influencés par les pluies ni par la pression barométrique. Ils sont toutefois plus abondants en été qu'en hiver, ce qui s'explique facilement par l'activité plus grande des fermentations. Les volumes variaient, par mètre carré et par jour, de 210 litres à l'entrée des eaux dans la fosse à 40 litres seulement près de la sortie. La moyenne journalière pour toute une fosse de 100 mètres carrés de superficie et de 260 mètres cubes de capacité était de 11^m3,137, soit environ 4 000 mètres cubes pour une année.

La composition de ces gaz est également très variable, comme le montrent les chiffres ci-après, qui résument un grand nombre d'analyses :

	Acide carbonique.	Méthane.	Hydrogène.	Azote.
Moyenne p. 100.	4,5	47,8	22,9	24,8
Minima	3,0	37,5	16,2	10,5
Maxima	6,6	59,3	32,8	32,3

Dans le *septic-tank* de *Cameron à Exeter*, S. Rideal a relevé les chiffres suivants :

	Acide carbonique.	Méthane.	Hydrogène.	Azote.
Moyenne p. 100 en poids.....	0,3	20,3	18,2	61,2
En volume p. 100.....	0,6	24,4	36,4	38,6

A ces gaz principaux il faut ajouter de petites proportions d'hydrogène sulfuré (maximum 4 p. 100), de mercaptan et d'autres gaz malodorants. De plus, l'eau des fosses septiques retient en dissolution une quantité plus ou moins grande (selon la température et la pression barométrique) d'acide carbonique, d'ammoniaque et d'hydrogène sulfuré.

B. Dissolution ou désintégration des diverses substances organiques dans les fosses septiques. -- W. Favre,

à *Hambourg* (1), et nous-même, à *la Madeleine*, avons déterminé la rapidité plus ou moins grande de désintégration de diverses substances organiques dans une fosse septique en marche normale.

En expérimentant séparément avec de l'albumine d'œuf coagulée, de la viande crue ou cuite, des graisses, du papier, etc., placés dans des récipients en toile métallique et immergés les uns dans la fosse septique, d'autres dans de l'eau d'égout stagnante, d'autres encore dans l'eau courante, on a étudié les pertes de poids que subissent ces substances en des temps variables et à la même température (16 à 17°).

On a constaté ainsi qu'en six semaines 100 grammes d'*albumine d'œuf cuite* ne laissent plus que 1 gramme de résidu dans la fosse septique, tandis qu'il en restait 77 grammes dans l'eau d'égout stagnante et 83 grammes dans l'eau courante.

Déjà, après trois semaines, 75 p. 100 de l'albumine avait disparu. La *viande crue* et plus encore la *viande cuite* augmentent d'abord de poids par absorption d'eau. Elles se corrodent ensuite et se dissolvent. En trois semaines, dans la fosse septique, la *viande crue* perd 49 p. 100 de son poids, en six semaines 96 p. 100.

Dans l'eau stagnante, le changement d'état est beaucoup plus lent: la perte n'est que de 15 p. 100 en six semaines. Dans l'eau courante, la désagrégation ne commence à s'effectuer qu'après quinze jours pour la viande crue, après trois semaines pour la viande cuite.

La *chair de poisson*, plus altérable, disparaît totalement en deux semaines.

Les *animaux entiers* (pigeon) sont très énergiquement attaqués dans leurs parties albumineuses, mais la graisse de leur revêtement cutané les protège assez longtemps contre la putréfaction.

D'une manière générale, les *albuminoïdes*, notamment les collagènes et la kératine, se dissolvent avec une grande rapidité. Même les substances qu'on pourrait croire très résistantes, comme les *cartilages* et les *tendons*, perdent en cinq semaines, les premiers 99 p. 100, les seconds 65 p. 100 de leur poids. La *laine* et les *plumes* se décomposent aussi: dans le même temps, la perte de poids fut de 50 p. 100.

Le *cuir de bœuf tanné* reste inaltéré. Les graisses sont particulièrement résistantes, mais elles finissent, à la longue, par se dédoubler partiellement en acides gras et en glycérine.

Les *hydrates de carbone* ou les corps riches en hydrates de carbone (choux, pommes de terre) se décomposent dans la fosse septique avec la plus grande facilité. Une demi-tête de *chou cru* pesant 675 grammes et une demi-tête de *chou cuit* pesant 835 grammes ont été à peu près entièrement dissous en six semaines (99 et 99,5 p. 100).

La *cellulose* (toile de lin, corde, papier) est également désintégrée.

(1) *Gesundheits Ingenieur*, 1907.

Une corde de chanvre, après cinq semaines de séjour en fosse septique, ne pouvait plus résister sans se rompre à un effort de traction de 15 grammes, tandis que d'autres morceaux de la même corde, restés le même temps dans l'eau d'égout stagnante ou dans l'eau courante, supportaient encore des poids de 12 kilogrammes.

Le papier de journal commence à se dissoudre après trois semaines en dégageant des bulles de gaz. Dans l'eau stagnante et dans l'eau courante, il se ramollit, mais ne subit aucun changement appréciable.

Par contre, les bouchons de liège demeurent constamment intacts jusqu'à près six semaines d'observation.

On voit donc que, dans les conditions favorables de température et de milieu, les fosses septiques désintègrent avec énergie une foule de substances, et les actions microbiennes qui s'y exercent sont évidemment plus puissantes sur de fines particules de matières organiques que sur les matières volumineuses expérimentées comme il a été dit ci-dessus.

Le retard considérable que subit la décomposition de ces mêmes matières dans l'eau stagnante est apparemment dû à l'accumulation excessive des sécrétions microbiennes qui ne tardent pas à gêner les actions diastatiques et la multiplication des microbes eux-mêmes. Dans l'eau courante, le retard encore plus marqué s'explique par ce fait que les microbes et surtout leurs sécrétions diastatiques n'ont pas le temps d'agir, étant constamment balayés et entraînés, sauf dans les surfaces anfractueuses, où l'influence des courants se fait moins sentir.

Il ne faudrait évidemment pas tirer des expériences relatées ci-dessus cette conclusion que les fosses septiques finissent par dissoudre en totalité les matières putrescibles que leur apportent les eaux d'égout. Inévitablement, un certain nombre de substances organiques échappent à leur action. C'est ainsi que, comme l'ont montré *Kammahn, Gräfet Korn*, les feuilles de thé, les peaux de fruits cuits, le marc de café, le bois, restent à peu près inaltérés après deux mois de séjour.

D'autre part, toutes les matières aisément solubilisables ne se dissolvent pas avec assez de rapidité pour compenser l'importance des nouveaux apports. Ceux-ci finissent toujours par être en excès. C'est pourquoi, pour éviter une trop grande diminution de la capacité volumétrique des fosses, il devient nécessaire d'évacuer de temps en temps une partie des boues qui s'y accumulent. Toutefois cette évacuation ne devra jamais être complète, afin de ne pas troubler le travail régulier des fermentations. Si la vidange totale d'une fosse septique était rendue indispensable, pour cause de réparations par exemple, il faudrait un délai de trois semaines ou un mois après son nouveau remplissage pour que les fermentations y soient redevenues régulières. Jusque-là, l'effluent qui s'en échapperait contiendrait une proportion plus ou moins grande de matières non dissoutes

et surtout de matières colloïdales susceptibles de gêner l'épuration subséquente sur les lits bactériens.

C. Désodorisation de l'effluent des fosses septiques. Protection contre les mouches et autres insectes ailés. — Il peut être indiqué, dans certaines circonstances, de supprimer les odeurs plus ou moins désagréables, — assez semblables à celles que l'on perçoit au voisinage des usines à gaz, — qui se dégagent des fosses septiques, que celles-ci soient *ouvertes à l'air libre* ou *couvertes*.

Lorsque les fosses sont couvertes, les odeurs sont concentrées dans l'effluent, à la sortie de celui-ci, et elles sont alors généralement, — contrairement à ce que l'on eût pu supposer, — plus gênantes que celles qui sont produites par les fosses ouvertes.

On réussit en tout cas à les supprimer dans une large mesure par l'addition à cet effluent, immédiatement au sortir de la fosse, d'une petite quantité de chlore sous forme d'*hypochlorite de chaux* par exemple. Une partie de chlore pour 10000 d'eau septique suffit largement pour désodoriser celle-ci.

On obtiendra parfois une atténuation convenable des inconvénients qu'entraîne le voisinage d'une fosse septique pour les habitations en recouvrant celle-ci d'un plancher mobile portant une couche de *tourbe* sur quelques centimètres d'épaisseur. Cette tourbe sera changée de temps en temps, à intervalles d'ailleurs éloignés, et la dépense qui en résultera sera minime.

Certaines eaux d'égout malodorantes peuvent encore être suffisamment corrigées par l'addition de 40 à 50 milligrammes de chaux par litre. Tout cela est une question d'espèces. On essayera dans chaque cas les réactifs qui paraîtront les plus convenables. Mais, en règle générale, les fosses septiques qui reçoivent les eaux du tout à l'égout des villes ne dégagent pas d'odeurs assez fortes pour occasionner une gêne sérieuse, si l'on prend soin de les éloigner de quelques centaines de mètres des endroits habités et de les entourer de talus plantés d'arbres à feuillage compact et persistant.

En revanche, surtout dans les pays chauds, il peut être indiqué d'empêcher les mouches et autres insectes ailés d'y pulluler. On y parvient aisément en déversant à la surface de la fosse, une ou deux fois par an, une petite quantité d'huile lourde de pétrole (huile de schiste). On retient celle-ci entre deux chicanes de surface placées l'une à l'entrée, l'autre tout près de la sortie, et elle constitue une membrane éminemment protectrice qui empêche parfaitement l'éclosion des larves de toutes espèces.

XI. — LITS BACTÉRIENS.

L'idée première de réaliser l'oxydation des matières organiques contenues dans les eaux d'égout au moyen de la filtration intermittente sur un sol artificiel poreux, permettant le travail intensif des microbes nitrificateurs, dérive des expériences poursuivies dès 1888, à *Lawrence*, par le *State board of Massachusetts*. En 1891, ces expériences répétées à *Barking*, près de l'embouchure de la Tamise, sur les eaux d'égout de *Londres*, montrèrent que le meilleur sol filtrant était constitué par des brisures de coke. C'est alors que Dibdin publia son premier rapport qui mit en relief le rôle capital des microorganismes dans le processus d'épuration. Par toute une série d'essais poursuivis à *Barking*, à *Exeter* et à *Sutton*, de 1892 à 1896, Dibdin établit les principes du travail biologique de ce qu'il a, le premier, appelé les *lits bactériens de contact* (*Contact bacteria beds*).

Ces lits étaient représentés par des bassins rectangulaires de 1 mètre environ de profondeur, remplis de différents matériaux (coke, brique concassée, mâchefer, gros gravier) et construits sur plusieurs étages, de telle sorte que l'eau d'égout, après avoir séjourné pendant un temps variable *au contact* des matériaux du lit le plus élevé, pût s'écouler par gravitation dans le lit le plus bas, y séjourner encore un temps plus ou moins long et être enfin définitivement évacuée. Par cette série de *contacts* ou de stagnation dans les bassins, l'eau d'égout abandonnait successivement une portion des matières organiques qu'elle renfermait. Celles-ci se trouvaient retenues sur les matériaux poreux par un phénomène physique d'adhésion moléculaire; et, lorsqu'on vidait chaque bassin, l'air atmosphérique, prenant la place de l'eau, s'infiltrait dans toute la masse des matériaux. A ce moment intervenaient les *microbes oxydants* ou *nitrificateurs*, qui, fixant l'oxygène de l'air sur les substances organiques retenues par le coke ou par le mâchefer ou par le gravier, comme ils le font dans le sol arable lorsqu'on pratique la filtration intermittente ou l'épandage, transformaient les produits ammoniacaux en nitrites et en nitrates.

Cette succession de phénomènes de *fixation* et d'*oxydation* nécessitait des alternances régulières de remplissage des bassins avec l'eau d'égout et d'aération complète des matériaux contenus dans ces bassins. Suivant l'impureté plus ou moins grande de l'eau d'égout, et suivant les matériaux poreux choisis pour la garniture de chaque bassin, elle nécessitait aussi des contacts plus ou moins longs ou plus ou moins nombreux. Toutefois, d'après Dibdin, on pouvait admettre, en règle générale, que deux contacts suffisent et que l'alternance de fonctionnement pour chaque contact, c'est-à-dire pour chaque *lit bactérien*, devait être réglée de la manière suivante :

Une heure pour le remplissage du lit;
 Deux heures de plein contact;
 Une heure pour la vidange du lit;
 Quatre heures d'aération.
 Soit huit heures pour une période.

La journée de vingt-quatre heures permettait donc d'effectuer, pour chaque lit, trois remplissages et d'accomplir trois cycles d'épuration. Le volume d'eau d'égout (préalablement décantée) admis sur un lit de contact à chaque cycle pouvait s'élever à un tiers de la capacité géométrique du lit, les deux autres tiers étant occupés par les matériaux.

On arrivait ainsi facilement à traiter, sur des lits de 1 mètre de profondeur, 333 litres d'eau d'égout par mètre carré de surface à chaque contact, soit, pour les trois cycles par vingt-quatre heures, 1 mètre cube. Si deux contacts pouvaient suffire, le débit total des lits bactériens était dès lors de 500 litres par mètre carré de surface et par jour. Si trois contacts étaient indispensables, le débit se réduisait à 333 litres par mètre carré de surface totale et par jour.

La rétention de la matière organique par chaque contact était d'environ 50 p. 100 de celle contenue dans l'eau d'égout à l'arrivée. Avec deux contacts, on en retenait 75 p. 100; avec trois contacts, 82,5 p. 100, et le liquide s'enrichissait d'une quantité correspondant de nitrates indiquant ainsi le degré d'épuration effectivement obtenu.

Tel était le système de Dibdin. Il provoqua parmi les hygiénistes et les ingénieurs sanitaires anglais un enthousiasme justifié par ce fait que la plupart des villes, alors obligées par les lois sur la protection des rivières d'effectuer l'épuration de leurs eaux d'égout, avaient vainement essayé d'appliquer les méthodes connues jusqu'alors. L'irrigation agricole n'était possible que pour un petit nombre d'entre elles, faute de terrains propices à l'épandage, et les divers traitements chimiques, tous très onéreux, ne réalisaient qu'une épuration insuffisante.

Aussi de multiples efforts furent-ils tentés pour inciter les grandes agglomérations industrielles à entreprendre la construction de bassins d'épuration biologique. *Manchester, Salford, Leeds, Birmingham, Bradford, Accrington, Chester, Huddersfield, York* furent des premières à entrer dans cette voie. La station d'épuration de *Manchester*, située à *Davyhulme*, près de *Urmston*, et placée sous l'intelligente direction scientifique de Gilbert J. Fowler, acquit bientôt une importance si prépondérante, par l'ampleur des expériences qui y furent instituées, qu'elle resta en quelque sorte, de 1901 à 1907, le *la Mecque* des ingénieurs sanitaires et des hygiénistes. On y dépensa 12 000 000 de francs, et on y traite actuellement, par deux séries successives de lits de contact, un volume quotidien de 200 000 mètres cubes d'eau d'égout préalablement débarrassée de matières en suspension par douze heures de séjour en fosses septiques.

L'eau d'égout de *Manchester* présentait des difficultés particulières de traitement, en raison de son énorme teneur en résidus de manufactures. Elle renferme relativement peu d'azote, mais est très riche en matières oxydables par le permanganate et en produits ferrugineux.

En arrivant à la station, elle traverse d'abord une série de chambres à grilles, d'où sont enlevées, par des peignes et des dragues mécaniques, les matières flottantes volumineuses et les corps lourds. Elle se rend ensuite, par un canal de 3 mètres de largeur, dans une série de vingt fosses septiques, dont onze sont d'anciens bassins de précipitation chimique transformés et qui ont une capacité totale de 56 000 mètres cubes (fig. 19). Chacun de ces bassins mesure 33 mètres \times 90 mètres et environ 1^m,60 de profondeur. Les boues non solubilisées par les fermentations microbiennes peuvent en être périodiquement et automati-

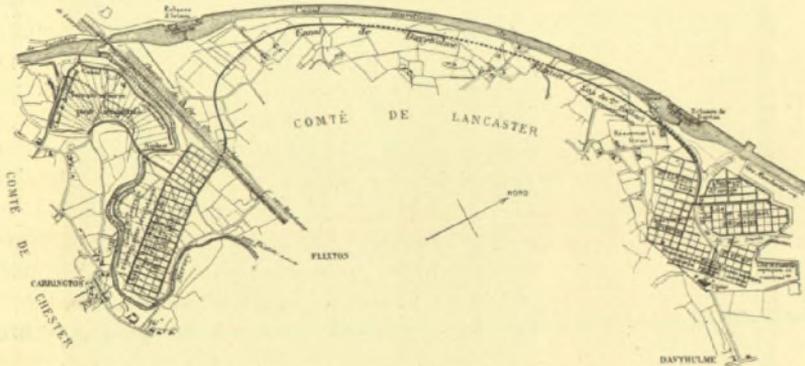


Fig. 19. — Plan général des installations d'épuration des eaux d'égout de la ville de Manchester, à Davyhulme (près Urmston).

quement évacuées vers des réservoirs spéciaux et chargées sur un vapeur qui les transporte en mer, au large de l'embouchure de la *Mersey*.

Au sortir des fosses septiques, l'eau est distribuée par des canaux ouverts aux différents lits de premier, puis de second contact.

Sur les lits, le liquide se répartit dans des rigoles disposées en rayonnant à la surface du mâchefer, dont ils sont exclusivement constitués. Ce mâchefer repose sur un système de drainage qui assure l'évacuation totale et rapide vers une vanne de vidange (fig. 20).

En temps de pluie, tout l'effluent non susceptible d'être traité par les lits de contact est dirigé sur des lits filtrants, dits *lits d'orage*.

La dépense moyenne pour le fonctionnement et l'entretien de cette station est de 1 franc par 1 000 mètres cubes d'eau épurée.

Les résultats de l'épuration sont satisfaisants. Mais ils sont incontestablement beaucoup meilleurs dans d'autres stations plus récemment construites, par exemple dans celle de la ville de *Toulon*, à *Lagoubran*, exécutée sur les plans de M. Valabrègue pour traiter 12 000 mètres cubes d'eau d'égout par jour.

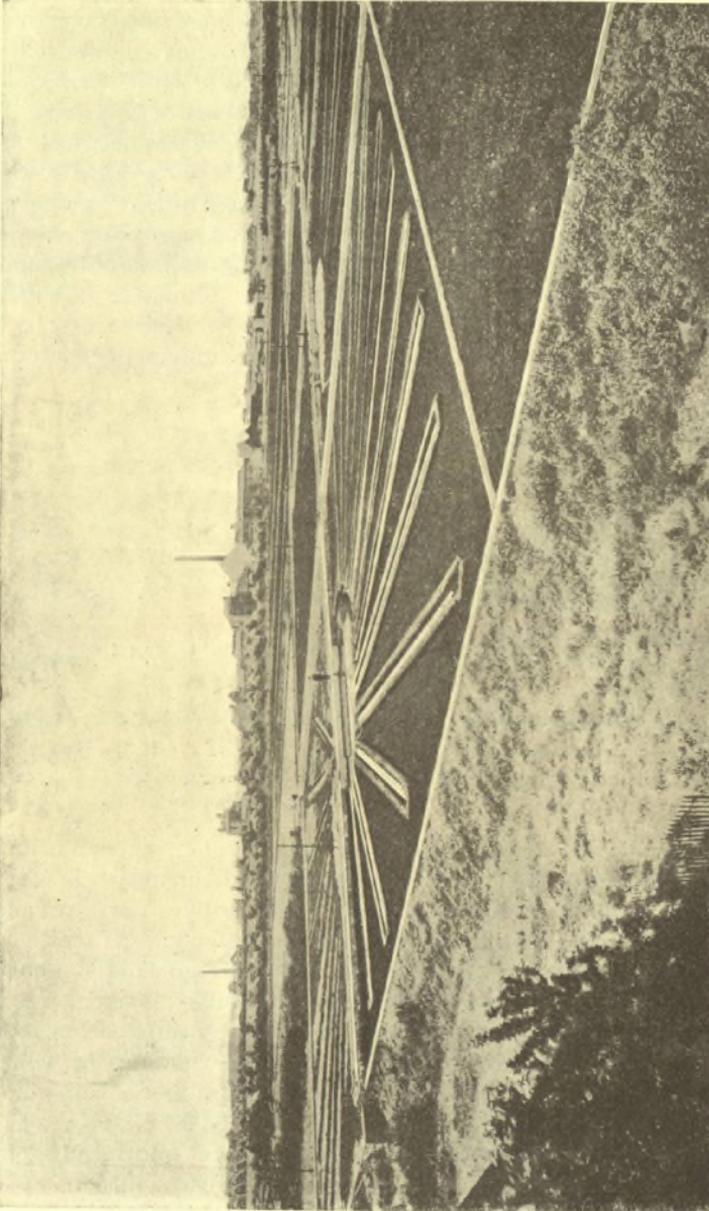


Fig. 20. — Lits bactériens de contact à Manchester.

XII. — MÉCANISME DE L'ÉPURATION BIOLOGIQUE SUR LITS BACTÉRIENS DE CONTACT.

Les procédés d'épuration par *lits de contact* consistent à laisser pendant environ deux heures *en contact* avec un sol artificiel poreux, généralement constitué par des scories, l'eau débarrassée au préalable, par décantation ou par fermentation en fosse septique, de la presque totalité des matières en suspension qu'elle renfermait à l'état brut.

Le sol artificiel du *lit bactérien* est entièrement noyé dans la masse liquide. Il faut donc que celle-ci ne puisse pas s'échapper au dehors : le lit doit, par suite, reposer sur une sole en béton imperméable et être entouré de murs en maçonnerie étanches.

Au bout de deux heures d'immersion, on ouvre une vanne qui permet d'évacuer le plus rapidement possible tout le contenu du lit sur un second lit semblable, — lit de second contact, — placé en contre-bas du premier. L'eau y séjourne encore deux heures et, le plus souvent, on peut alors la considérer comme suffisamment épurée. Quelquefois cependant, lorsqu'il s'agit d'eaux très impures, un troisième contact sur un troisième lit, placé en contre-bas des deux autres, est indispensable. Mais ces cas doivent être considérés comme exceptionnels.

Entre chaque période d'immersion, les lits de contact restent vides pendant au moins quatre heures, afin de leur permettre de s'égoutter et de s'aérer jusque dans leurs parties les plus profondes. C'est là une condition essentielle de leur bon fonctionnement.

Lorsque les alternances d'immersion et d'aération sont bien réglées (et elles peuvent l'être), soit au moyen de vannes actionnées à la main par un personnel exercé et attentif, soit au moyen d'appareils automatiques de divers systèmes, ces lits de contact épurent aisément de 350 à 500 litres d'eau d'égout de composition moyenne par mètre carré et par jour, en trois périodes de vingt-quatre heures.

Leur puissance de travail utile est donc, par mètre carré et par our, environ quarante fois plus considérable que celle des meilleurs champs d'épandage cultivés.

Le processus d'épuration qui s'y accomplit présente une assez grande complexité. Pour le bien comprendre, il faut se rappeler le mécanisme de l'*adsorption* des matières organiques par les sols de différente nature.

Chacun sait que, lorsqu'une eau d'égout filtre à travers un sol suffisamment perméable et convenablement drainé, on voit sortir par les drains une eau limpide, dont la pureté est tout à fait comparable à celle des ruisseaux ou des rivières les mieux protégées contre les causes accidentelles de pollution. C'est donc que le sol *a adsorbé*

et retenu les impuretés, alors même que celles-ci étaient dissoutes.

Ce phénomène d'adsorption a été observé pour la première fois, il y a cent cinquante ans, par un apothicaire nommé Bronner, puis en 1819 par un agronome italien, Gazzeri. Trente ans plus tard, il a été signalé de nouveau par Huxtable et Thomson. Ces savants remarquèrent qu'en agitant de l'eau de fumier avec une terre arable, cette terre s'empare de la matière organique; l'eau de fumier se décolore et devient limpide.

Si donc on filtre sur de la terre une dissolution de purin, par exemple, chacun des éléments du sol fixe les matières dissoutes comme par un phénomène d'adhésion ou de teinture. Chaque élément appauvrit la dissolution au passage, et bientôt celle-ci se trouve débarrassée de toutes les substances organiques susceptibles d'être fixées. La distance à laquelle se produit cette épuration varie avec l'épaisseur, le pouvoir adsorbant, l'hygroscopicité, la température. Elle varie aussi avec la richesse en matières organiques de l'eau déversée et suivant la nature de ces matières. Celles qui sont le plus complexes, le plus voisines de l'état végétal ou animal, sont le plus activement fixées. La puissance d'adhésion diminue à mesure que la molécule se simplifie : elle est nulle vis-à-vis de certaines substances cristallisables.

En expérimentant sur des terres stérilisées, pour éviter toute intervention microbienne, E. Boullanger a constaté, à l'Institut Pasteur de Lille, que la glucose, par exemple, échappe totalement aux actions adsorbantes du sol.

Il est hors de doute que les phénomènes d'attraction physique ou de teinture jouent un rôle important dans l'adsorption des matières organiques. Mais les phénomènes chimiques interviennent aussi pour une grande part : c'est ainsi que la fixation de l'acide phosphorique est due en partie à l'adsorption du phosphate monocalcique par les matières humiques. C'est ainsi encore que les oxydes de fer ou de manganèse possèdent un pouvoir adsorbant énergique pour beaucoup de substances organiques, et que ces mêmes substances sont surtout évidemment retenues par les sols calcinés, qui sont privés de microbes et ne renferment plus que des éléments minéraux.

Il importe toutefois de remarquer que ces actions de fixation sont *limitées*; si l'apport d'eau impure est *continu* à la surface du sol, elles cessent bientôt de se produire, à *moins que les microbes n'interviennent pour rompre l'équilibre*.

Fort heureusement tous les sols, surtout ceux qui sont les plus riches en humus, sont peuplés d'une infinité de microbes auxquels la matière organique sert d'aliment. En s'en nourrissant, ils la ramènent graduellement à l'état de molécules plus simples et finalement à l'état de matières minérales : *nitrates, azote gazeux, acide carbo-*

nique et eau. Mais, pour effectuer ces désintégrations successives, ils ont besoin d'oxygène; ils doivent emprunter cet élément à l'atmosphère et, comme conséquence de cette *aérobiose*, le sol qui leur sert de support doit rester perméable à l'air. S'ils leur arrivait d'être noyés trop longtemps dans l'eau d'égout et d'être, par conséquent, bientôt privés d'oxygène, ils ne tarderaient pas à périr. Le sol resterait alors saturé de matière organique, et son pouvoir d'épuration disparaîtrait du même coup.

Ainsi apparaît la nécessité de l'*intermittence* dans les irrigations d'eau d'égout, aussi bien sur la terre *nue* que sur les champs d'épandage livrés à la culture.

On comprend tout de suite que ces notions s'appliquent intégralement au travail des *lits bactériens*.

Un savant allemand, Bretschneider, a cependant donné une théorie d'après laquelle le fonctionnement de ces lits devrait être considéré comme purement mécanique. D'après lui, les matières ne seraient qu'en état de *pseudo-solution* dans les eaux d'égout, et elles viendraient s'agréger aux scories par simple action de capillarité, de manière à constituer à leur surface une couche filtrante analogue à la *membrane* des filtres à sable. Mais cette théorie a été victorieusement combattue par Dunbar. Ce savant a montré en effet qu'un lit bactérien en activité dégage toujours de l'acide carbonique et donne naissance à des nitrates; tandis que, — comme l'avaient déjà prouvé Schløesing et Müntz pour la terre arable, — en présence du chloroforme, ou dans une atmosphère d'hydrogène, l'épuration diminue très rapidement et s'arrête bientôt tout à fait.

Les recherches de Dunbar l'ont ainsi amené à établir la théorie suivante de l'épuration dans les lits bactériens de contact: les matières en suspension sont arrêtées par les lits; les matières en solution sont fixées par un pouvoir adsorbant analogue à celui du sol. Pendant les périodes d'aération, les microbes décomposent les matières fixées et régénèrent les scories en permettant une nouvelle fixation.

Pour vérifier expérimentalement cette conception, il est nécessaire d'étudier les phénomènes de fixation sur les scories et de démontrer l'intervention microbienne dans ces phénomènes.

Les expériences sont rendues difficiles par ce fait que les actions de fixation, qui sont d'ordre physico-chimique, sont influencées par des causes insignifiantes en apparence et s'exercent d'une façon très variable parfois avec les mêmes échantillons. Nous connaissons cependant aujourd'hui, grâce à des expériences faites par E. Boulanger à l'Institut Pasteur de Lille, la marche générale de ces phénomènes. Le mode opératoire consiste à ajouter à un poids donné de scories, ou de tous autres matériaux, une quantité déterminée de solution d'une matière organique de constitution chimique connue. On laisse en contact une ou deux heures, puis on prélève une portion

du liquide clair pour le soumettre à l'analyse. Si la dissolution s'est appauvrie, c'est qu'il y a eu fixation, et l'abaissement du titre en mesure l'intensité.

On a pu constater ainsi que, en mettant en contact avec des scories fraîches, stérilisées et exemptes de matières organiques, une solution de peptone à 0^{sr},02 par litre, la fixation s'opère d'abord très rapidement; au bout de cinq minutes, un tiers de la peptone est fixé; au bout de trente minutes, on n'en trouve plus que la moitié; les deux tiers ont disparu au bout de deux heures trente minutes, les trois quarts au bout de quatre heures, les quatre cinquièmes au bout de huit heures. On voit que la fixation, très rapide au début, se ralentit ensuite beaucoup; elle a atteint, dans l'expérience actuelle, 80 p. 100 de la peptone introduite au bout de huit heures.

On a pu voir, en outre, que les matières organiques sont fixées d'autant plus énergiquement que leur molécule est plus complexe: l'albumine d'œuf est fixée plus énergiquement que la peptone; la peptone l'est plus que les amines, les amines le sont plus que l'ammoniaque, qui n'est que faiblement retenue. La glucose et l'empois d'amidon ne sont pas fixés du tout.

Voici, par exemple, quelques résultats expérimentaux:

Proportion centésimale d'azote fixé.

Albumine.....	17,6 p. 100.
Peptone.....	13,4 —
Asparagine.....	2,2 —
Ammoniaque.....	2,0 —

La fixation augmente quand la concentration des matières est accrue, mais la proportion centésimale fixée est d'autant plus faible que la concentration est plus forte. Elle atteint, en moyenne, avec les albuminoïdes complexes et les scories fraîches, 60 à 70 p. 100 au bout de deux heures, pour les solutions à la concentration ordinaire des eaux d'égout.

Dunbar a également montré que le violet de méthyle, mis en contact avec des scories, se fixe et disparaît en deux heures, en dehors de toute intervention microbienne.

Dzierzgowsky a fait, de son côté, des expériences très intéressantes. Il a étudié le pouvoir fixateur de la terre d'infusoires, du coke et des scories, sur l'albumine, la peptone, la leucine, la glucose, l'empois d'amidon, l'urée et l'ammoniaque. Il a constaté que toutes ces substances, sauf la glucose, l'urée et l'empois d'amidon, sont plus ou moins fixées par ces corps, et que l'adsorption est d'autant plus faible que la molécule est plus dégradée. Cet auteur a montré, en outre, que les oxydes de fer, de cuivre, de manganèse possèdent un pouvoir adsorbant énergique pour beaucoup de substances organiques et minérales des eaux d'égout.

Exemples :

	Adsorption p. 100.		
	Albumine.	Peptone.	Ammoniaque.
Bioxyde de fer.....	30,2	59,4	3,5
— de cuivre.....	10,6	12,0	6,4
— de manganèse.....	92,1	89,3	7,4

En traitant les matériaux par l'acide sulfurique pour enlever l'oxyde de fer, la fixation devient beaucoup plus faible.

Pour démontrer l'influence des microbes, Dzierzgowsky a comparé la fixation sans chloroforme avec la fixation en présence de chloroforme. Il a trouvé que celle-ci était beaucoup plus énergique dans le premier cas que dans le second ; par exemple, 36 p. 100 d'albumine fixée sans chloroforme et 11 p. 100 avec chloroforme. Ces 11 p. 100 se rapportent évidemment à une fixation physico-chimique en dehors de toute action microbienne, et la différence entre les deux fixations, 36—11= 25 p. 100, ne peut provenir que du travail des microbes.

D'ailleurs, en plaçant dans les lits des solutions de peptone stérile, Dzierzgowsky a constaté que l'épuration est beaucoup moins intense qu'en présence de microbes et qu'elle s'arrête rapidement. En outre, en réalisant une expérience avec le sucre, qui n'est pas fixé par les scories, il a vu que l'épuration est nulle en présence de chloroforme, tandis qu'elle atteint 75 p. 100 en l'absence de cet antiseptique.

Tous ces faits démontrent avec évidence l'action des microbes et attestent que la décomposition des matières organiques dans les lits bactériens s'effectue non seulement pendant les périodes d'aération, mais aussi pendant celles d'immersion, au moins pour les substances qui ne sont pas fixées par les scories.

Donc, dans l'épuration bactérienne par les lits de contact, on doit distinguer :

1° Des *actions physiques* : arrêt des matières en suspension, fixation de certaines matières en solution ;

2° Des *actions chimiques* : formation de combinaisons avec les oxydes de fer, de cuivre et de manganèse à la surface des lits, et oxydation de certaines substances par voie chimique ;

3° Des *actions biologiques*, constituées par la fixation, l'adsorption et la désintégration des matières nutritives par les microbes qui peuplent les corps poreux dont les lits sont constitués.

Lorsqu'on se propose de créer une station d'épuration biologique, il est essentiel d'étudier au préalable comment pourront s'exercer ces diverses actions *physiques*, *chimiques* et *biologiques* avec les matériaux dont on veut faire usage et avec l'eau d'égout qu'il s'agit d'épurer.

La nature et la dimension des matériaux qui servent à constituer les lits bactériens, la profondeur et la surface à donner à ces lits,

varient nécessairement suivant les exigences de chaque localité.

En règle générale, on doit admettre que le coke d'usines à gaz représente le matériel de choix, en raison de son extrême porosité et de sa résistance à l'effritement. Malheureusement il est trop coûteux. En seconde ligne, on choisira les scories de hauts fourneaux ou les briques concassées. S'il n'est pas possible de se procurer économiquement ces matériaux, on s'adressera aux laves, aux pouzzolanes, aux pierres calcaires. Mais on écartera délibérément les pierres dures, compactes, non poreuses, les cailloux roulés, les silex et les graviers siliceux.

La profondeur à donner aux lits de contact est de 1 mètre à 1^m,20 au maximum, et leur surface sera calculée d'après cette profondeur, de telle sorte que, la capacité utile pour l'eau représentant un peu plus du tiers de la capacité géométrique, chaque mètre cube de coke ou de scories ait à traiter au minimum 250 litres d'eau d'égout par période de contact. Théoriquement, on devrait donc pouvoir épurer sur chaque lit de contact 750 litres d'eau par vingt-quatre heures, en trois périodes divisées, comme nous l'avons déjà dit, en :

- Une heure de remplissage ;
- Deux heures de plein (contact) ;
- Une heure de vidange ;
- Quatre heures d'aération.

Soit huit heures par période et trois périodes par vingt-quatre heures.

Mais, en fait, il faut tenir compte de ce qu'en marche industrielle les lits perdent à la longue une partie de leur capacité par suite du tassement des matériaux ou par la rétention d'une masse de liquide d'autant plus considérable que les matériaux sont plus fins.

D'autre part, les amenées d'eau à la station d'épuration ne sont jamais régulières. A certaines heures du jour, et surtout de la nuit, les déversements des égouts sont presque insignifiants. Certains lits sont alors exposés à ne se remplir que très lentement ou qu'incomplètement et, s'ils sont desservis par des appareils automatiques, tels que les siphons d'Adams ou autres analogues, dont l'armorage ne peut s'effectuer qu'au moment où le lit achève de se remplir, il arrive très souvent que les scories ou le coke restent noyés pendant un temps beaucoup trop long. Alors les microbes oxydants et nitrificateurs qui les peuplaient périssent, ou bien ils sont remplacés par une flore microbienne anaérobie *dénitrifiante*. Il en résulte que les résultats d'épuration deviennent très défectueux ou même nuls.

Ce fait d'importance capitale a échappé jusqu'ici à la plupart des ingénieurs ou des architectes qui ont construit des lits bactériens de contact. Presque toutes les installations qui ont été faites en Angleterre, en France et en Algérie, au cours de ces dernières années, ont été ainsi établies sans tenir compte des lois biologiques qui devaient

présider à leur fonctionnement, et *aucun des appareils de remplissage ou de vidange automatiques actuellement préconisés par leurs inventeurs ne permet d'observer ces lois avec la rigueur indispensable.*

Tous exposent ceux qui les emploient à de cruels déboires. Pour qu'un appareil de ce genre puisse être utilisé, il faudrait qu'il assurât toujours la vidange *totale* du lit *après deux heures de contact*, alors même que ce lit n'aurait reçu qu'une quantité d'eau d'égout insuffisante pour le remplir. Il faudrait, en outre, que l'eau ne pût être déversée de nouveau sur le même lit qu'après quatre heures d'aération. Le réglage devrait donc s'effectuer d'après les *temps* et non d'après les *volumes*. Jusqu'à présent, le problème n'a pas été résolu. C'est pourquoi les seuls lits de contact qui fonctionnent d'une manière satisfaisante sont ceux dont la commande est faite au moyen de vannes manœuvrées à la main.

Outre les dépenses exagérées de main-d'œuvre, rendues de ce chef inévitables, les lits de contact entraînent des frais relativement élevés de premier établissement. Ils nécessitent la construction de bassins étanches, et ceux-ci doivent être pourvus d'un système de drainage capable d'évacuer dans le délai maximum d'une heure toute l'eau admise à chaque période de contact.

Sur ce drainage, il faut encore disposer les scories ou le coke en couches successives de dimensions différentes : les matériaux du fond sont les plus volumineux et ceux de la surface les plus fins.

Or, lorsqu'on remplit le lit avec l'eau d'égout, une grande partie de celle-ci (un cinquième environ en volume) se précipite dans les drains et dans la couche sus-jacente de gros matériaux. Les matières organiques dissoutes qu'elle contient échappent ainsi aux actions physiques, chimiques et biologiques, qui ne peuvent s'accomplir qu'à la surface ou dans les pores des scories ou du coke. Il en résulte que le coefficient d'épuration final se trouve toujours réduit aux quatre cinquièmes seulement de ce qu'il devrait être si toutes les molécules de matière organique pouvaient être fixées et oxydées.

Tous ces inconvénients ont forcément conduit les ingénieurs sanitaires et leurs collaborateurs les bactériologistes à chercher une méthode d'épuration biologique d'une application plus sûre et plus simple. Cette méthode existe aujourd'hui, et il ne paraît guère possible de la rendre plus parfaite qu'elle ne l'est déjà. Les hygiénistes anglais, qui l'ont employée les premiers, lui ont donné le nom de *percolating system*, et nous l'appelons : *procédé d'épuration par lits bactériens percolateurs*.

XIII. — MÉCANISME DE L'ÉPURATION BIOLOGIQUE SUR LITS BACTÉRIENS PERCOLATEURS.

Ce procédé consiste à recevoir l'eau d'égout, — toujours préalablement débarrassée de matières en suspension par fermentation en fosse septique ou par décantation convenable, — dans des appareils distributeurs qui la répartissent en pluie ou en nappes minces, et par *intermittences*, à la surface d'un lit bactérien.

Le lit bactérien dont il est fait alors usage n'a plus besoin d'être encastré entre des murs de maçonnerie étanches. On peut lui donner la forme d'un simple tas de scories, de coke ou de pierres concassées, reposant sur une sole imperméable, de béton ou d'argile. Il n'est pas nécessaire non plus de classer les matériaux par ordre de grosseur. Il suffit de les débarrasser des poussières par un bon lavage et de les disposer en talus sur 1^m,50 à 2^m,50 de hauteur. Leur dimension moyenne ne doit guère dépasser 5 à 25 millimètres. On a tout avantage à les employer assez fins, pourvu que l'air circule facilement dans toute la masse.

Le seul point délicat du système consiste à assurer une distribution aussi égale et régulière que possible de l'eau à la surface du lit, à des intervalles assez rapprochés pour que le rendement soit maximum, et assez éloignés pour que les substances organiques fixées sur les matériaux aient le temps de s'oxyder.

On y parvient actuellement à l'aide de dispositifs variés, les uns très compliqués, très coûteux, et donnant des résultats d'épuration presque parfaits ; les autres plus économiques et plus simples, permettant d'obtenir néanmoins une épuration largement suffisante.

Parmi les premiers, dont l'emploi n'est guère recommandable que pour les petites installations, se classent les *tourniquets hydrauliques* ou *sprinklers*, les *distributeurs rotatifs*, les *gouttières à renversement automatique*.

Il existe un grand nombre de modèles de ces appareils mécaniques, tous plus ingénieux les uns que les autres.

Parmi les seconds, qui sont applicables aux installations urbaines importantes et à l'épuration des eaux résiduaires d'industrie, où l'on cherche à donner simplement satisfaction aux règlements sur la pollution des rivières avec le minimum de dépenses de main-d'œuvre et d'entretien, il en est deux surtout qu'on peut considérer comme excellents :

L'un est constitué par les simples siphons de chasses automatiques, du type d'Adams, de Geneste-Herschler-Doulton ou de Parenty, qui déversent par *intermittences*, dans une série de caniveaux placés à la surface du lit, une quantité toujours égale de liquide. C'est ce système qui est appliqué à Lille, à la station expérimentale de la Made-

leine : l'épuration qu'il fournit est très satisfaisante, et il ne nécessite aucune dépense d'entretien ni de main-d'œuvre.

L'autre emploi, pour distribuer l'eau, également par *intermittences*, à la surface des lits, les dispositifs de becs pulvérisateurs verticaux placés de distance en distance en quinconces. Ces becs restent à demeure sur des canalisations en fer ou en fonte, qui reçoivent le liquide à épurer sous une pression d'environ 1^m,50 à 2 mètres. Ce mode de répartition est, sans conteste, le plus parfait; mais on peut lui reprocher d'être assez coûteux et d'être gênant pour le voisinage, parce que les mauvaises odeurs que dégage l'eau d'égout pulvérisée se répandent au loin jusqu'à 400 ou 500 mètres, parfois davantage.

Quel que soit celui de ces divers systèmes auquel on donne la préférence, le mécanisme de l'épuration est identique dans tous les cas. Au lieu de rester *en contact* avec les matériaux du lit bactérien, l'eau traverse le lit percolateur en s'égouttant lentement dans toute sa masse, et les périodes d'intermittences doivent être réglées de manière à permettre à l'air d'y pénétrer largement partout. Les phénomènes de fixation et d'oxydation de la matière organique dissoute, au lieu de se succéder, comme dans les lits de contact, s'y accomplissent presque simultanément, et on ne risque jamais de noyer les microbes en les privant trop longtemps d'oxygène, comme cela arrive dans les lits de contact, dont l'immersion se prolonge accidentellement au delà du délai normal de deux heures.

Indépendamment de ces avantages très appréciables de sécurité et d'économie par suppression presque totale de surveillance et de main-d'œuvre, les *lits percolateurs* permettent d'épurer, par mètre carré de surface et par jour, un volume d'eau au moins double et souvent triple de celui qu'il est possible de traiter sur les lits à *double contact*. On parvient aisément à leur faire débiter, en marche industrielle, de 10 000 à 15 000 mètres cubes par hectare et par jour, soit un volume de liquide cent fois plus considérable que les meilleurs champs d'épandage agricole.

L'épuration n'y est pas aussi parfaite, surtout au point de vue de la réduction du nombre des germes microbiens; mais le liquide qui s'en écoule ne renferme ni ammoniaque, ni matières organiques putrescibles, ce qui est incontestablement suffisant dans la plupart des cas.

On ne serait fondé à exiger davantage et à parachever l'épuration sur un filtre à sable par exemple, ou sur des champs de culture, que s'il s'agissait de déverser les eaux biologiquement épurées dans une rivière ou un fleuve, en amont d'une prise d'eau servant à l'alimentation d'une ville. Or cette circonstance ne peut se présenter que très exceptionnellement.

Nous ne croyons d'ailleurs pas qu'il soit raisonnable d'imposer aux municipalités ou aux établissements industriels l'obligation de

rendre aux rivières ou aux fleuves une eau plus pure que celle qu'on peut leur emprunter.

XIV. — TRAVAIL COMPARÉ DES LITS DE CONTACT ET DES LITS PERCOLATEURS.

De 1904 à 1907, nous avons pu étudier comparativement, dans notre station expérimentale de la Madeleine-lez-Lille, la marche du travail d'épuration sur les lits de contact et dans les lits percolateurs munis de dispositifs de distribution variés.

Nos expériences accusent très nettement l'infériorité des lits de contact, tant au point de vue du rendement qu'à celui de l'efficacité épurante. Dans les lits de contact, la nitrification était moitié moins active, et 38,4 p. 100 seulement des germes aérobies existant dans l'eau brute étaient éliminés, tandis que la percolation en élimine 79,6 p. 100.

Dans le même temps et sur la même surface, nos lits percolateurs arrivaient à traiter jusqu'à *trois fois et demie plus d'eau d'égout que les lits de contact*.

Sidney Barwise (1) a compulsé les rapports de toutes les stations d'épuration biologique anglaises et il a résumé, ainsi qu'il suit, les avantages et les inconvénients respectifs des lits de contact et des lits à percolation :

Lits de contact.

1. Les lits de contact doivent être construits en maçonnerie *étanche*, ce qui entraîne nécessairement des frais considérables.
2. Un *double contact* est indispensable pour obtenir une épuration égale à celle d'un lit percolateur.
3. Le volume d'air qui pénètre dans un lit de contact est seulement égal au volume d'eau d'égout traité; par suite, l'oxydation y est limitée.
4. L'eau d'égout noyant les scories du lit de contact tend sans cesse à y produire des tassements.
5. Les lits à double contact permettent de traiter au maximum 500 litres d'eau d'égout par mètre carré et par jour.

Lits percolateurs.

Les lits percolateurs sont moins coûteux à construire, parce qu'ils n'ont pas besoin d'être supportés par des murs en maçonnerie.

Ils donnent des résultats beaucoup plus satisfaisants.

Le volume d'air qui pénètre dans les scories peut être au moins égal à cinq fois le volume d'eau d'égout traité; par suite, l'oxydation y est beaucoup plus active.

Si le lit percolateur est bien construit, il ne s'y produit aucune détérioration; seule, la surface peut se tasser légèrement à la longue.

Les lits percolateurs peuvent facilement épurer plus de 2 mètres cubes d'eau d'égout par mètre carré et par jour, soit 4 fois plus que les lits de double contact intermittents.

On voit que, dans l'ensemble, les lits percolateurs ont une supériorité évidente sur les lits de contact.

(1) The Purification of sewage, London, 1904.

Il peut cependant se présenter des circonstances où les lits de contact doivent être préférés; par exemple lorsque, le sous-sol étant formé d'argile compacte, il est possible de les construire en maçonnerie, ou lorsque la différence de niveau dont on dispose est trop faible.

En Angleterre, l'une des installations les plus parfaites du système

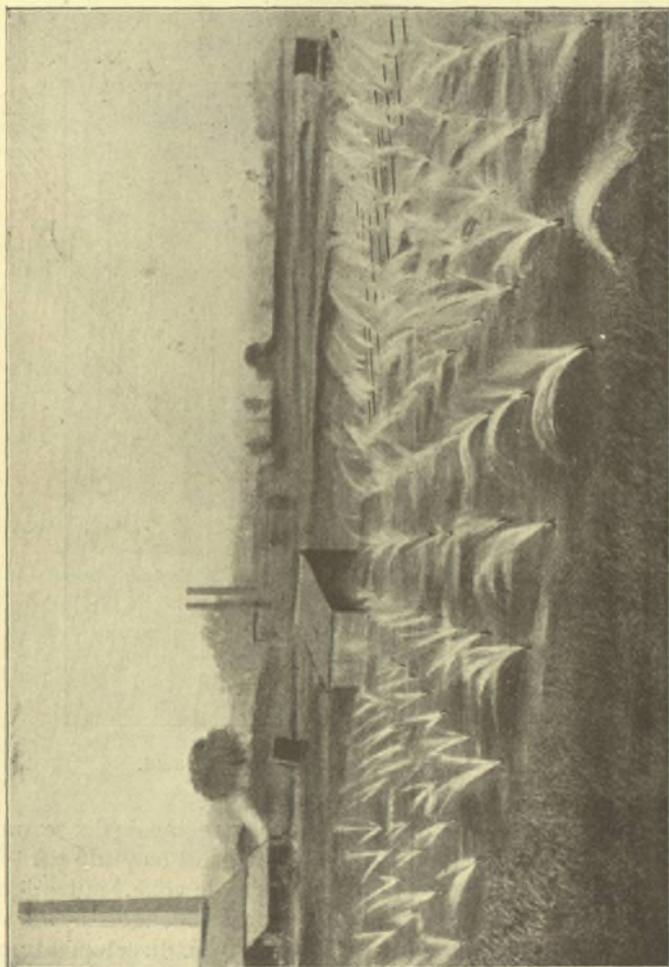


Fig. 21. — Distribution par becs pulvérisateurs sur lits percolateurs, à Chesterfield.

percolateur est celle de *Chesterfield*, qui comprend deux lits de 515 mètres carrés de surface chacun, séparés l'un de l'autre par un arge tuyau qui reçoit l'eau d'égout refoulée par un éjecteur Shone. De ce tuyau, formant axe principal, partent une série de canaux secondaires cylindriques dont le diamètre va en diminuant et qui portent, tous les 1^m,82, un orifice dirigé verticalement.

Chaque fois que l'éjecteur fonctionne, une masse de 454 litres d'eau d'égout est propulsée par l'air comprimé à travers ces orifices et sort en autant de jets verticaux qui se brisent sur une lame métallique inclinée. Les figures 21 et 22 indiquent très clairement le fonctionnement du système, qu'on peut d'ailleurs voir appliqué, avec de légères variantes, à la Station d'épuration biologique artificielle du département de la Seine, à *Créteil*.

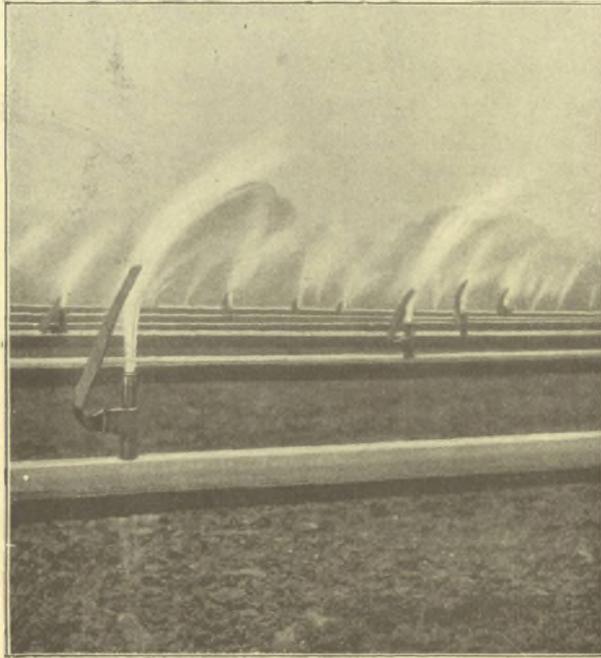


Fig. 22. — Becs pulvérisateurs de *Chesterfield*.

L'éjecteur *Shone*, de *Chesterfield*, expulse en moins de dix secondes ses 454 litres de liquide, qui se dispersent aussitôt en pluie sur toute la surface des lits. L'un de ces lits a été garni de coke, l'autre de scories provenant de l'incinération des ordures ménagères. Ils sont pourvus d'un drainage en tuyaux de grès perforé, directement posés sur le sol.

Tous les deux donnent d'excellents résultats depuis *dix ans*. Le tableau analytique ci-après montre les différences de composition chimique du liquide à l'entrée (après pulvérisation) et à la sortie du lit percolateur :

	Eau brute sortant de la fosse septique.	Eau épurée.
Matières en suspension (par litre).....	0 ^{gr} ,83	0 ^{gr} ,02
Chlore	0 ^{gr} ,11	0 ^{gr} ,11
Alcalinité en carbonate de chaux.....	0 ^{gr} ,375	0 ^{gr} ,185
Ammoniaque libre	0 ^{gr} ,008	0 ^{gr} ,002
Azote albuminoïde.....	0 ^{gr} ,0039	0 ^{gr} ,0005
Nitrates	0	0 ^{gr} ,002
Nitrites	0	traces.
Oxygène dissous	0 ^{cc} ,5	7 ^{cc} ,4
Acide carbonique libre	0 ^{cc} ,40	0 ^{cc} ,176

A Birmingham, le même système de percolation par bacs pulvérisateurs à déversement intermittent fonctionne de la manière la plus satisfaisante depuis six années (fig. 23).

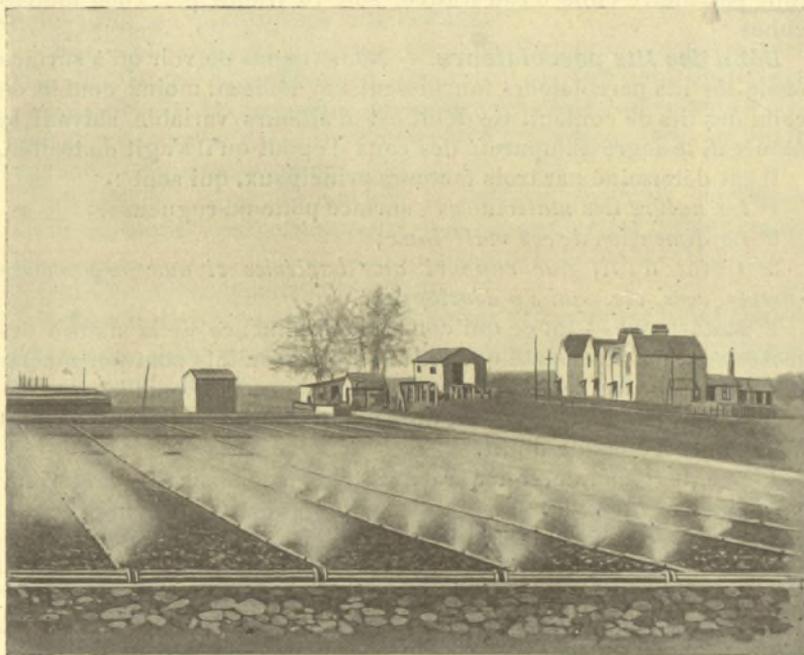


Fig. 23. — Lit bactérien avec pulvérisateurs de Birmingham.

La station d'épuration biologique qui dessert cette grande ville industrielle se trouve près de *Tyburn*. Elle est placée sous l'habile direction de l'ingénieur John D. Watson et comprend une série d'immenses lits bactériens répartis sur deux étages. Ces lits peuvent traiter 70000 mètres cubes d'eau d'égout par jour. Ils sont presque exclusivement constitués par des fragments de quartzite dure de *Hartshill*, dont les dimensions varient de 3 à 8 centimètres de diamètre.

Leur disposition est très simple : ils sont encadrés par des murs en pierre sèche (granit), reposent sur une sole entièrement couverte de tuiles faîtières renversées, formant drainage, et ont, pour chaque rectangle, une superficie de 4000 mètres carrés sur 1^m,80 de hauteur. Ils épurent très aisément 850 litres par mètre carré et par jour en moyenne.

Le coût de chaque lit rectangulaire a été de 177000 francs, y compris les travaux de terrassements, de cimentage de la sole, les drains, les murs en pierre sèche, les tuyaux de distribution en fonte et les becs pulvérisateurs (du système *Ham, Baker and Co*) ou *fixed spray jets*. Cette somme représente un prix de revient de 44 fr. 25 par mètre carré. Les frais d'entretien annuels ne dépassent pas 1 centime par mètre cube d'eau traitée, soit 10 francs par 1000 mètres cubes.

Débit des lits percolateurs. — Nous venons de voir qu'à surface égale les lits percolateurs fournissent un débit au moins double de celui des lits de contact. Ce débit est d'ailleurs variable suivant la nature et le degré d'impureté des eaux d'égout qu'il s'agit de traiter.

Il est déterminé par trois facteurs principaux, qui sont :

- 1° *La nature des matériaux* (à surface polie ou rugueuse);
- 2° *La dimension de ces matériaux*;
- 3° *L'état du lit par rapport aux bactéries et aux organismes (larves, vers, etc.) qui s'y développent.*

1° **Matériaux.** — En ce qui concerne l'influence de la nature des matériaux, on a constaté que les meilleurs résultats sont fournis par ceux à surface rugueuse et qu'avec une aération convenable le coefficient d'épuration varie avec la durée du temps que met l'eau d'égout à traverser l'étendue du lit.

En règle générale, on aura avantage à choisir les matériaux poreux ou rugueux les plus durs que l'on puisse se procurer économiquement sur place. Le granit concassé, les quartzites, la pierre meulière, les calcaires durs, les laves volcaniques, les pouzzolanes et les scories de hauts fourneaux sont, à tous égards, préférables. On évitera d'employer les pierres friables ou lisses. Les scories d'usines sont à rejeter parce qu'elles s'effritent trop rapidement.

2° **Dimensions des matériaux.** — D'après les expériences faites à la station de *Lawrence (Massachusetts)*, dans les lits de pierres cassées de 6 à 25 millimètres de diamètre, les eaux déversées au taux de 1 mètre cube par mètre carré et par heure traversent 0^m,75 par heure, et cette vitesse de translation peut être triplée dans les lits profonds, sans nuire à l'épuration. Sur un lit composé de pierres en couches séparées, de grosseurs variables de 150 à 200 millimètres, puis de 100 à 150 millimètres, puis de 50 à 100 millimètres, puis de 12 à 50 millimètres et enfin une mince couche de coke et de charbon, avec un déversement égal, les eaux ont une vitesse de translation de 1^m,80

par heure. Dans les lits de scories, l'eau passe plus lentement, à taux de déversement égal, par suite de la rugosité de la surface des matériaux, car la surface de ruissellement est plus grande que pour les pierres. Aussi ces lits sont-ils plus efficaces, à profondeur égale, que ceux de pierre. La vitesse de translation est moitié moins grande que pour les lits de pierre de même grosseur. Cependant ces lits de scories ont le grave désavantage de se désagréger et, si la décantation en fosse septique n'est pas parfaite, ils se colmatent plus facilement.

La nitrification est d'autant plus active que le lit est plus profond. Toutes conditions égales, un lit de 3 mètres de profondeur laissera écouler un effluent contenant quatre fois plus de nitrates qu'un lit de 1^m,50 de profondeur; en d'autres termes, en doublant la profondeur du lit, on quadruple la nitrification.

Mais, d'une manière générale, on peut affirmer qu'un lit percolateur de 1 mètre de profondeur, travaillant avec un débit de 10 litres par mètre carré et par jour, donnera des résultats équivalents à ceux que pourra fournir un lit de 2 mètres de profondeur recevant 2 litres par mètre carré et par jour.

S'il n'y a pas de colmatage, la balance penchera légèrement en faveur du lit épais parce que, plus l'épaisseur est grande, mieux les erreurs de distribution sont neutralisées. Toutefois la limite de 1 mètre ne devra jamais être réduite.

3° État du lit par rapport aux bactéries et aux organismes (larves, vers, etc.) qui s'y développent. — La multiplication des organismes sur les matériaux des lits finit par constituer des masses gélatineuses qui absorbent une grande quantité d'oxygène et dégagent beaucoup d'acide carbonique. Ces organismes jouent un rôle capital dans le processus d'épuration, mais ils se multiplient quelquefois en trop grand excès; on est alors obligé de laisser reposer les lits pendant une ou deux semaines, ou de les arroser avec un peu de sulfate de cuivre, qui fait disparaître les zooglées gélatineuses et les algues.

Les bactéries assimilent une grande partie des matières azotées dissoutes contenues dans les eaux d'égout. Elles servent alors à la nourriture d'une multitude d'infusoires, qui vivent dans les anfractuosités des matériaux poreux; puis ces infusoires sont la proie des vers, et ces derniers, éliminés avec l'effluent, passent dans les rivières, où ils servent à leur tour de nourriture aux poissons. L'azote, par ces étapes successives, passe des lits bactériens dans les tissus animaux.

XV. — LITS PERCOLATEURS A TOURBE.

A. Müntz et Lainé ont montré (1906) que la *tourbe* constitue un support très favorable à l'activité des microbes nitrificateurs. Divisée en fragments, mélangée de calcaire et ensemencée avec une dilution de terre arable, puis arrosée avec une solution de sulfate d'ammoniaque, la tourbe compacte devient le siège d'une nitrification extrêmement active, dépassant de beaucoup celle que peuvent fournir les terres riches en matières organiques. On pouvait donc espérer que la tourbe serait utilisable pour constituer des lits bactériens et servir à l'épuration des eaux d'égout.

Déjà, en 1896, le D^r Franck (de Wiesbaden) avait publié une étude sur le même sujet. Il avait construit des lits d'expériences composés de 0^m,20 de gravier et 0^m,10 de tourbe. Mais, au lieu de distribuer l'eau par intermittence, à la surface, comme le font Müntz et Lainé, il laissait celle-ci en charge continue sur le support sous une épaisseur de 0^m,60. Il en résulta un colmatage rapide nécessitant des remaniements fréquents de la tourbe et qui détermina à abandonner les essais.

Nous les avons repris à la station expérimentale de la Madeleine et au laboratoire, à l'aide d'un dispositif spécial représenté ci-après (fig. 24). Les liquides à épurer sont d'abord versés dans les bassins A. d'où ils sont repris par les pompes B pour être élevés dans les réservoirs C. L'écoulement de l'eau sur les lits devant être très faible par suite de la petite surface de ces lits, le réglage est effectué par l'interposition entre les réservoirs C et les appareils distributeurs de petits bassins, munis à la partie inférieure de deux ouvertures : l'une dans la partie principale laisse écouler le liquide dans les distributeurs; l'autre en est séparée par une cloison et n'est alimentée que par le trop-plein du bassin, dans lequel le liquide se trouve donc toujours au même niveau. Cette dernière partie de liquide retourne au bassin A.

L'écoulement du liquide des bassins D est réglé par des pinces P. Sa distribution égale dans chaque lit s'effectue au moyen de vases triangulaires basculant sur des pivots, réglables par des contrepoids.

Les lits G sont formés de cylindres en toile métallique à mailles de 1 centimètre, de 1^m,50 de hauteur et de 0^m,20 de diamètre; la surface de chaque lit est donc de 0^m,0314. Deux lits GG₁ sont remplis de tourbe de la Somme, en morceaux de 2 à 3 centimètres, les deux autres G'G', de scories triées et lavées de 1 à 2 centimètres. Le fond des lits, également en toile métallique, laisse écouler le liquide traité qui est recueilli dans les réservoirs H.

Le volume du liquide écoulé sur les lits est évalué chaque jour à

la même heure par la hauteur du liquide restant dans les réservoirs C, après y avoir pompé la partie écoulée dans les bassins A et par les trop-pleins des bassins D.

Si l'on compare la nitrification obtenue avec la tourbe et avec les

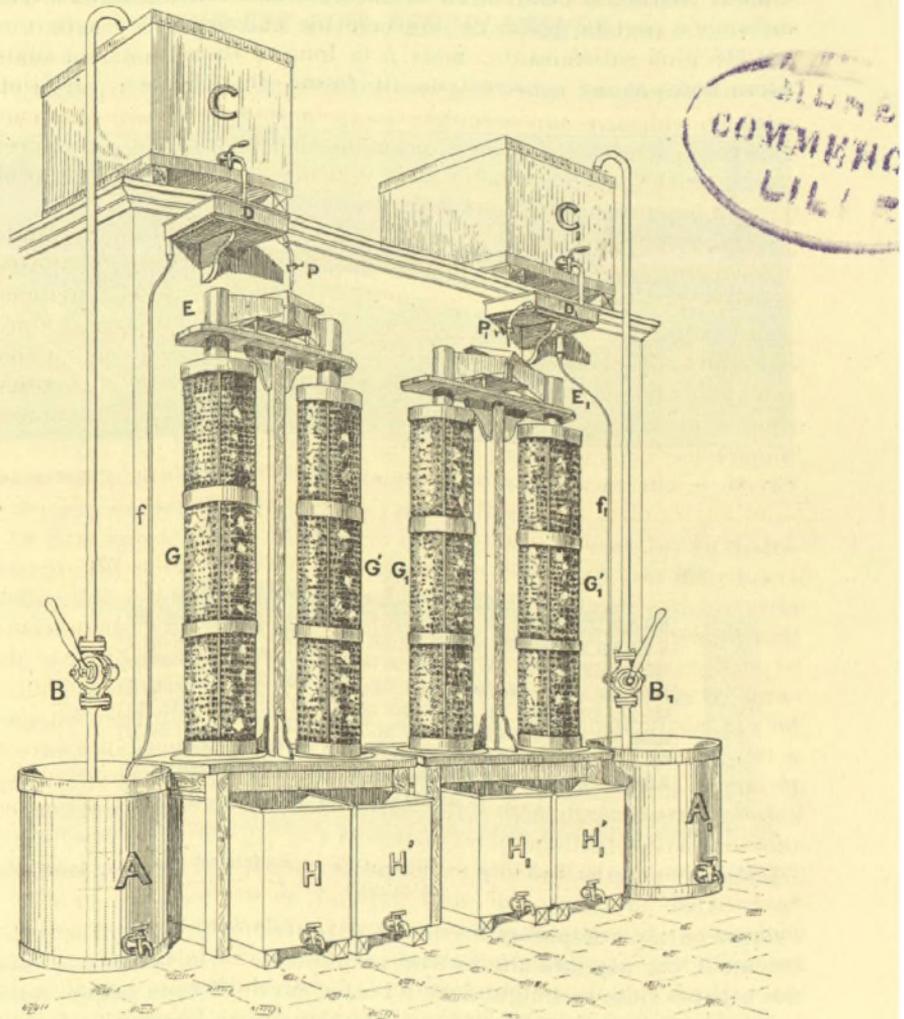


Fig. 24. — Dispositif d'expériences relatives à l'épuration biologique comparée par lits bactériens percolateurs formés de différents matériaux.

scories, dans les conditions qui précèdent, on observe une action bien plus intense avec la tourbe (environ cinq fois plus). Mais, au bout de quelques semaines de fonctionnement, la tourbe se tasse, ses fragments se recouvrent de zoogées microbiennes glaireuses et

d'algues qui ne tardent pas à constituer un feutrage imperméable.

Sur les lits à plus grande échelle, cet inconvénient grave apparaît encore plus vite. La tourbe devient au bout de peu de temps une masse compacte, qui ne se laisse plus traverser par l'eau.

Pour obvier à cela, nous avons construit des lits formés d'un mélange à parties égales de tourbe et de calcaire. Les résultats en ont été plus satisfaisants, mais à la longue ils se tassaient aussi. Alors nous avons construit un lit formé de cellules à parois de

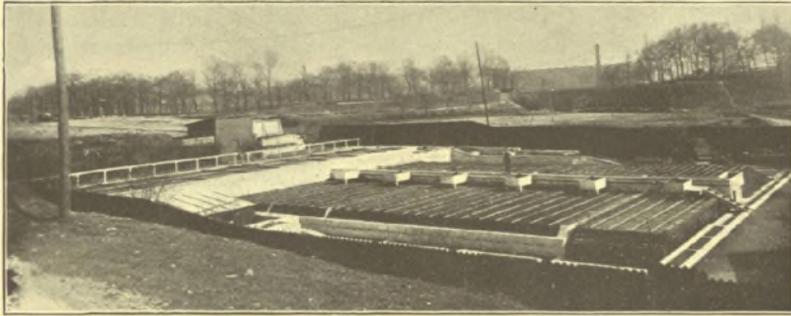


Fig. 25. — Lits bactériens percolateurs, station expérimentale de la Madeleine.

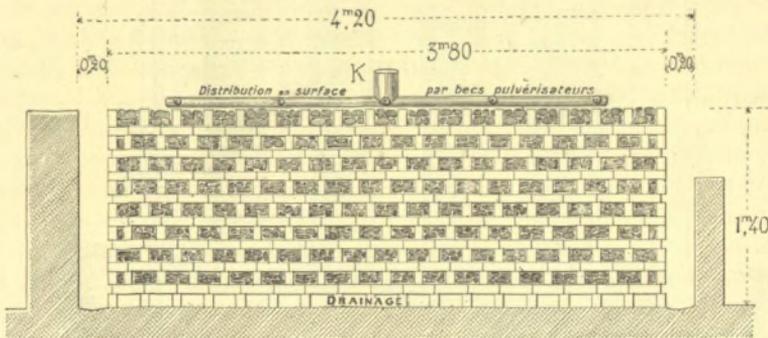


Fig. 26. — Nouveau lit bactérien permanent de la Madeleine (briques, tourbe et calcaire).

briques entières disposées les unes horizontalement, les autres verticalement, par couches alternatives en quinconces, laissant entre elles des espaces vides rectangulaires. A l'intérieur de chaque cellule, nous avons placé des briquettes de tourbe et quelques fragments de calcaire (fig. 25 et 26).

Il est évident qu'un tel lit est de construction plus coûteuse, mais les briques entières qui le constituent sont inusables, et la tourbe s'y trouve préservée à la fois du colmatage et du tassement. L'eau s'infiltre successivement de haut en bas en traversant plusieurs cellules au large contact de l'air, et l'épuration obtenue ainsi est

excellente. Ce dispositif nous paraît actuellement le plus parfait qu'on puisse recommander.

XVI. — DISPOSITIFS POUR LA DISTRIBUTION DE L'EAU SUR LES LITS PERCOLATEURS.

L'essentiel pour le bon fonctionnement d'un lit percolateur est d'assurer une distribution aussi régulière que possible de l'eau d'égout à sa surface, de telle sorte que chaque parcelle de matériaux reçoive dans le même temps une égale quantité d'eau. Les appareils de distribution doivent donc répondre aux conditions ci-après :

- 1° Distribuer le liquide uniformément sur toute la surface du lit;
 - 2° Ne pas être influencés par les circonstances atmosphériques, telles que le vent, la gelée, etc. ;
 - 3° Être susceptibles de s'adapter aux variations de débit de l'eau d'égout, par suite distribuer avec une égale régularité les faibles débits nocturnes et les grands débits diurnes ou les flots d'orage;
 - 4° Ne pas être influencés du fait de l'obstruction de quelques trous ou orifices par des matières en suspension provenant de l'eau d'égout ou de l'effluent des fosses septiques;
 - 5° Être facilement visitables et nettoyables ;
 - 6° Être construits de telle sorte que les parties mobiles du distributeur, s'il en existe, soient isolées du liquide qu'il doit distribuer.
- En choisissant un distributeur, il est nécessaire de considérer la pression de l'eau, la force qu'il absorbera et, naturellement aussi, son prix d'achat et d'entretien.

La *Commission royale anglaise* pour l'étude des procédés d'épuration des eaux d'égout en a étudié six types différents (*sprinklers* ou *tourniquets hydrauliques*, *becs pulvérisateurs*, *distributeurs à gouttes de Stoddart*). Elle n'en recommande spécialement aucun et se borne à signaler les défauts et les difficultés de réglage des *Sprinklers*. Elle indique qu'à *Birmingham* les meilleurs résultats sont obtenus avec les *becs pulvérisateurs fixes* que J. Watson a préconisés.

Elle insiste aussi sur ce fait que tous les modes de distribution sur lits percolateurs ont l'inconvénient de dégager de mauvaises odeurs. Cet inconvénient est d'autant plus manifeste que l'eau est plus énergiquement projetée ou pulvérisée au-dessus du lit (*becs pulvérisateurs* et *sprinklers*). Il est réduit au minimum avec les systèmes qui répartissent l'eau très près de la surface du lit, ou immédiatement sur celle-ci.

Les appareils distributeurs que l'on s'accorde généralement à adopter comme étant les plus simples, les plus robustes, les plus économiques et les plus efficaces, sont les *becs pulvérisateurs fixes* ou *fixed spray jets*.

Le principe sur lequel ils reposent consiste à placer sur toute la surface d'un lit bactérien une série de tuyaux métalliques percés, de distance en distance (tous les 1^m,50 environ), d'un orifice sur lequel est adapté un ajutage pulvérisateur spécial. L'eau d'égout sortant des fosses septiques est amenée à chaque tuyau par une *nourrice* (conduite à large section) dont le diamètre intérieur est calculé de

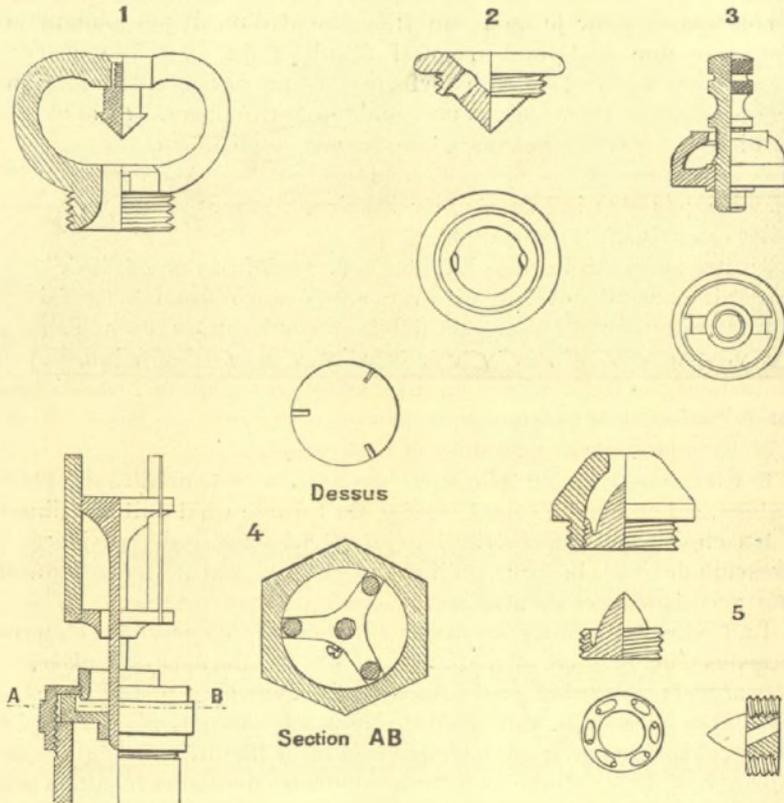


Fig. 27. — Principaux types de becs pulvérisateurs.

1, Columbus; 2, Salford (ancien modèle); 3, Birmingham; 4, Waterbury; 5, Salford (nouveau modèle).

sorte que toutes les canalisations secondaires, perpendiculairement branchées sur elle, reçoivent une égale quantité de liquide.

Toute la surface du lit bactérien se trouve ainsi couverte d'un réseau de becs pulvérisateurs qui projettent l'eau d'égout sous une pression suffisante pour obliger celle-ci à retomber en pluie fine sur les scories. La hauteur de chute doit être d'environ 1 mètre.

Plusieurs types différents de ce système sont actuellement employés

en Angleterre. Outre celui de *Birmingham*, dans lequel l'eau passe à travers un espace annulaire étroit et se brise en frappant le bas d'un tampon de métal placé un peu au-dessus, nous citerons celui de *Salford*, qui est garni d'une série de trous disposés en spirale, et enfin ceux de *Columbus* et de *Waterbury*. La figure 27 en fera suffisamment comprendre le fonctionnement.

Les becs construits par Ham Baker pour *Birmingham* peuvent lancer, sous forme de *spray*, plus de 5^m,500 d'eau par hectare et

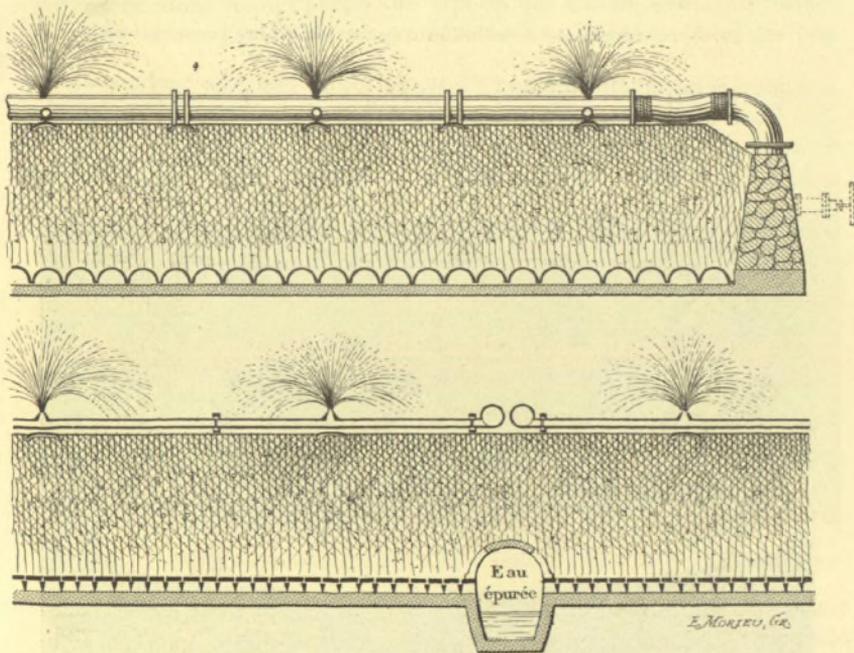


Fig. 28. — Becs pulvérisateurs de Ham Baker et C^o, à Birmingham.

par vingt-quatre heures sous une pression moyenne de 1^m,80, mais qui ne doit pas être inférieure à 1^m,30. Ils sont disposés en quinconces et espacés les uns des autres de 3 à 4 mètres, suivant la pression à laquelle on les alimente (fig. 28).

Lorsque la pression de l'eau est insuffisante pour que la pulvérisation soit possible, on peut supprimer les becs pulvérisateurs et les remplacer par de simples trous perforés (en quinconces) à angle de 45° de chaque côté du réseau de tubes distributeurs.

L'eau jaillit alors latéralement à ces tubes à des distances d'abord grandes, puis de plus en plus petites selon la hauteur de chute formée par les réservoirs de chasse intermittente. C'est ce dispositif que nous avons adopté à *la Madeleine*, et il nous satisfait pleinement.

Parmi les *sprinklers rotatifs* ou *tourniquets hydrauliques*, nous citerons celui d'Adams, qu'on peut voir fonctionner dans les stations d'épuration d'un grand nombre de villes anglaises, principalement

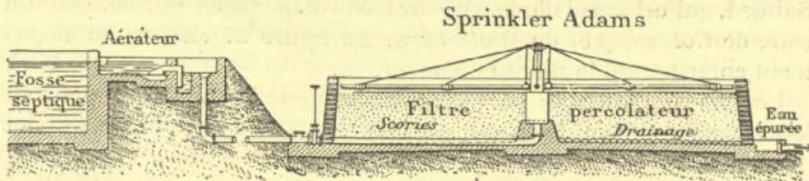


Fig. 29. — Schéma d'une installation d'épuration biologique à sprinkler.

à York; celui de Mather and Platt, actionné par une turbine axiale que l'eau d'égout met en mouvement; celui de Candy, employé à Chester, à Uxbridge, etc. (fig. 29).

Les gouttières à renversement ne sont pas recommandables pour

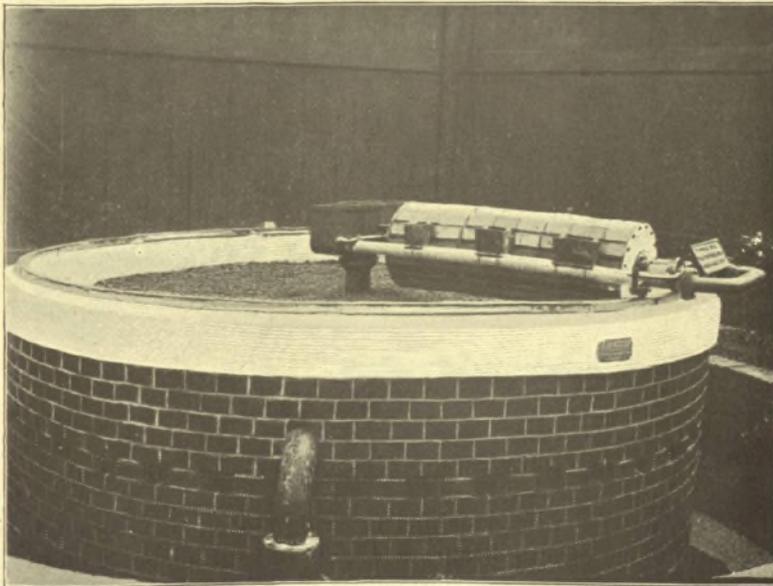


Fig. 30. — Distributeur rotatif de Fiddian.

les stations d'épuration urbaines. Elles sont trop susceptibles de se détériorer par oxydation et par usure de leur axe. L'un des dispositifs les plus intéressants de ce genre est le *Fiddian rotatif*, qu'on peut voir fonctionner à Liverpool, à Walsall et, en France, à la *station expérimentale de la Madeleine*.

Cet appareil se compose d'une roue cylindrique dont toute la surface porte une série d'augets. Le remplissage successif de ceux-ci

détermine un mouvement circulaire d'autant plus rapide que l'eau arrive en plus grande quantité. L'alimentation des augets s'effectue par des déversoirs formant vases communicants avec un réservoir axial. Les augets se vident successivement à la surface du lit au fur et à mesure que la rotation de l'appareil s'effectue (fig. 30).

Le distributeur automatique « Va-et-vient » de Wednesbury, près Birmingham (fig. 31), construit par Ham Baker, d'un système analogue mais spécialement agencé pour desservir des lits bactériens rectangulaires. Il est alimenté par un canal latéral au lit et ouvert à l'air libre, dans lequel plonge un siphon qui amène l'eau, au moyen de deux tuyaux parallèles, alternativement de chaque côté d'un long

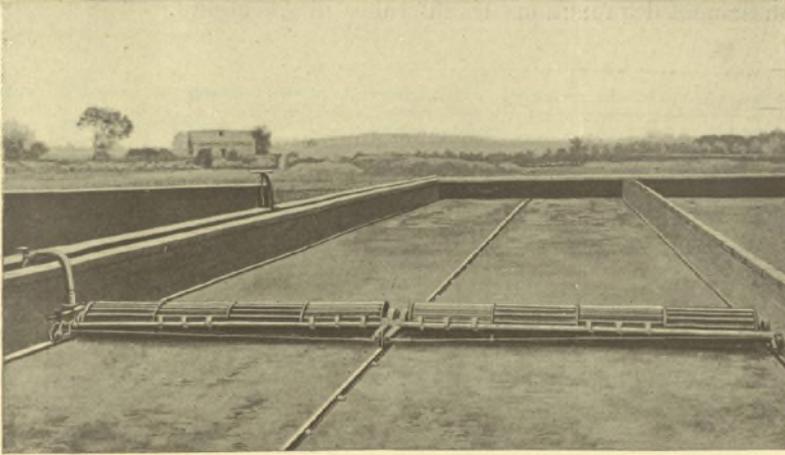


Fig. 31. — Distributeur automatique « Va-et-vient » de Ham Baker, à Wednesbury.

cylindre couvert d'augets. Une valve à renversement est fixée sur l'extrémité de l'appareil, à la base du siphon d'alimentation. Elle dirige l'eau à épurer tantôt dans le tuyau longitudinal droit, tantôt dans le gauche, et le renversement du courant s'effectue chaque fois qu'une tige qui commande la valve vient buter sur un obstacle fixe placé à l'extrémité du lit. Le distributeur alimente ainsi successivement et régulièrement d'avant en arrière, toute la surface du lit. Son débit peut varier suivant le calibre et l'ouverture du siphon. Il n'est pas susceptible de s'obstruer, puisque l'eau est simplement déversée par les augets, et les vents les plus violents ne gênent pas sa marche, non plus que la gelée. Il présente à cet égard des avantages incontestables sur les *sprinklers*, dont les vents contrarient parfois la rotation et dont l'axe constitue toujours un organe délicat.

A tous ces appareils mécaniques d'une usure rapide, d'un prix d'achat élevé, d'un entretien coûteux et qui nécessitent une surveillance constante, nous préférons le dispositif si simple et si robuste

des réservoirs à siphons de chasses intermittentes et automatiques des types *Doulton-Geneste-Herscher* ou *Parenty*, que nous avons adoptés à notre *station expérimentale de la Madeleine* (fig. 32).

Le fonctionnement de ces siphons est réglé de telle sorte que chaque réservoir de chasse met au moins dix minutes à se remplir et au plus cinquante secondes à évacuer son contenu sur la portion de lit bactérien qu'il doit desservir. Nous obtenons ainsi des alternances parfaitement régulières de mouillage et d'aération des matériaux du lit, et l'expérience nous a démontré qu'il fallait donner aux périodes d'aération une durée minima dix fois plus longue qu'aux périodes de mouillage. L'eau trouve alors le temps de s'infiltrer en entraînant avec elle une grande quantité d'air indispensable à l'accomplissement des fonctions des microbes nitrificateurs.

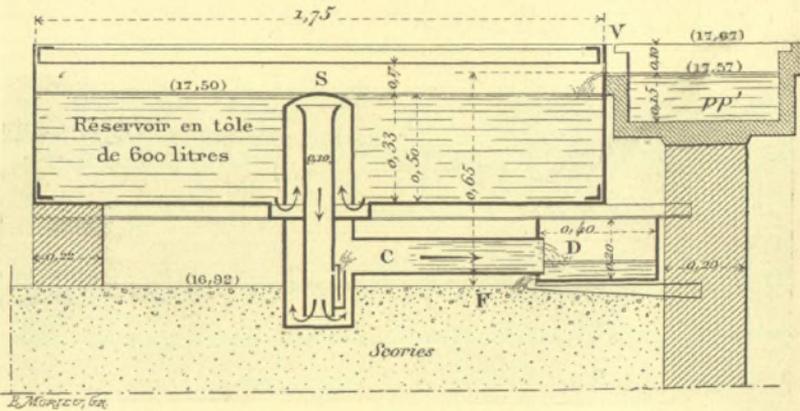


Fig. 32. — Siphon de chasses automatiques, type Doulton, Geneste et Herscher.

Le siphon construit par *Geneste-Herscher* sur les indications de *Parenty* est à deux branches d'égale longueur, dont l'une plonge dans le réservoir de chasse et l'autre dans un seau actionné par un contrepoids. Dès que la hauteur d'eau dans le réservoir crée une pression, si légère fût-elle, sur le niveau du liquide contenu dans le seau, celui-ci s'abaisse automatiquement et se relève ensuite sous l'action de son contrepoids lorsque le volume de liquide pour lequel celui-ci est réglé s'est écoulé. Le seau restant plein d'eau, le siphon se maintient constamment amorcé (fig. 33).

Dans notre *station de la Madeleine*, chaque réservoir de chasse muni de son siphon déverse son contenu dans une noyère qui sert de nourrice et alimente des tubes pulvérisateurs à jets multiples, parallèlement disposés à la surface des lits bactériens.

On obtient ainsi une répartition très régulière, et ces appareils n'exigent aucune surveillance. Leur prix de revient est infime par

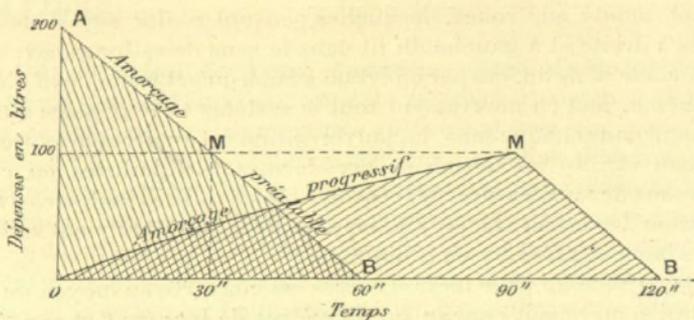
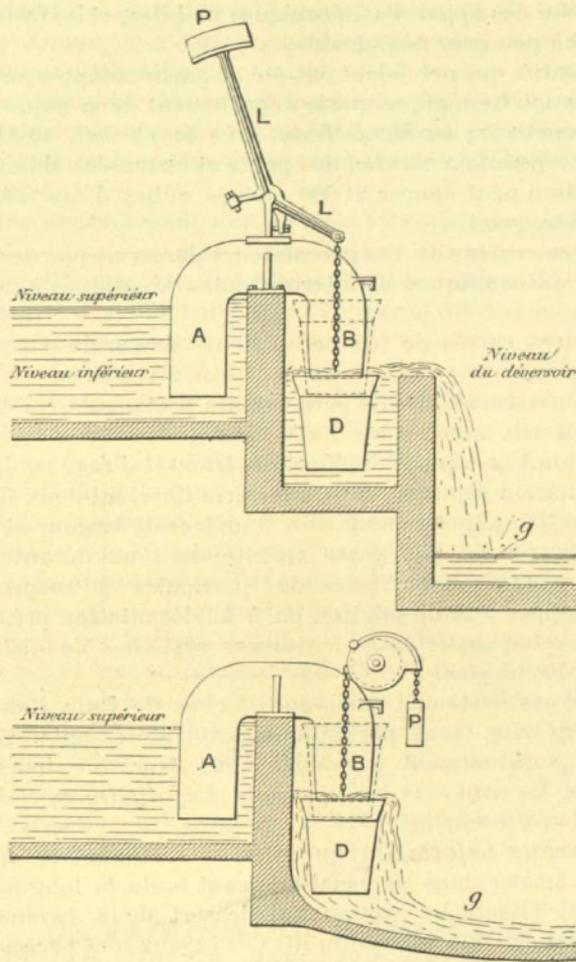


Fig. 33. — Siphons de chasses automatiques, type Parenty.

rapport à celui des appareils mécaniques mobiles, et les frais d'entretien en sont à peu près négligeables.

Les dispositifs qui précèdent ont été en partie adoptés pour la station d'épuration biologique que le département de la Seine a récemment fait construire au *Mont-Mesly*, près de *Créteil*, sur les plans dressés par l'ingénieur en chef des ponts et chaussées Mahieu.

Cette station peut épurer 21 000 mètres cubes d'eau d'égout par jour. Elle comprend :

8 400 mètres carrés de lits percolateurs desservis par des siphons de chasses automatiques et intermittentes identiques à ceux de la Madeleine;

4 200 mètres carrés de lits percolateurs desservis par des becs pulvérisateurs;

8 400 mètres carrés de lits percolateurs rectangulaires alimentés par des appareils mobiles dits *Va-et-vient*.

L'eau d'égout provenant de *Maisons-Alfort* et d'*Ivry* subit d'abord une fermentation septique dans une série de vingt-deux fosses qui ont chacune 35 mètres de longueur, 9 mètres de largeur et 4 mètres de profondeur utile. Elle passe ensuite dans un décanteur genre *Dortmund* pour s'y débarrasser des particules en suspension qui ont pu échapper à la dissolution ou à la décantation préalable, et, de là, elle est répartie entre les divers systèmes de distributeurs sur les lits bactériens.

Deux de ces systèmes, analogues à ceux de Ham Baker précédemment décrits, sont particulièrement intéressants. Seule une expérience suffisamment prolongée nous fixera sur leurs qualités respectives. Ce sont : 1° les appareils *Lajotte-Durey-Sohy*; 2° les appareils *Lajotte-Laffly*.

1° *Appareils Lajotte-Durey-Sohy*. — L'effluent des fosses septiques est amené dans un canal longeant toute la longueur du lit, dans lequel plonge un siphon qui dessert deux tuyaux étendus transversalement à la surface du lit. Ces tuyaux sont percés de trous, chacun sur la moitié de leur longueur. Ils sont fixés sur un même chariot monté sur roues, lesquelles peuvent rouler sur deux rails placés à droite et à gauche du lit dans le sens de sa longueur.

Un câble sans fin, mû par une roue à aube qu'actionne l'eau d'égout elle-même, met en mouvement tout le système et le déplace alternativement dans chaque sens. La pulvérisation est assurée par la pression de l'eau (2^m,50) au moyen de becs formés de tubulures en cuivre au-dessus desquelles sont placées des lames minces inclinées à 60° et en forme d'éventail. Le jet s'échappant de la tubulure vient se briser sur la lame et retombe en pluie fine.

Une surface de 2 100 mètres carrés est couverte au moyen de deux appareils marchant chacun sur 42 mètres de longueur et sur 25^m,80 de largeur. Le mouvement est tel que, l'appareil marchant de l'amont

vers l'aval, la moitié droite du lit est arrosée à 42 mètres de son point de départ; le mouvement s'inversant, c'est la moitié gauche qui est arrosée à son tour.

Le renversement du sens de la marche et le changement d'arrosage sont assurés au moyen d'un tiroir spécial placé sur le chariot et qui se meut automatiquement chaque fois qu'il arrive à l'une des extrémités du lit.

Les rails de roulement sont en acier; ils sont supportés au-dessus de la surface des matériaux (mâchefer) par des piliers en béton armé de 0^m,15 qui le traversent et reposent sur le radier.

La quantité d'eau distribuée par l'appareil est de 1 mètre cube par mètre carré et par jour.

2° *Appareils Lajotte-Laffly*. — Deux roues hydrauliques à aubes courbes reçoivent l'eau du décanteur *Dortmund* et la laissent retomber dans un bassin qu'elles portent avec elle et qui, à son tour, est prolongé par un tuyau qui s'étend transversalement à la surface du lit, sur la moitié de sa largeur totale, et qui est percé de trous. L'eau, après avoir passé dans l'une des roues, vient sortir du tuyau par les trous et tombe sur les matériaux sous-jacents.

Comme, en même temps, l'une des roues hydrauliques peut rouler sur trois rails placés au milieu et de chaque côté du lit à desservir, elles avancent sur les rails. Un tiroir automatique envoie l'eau dans l'une des roues quand le mouvement a lieu dans un sens, et dans l'autre quand l'appareil est arrivé au bout de sa course. Il en résulte qu'à ce moment le premier appareil ne reçoit plus d'eau, que le mouvement s'inverse et que l'arrosage de la deuxième partie du lit s'effectue.

La pulvérisation est assurée par des becs identiques à ceux du système précédent.

XVII. — DÉCANTATION ET DÉSINFECTION DE L'EAU ÉPURÉE AU SORTIR DES LITS BACTÉRIENS PERCOLATEURS.

1° *Décantation de l'eau épurée*. — Dans l'effluent des lits bactériens percolateurs, on constate toujours l'existence de particules en suspension plus ou moins colorées et qui sont constituées par des zoogées de microbes et par des parcelles d'humus ou de fins précipités d'oxyde de fer. Ces matières donnent à l'eau un aspect légèrement louche et, bien que leur présence ne soit acunement l'indice d'un mauvais fonctionnement des lit, — tout au contraire, — on peut dans certains cas trouver préférable de les séparer, s'il s'agit par exemple de rejeter l'effluent dans un cours d'eau très limpide et à faible débit.

Pour y parvenir, nous avons proposé et expérimenté l'emploi d'un filtre à sable de faible épaisseur ; mais c'est un moyen coûteux, parce qu'il nécessite beaucoup de main-d'œuvre pour l'entretien de la surface du filtre en bon état de perméabilité, et aussi parce qu'il exige une étendue de terrain au moins égale à celle occupée par les lits bactériens eux-mêmes.

John D. Watson, à Birmingham, a obtenu des résultats presque aussi satisfaisants dans des conditions beaucoup plus économiques : il dispose tout simplement, sur le trajet du canal qui collecte l'effluent des divers lits bactériens, un ou plusieurs bassins en forme de pyramide renversée à base rectangulaire. Les eaux s'y déversent sans remous en large nappe sur l'un des bords, cheminant dans le bassin à une vitesse telle que chaque molécule de liquide met environ trente minutes à le traverser et ressortent également en large nappe par le bord opposé.

Les particules en suspension se déposent dans une cuvette au fond de la pyramide. Elles peuvent en être expulsées de temps en temps, par la simple pression du liquide sus-jacent, au moyen d'une valve et d'un tuyau qui permet de les déverser soit sur le sol voisin, soit dans une tranchée, soit dans des wagonnets. Ces boues, complètement inodores et inoffensives, présentent d'ailleurs un volume presque insignifiant, et le coût de leur séparation, à *Birmingham*, n'atteint pas un centime par 20 000 mètres cubes.

Ces bassins de décantation pour l'eau épurée ou *separators* ont en outre l'avantage de faciliter l'achèvement du processus d'épuration avant le rejet de l'effluent à la rivière. Il est donc recommandable, au moins pour les grandes installations urbaines, d'en prévoir un ou plusieurs, d'une capacité totale correspondant au quarantième environ du volume d'eau d'égout épurée en vingt-quatre heures.

2° Désinfection de l'eau épurée. — Les eaux épurées, soit par lits de contact, soit par lits percolateurs, renferment toujours un nombre de germes microbiens relativement considérable (de 800 000 à 3 000 000). L'immense majorité de ces germes est constituée par des espèces qui jouent un rôle utile dans la minéralisation de la matière organique. Il ne saurait donc être question de chercher à les supprimer, car, si les lits bactériens en étaient privés, leur fonction épuratrice serait abolie.

Mais comme, parmi ces germes, quelques espèces pathogènes peuvent survivre, traverser les matériaux poreux du lit et se retrouver dans l'effluent, il y a des circonstances où il devient nécessaire d'assurer leur destruction avant le rejet de cet effluent dans un cours d'eau.

Tel est le cas, par exemple, où l'on serait obligé de déverser des eaux biologiquement épurées dans une rivière, en amont d'une prise d'eau servant à l'alimentation d'une ville, ou dans la mer au voisinage de parcs à huîtres.

Il faut alors faire en sorte que l'effluent final soit *désinfecté* et rendu complètement *inoffensif*.

On peut atteindre ce résultat sans grands frais, en aménageant, après le bassin de décantation dont nous avons parlé ci-dessus, un second bassin plus vaste, permettant de retenir les eaux épurées pendant environ deux heures et de mélanger à celles-ci, à leur entrée dans ce second bassin, une substance énergiquement bactéricide à une dose qui ne soit pas susceptible d'intoxiquer ensuite les êtres vivants supérieurs.

L'antiseptique de choix est celui qui, après avoir produit ses effets, se décompose et disparaît sans laisser de traces dans l'effluent.

Les moins coûteux et les plus efficaces sont le *chlorure de chaux*, que nous avons particulièrement étudié, et le *permanganate de soude* ou de *chaux*, indiqué par Bordas.

Le mélange doit être fait dès l'entrée dans le bassin, de telle sorte que l'eau soit parfaitement mélangée au réactif.

La dose de permanganate de soude ou de chaux à employer, d'après Bordas, est de 0^{gr},50 par mètre cube.

Rideal, puis Phelps et Carpenter ont établi que de très petites quantités de *chllore* sont capables de rendre un effluent pratiquement stérile.

Nous avons fait quelques essais de stérilisation sur l'effluent de nos lits à percolation de la Madeleine. Nous avons employé des solutions de chlorure de chaux du commerce, que nous avons filtrées et dans lesquelles nous avons dosé le chllore actif. Les chiffres que nous donnons ci-après indiquent les quantités de chllore :

	Par centimètre cube.	
	Nombre de colonies microbiennes.	Nombre de colonies liquéfiantes.
Effluent du lit à percolation.....	105 000	8 000
Chlore : 3 milligr. par litre	70	120
— 6 —	70	40
Permanganate de chaux :		
20 milligr. par litre	400	100
40 —	350	80
Sulfate de cuivre :		
100 milligr. par litre.....	<10 000	<1 000
200 —	9 000	100

Nos expériences confirment les conclusions de Phelps et Carpenter, qui avaient fixé à 5 milligrammes par litre la quantité de chllore nécessaire pour la stérilisation. Les quelques colonies qui persistent proviennent de germes sporulés, tels que le *subtilis*, tout à fait inoffensifs.

On doit donc admettre qu'un effluent traité par 5 milligrammes de chllore actif par litre fournira, après une action de deux heures, une eau débarrassée de tout microbe pathogène.

L'évaluation du coût de cette stérilisation est facile à établir. Le prix du chlorure de chaux est d'environ 18 francs les 100 kilogrammes. Le chlorure de chaux commercial doit contenir le tiers de son poids en chlore actif, ce qui donne le prix de 54 francs pour 100 kilogrammes de chlore actif.

Si l'on emploie 5 milligrammes de chlore par litre, 1000 mètres cubes d'eau traitée nécessiteront 5 kilogrammes de chlore, soit 2 fr. 70 pour la dépense de réactif. Ce prix peut paraître assez élevé, mais comment peut-on mettre en balance la sécurité que donne un effluent ainsi rendu absolument inoffensif, en regard de la contribution si faible de 0 fr. 10 à 0 fr. 20 par habitant et par an?

Pour une installation très importante, le prix de revient du chlorure de chaux pourrait probablement être abaissé. D'ailleurs, Phelps et Carpenter ont établi que, lorsque la consommation de chlore est considérable, on peut le produire sur place et l'employer à l'état gazeux, ce qui réduit de moitié le prix du réactif.

Dunbar a comparé le prix des divers désinfectants utilisés pour tuer les microbes dans les eaux après l'épuration biologique artificielle, et il est arrivé aux chiffres suivants :

Désinfectant.	Prix de la désinfection, le chlorure de chaux étant pris comme unité.
Chlorure de chaux.....	1
Chaux.....	2
Chlorure de cuivre.....	4
Permanganate de potasse.....	6
Chloros.....	6
Eau de Javel.....	8
Acide sulfurique brut.....	10
Acide phénique brut.....	20
Sublimé.....	25
Sulfate de fer.....	40
Sulfate de cuivre.....	150
Lysol.....	500
Formaline.....	500

Le chlorure de chaux est donc le désinfectant le plus économique : il est plus cher que la chaux, mais il agit à une concentration de 1 : 15000, mieux que la chaux à une concentration de 1 : 500. En outre, il a l'avantage de ne pas donner de précipitation appréciable.

Les recherches de Schumacher et celles de Schwartz ont montré qu'il est nécessaire, pour contrôler l'action du chlorure de chaux et des désinfectants en général, d'opérer sur des volumes assez considérables. Schumacher a vu que, en additionnant l'eau de 5 grammes de chlorure de chaux par mètre cube, on trouve encore, après deux heures, du *Bacterium coli* vivant dans 12 p. 100 des prises d'échantillons de 1 litre. Avec une addition de chlorure de chaux de 1 : 5000, le chiffre est monté à 38 p. 100. En prolongeant la durée de contact jusqu'à trois heures et demie, la destruction du *Bacterium coli* est totale (Dunbar). Schwartz a montré que les vibrions sont toujours tués

par le chlorure de chaux à 1 : 5000, même en prenant pour l'examen des échantillons de 1 litre. Les mêmes résultats ont été obtenus avec le chlorure de chaux à 1 : 10000 et 1 : 20000. A la dose de 1 : 50000, on a trouvé des vibrions vivants deux fois sur dix échantillons de 1 litre, une fois sur 10 échantillons de 50 centimètres cubes, et l'on n'en a pas trouvé dans dix échantillons de 1 centimètre cube. Avec le *Bacterium coli*, Schwartz a constaté que, après action du chlorure de chaux à 1 : 2000 pendant quatre heures, on ne retrouvait plus de *coli* dans 82,5 p. 100 des échantillons de 1 litre, dans 95 p. 100 des échantillons de 50 centimètres cubes et dans 100 p. 100 des échantillons de 1 centimètre cube. Il a obtenu d'aussi bons résultats avec le chlorure de chaux à 1 : 10 000 et 1 : 20000, en faisant des prises d'échantillons de 1 centimètre cube.

Le tableau suivant indique la diminution du nombre de germes d'eau d'égout renfermant 1350000 microbes par centimètre cube, après action du chlorure de chaux pendant quatre heures :

Concentration du chlorure de chaux.	Nombre de germes par cent. cube	
	dans l'eau brute.	dans l'eau traitée.
1 : 2 000.....	1 350 000	15
1 : 5 000.....	»	23
1 : 10 000.....	»	36
1 : 20 000.....	»	72
1 : 30 000.....	»	3 620
1 : 40 000.....	»	59 000

Ces résultats montrent que, en additionnant l'eau de chlorure de chaux à la concentration de 1 p. 5000, on arrive à une désinfection pratiquement satisfaisante.

XVIII. — RÈGLES A ADOPTER POUR L'ÉTABLISSEMENT DES LITS PERCOLATEURS.

Il est toujours recommandable de disposer les lits percolateurs de manière à pouvoir interrompre le fonctionnement d'une partie d'entre eux. Dans les petites installations où la totalité des eaux d'égout doit être traitée sur un seul lit alimenté par exemple par un *sprinkler*, lorsque celui-ci est arrêté par suite d'accident ou pour cause de réparation, on est réduit à évacuer le liquide non épuré, à moins qu'on ne puisse le diriger sur un champ d'épandage.

L'expérience montre qu'il est indispensable d'aérer largement les faces latérales des lits percolateurs et qu'il est contre-indiqué de les enfermer entre des murs verticaux ou de les diviser en secteurs séparés.

Lorsqu'on fait usage de *sprinklers*, il faut pouvoir disposer de trois de ces appareils au moins, pour permettre leur nettoyage et assurer la non-interruption du travail pendant les périodes de repos.

Avec les *siphons de chasses automatiques et intermittentes*, on devra calculer le volume des chasses, par rapport à la surface desservie par les tubes distributeurs de chaque siphon, de manière à ce que les chasses, plutôt peu abondantes et fréquentes qu'abondantes et espacées, ne se succèdent pas à moins de dix minutes d'intervalle l'une de l'autre, aux heures les plus chargées. Avec les eaux de moyenne concentration, chaque mètre carré de lit percolateur pourra facilement recevoir 1 mètre cube par vingt-quatre heures.

Pour que la distribution s'effectue régulièrement, il sera prudent de donner aux tubes perforés ou à becs pulvérisateurs une longueur maxima de 10 mètres.

Dans chaque cas particulier, suivant la hauteur de chute ou la pression dont on peut disposer, on calculera l'espacement des orifices d'évacuation ou des becs, de telle sorte que la totalité de la surface du lit soit mouillée aussi également que possible.

XIX. — COUT COMPARÉ DE L'ÉPURATION BIOLOGIQUE PAR LITS DE CONTACT, PAR LITS PERCOLATEURS ET PAR ÉPANDAGE SUR SOL CULTIVÉ.

A. Lits de contact et lits percolateurs. — La *Commission royale anglaise* pour l'étude des procédés d'épuration de eaux d'égout a établi comme suit le prix moyen du traitement de 1 000 mètres cubes d'eau d'égout par jour et par temps sec, y compris les intérêts et amortissements :

Mode de traitement préliminaire.	Lits bactériens de contact (deux contacts).	Lits bactériens percolateurs.
Simple décantation continue.....	39 fr. 10	23 fr. 30
Fosses septiques.....	40 fr. 00	24 fr. 20

Les dépenses d'épuration par lits percolateurs sont donc seulement environ les deux tiers de celles qu'entraîne l'emploi des lits de contact.

Toutefois, lorsqu'on fait subir à l'eau d'égout un traitement chimique préalable par décantation simple, comme un seul contact peut suffire, le coût de l'épuration devient alors équivalent à celui d'un lit percolateur.

Les dépenses sont naturellement en rapport avec le type d'installation ou de construction choisi.

Il faut compter en moyenne pour les lits bactériens à double contact de 1 mètre de profondeur, y compris les matériaux de construction et de garniture, les drains, les canaux de distribution, les appareils mécaniques, etc., sur une dépense de 35 francs par mètre carré.

Avec les lits percolateurs, voici, d'après notre propre expérience, comment il convient d'établir la dépense approximative de première installation pour une station type capable de traiter 5000 mètres cubes par jour :

COUT COMPARÉ DE L'ÉPURATION BIOLOGIQUE. 15—119

Surface des lits bactériens, y compris les talus..	5 400 mètres carrés.	
Fosses de décantation préliminaire, fosse septique, caniveaux et chemins.....	2 700	—
Emplacement pour l'égouttage des boues, logement de gardien et réserves.....	3 900	—
Total.....	12 000	mètres carrés.

1° Valeur du terrain au prix moyen de 3 000 francs l'hectare.....	3 600 francs.
2° Terrassements et transports de terre (environ 7 003 mètres cubes à 1 fr.).....	7 003
3° Maçonnerie : 1 573 mètres carrés à 20 fr.....	31 464
4° Caniveaux en briques, enduit et béton.....	38 960
5° Drains et goulottes.....	6 000
6° Arrangement des chemins.....	2 500
7° Appareillage (vannes, siphons percolateurs, réservoirs de chasse, goulottes de distribution, regards, etc., à 10 fr. le mètre cube).....	50 000
8° Matériaux de garniture des lits sur 1 ^m ,75 de hauteur à 3 fr. le mètre cube : 9 100 mètres cubes.....	27 300
9° Divers et imprévus.....	2 173
Total.....	169 000 francs.

Les frais de premier établissement ressortent donc à 33 fr. 50 par mètre cube d'eau à épurer. Mais il est bien évident que ces frais doivent être majorés ou réduits suivant la valeur des matériaux et le prix de la main-d'œuvre dans les diverses localités.

B. Coût comparé de l'épuration par lits bactériens et par épandage sur sol cultivé (déduction faite des bénéfices de culture). Le tableau ci-après a été dressé par la *Commission royale anglaise*, à la suite de l'enquête effectuée par ses soins dans toutes les stations d'épuration du *Royaume-Uni* :

Prix comparatif de l'épuration des eaux d'égout d'une ville de 30 000 habitants (évacuant en moyenne 150 litres par habitant et par jour).

Méthode de traitement.	Coût annuel.	Coût par 1 000 m ³ .	Coût par tête d'habitant et par an.
<i>1° Lits percolateurs :</i>			
	Fr.	Fr.	Fr.
Décantation simple et lits percolateurs.....	38 126,35	22,30	1,25
Fosses septiques et lits percolateurs.....	38 762,15	24,20	1,30
Précipitation chimique, décantation et lits percolateurs.....	44 913,95	27,10	1,50
<i>2° Lits de contact :</i>			
Décantation simple et double contact.....	64 921,55	39,10	2,15
Fosses septiques et double contact.....	66 536,85	40,00	2,175
Précipitation chimique, décantation et un seul contact.....	57 865,50	34,90	1,90
<i>3° Irrigation culturale (suivant la nature des sols) :</i>			
Minimum de frais.....	22 211,75	12,80	0,65
Maximum —.....	65 700,80	37,45	2,15

Dans le traitement des eaux d'égout par irrigation, une partie des frais est compensée par les bénéfices de culture. Le montant de ces bénéfices varie pour les différentes exploitations, mais la *Commission royale anglaise* a calculé, d'après l'étude de treize fermes que, déduction faite du coût du travail cultural, il pourrait s'élever à environ 92 fr. 75 par hectare moyen.

Si l'on admet qu'une terre réellement convenable peut être achetée au prix de 6000 francs l'hectare, le traitement par irrigation est probablement moins coûteux que l'épuration biologique artificielle. Mais, lorsque le sol n'est pas approprié à l'épuration terrienne, comme c'est le cas le plus fréquent aux environs immédiats des grandes villes, ou lorsqu'on n'y peut traiter qu'un faible volume d'eau d'égout par hectare, le coût du traitement par irrigation devient plus considérable que celui des procédés biologiques artificiels.

Les différences de prix ne sont cependant pas telles qu'on doive beaucoup en tenir compte. Le choix entre les deux méthodes sera dicté et imposé par les conditions locales.

XX. — CONTROLE DE L'EFFICACITÉ DE L'ÉPURATION (D'APRÈS LES INSTRUCTIONS FORMULÉES PAR LE CONSEIL SUPÉRIEUR D'HYGIÈNE PUBLIQUE DE FRANCE EN 1909). — MÉTHODES D'ANALYSE.

Aux termes des articles 21 et 25 de la loi du 15 février 1902, relative à la protection de la santé publique, le Conseil supérieur d'hygiène publique de France, les conseils départementaux et les Commissions sanitaires doivent être consultés sur les projets d'assainissement et sur les dispositifs d'épuration d'eaux d'égout ou d'eaux-vannes ménagères ou industrielles.

Or, la plupart des projets d'assainissement et des dispositifs d'épuration récemment soumis à l'examen desdits conseils ou commissions, bien qu'établis en apparence conformément aux données scientifiquement admises, fournissent après leur réalisation des résultats défectueux, et, loin d'améliorer les conditions de salubrité des localités et des cours d'eau, ils constituent au contraire de réels dangers pour la santé publique. Il paraît donc indispensable d'imposer aux autorités sanitaires locales ou régionales l'obligation de contrôler fréquemment l'efficacité de l'épuration obtenue et d'interdire les déversements d'eaux d'égout ou d'eaux-vannes ménagères ou industrielles insuffisamment épurées, non seulement dans les cours d'eau, mais aussi à la surface du sol, lorsqu'une nappe aquifère souterraine servant à l'alimentation de puits voisins est susceptible d'être contaminée.

Pour que ce contrôle soit pratiquement réalisable, il faut qu'il

puisse être effectué par des moyens très simples. Il faut en outre que, tenant compte des circonstances ou des dispositions spéciales à chaque localité, les autorités sanitaires n'exagèrent pas les difficultés du problème à résoudre et sachent se borner à exiger que les eaux usagées soient rendues imputrescibles aux nappes souterraines ou aux cours d'eau. Il serait évidemment déraisonnable d'imposer aux municipalités ou aux industriels l'obligation de rendre aux rivières ou aux fleuves une eau plus pure que celle qu'on peut leur emprunter.

Quel que soit le procédé employé, on peut admettre que l'épuration est satisfaisante et que l'eau traitée peut être évacuée sans inconvénients quand elle ne renferme aucune matière en suspension susceptible de se déposer sur les bords ou dans le lit des rivières, ni aucune matière en solution capable soit de fermenter en dégagant des gaz nauséabonds, soit d'intoxiquer les êtres vivants, animaux ou végétaux.

Il n'est pas possible d'établir des règles invariables basées sur des résultats d'analyses. Ceux-ci n'ont de valeur que pour déterminer le meilleur procédé à appliquer dans telle ou telle circonstance et pour comparer sur une même eau d'égout, *avant* et *après* traitement, le degré d'efficacité du procédé choisi.

Hormis certains cas très exceptionnels, la pureté *bactériologique* ne saurait être exigée. On ne peut l'obtenir ni par l'irrigation intermittente sur sol nu ou cultivé, ni par les méthodes biologiques artificielles. Si les eaux d'égout épurées doivent servir à l'alimentation d'agglomérations urbaines en aval de leur point de déversement, il sera toujours nécessaire d'assurer leur purification complète par l'un quelconque des procédés de stérilisation applicables aux eaux de ruissellement.

Les eaux d'égout traitées par les méthodes biologiques artificielles renferment le plus souvent, à leur sortie des lits bactériens, un grand nombre de germes saprophytes, qui jouent un rôle très actif dans les processus d'épuration. Ces germes s'éliminent d'eux-mêmes lorsque la matière organique a disparu. Ils ne contribuent en aucune manière à polluer les rivières qui les reçoivent, et ils ne constitueraient une cause de souillure pour celles-ci que s'ils trouvaient dans l'eau de ces rivières un milieu organique favorable à leur multiplication.

En règle générale, on peut donc ne tenir aucun compte de leur présence lorsque l'eau épurée qui les véhicule ne renferme plus de substances organiques putrescibles et a subi une nitrification satisfaisante. Il est d'ailleurs facile de constater qu'ils n'accroissent pas l'impureté des rivières, en faisant la numération des germes contenus dans l'eau de ces rivières sur deux échantillons prélevés en plein courant, l'un en amont, l'autre en aval, à quelques centaines de mètres du point de déversement.

L'élimination aussi complète que possible des matières en suspen-

sion est autrement importante : c'est elle surtout qu'il faut exiger. La *Commission royale anglaise* pour l'étude des procédés d'épuration des eaux d'égout fixe à 0^{gr},03 p. 1000 (dont 0^{gr},02 de matière organique et 0^{gr},01 de substances minérales) le maximum de ces matières en suspension qu'on peut considérer comme tolérable. Nous proposons d'admettre cette limite, qui, dans les installations d'épuration biologique convenablement aménagées, ne doit jamais être dépassée.

Il convient également d'attacher un grand intérêt à la détermination de la *putrescibilité* par l'épreuve très simple connue sous le nom de « test d'incubation » (1).

Cette épreuve consiste à prélever dans un flacon, après décantation ou filtration sur papier, un échantillon de l'eau supposée épurée. Le flacon, bouché à l'émeri, est conservé pendant sept jours à l'étuve à la température de 30°. On titre, avant et après cette « incubation », la quantité d'oxygène que l'eau est susceptible d'emprunter au permanganate de potasse en trois minutes (2).

Si cette eau contient des matières organiques putrescibles, les ferments qui la peuplent s'emparent d'abord de l'oxygène dissous; puis, lorsque celui-ci a été utilisé, ils décomposent les composés oxygénés, d'abord les nitrates, puis les sulfates. Avec ces derniers, ils forment, par réduction, des sulfures que révèle facilement leur odeur nauséabonde.

Un effluent convenablement épuré emprunte sensiblement la même quantité d'oxygène au permanganate *avant* et *après* les sept jours d'incubation à 30°. Au contraire, un effluent putrescible contenant des composés avides d'oxygène, tels que l'hydrogène sulfuré, absorbe plus d'oxygène, et les résultats de la détermination sont plus forts *après* qu'*avant* l'incubation.

La *Commission royale anglaise* indique justement que cette épreuve du *test d'incubation* fournit des données plus exactes sur un mélange, en proportions correspondantes à leur volume respectif, de l'eau épurée et de l'eau de la rivière qui doit recevoir celle-ci. Le but essentiel que l'on poursuit en l'effectuant est d'évaluer approximativement la quantité de matières organiques contenues dans l'eau. Mais il importe de se rappeler qu'il ne s'agit là que d'une approximation, car certaines substances parfois abondantes dans les eaux résiduaires industrielles, telles que les sulfures, les nitrites, les sulfo-cyanates, les phénols et leurs dérivés, les matières colorantes, etc., sont également capables de réduire le permanganate de potassium.

Pour apprécier si une eau d'égout traitée par filtration intermit-

(1) Voy. plus loin la technique de cette méthode.

(2) Généralement, en Angleterre, ce « test d'incubation » se pratique en évaluant la quantité d'oxygène emprunté au permanganate en trois minutes; on y ajoute une détermination spéciale de la quantité d'oxygène emprunté à froid au permanganate en quatre heures, et cette épreuve permet d'évaluer la quantité de matières organiques contenues dans l'eau.

tente sur le sol ou sur des lits bactériens est suffisamment épurée, il n'est ordinairement pas indispensable de faire d'autres analyses. Il peut toujours être utile de doser, *avant et après épuration*, l'azote organique, l'ammoniaque, les nitrites et les nitrates; mais les éléments d'information qu'apporteront les résultats de ces analyses ne modifieront pas le jugement que le test d'incubation et la teneur de l'eau épurée en matières en suspension auraient permis de porter.

L'expérience montre, en effet, qu'il n'existe aucun rapport défini entre la proportion d'azote albuminoïde ou d'azote total et la quantité d'ammoniaque que peut contenir une eau épurée. En revanche, la détermination du taux d'ammoniaque et celle des nitrates fournissent une indication utile sur l'intensité des phénomènes d'oxydation qui s'accomplissent soit dans un champ d'épandage, soit sur un lit bactérien. Pour cette raison, il conviendra de ne pas les négliger.

En résumé, et bien que les études actuellement en cours sur les méthodes d'analyse des eaux d'égout ne permettent pas de préciser la nature des substances organiques contenues dans ces eaux, nous estimons qu'on doit provisoirement admettre que *l'épuration est satisfaisante* :

1° Lorsque l'eau épurée ne contient pas plus de 0^g,03 de matières en suspension par litre;

2° Lorsque, après filtration sur papier, la quantité d'oxygène que l'eau épurée emprunte au permanganate de potassium en trois minutes reste sensiblement constante avant et après sept jours d'incubation à la température de 30°, en flacon bouché à l'émeri;

3° Lorsque, avant et après sept jours d'incubation à 30° l'eau épurée ne dégage aucune odeur putride ou ammoniacale;

4° Enfin lorsque l'eau épurée ne renferme aucune substance chimique susceptible d'intoxiquer les poissons et de nuire aux animaux qui s'abreuveraient dans le cours d'eau où elle est déversée.

Dans certains cas, on pourra tolérer l'évacuation d'un effluent incomplètement épuré et légèrement putrescible, lorsque cet effluent ne renfermera pas un excès de matières en suspension et lorsqu'il sera déversé dans un cours d'eau à grand débit (d'un volume au moins 50 fois plus considérable). On s'assurera alors que l'eau de la rivière ou du fleuve a une composition chimique et bactériologique sensiblement égale dans les échantillons prélevés *en amont et en aval, à quelques centaines de mètres du point de déversement*.

Rappelons en outre que, si parfaite que puisse être l'épuration réalisée par les procédés biologiques (lits bactériens ou irrigation intermittente avec ou sans utilisation culturale), *on ne doit jamais employer une eau d'égout épurée, même très diluée, à des usages alimentaires, sans purification chimique ou filtration préalable*.

Il est extrêmement désirable que, avant d'être présenté à l'examen du Conseil supérieur d'hygiène publique de France, des conseils

d'hygiène départementaux ou des commissions sanitaires, chaque projet d'épuration soit étudié avec le plus grand soin pour éviter les dépenses inutiles et l'adoption de procédés ou de dispositifs non appropriés aux conditions locales.

Il importe enfin que toutes les stations d'épuration d'eaux d'égout ou d'eaux résiduaires industrielles susceptibles d'intéresser la santé publique soient l'objet d'une surveillance constante de la part des autorités sanitaires, lesquelles devront s'assurer fréquemment de leur bon fonctionnement et de leur état d'entretien.

A. Technique du test d'incubation ou indice de putrescibilité des eaux épurées. — Les réactifs nécessaires pour employer cette méthode d'analyse sont :

1° Solution de permanganate de potasse contenant 0^{gr},395 de permanganate par litre (1 centimètre cube de cette solution correspond à 0^{mg},1 d'oxygène);

2° Solution d'acide sulfurique pur au cinquième en volume;

3° Solution d'iodure de potassium à 10 p. 100;

4° Empois d'amidon à 2 grammes par litre;

5° Solution titrée d'hyposulfite de soude. On dissout 7 grammes de ce sel dans 1 litre d'eau. Cette solution doit être préparée de façon que 1 centimètre cube corresponde à 2 centimètres cubes de la solution de permanganate. Pour cela, on mélange 50 centimètres cubes d'eau distillée, 10 centimètres cubes d'acide sulfurique dilué au cinquième et 50 centimètres cubes de la solution de permanganate. On ajoute alors goutte à goutte la solution d'iodure de potassium jusqu'à ce que le mélange ait la coloration jaune brun clair de l'iode. Au moyen d'une burette graduée, on verse la solution d'hyposulfite jusqu'à coloration jaune pâle.

On ajoute quelques gouttes de l'empois d'amidon, et on continue à faire couler la solution d'hyposulfite jusqu'à décoloration. Si la solution est exacte, on aura employé 25 centimètres cubes d'hyposulfite. Si l'on n'obtient pas ce résultat, on ajuste la solution par une dilution convenable.

Cette solution est très altérable; aussi doit-on en préparer peu à l'avance et, en tout cas, la titrer chaque fois avant d'en faire usage.

Technique de la méthode. — On mesure dans un matras 50 centimètres cubes de l'eau à analyser, préalablement bien décantée ou filtrée sur papier; on ajoute 5 centimètres cubes d'acide sulfurique au cinquième, puis 20 centimètres cubes ou davantage de solution de permanganate. On abandonne le matras pendant trois minutes à la température du laboratoire. Au bout de ce temps, on ajoute la solution d'iodure, et l'on titre à l'hyposulfite. En tenant compte du volume d'eau employé (50 centimètres cubes), 1 centimètre cube de la solution d'hyposulfite correspond à 4 milligrammes d'oxygène.

Il est nécessaire qu'il y ait toujours un excès de permanganate

pendant les trois minutes et qu'après ce délai le mélange soit encore nettement coloré en rouge.

Le titrage par la solution d'hyposulfite doit être effectué aussitôt après l'addition de la solution d'iodure, pour éviter les erreurs que produirait la mise en liberté d'une partie de l'iode par l'acide sulfurique en solution.

L'analyse, faite une première fois sur l'échantillon d'eau après son prélèvement, est répétée sur le même échantillon après qu'il a été conservé en flacon bouché à l'émeri pendant sept jours à l'étuve à 30°. Si l'eau est convenablement épurée, la quantité d'oxygène empruntée au permanganate avant et après incubation est sensiblement la même. Il y a lieu de remarquer toutefois que certaines eaux épurées, non putrescibles, mais riches en nitrates et contenant encore des matières organiques, peuvent absorber plus d'oxygène après qu'avant l'incubation, par suite de la décomposition des nitrates en nitrites. On doit donc toujours s'assurer si l'eau ne contient pas, après incubation, des quantités importantes de nitrites.

B. Conseils pour les prélèvements d'échantillons destinés à l'analyse des eaux d'égout. — Lorsqu'il s'agit d'établir un projet d'installation d'épuration d'eaux d'égout, il y a lieu de déterminer tout d'abord le volume d'eau à traiter en vingt-quatre heures. Pendant les périodes de jaugeage et seulement par temps sec, on prélève des échantillons toutes les demi-heures ou toutes les heures, l'émissaire dans lequel on aura installé l'appareil permettant la détermination ou l'enregistrement des débits d'eaux. Ces échantillons sont entourés de glace et, après vingt-quatre heures, mélangés en quantité proportionnelle au volume de l'eau qui s'écoulait au moment du prélèvement.

Il est indispensable d'effectuer les analyses le plus rapidement possible après la prise d'échantillons. Lorsque, par suite de la distance, les analyses ne peuvent être effectuées qu'au bout de quelques jours, il est recommandé d'introduire dans chaque flacon quelques centimètres cubes de chloroforme pour arrêter les fermentations.

Les déterminations principales à effectuer sont les suivantes :

Matières en suspension totales : sèches à 110°; fixes au rouge; volatiles au rouge;

Matières en solution totales; extrait à 110°; fixes (cendres au rouge); volatiles (différence entre les deux résultats);

Oxydabilité au permanganate de potasse à chaud en solution acide: résultats exprimés en oxygène (il y a lieu d'opérer sur des dilutions dans l'eau distillée, au dixième au moins);

Azote ammoniacal (méthode de *Nessler* après dilution et défécation);

Azote organique (méthode volumétrique de *Mohr* au nitrate d'argent);

Alcalinité (méthode de *Bonjean*, méthyl orange comme indicateur).

Si les eaux étaient acides, ce qui est extrêmement rare, doser l'acidité et déterminer la nature du ou des acides.

Les résultats seront exprimés en milligrammes par litre.

XXI. — L'ÉPURATION BIOLOGIQUE DES EAUX D'ÉGOUT DANS LES MAISONS PARTICULIÈRES, DANS LES HOPITAUX, LES CASERNES ET AUTRES ÉTABLISSEMENTS COLLECTIFS.

La question de l'épuration des eaux-vannes ménagères et des matières de vidange pour les habitations isolées ou pour les établissements collectifs (collèges, casernes, hôpitaux, prisons, etc.), isolés ou trop éloignés d'un réseau d'égout, préoccupe avec juste raison les hygiénistes qui veulent la suppression des *fosses fixes*, nids à mouches et à pestilences, dont les émanations empoisonnent l'atmosphère et dont les infiltrations polluent les nappes d'eau souterraines et les puits du voisinage.

La routine séculaire veut qu'on ne laisse rien perdre de ces substances riches en azote, qu'on les restitue au sol en *nature*, sous forme d'*engrais flamand*. Dans certains pays, tels que le nord de la France, on les épand périodiquement sur les terres cultivées ou dans les jardins, sans souci des dangers que cette pratique coupable fait courir à la santé publique.

Le but qu'il s'agit d'atteindre pour sauvegarder l'hygiène est de ne restituer au sol les déchets de la vie des hommes qu'après les avoir *minéralisés*. Toute la question est là. Peut-on y parvenir pratiquement ?

Oui sans doute, si l'on réussit à combiner des appareils qui permettent de réaliser, sur de petites masses de matières, les mêmes séries de désintégrations successives que les microbes anaérobies et aérobies accomplissent sur de grandes masses des mêmes matières, dans les installations urbaines d'épuration biologique.

Depuis quelques années, un grand nombre d'inventeurs ont essayé de résoudre ce problème. C'est ainsi que nous avons vu prôner tour à tour la *fosse Mouras* et ses nombreuses imitations (fosses à vidange automatique, fosse simple, etc.).

A. Fosses Mouras et appareils qui en dérivent. — A ses débuts déjà anciens (1881), la fosse imaginée par Louis Mouras (de Vesoul) était constituée simplement par une fosse fixe, d'une capacité égale à environ *un dixième de mètre cube par personne à desservir*, aussi étanche que possible, toujours pleine de matières provenant des water-closets, et munie d'un tuyau de chute plongeant et d'un déversoir de trop-plein.

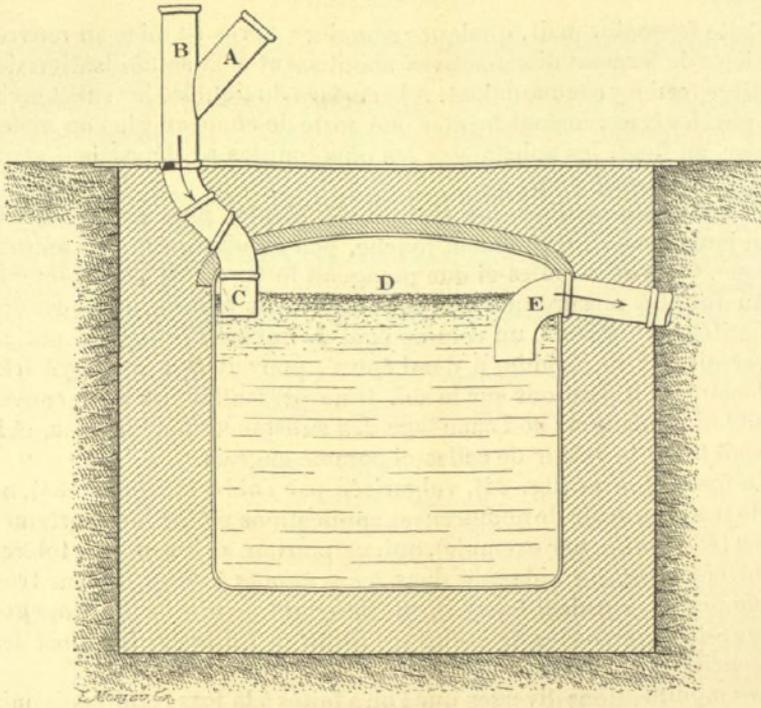


Fig. 34. — Fosse Mouras.

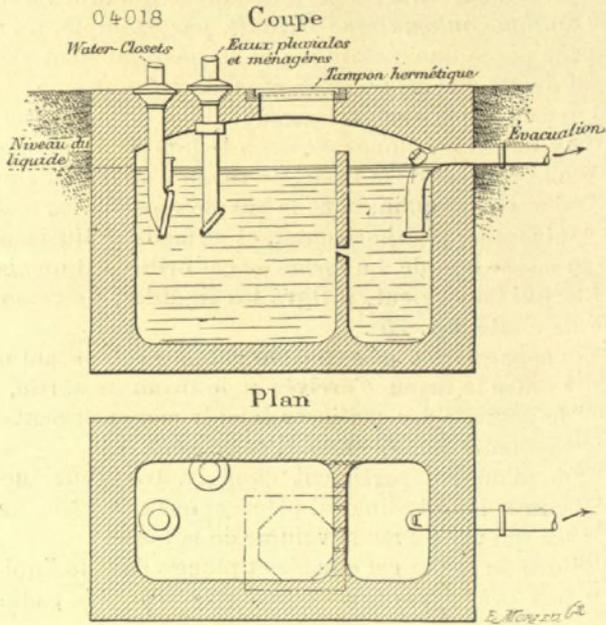


Fig. 35. — Fosse septique de Bezault.

Cette fosse devenait, quelques semaines après sa mise en œuvre, le siège de fermentations actives aboutissant à la solubilisation des matières qui s'y accumulaient. A la surface du liquide, les substances les plus légères venaient former une sorte de chapeau plus ou moins épais ; au fond, les substances les plus lourdes se déposaient et se liquéfiaient peu à peu.

La zone intermédiaire ne renfermait bientôt plus qu'un liquide d'un jaune ambré, légèrement louche, peu odorant, riche en ammoniac. C'est dans celles-ci que plongeait le tuyau de déversement.

Au fur et à mesure que l'on déversait dans la fosse de nouvelles quantités de matières, un volume égal de liquide s'échappait par le déversoir ; et ce liquide, à demi épuré, pouvait être employé très utilement en irrigations sur le sol. Il ne présentait pas les inconvénients ni les dangers de l'épandage des substances putrescibles, et il gardait toute la valeur de celles-ci comme engrais.

La fosse Mouras (fig. 34), vulgarisée par l'abbé Moigno (1883), ne tarda pas à recevoir de nombreuses applications même dans certaines villes (*Bordeaux*, par exemple), qui, ne pouvant se résoudre à tolérer le déversement des vidanges dans leurs égouts à cause de leur trop faible pente, croyaient trouver, en l'adoptant, le moyen de propager l'usage des water-closets à chasses d'eau et de satisfaire ainsi les exigences de l'hygiène.

Les modifications diverses que l'on a faites à la fosse Mouras depuis 1883 n'ont rien changé à ses dispositifs essentiels. Quelques-uns cependant présentent certains perfectionnements utiles à connaître.

La fosse septique automatique *Bezault*, par exemple, a l'avantage d'être étanche parce que métallique et hermétiquement close. « Sa capacité est de 1^m^c,500 pour dix personnes en moyenne, et elle est divisée en deux compartiments inégaux. Dans le plus grand arrive le ou les tuyaux de chute, plongeant dans le liquide d'une quantité en rapport avec le volume de la fosse. Ce tuyau d'arrivée, de profil spécial, se termine en dauphin, dans le but de répartir les matières de préférence suivant un plan horizontal, et de faciliter ainsi leur dispersion dans la masse liquide. La forme de cet orifice est un obstacle de plus aux gaz qui tenteraient, malgré les liquides, de remonter par les tuyaux de chute (fig. 35).

La cloison séparative a pour but de ralentir le courant qui pourrait s'établir entre le tuyau d'arrivée et le tuyau de sortie, et aussi d'empêcher le passage des matières dans le compartiment de sortie avant qu'elles soient complètement désagrégées.

Le passage d'un compartiment dans l'autre s'effectue par de petites ouvertures longitudinales, placées sous la surface du liquide, à une distance qui varie avec le volume de la fosse.

« La tubulure de sortie est coudée et plonge dans le liquide d'une quantité à peu près égale à celle du tuyau d'arrivée ; elle porte à

l'endroit du coude un petit branchement permettant l'échappement du trop-plein des gaz. »

Cette fosse fonctionne exactement comme celle de *Mouras*, en solubilisant ou gazéifiant les matières solides des déjections. Mais elle ne réalise à aucun degré l'épuration des matières dissoutes.

On trouve aujourd'hui dans le commerce une foule d'appareils analogues, et quelques-uns d'entre eux, d'après leurs inventeurs, achèvent le cycle d'épuration en transformant les matières dissoutes en nitrates. Tel le *transformateur* dit *intégral* de *Bordigoni*, le *sanito-bactérien* de *Lucas*, la fosse septique épuratrice de *Monney*, etc.

Ils se composent alors de plusieurs compartiments que les matières traversent pour se dissoudre dans les uns, s'oxyder et se nitrifier dans les autres.

Mais aucun de ces systèmes n'a résisté jusqu'à présent à l'épreuve de la pratique. Leur échec tient à plusieurs causes, dont la principale est que les inventeurs n'ont jamais su tenir compte des conditions de travail des ferments nitrificateurs. Tantôt ils admettaient, dans les compartiments de solubilisation, à la fois les matières des water-closets à chasses d'eau, les eaux ménagères (bains, évier de cuisines, eaux de lavage) et même les eaux pluviales des toitures : alors les déjections proprement dites étaient simplement dissociées et diluées, mais ne subissaient aucune fermentation anaérobie capable de les dissoudre. Tantôt ils recevaient dans ces mêmes compartiments septiques des matières trop concentrées, et les matières organiques dissoutes qui s'en échappaient étaient incapables de se nitrifier parce que leur teneur en ammoniacque se trouvait excessive. *L'expérience montre en effet que, aux doses supérieures à 200 ou 250 milligrammes au maximum par litre d'eau d'égout, l'ammoniacque ou les substances transformables en ammoniacque ne permettent plus le développement ni le travail des ferments nitrificateurs.*

On a également eu le grand tort de vouloir généraliser l'emploi de quelques-uns de ces systèmes, en particulier celui des *fosses septiques*, dans les agglomérations urbaines, pour permettre aux propriétaires d'immeubles de ne point obéir aux règlements municipaux qui les obligent à adopter le tout à l'égout.

Or il est incontestable que ces *fosses septiques domestiques* produisent une assez grande quantité d'hydrogène sulfuré et d'autres gaz malodorants résultant de la désintégration anaérobie des matières. Si on les construit en maçonnerie (telle l'ancienne *fosse Mouras*), elles ne sont jamais étanches : elles polluent alors les sous-sols par leurs infiltrations, comme les fosses fixes (plus facilement même que ces dernières, parce que les matières qu'elles renferment sont plus diluées, donc plus fermentescibles), et elles infectent l'atmosphère environnante par les produits gazeux qui s'en dégagent.

Si elles sont étanches, les contaminations du sous-sol et des nappes souterraines ne sont plus à craindre, mais les gaz ne s'en échappent pas moins dans l'air extérieur, soit par leurs tuyaux d'évent, soit par l'égout.

On comprend tout de suite combien la situation hygiénique d'une ville pourrait être compromise si l'on tolérait que chaque maison soit munie d'un appareil de ce genre ! Par les temps chauds et calmes de la saison d'été, l'atmosphère deviendrait bientôt irrespirable.

Il est bien évident qu'aucun hygiéniste ne saurait souscrire à l'adoption d'un système dit d'*assainissement*, qui a pour objet de conserver dans le sous-sol de chaque demeure les déjections *fermentées* de ses habitants. Et, si nous réclamons avec tant d'insistance la suppression des fosses fixes à vidange, ce n'est pas pour les remplacer par d'autres fosses fixes, c'est pour leur substituer *le tout à l'égout, qui éloigne immédiatement des habitations humaines et de leurs agglomérations tous les déchets putrescibles de la vie.*

Le Conseil supérieur d'hygiène publique et le Conseil d'hygiène du département de la Seine ont d'ailleurs obéi à cette préoccupation en se prononçant *pour l'interdiction absolue du déversement direct* dans les égouts des eaux-vannes provenant des fosses septiques, sauf dans les cas où les liquides en provenant sont conduits par des tuyaux étanches sur des terrains d'épandage ou sur des lits bactériens d'oxydation acceptés par l'administration et placés sous sa surveillance ».

En somme, disait Hétier, inspecteur général des ponts et chaussées, le système de la fosse septique est défectueux au point de vue de l'hygiène de l'habitation, parce qu'il conserve la fosse d'aisances et qu'il supprime l'occlusion hydraulique entre les cabinets et les chutes ; il est dangereux pour la santé des ouvriers égoutiers, et l'admission de leur effluent dans les égouts constituerait une nouvelle et grave cause de contamination de la Seine et de la Marne.

En ce qui concerne les villes, la question est donc jugée ; loin d'encourager, comme le font encore quelques municipalités, l'établissement de ces fosses ou d'autres appareils analogues, il faut les proscrire au même titre que les fosses fixes, et les villes désireuses de réaliser leur assainissement ne doivent pas hésiter à adopter *le tout à l'égout, séparatif* de préférence, aboutissant à une station d'épuration.

Dans les villages ou dans les maisons de campagne isolées, il n'en est plus de même. Là, la fosse septique est vraiment à sa place, et la généralisation de son emploi est tout à fait désirable, sous la seule réserve qu'elle soit *étanche, donc métallique*, afin de protéger sûrement, contre toute infiltration suspecte, les nappes souterraines qui alimentent les puits.

Là, on peut l'adapter aux water-closets non pourvus de chasses d'eau, à condition de diluer suffisamment les matières avec les eaux pluviales des toitures et avec les eaux ménagères.

Mais là aussi, pour qu'elle soit inoffensive, il faut lui adjoindre un lit *bactérien d'oxydation*, capable de transformer en nitrates toute la matière organique dissoute contenue dans son effluent.

L'appareil de choix sera celui qui réunira le mieux les conditions qui précèdent, et ceux que nous avons cités plus haut, s'ils sont installés dans des conditions satisfaisantes, trouveront alors leur utilisation. Mais il importe d'exiger qu'ils ne laissent écouler au dehors que des liquides dépourvus de toute odeur fécale ou ammoniacale et imputrescibles. L'épreuve de cette imputrescibilité peut être faite par tout le monde sans le secours d'un chimiste ; il suffit de recueillir un peu d'eau épurée, d'en remplir un flacon bouché à l'émeri, et de tenir ce flacon dans un endroit tiède, aux environs de 25 à 30° pendant une huitaine de jours. Si, en le débouchant ensuite, on perçoit une odeur d'hydrogène sulfuré ou d'*œuf pourri*, on peut être sûr que l'épuration est insuffisante. Elle est parfaite, au contraire, si l'odeur est nulle.

Nous avons eu l'occasion d'expérimenter un type d'appareil *épura-teur biologique pour habitations*, qui répond pleinement aux conditions que nous venons d'indiquer.

Cet appareil, dit *épura-teur domestique de Degoix*, se compose de deux récipients métalliques étanches d'égale capacité, accolés l'un à l'autre. L'un (fig. 36) constitue la fosse septique solubilisatrice des matières brutes qui y sont admises (déjections et eaux-vannes ménagères) ; c'est une simple fosse *Mouras*.

L'autre représente un lit bactérien (coke et calcaire et tourbe compacte) qui repose sur un faux fond métallique perforé, aéré en dessous par une cheminée spéciale et qui porte à sa partie supérieure un réservoir de chasse automatique enfermé un vase clos.

Le volume de ce réservoir est calculé, suivant l'importance de l'installation, de manière à retenir une quantité d'eau (sortant de la fosse septique) correspondante au produit de plusieurs chasses. On assure ainsi, d'une manière aussi parfaite que possible, l'intermittence des déversements de liquide sur le lit bactérien, et ces déversements s'effectuent par une série de *jets* formant *becs pulvé-risateurs*. Les matériaux du lit ne se trouvent, par suite, jamais noyés, et l'air y circule constamment, aspiré de bas en haut par la cheminée d'appel, de telle sorte que l'évacuation de l'acide carbonique provenant des fermentations aérobies, d'une part, et l'oxydation des matières fixées par les matériaux du lit, d'autre part, s'effectuent dans les meilleures conditions.

Des appareils de ce genre fonctionnent à l'hôpital de Dunkerque, au casino d'*Enghien*, au lycée de *Saint-Omer*, etc. Ils donnent toute

satisfaction. Les liquides épurés qui s'en échappent ne sont pas putrescibles et contiennent une quantité de nitrates variant de

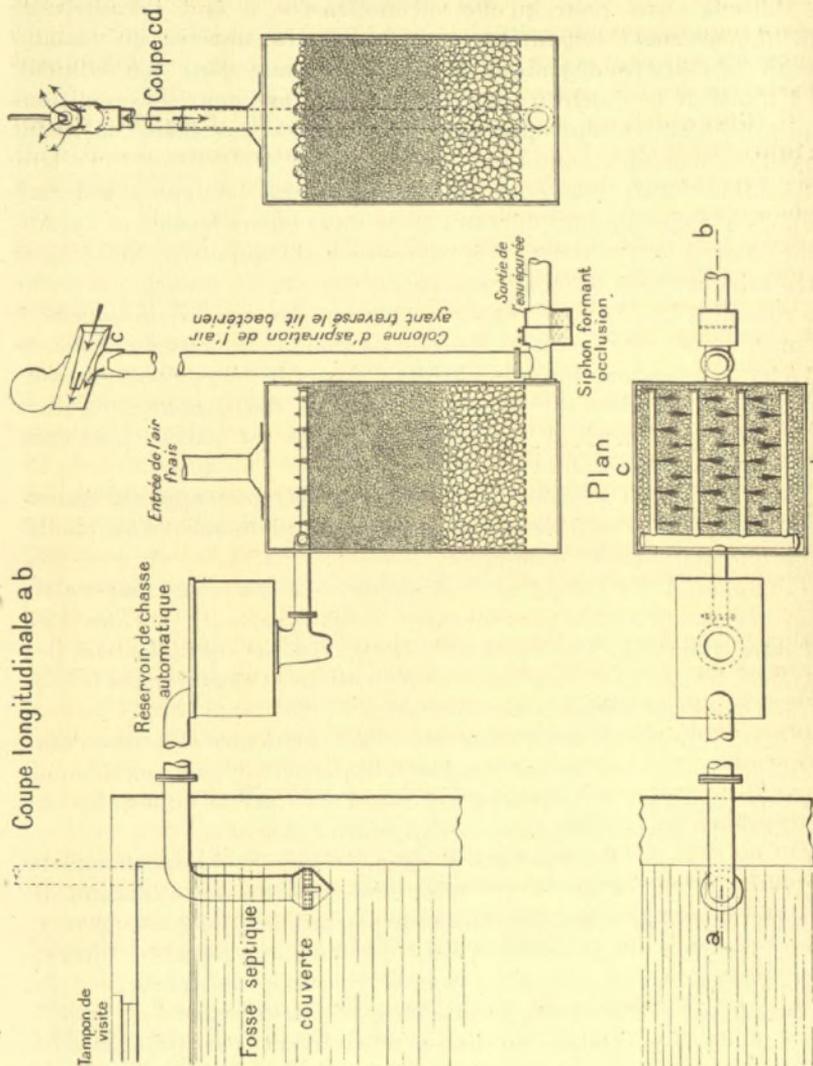


Fig. 36. — Fosse septique automatique avec lit bactérien de Degoux.

39 à 125 milligrammes par litre, ce qui indique une excellente épuration.

Pour les installations faites à la campagne, il est évidemment possible de tolérer le déversement de telles eaux soit dans des bassins, pour qu'elles puissent être utilisées à l'arrosage des cultures, soit dans des puits absorbants remplis de matériaux poreux

(scories, pierres calcaires, sable) et pourvus d'un dispositif d'aération.

Dans les pays chauds où il importe au plus haut point d'éviter la pullulation des mouches, moustiques et autres insectes ailés, on devra toujours prendre la précaution de garnir de toiles métalliques fines les ouvertures des tuyaux de chute et celles des cheminées d'aération des lits bactériens.

B. Dispositions spéciales en vue de l'épuration biologique dans les hôpitaux et les sanatoriums. — Il n'est pas superflu de discuter ici la question de savoir si l'épuration biologique est recommandable pour les hôpitaux, dont les eaux d'égout renferment constamment en abondance des germes de maladies contagieuses.

Les recherches du Dr P. Musehold (1) ont montré les dangers de l'épandage agricole au point de vue de la propagation de la *tuberculose* en particulier, en prouvant expérimentalement que, malgré les influences nuisibles qui agissent sur eux, malgré le froid, la neige, la pluie, le soleil, et malgré la concurrence des autres espèces microbiennes, la résistance des bacilles tuberculeux est telle que, dans la terre des champs d'épandage, ils conservent leur pouvoir de contamination pendant plusieurs mois. L'inoculation aux animaux de la terre de ces champs a montré que les bacilles virulents y étaient extrêmement nombreux.

La sécurité est-elle plus grande avec l'épuration biologique? Il est difficile d'en faire la preuve. Sans doute la fermentation anaérobie en fosse septique détruit un très grand nombre de bactéries pathogènes, et nous avons pu nous assurer que le bacille typhique et le vibron cholérique n'y résistent pas même douze heures. Mais nous n'oserions pas l'affirmer pour le bacille tuberculeux, à cause des moyens de protection tout à fait efficaces que son enveloppe de cire et de graisse lui fournit.

On ne doit donc pas, en principe, tolérer le déversement des produits tuberculeux, surtout des crachats, dans une canalisation d'eaux-vannes épurées par le système biologique, sans que ces produits aient été préalablement désinfectés et rendus sûrement inoffensifs.

Pour les crachats, il est relativement facile d'y détruire la vitalité des bacilles en les faisant macérer pendant quelques heures dans une solution concentrée de carbonate de soude (à 5 p. 100) ou en les faisant bouillir. On peut alors, sans crainte, les jeter à l'égout, et le carbonate de soude, dilué par les eaux-vannes, ne gêne aucunement l'action ultérieure des bactéries nitrifiantes.

Mais, pour ce qui concerne les déjections, le problème est plus

(1) *Arbeiten aus dem kaiserlichen Gesundheitsamte*, Bd. XVII, 1900.

difficile à résoudre, et nous avons dû précisément nous préoccuper de lui chercher une solution pratique à propos du sanatorium pour tuberculeux de *Montigny-en-Ostrevent*. Répondant aux indications que nous lui avons précisées, M. Degoix, ingénieur à Lille, a fait construire un système spécial de water-closets et de vidoirs à double chasse que nous n'avons pas hésité à adopter, et qui atteint parfaitement le but cherché.

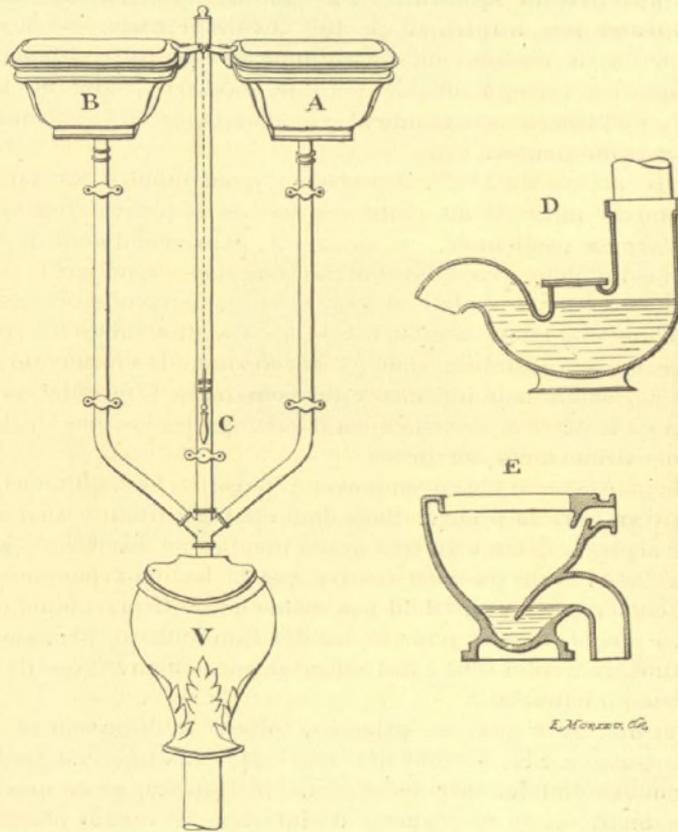


Fig. 37. — Water-closet à double chasse antiseptique de Degoix.

Cet appareil, représenté dans la figure 37, se compose d'une cuvette ou d'un vidoir V (représenté en coupe en E) et de deux réservoirs de chasse A et B. Le réservoir A est en communication normale avec la canalisation d'eau et s'alimente automatiquement, comme tous les appareils du même genre, au moyen d'un robinet à flotteur.

Le réservoir B reçoit, par une canalisation différente, d'un autre réservoir placé aux étages supérieurs de l'édifice, un liquide antiseptique quelconque (solution concentrée de carbonate de soude ou

d'hypochlorite de chaux, ou de lysol). Il s'alimente également par un robinet qui s'ouvre seulement pendant un instant après qu'on a tiré la chaîne de vidange C. Lorsque des matières susceptibles de contenir des germes contagieux sont déposées dans la cuvette V, il suffit, pour en provoquer l'expulsion, de tirer une seule fois la chaîne C. Aussitôt après, 5 litres environ de solution antiseptique viennent s'écouler automatiquement dans la cuvette V et y restent jusqu'à ce qu'une nouvelle chasse vienne à se produire. Le mélange de matières et d'antiseptique se rend alors dans une cuvette siphonée intermédiaire D, placée en sous-sol, et les dimensions de cette cuvette sont calculées de manière à ce que le volume de six chasses au moins puisse y rester accumulé, assurant ainsi un *temps de contact* suffisant avec l'antiseptique pour que les germes contagieux soient détruits. Ce temps de contact, suivant l'antiseptique employé, doit être au minimum de quatre heures ; mais, plus l'action est prolongée, plus elle est sûrement efficace.

La cuvette siphonée D se déverse par trop-plein dans la canalisation d'égout.

La seule objection possible à l'emploi de cet appareil est que la forte proportion d'antiseptique employée pour la désinfection des matières peut gêner le travail des fermentations anaérobies en fosse septique.

L'expérience a montré que cette crainte n'était pas justifiée. La dilution avec les eaux-vannes ménagères (cuisines, bains, lavages, etc.) est telle que, arrivées dans la fosse septique en présence d'un levain de microbes en pleine activité, les matières n'en subissent pas moins une désintégration très rapide. Du reste, de nombreux essais de laboratoire ont montré qu'il faut, pour arrêter une fermentation anaérobie en pleine marche, plus de 1/10 000 de chlorure de chaux et plus de 1/1000 de lysol. Or ces concentrations ne peuvent jamais être atteintes lorsque 200 litres, par exemple, d'une solution à 5 p. 100 de chlorure de chaux ou de lysol se trouvent dilués dans 30 ou 50 mètres cubes d'eaux-vannes.

Il nous paraît donc certain que, dans les hôpitaux, les sanatoriums, les maisons de santé et, en général, dans tous les établissements qui reçoivent des malades contagieux, l'usage d'appareils de ce genre, d'ailleurs peu coûteux, rendra de très grands services.

Et, lorsque leur utilisation n'est pas possible, on peut très économiquement leur substituer le simple *seau hygiénique* garni, préalablement à son usage, d'une certaine quantité de liquide antiseptique. Il suffit d'y laisser séjourner les matières pendant un temps suffisant pour assurer leur stérilisation, avant de les rejeter à l'égout.

Ce moyen, adopté à Paris à l'hôpital Pasteur, est à la portée de tout le monde, et il n'est pas inutile de savoir que son emploi est parfaitement compatible avec l'épuration biologique des eaux-vannes.

C. Règles générales pour l'établissement des fosses septiques et des lits bactériens pour habitations isolées.

— Quel que soit le système auquel on veuille s'adresser pour réaliser l'épuration des eaux d'égout d'une habitation privée ou collective, lorsque l'effluent doit être évacué, soit dans un réseau de canalisations urbaines, soit dans un puisard absorbant ou dans un cours d'eau, il est certaines règles que nous croyons nécessaire de préciser et dont on ne devra jamais se départir.

1° *Fosses septiques.* — Elles devront être construites en maçonnerie cimentée à l'intérieur et parfaitement étanches, ou mieux en ciment armé, ou encore en métal pour les appareils de petites dimensions.

La capacité de la fosse sera de *dix fois* le volume qu'elle peut être appelée à recevoir journallement.

Si cette fosse ne doit recevoir que le produit des water-closets, il faut, autant que possible, utiliser pour ces derniers des appareils à effets d'eau débitant 10 litres par chasse.

On compte alors, en moyenne, 25 litres par personne et par jour pour les habitations privées ; 15 litres seulement pour les habitations collectives (casernes, collèges, prisons, etc.) et 15 litres de plus dans les deux cas pour les eaux de toilette.

Si l'on veut y joindre les eaux de lavage de cuisine et autres, on ajoutera encore 4 litres par personne et par jour. Toutefois, comme ces eaux renferment beaucoup de graisses, il faut augmenter la capacité de la fosse septique et la porter à vingt fois le volume total journalier.

On se gardera d'admettre en fosse septique les eaux des *bains* et celles des *buanderies*, car l'afflux irrégulier et important, correspondant à la capacité d'une baignoire et arrivant tout d'un coup dans la fosse, apporterait une perturbation dans le travail des bactéries. D'ailleurs ces eaux, comme celles des buanderies, peuvent s'écouler à ciel ouvert sans inconvénients et être simplement filtrées sur gravier avant leur rejet dans les cours d'eau.

A titre d'exemple, une fosse septique correspondant à une famille de six personnes aurait les dimensions ci-après :

1° $6 \times 25 \times 10 = 1^{\text{m}^3}, 500$, si elle ne reçoit que les water-closets ;

2° $6 \times 40 \times 10 = 2^{\text{m}^3}, 400$, si elle reçoit en plus les eaux de toilette ;

3° $6 \times 20 \times 46 = 5^{\text{m}^3}, 520$, si elle reçoit en outre les eaux-vannes de cuisine et de lavage.

La fosse septique doit avoir une profondeur de 2 à 3 mètres. Elle doit être munie d'une trappé de visite (ordonnance de police) et d'un tuyau de ventilation de 110 millimètres, en zinc ou en fonte, allant jusqu'au toit (la fonte est indispensable dans la traversée des maçonneries). Ce tuyau a pour objet, contrairement à ce qui a été fait pour

les fosses *Mouras*, d'éviter que les gaz provenant de la décomposition des matières organiques se mettent en pression dans la fosse.

Les tuyaux de chute des matières doivent plonger de 0^m,050 en dessous du niveau du liquide dans la fosse ; une plus grande plongée entraîne des inconvénients dans le fonctionnement des water-closets.

Lorsque les appareils de water-closets ne sont pas des appareils de chasse donnant environ 10 litres d'eau par chasse, il devient nécessaire d'ajouter un volume d'eau suffisant pour former le débit journalier de 20 litres par personne et par jour. On arrive à ce résultat soit par un écoulement continu, soit par un siphon de chasses automatiques et intermittentes, communiquant avec un réservoir d'eau.

2° *Lit bactérien*. — On doit toujours faire précéder le lit bactérien d'un réservoir de chasse automatique ou de tout autre dispositif permettant d'assurer l'*intermittence des déversements* et la *régularité de l'épuration*.

Tout l'ensemble de l'installation doit être fermé pour éviter le dégagement des odeurs.

La hauteur des matériaux poreux dans le lit bactérien ne sera pas moindre de 1 mètre et la différence de niveau entre la sortie de la fosse septique et la surface des matériaux sera d'environ 0^m,60. Il faut ajouter à ces chiffres 0^m,10 pour l'évacuation de l'effluent, soit au total 1^m,70.

Si la configuration du sol permet d'augmenter la hauteur du lit jusqu'à 1^m,75 ou 2 mètres, on n'hésitera pas à en profiter.

Les dimensions du lit bactérien en surface seront déterminées sur la base d'une épuration de 0^m3,500 par mètre carré et par jour.

Donc, pour une famille de six personnes, le lit aura respectivement, dans chacun des cas prévus ci-dessus au sujet de la fosse septique :

1°	$\frac{0,150}{0,500} = 0^m3,30$
2°	$\frac{0,240}{0,500} = 0^m4,48$;
3°	$\frac{0,276}{0,500} = 0^m4,55$.

Le tuyau de rentrée d'air frais, amenant l'air à la surface du lit, aura 0^m,150 de diamètre. Il sera, en principe, le moins haut possible s'il s'agit d'habitations isolées ; mais, dans les agglomérations, on l'élèvera à 2^m,50 de hauteur, en l'éloignant de 5 mètres environ de toute fenêtre ouvrante.

Le tuyau d'aspiration, entraînant les gaz pris sous le lit bactérien, aura également 0^m,150 de diamètre, s'élèvera à la hauteur du toit et sera surmonté d'une girouette aspiratrice.

La répartition du liquide à la surface du lit bactérien peut s'effectuer soit par des rigoles distributrices à trous ou à fentes, soit avec

un dispositif de tuyaux perforés à leur partie supérieure tous les 3 ou 5 centimètres et fonctionnant sous la pression du réservoir de chasse automatique.

L'évacuation de l'effluent épuré se fera par une canalisation quelconque en grès ou en fonte. Il sera toujours indiqué de prévoir, à son départ, l'installation d'un petit réservoir de 2 ou 3 litres de capacité permettant de recueillir des échantillons d'eau épurée et de vérifier de temps en temps, par des analyses, l'efficacité du système.

XXII. — L'ÉPURATION BIOLOGIQUE ARTIFICIELLE DES EAUX D'ÉGOUT EN ANGLETERRE, EN ALLEMAGNE ET AUX ÉTATS-UNIS.

A. Angleterre. — En 1896 furent publiés en Angleterre les premiers travaux de W.-J. Dibdin sur l'épuration biologique artificielle des eaux d'égout d'après les expériences effectuées par ce distingué chimiste à *Barking Creek*, puis à *Sutton*, près de Londres, sous la dénomination de *Bacterial process*. Presque à la même époque, Cameron appliquait le même principe à *Exeter*.

Ainsi que nous l'avons déjà exposé, le procédé primitif de Dibdin consistait à créer, soit avec des scories ou mâchefer, soit avec des fragments de briques concassées ou de silex, un sol artificiel extrêmement perméable, sur lequel les eaux d'égout, préalablement débarrassées par simple décantation de la majeure partie de leurs impuretés solides, étaient déversées par intermittences.

En réglant les périodes alternatives d'immersion et d'aération de ce sol artificiel, de manière à laisser aux matières organiques déposées dans la masse filtrante le temps de s'oxyder au large contact de l'air, Dibdin montrait, — et c'est là le point essentiel de sa découverte, — que les phénomènes d'oxydation s'y accomplissent avec une grande énergie, grâce à des *actions microbiennes* beaucoup plus intenses, mais *identiques à celles que réalise l'irrigation intermittente sur le sol nu ou sur le sol cultivé*.

Les résultats de ses premiers essais furent si encourageants que, pressées par les hygiénistes officiels d'arrêter la pollution toujours croissante des rivières, plusieurs grandes cités industrielles anglaises, au premier rang desquelles il convient de citer *Leeds* et *Manchester*, s'empressèrent d'établir des stations d'études pour expérimenter le nouveau système.

On s'aperçut bientôt que celui-ci n'est applicable, dans les conditions décrites par Dibdin, qu'à des eaux d'égout très diluées et parfaitement décantées, mais que, lorsqu'elles renferment une certaine quantité de matières en suspension, ou des substances difficilement

oxydables comme les résidus hydrocarbonés, le support ou *lit bactérien* que représente le sol artificiel se *colmate* et perd très vite ses propriétés épurantes.

Donald Cameron, que ce fait avait vivement frappé, eut alors l'idée ingénieuse de faire précéder le déversement intermittent sur *lits bactériens* d'une solubilisation aussi complète que possible des matières organiques, et, à cet effet, il pensa à utiliser les avantages de l'appareil imaginé dès 1881, en France, par Mouras, connu sous le nom de *Fosse Mouras*, et dont l'abbé Moigno avait expliqué à diverses reprises le fonctionnement si curieux dans une série d'articles de la revue *Cosmos* (décembre 1881, janvier 1882 et janvier 1883).

L'appareil Mouras, comme nous l'avons expliqué précédemment, est basé sur ce principe que les déjections animales renferment tous les éléments de fermentation ou de dissolution nécessaires et suffisants pour les *liquéfier* et pour permettre au sol arable de les utiliser sans perte appréciable. Pour que la liquéfaction soit complète, il suffit de donner à la fosse d'aisances une capacité convenable (soit environ un dixième de mètre cube par personne), d'y admettre les matières mélangées avec un volume d'eau correspondant à environ vingt fois leur masse, et de les tenir accumulées pendant vingt à trente jours. La fosse doit rester constamment remplie : elle porte seulement un trop-plein par où s'échappe peu à peu une quantité de liquide correspondant exactement au volume des matières qu'on y introduit.

En obligeant les eaux d'égout à séjourner dans un appareil de ce genre, — pendant beaucoup moins longtemps que les déjections de water-closets, puisqu'elles sont beaucoup plus diluées, — il devenait possible de solubiliser une grande partie des matières en suspension qu'elles renferment et d'éviter, par suite, l'apport de boues à la surface du matériel filtrant des lits bactériens.

L'expérience d'Exeter, conduite par Cameron, bientôt répétée à *Yeovil*, à *Manchester*, à *Leeds* et à *Sutton*, montra qu'on pouvait tirer un excellent parti de cette association du principe de Mouras à celui de Dibdin et que, dans presque tous les cas, on obtenait des résultats d'épuration satisfaisants en laissant fermenter spontanément les eaux d'égout pendant douze à vingt-quatre heures dans de vastes fosses Mouras, et en déversant le trop-plein de celles-ci, par intermittences, sur des *lits bactériens*.

La fosse Mouras, adaptée à sa nouvelle fonction, reçut en Angleterre le nom de *septic tank*, que nous traduisons en français par *fosse septique*.

Une foule d'appareils et de dispositifs particuliers, d'ailleurs tous basés sur les principes établis par Mouras, Dibdin et Cameron, ne tardèrent pas à être proposés par un grand nombre d'ingénieurs sanitaires ou de constructeurs, au choix des villes intéressées à

l'adoption du nouveau système. Quelques-uns seulement présentent

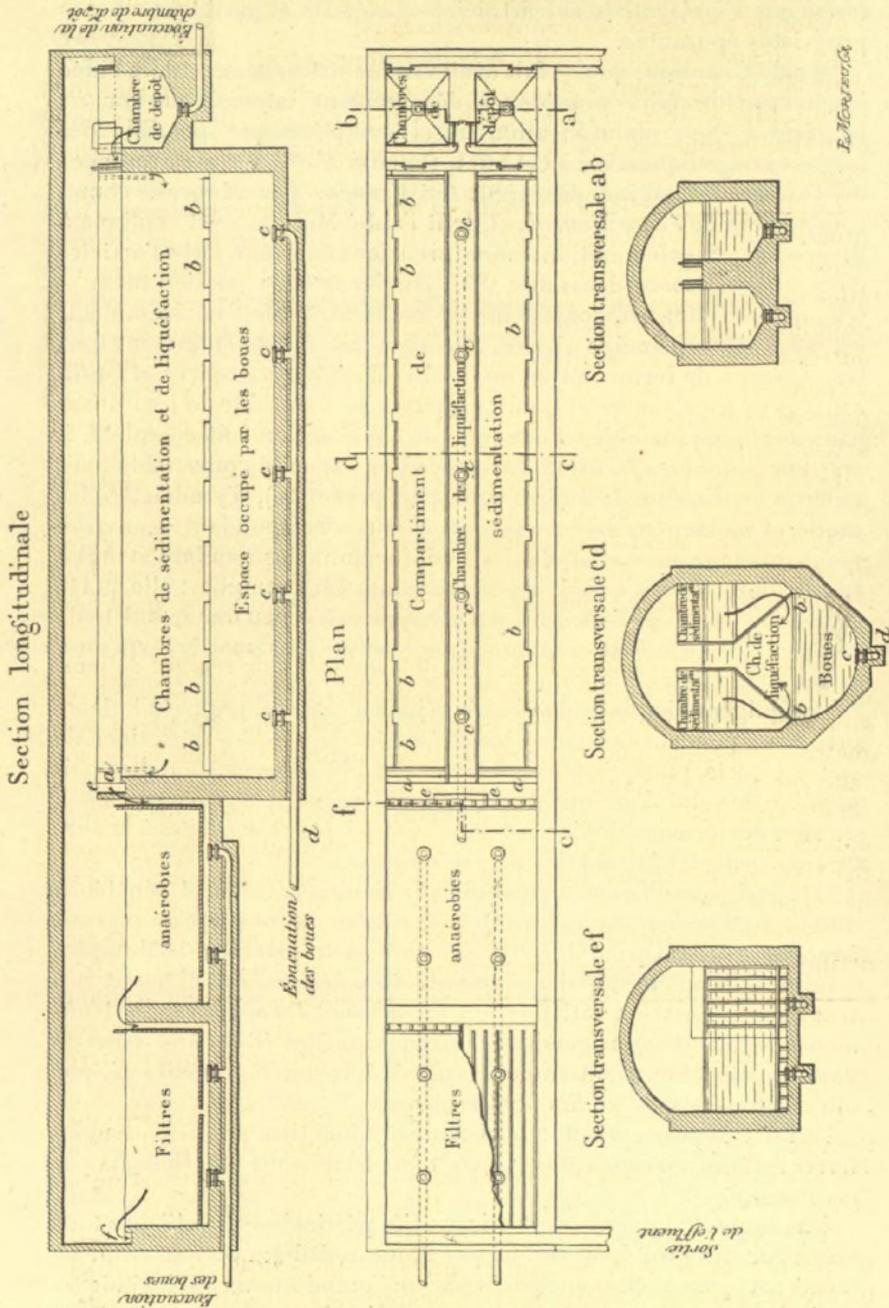


Fig. 2. — Hydraulic tank of Travis, à Hampton.

de réels avantages ; la plupart compliquent inutilement, ou rendent

coûteuses à l'excès les installations d'épuration qu'on doit chercher à éviter de grever de trop lourdes charges.

La *Royal Commission of sewage's disposal* en a fait l'étude, mais elle a pris grand soin, dans ses rapports, de n'en recommander aucun. Elle se borne à constater leurs résultats, et elle permet leur adoption lorsque ceux-ci répondent aux conditions d'efficacité qu'elle exige.

Le nombre des villes anglaises qui ont adopté ou expérimenté les procédés d'épuration biologique en vue de leur adoption prochaine dépasse, à l'heure actuelle, le chiffre de 250. Quelques-unes d'entre elles traitaient antérieurement leurs eaux d'égout par les procédés chimiques les plus divers, dont aucun ne donnait satisfaction. Les autres avaient créé depuis plus ou moins longtemps des champs d'épandage avec utilisation agricole; elles avaient dû y renoncer pour de multiples raisons. Et partout les résultats ont été pleinement satisfaisants.

Les stations d'épuration biologique artificielle les plus importantes du Royaume-Uni sont celles de :

Accrington : six fosses septiques ouvertes de 8 630 mètres cubes de capacité totale; dix lits bactériens à sprinkler couvrant ensemble 4 614 mètres carrés et épurant 5 678 mètres cubes d'eau d'égout par jour.

Birmingham : vingt fosses septiques ouvertes de 65.920 mètres cubes de capacité totale; douze lits bactériens à bacs pulvérisateurs couvrant 48 000 mètres carrés, épurant actuellement 850 litres par mètre carré et par jour. Le coût de construction de ces lits en quartzite sur 1^m,80 de hauteur a été de 44 fr. 25 par mètre carré, y compris le drainage et les appareils de distribution. Les frais d'entretien annuel sont de 1 centime par mètre cube d'eau traitée, soit 10 francs par 1 000 mètres cubes. Leur fonctionnement est parfaitement régulier depuis 1905.

Chesterfield a abandonné l'épandage pour l'épuration biologique artificielle. Trois fosses septiques ayant ensemble 3 039 mètres cubes de capacité; douze lits bactériens à sprinklers rotatifs traitant 2 270 mètres cubes d'eau d'égout par temps sec, mais pouvant recevoir 9 350 mètres cubes avec un débit de 500 litres par mètre carré et par jour.

Darley-Abbey, près de *Derby*, traite 100 mètres cubes par jour pour sa population de 2 000 habitants, sur des lits à deux étages et à sprinklers du système Wittaker-Candy. Cette petite installation a coûté 10 500 francs. Les frais d'entretien sont à peu près nuls.

Derby, pour sa population de 125 000 habitants, a construit, sous la direction du D^r Barwise, une magnifique installation d'épuration biologique par fosses septiques et lits bactériens à *sprinklers d'Adams*. Les résultats en sont excellents.

Exeter traite 4 500 mètres cubes d'eau d'égout par le système dit *septic tank* de *Cameron*; fosses couvertes et douze lits bactériens de contact, ayant chacun 836 mètres carrés de surface. Il n'y a pas de lits de second contact. Cette installation a coûté 310 000 francs.

Hampton, près de *Londres*, jolie petite ville de villégiature, dont la population est de 8 000 habitants, traite 1 000 mètres cubes d'eau d'égout par jour sur lits bactériens à triple contact. Il y a cinq lits pour chaque contact. Ils ont ensemble une surface de 2 628 mètres carrés.

Chaque lit fonctionne à raison de trois remplissages par vingt-quatre heures. Les vannes sont manœuvrées à la main.

On a construit également à *Hampton*, à titre d'essai, un *hydrolytic tank* de *Travis*, fosse septique de 1 362 mètres cubes de capacité, composée de deux chambres de sédimentation, d'une chambre de liquéfaction et de filtres anaérobies.

Cet appareil, entièrement couvert, retient parfaitement les matières en suspension et en liquéfie 80 p. 100. L'espace réservé à l'accumulation des boues est suffisant pour qu'il ne soit utile de les évacuer qu'environ tous les deux mois.

L'eau d'égout, refoulée par des éjecteurs *Shone* à air comprimé, entre d'abord dans la chambre de dépôt et pénètre dans les chambres de sédimentation, dont les murs intérieurs, comme l'indique la coupe transversale *cd* (fig. 38), sont perforés de longues fentes permettant aux matières solides de tomber peu à peu dans la chambre de liquéfaction, puis dans l'espace sous-jacent, si elles sont insolubles.

L'effluent de la chambre de liquéfaction s'échappe par un déversoir et entre, de bas en haut, successivement dans les deux filtres anaérobies qui sont formés de grosses pierres concassées. Au sortir de ces filtres, il est dirigé sur les lits bactériens à triple contact.

Hanley (Staffordshire) : fosses septiques et lits percolateurs alimentés par un appareil du système *Willcox* et *Raikes* (fig. 39). Le coût de la force motrice pour actionner ce distributeur est de 2 francs par 1 000 mètres cubes d'eau traitée.

Huddersfield : ville industrielle de 100 000 habitants. La station d'épuration est à *Deighton*. Fosses septiques et lits percolateurs à becs pulvérisateurs rotatifs de *Campbell* travaillant à raison de 1 945 litres par mètre carré.

Leeds, grande ville de 500 000 habitants, a essayé tous les systèmes d'épuration biologique dans sa station d'essais de *Knothrop*. La fermentation en fosses septiques a permis de réduire le volume des boues à un tiers de celui que produisait la précipitation chimique. Elle fait disparaître 30 p. 100 de la matière organique contenue dans l'eau brute. Les lits percolateurs donnent les meilleurs résultats au taux de 1 500 litres par mètre carré et par jour, bien que les eaux soient très chargées en résidus industriels (d'usines métallurgiques principalement).

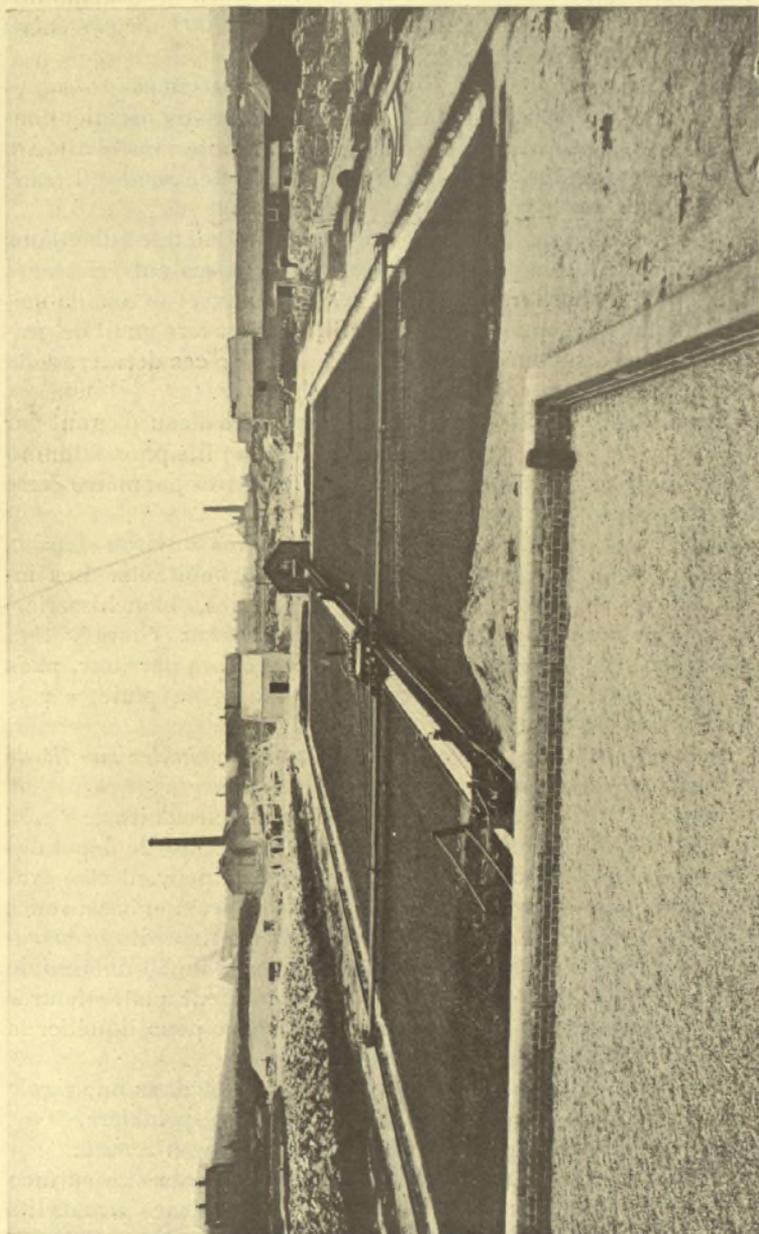


Fig. 39. — Appareil distributeur automatique de Willcox et Raikes, à Hanley.

Manchester traite 150 000 mètres cubes d'eau d'égout par jour dans sa station de *Davyhulme*, près *Urmston*, et 20 000 mètres cubes dans celle de *Withington*.

A *Davyhulme*, l'eau d'égout, répartie entre vingt-deux fosses septiques, est épurée exclusivement par lits bactériens de premier contact et, en partie, par lits de second contact. Toute l'installation a coûté 12 000 000 de francs, et les dépenses d'entretien sont de 1 franc par 1 000 mètres cubes d'eau traitée (Voy. fig. 20).

Salford, faubourg de *Manchester*, épure 36 000 mètres cubes dans une autre station au moyen de lits bactériens à becs pulvérisateurs fixes. L'eau est d'abord traitée par 0^{gr},05 de chaux et 0^{gr},02 de sulfate ferreux par litre, puis décantée et filtrée à travers un lit de gravier avant d'être distribuée sur les lits. Le coût de ces derniers a été de 45 francs par mètre carré sur 2^m,40 de hauteur.

Salisbury : traite de 2 500 à 8 000 mètres cubes d'eau d'égout par jour au moyen de deux fosses septiques et de cinq lits percolateurs à sprinklers. Ceux-ci travaillent à raison de 4 500 litres par mètre carré et par jour au maximum.

Uxbridge : petite ville située à 30 kilomètres environ dans la banlieue ouest de *Londres*, qui compte 12 000 habitants. Les industries de toutes sortes (tanneries, brasseries, blanchisseries) y sont nombreuses ; aussi son sewage est-il assez chargé. Son volume moyen représente environ 3 600 mètres cubes par jour, mais il peut s'élever à 10 000 mètres cubes en temps de pluie, car le système d'égouts est unitaire.

On emploie depuis 1901 le système F. Candy (*sprinkler sur lit de carboferrite*) sans fermentation septique préalable.

Les eaux sont décantées dans un premier bassin circulaire de 4^m,50 de diamètre, disposé en entonnoir, de manière à faciliter le dépôt des boues qui s'accumulent dans la partie conique et peuvent être évacuées à l'extérieur au moyen d'une vanne. De ce premier bassin elles se rendent par un canal ouvert à trois autres bassins dits *préparateurs*, de 340 mètres cubes de capacité chacun et de 20 mètres de longueur sur 12 mètres de largeur. Elles y séjournent quatre heures au moins et cinq heures au plus, et ce délai suffit pour liquéfier la plupart des particules de matières azotées solides.

L'effluent de ces bassins s'écoule par un déversoir dans une rigole qui le conduit jusque dans l'axe de lits bactériens à sprinklers.

Deux de ces lits ont 12 mètres de diamètre et trois 22^m,50.

Les sprinklers rotatifs sont à deux et quatre bras. La surface totale des lits est de 1 200 mètres carrés environ. Seuls les grands lits sont formés de deux couches de scories, entre lesquelles est étalée une couche de carboferrite (1).

(1) Le carboferrite ou polarite est un produit breveté par M. Candy, préparé par calcination du carbonate de fer naturel.

La composition chimique du carboferrite, d'après *Naylor*, est la suivante :

Peroxyde de fer et oxyde magnétique.....	54,52
Alumine.....	6,21
Chaux.....	0,98
Magnésie.....	7,24
Silice.....	24,92
Eau.....	6,13

C'est une substance à pores très fins, qui a la propriété de condenser l'oxygène à sa surface. M. Candy lui attribue un rôle très efficace dans l'épuration.

Les *sprinklers* de *Candy*, modifiés par *Wittaker*, présentent cette particularité intéressante qu'ils tournent pendant quelques instants, deux ou trois minutes, puis s'arrêtent et reprennent automatiquement leur mouvement de rotation. Ils réalisent donc l'arrosage *intermittent* des lits, et c'est là une condition essentielle pour obtenir une bonne épuration.

Avec les autres systèmes, qui tournent constamment, on est obligé d'interrompre de temps en temps l'arrivée d'eau d'égout pour permettre aux scories de s'aérer.

A *Uxbridge*, les résultats de l'épuration sont tout à fait satisfaisants : celle-ci atteint 90 p. 100, avec un débit très élevé de 2700 litres environ par mètre carré et par jour.

On pourrait d'ailleurs la rendre plus parfaite en repassant sur un second lit à *sprinkler* le liquide épuré par les premiers. Ce liquide renferme en effet presque toujours une assez grande quantité de matières en suspension noirâtres, échappées des scories, et qui sont constituées par des zooglyphes de microbes emprisonnant des parcelles de fer ou de charbon. On les sépare par une décantation finale dans un bassin dit *reviseur* avant de rejeter l'effluent dans la rivière.

Le dispositif de *Candy* réduit, en somme, considérablement la durée du séjour de l'eau d'égout en fosse septique, grâce à une décantation parfaite. Les résultats sont très satisfaisants, et plusieurs villes anglaises l'ont adopté en lui faisant subir des modifications appropriées aux circonstances locales.

Nous lui reprocherons seulement de ne pas échapper aux inconvénients que présentent tous les types de *sprinklers*, c'est-à-dire de constituer un mécanisme délicat, coûteux et susceptible d'être arrêté ou contrarié par les vents.

Quoi qu'il en soit, il mérite d'être retenu parmi les appareils les plus ingénieux et les plus parfaits utilisés en Angleterre.

D'après *Candy*, une installation réellement complète de son système doit comprendre :

- 1° Un bassin de décantation ;
- 2° Une fosse de liquéfaction ou d'hydrolyse (*préparateur*) ;
- 3° Un premier lit à *sprinkler* intermittent ;

- 4° Un deuxième bassin de décantation;
- 5° Un second lit à *sprinkler* intermittent;
- 6° Un bassin de dépôt des particules entraînées par l'effluent.

La figure 40 montre en plan et en coupe la disposition et les dimensions respectives de ces appareils dans une installation *type*, et la figure 41, le mode de construction et de drainage des lits circulaires à *sprinklers* de *Candy-Wittaker* (type de *Chester*).

B. Allemagne et Hollande. — Depuis quelques années, il s'est produit en Allemagne un mouvement très actif vers l'étude des procédés d'épuration des eaux résiduaires. Les excellents résultats obtenus en Angleterre par l'application des procédés biologiques ont attiré l'attention des hygiénistes allemands, qui ont entrepris aussitôt l'examen de ces méthodes. Le P^r Dunbar, directeur de l'*Institut d'hygiène de Hambourg*, a notamment poursuivi d'importantes études théoriques et pratiques sur cette question. Dès 1895, Dunbar faisait installer à *Hambourg* une station expérimentale pour l'étude des procédés d'épuration des eaux résiduaires, et particulièrement, à partir de 1897, des procédés biologiques.

L'*Institut d'hygiène de Hambourg* a ainsi poursuivi de nombreuses recherches, notamment sur la puissance épuratrice des méthodes biologiques, sur l'influence de la nature et de la grosseur des matériaux et des dimensions des lits bactériens sur l'épuration, sur les conditions pratiques du travail par ces méthodes.

Sous l'impulsion vigoureuse donnée par Dunbar, et aussi par d'autres savants tels que Schmidtman, Günther, Thumm, etc., l'étude de ces questions prit une extension de plus en plus grande. En 1900, les grandes villes et les sociétés industrielles de la Prusse déposaient au ministère une pétition réclamant l'organisation d'un *Institut central chargé spécialement de l'examen des questions d'approvisionnement des villes en eau potable et d'épuration des eaux résiduaires*. Sur le rapport du P^r Schmidtman, l'État prussien votait, en 1901, les fonds nécessaires à l'organisation de cet Institut, dont le fonctionnement a commencé le 1^{er} avril 1901, sous la direction des P^{rs} Schmidtman et Günther.

Le rôle de cet établissement est le suivant :

- 1° Il doit étudier les questions qui se rattachent à l'approvisionnement des villes en eau et à l'épuration des eaux résiduaires, principalement au point de vue de l'hygiène des agglomérations urbaines;
- 2° Il doit faire les essais relatifs à ces études dans l'intérêt général;
- 3° Il doit exécuter, dans son domaine scientifique, les recherches et analyses qui lui sont soumises par les différents ministères, et aussi, contre rémunération, celles qui lui sont adressées par les autorités et par les particuliers;
- 4° Il doit centraliser toutes les études faites en Allemagne et à l'étranger sur ces questions d'eaux et fournir ainsi tous les rensei-

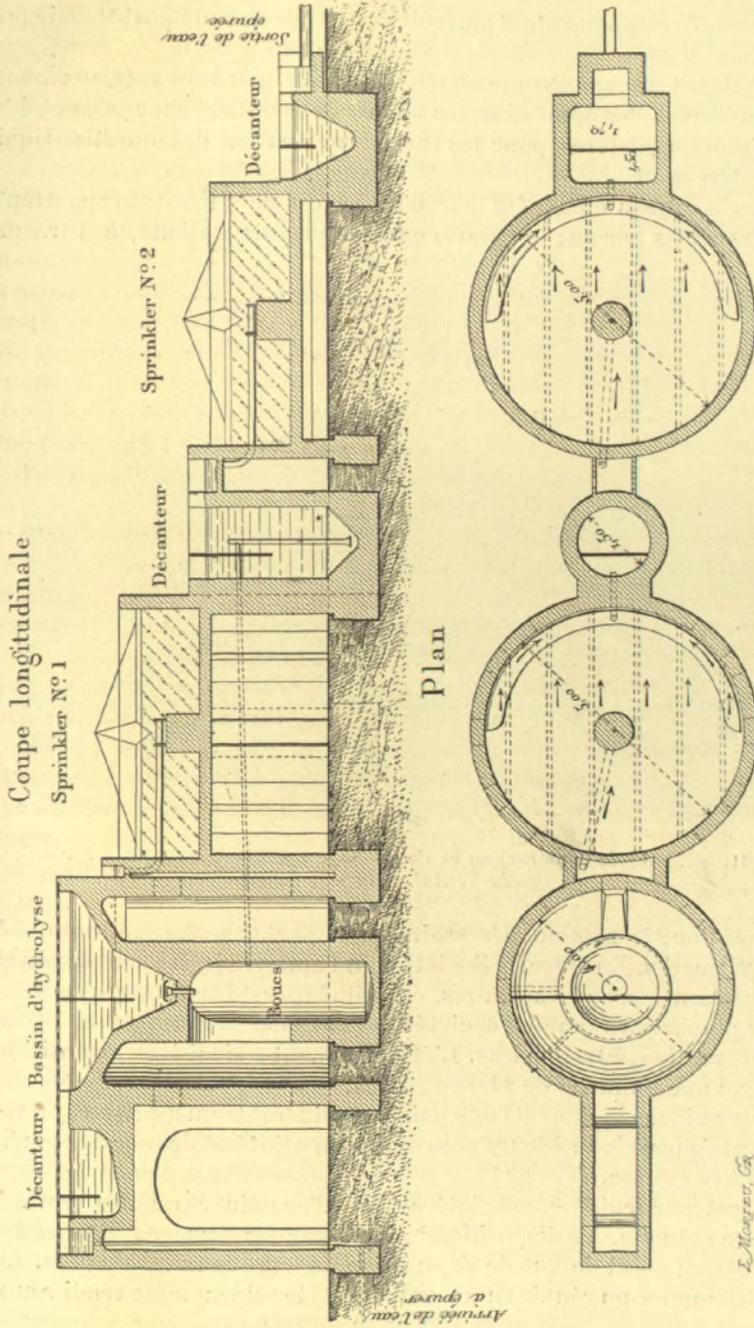


Fig. 40. — Schéma d'une installation d'épuration par sprinklers type Candy-Wittaker.

E. Monneret, G^r

gnements utiles aux autorités, aux communes et aux industries, avec tous les développements et perfectionnements que comporte la science du jour.

5° Il doit donner chaque année des séries de cours spéciaux pour les médecins des épidémies, les agents des ponts et chaussées et des différents ministères, pour les mettre au courant des questions qui les intéressent.

Les analyses effectuées par les services de l'Institut rapportent 70 000 marks par an ; le Gouvernement prussien ajoute, à titre de

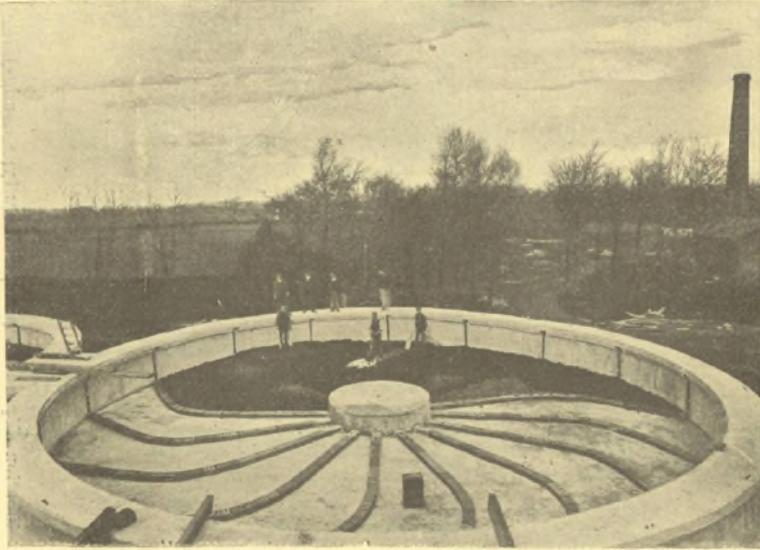


Fig. 41. — Mode de construction et de drainage des lits circulaires à *sprinklers* de *Candy-Wittaker* (type de *Chester*).

subvention, la somme nécessaire pour porter le budget annuel à 130 000 marks. En outre, la Société pour l'approvisionnement en eau et l'épuration des eaux résiduaires, constituée par soixante grandes villes et la plupart des grandes sociétés industrielles, donne par an, à titre de subvention, 50 000 marks. L'établissement a ainsi à sa disposition une somme annuelle de 225 000 francs.

Ces chiffres indiquent l'extension considérable qu'a prise cet Institut et fournit la meilleure preuve de son utilité et des services qu'il rend à la Prusse.

Il est particulièrement intéressant d'examiner quelles sont, à l'heure actuelle, les dispositions prises par les diverses villes allemandes au point de vue de l'épuration de leurs eaux résiduaires. Le Dr Salomon a pu réunir en un volume (1) les documents relatifs aux

(1) Die städtische Abwässerbeseitigung in Deutschland, Fischer, Iéna, 1906.

diverses installations des villes situées dans les bassins de la Meuse, du Rhin et du Danube. Il résulte de cette enquête que, sur 152 villes examinées, 69 font subir à leurs eaux un traitement d'épuration, et 84 les évacuent sans aucun traitement.

Épandage. — 8 villes : *Darmstadt, Dortmund, Enkirch, Freiburg-B, Laasphe, Mulhouse, Pfalzburg, Schweln.*

Épuration purement mécanique dans les bassins de décantation. — 34 villes : *Andernach, Bamberg, Barmen, Bernkastel, Bonn, Borbeck, Boltrop, Budingén, Cologne, Duisburg, Dusseldorf, Elberfeld, Erlangen, Eschweiler, Frankenthal, Frankfurt, Gelsenkirchen, Giessen, Godesberg, Grevenbroich, Herne, Lörrach, Mansheim, Marburg, München-Gladbach, Neuwied, Pfaffendorf, Rappénau, Saint-Johann, Süchteln, Trier, Viersen, Wiesbaden, Willich.*

Épuration par clarification mécanique ou chimique. — 6 villes : *Baden-Baden, Bochum, Essen, Hambourg, Soest-i.-W. Strasbourg.*

Épuration par les procédés biologiques. — 21 villes, se subdivisant ainsi :

a. **Sans fosses septiques et par procédés de contact.** — 11 villes : *Bertrich, Hagen, Hanau, Idstein, Königstein, Langenberg, Langendreer, Remscheid, Ruttenscheid, Siegburg, Thionville.*

b. **Sans fosses septiques et par procédés à percolation.** — 5 villes : *Ems, Huls, Kettwig, Königsfeld, Markkirch.*

c. **Avec fosses septiques et par procédés de contact.** — 2 villes : *Brühl, Witten.*

d. **Avec fosses septiques et par procédés à percolation.** — 3 villes : *Ludenscheid, Unna, Wilmersdorf.*

On voit, d'après ce qui existe dans les bassins de la Meuse, du Rhin et du Danube, qu'un certain nombre de villes allemandes ont aujourd'hui adopté les procédés biologiques. D'autre part, K. Imhoff, dans son étude sur l'épuration biologique en Allemagne (1), signale 17 autres villes qui ont adopté l'épuration biologique, et 19 petites installations d'asiles, de casernes, d'hôpitaux, pour l'épuration des eaux ménagères par les mêmes méthodes. Ces 17 villes sont : *Beuthen-in-Oberschlesien, Binz-auf-Rügen, Borsigwalde-bei-Berlin, Brieg, Brockau-bei-Breslau, Culmsee, Haynau-in-Schlesien, Homberg-bei-Cassel, Langensatz, Lötzen, Merseburg, Mulheim-ander-Rhur, Naumburg-an-der-Saale, Weissensee-bei-Berlin, Stargard-in-Pommern, Tempelhof-bei-Berlin, Wilhelmsburg-an-der-Elbe.*

Les stations d'épuration biologique allemandes les plus importantes sont celles d'*Ems*, de *Unna*, de *Stuttgart* et surtout celle de *Wilmersdorf*, faubourg de *Berlin*.

Wilmersdorf. — *Wilmersdorf* compte environ 200000 habitants. Il

(1) Die biologische Abwasserreinigung in Deutschland, Berlin, 1906.

n'a pas été possible de recourir à l'épandage pour l'épuration des eaux : les terrains font absolument défaut, et la ville a dû faire construire une canalisation de 18 kilomètres, qui a coûté 4 000 000 de marks, pour amener ses eaux à un endroit assez vaste pour y faire l'application des procédés biologiques. L'espace, à cette grande distance, était encore à peine suffisant pour épurer par épandage les eaux de 20 000 habitants, ce qui rendait cette méthode impraticable.

L'installation est faite pour 600 000 habitants, car on a prévu le cas où les faubourgs voisins viendraient se joindre à *Wilmersdorf*. Elle est capable de traiter 600 000 mètres cubes par vingt-quatre heures, et sa superficie totale, en y comprenant les chemins, les terrains pour l'égouttage des boues, etc., atteint 65 hectares, soit 1 hectare environ pour 9 000 habitants, tandis que la ville de Berlin utilise avec l'épandage 1 hectare environ pour 250 habitants. Le rapport des surfaces employées est donc de 1 p. 35.

L'installation a été précédée d'essais qui ont été effectués par la station royale d'études pour l'approvisionnement des villes en eau et pour l'épuration des eaux résiduaires à Berlin. La construction a été à peu près terminée en août 1906, et la mise en marche a eu lieu au commencement de septembre.

Le mode de travail adopté est le suivant : l'eau, envoyée par des pompes, passe d'abord dans des bassins de décantation, où elle abandonne ses dépôts ; puis elle va alimenter des lits percolateurs à *sprinklers* ; elle s'écoule alors vers d'autres bassins de dépôt, où elle achève de se débarrasser des matières entraînées ; puis elle est filtrée sur sable et évacuée.

Les bassins de dépôt sont au nombre de six, communiquant entre eux par des grilles et disposés de telle sorte que l'eau doit les parcourir tous les six avant d'être envoyée aux lits percolateurs. Ces bassins sont carrés ; leur profondeur est de 3 mètres, et leur volume total est égal à la moitié du volume d'eau journalier, soit par conséquent 0^m,5 par mètre cube d'eau à traiter chaque jour. Ils ont été disposés au-dessus des *sprinklers* et les alimentent ainsi directement par pente naturelle. On a prévu des dragues pour enlever les dépôts qui s'accumulent dans ces bassins. Ces boues sont étendues et abandonnées à la dessiccation sur des terrains avoisinants.

L'eau sortant des bassins de dépôt coule dans un bac-jauge qui alimente tous les *sprinklers* à la fois, quand le volume voulu est atteint. Cette opération se fait d'une manière très simple, au moyen d'une vanne de fond, équilibrée par un vaste seau placé au dehors. Tant que le seau est vide, la vanne reste fermée ; mais, quand le niveau atteint le point voulu dans le bac-jauge, le trop-plein se déverse dans le seau ; l'augmentation de poids du seau entraîne sa

descente et, par suite, l'ouverture de la vanne. Quand le volume d'eau voulu est évacué, un flotteur ouvre le clapet du fond du seau, qui se vide, remonte et referme ainsi la vanne du fond. Cette alimentation automatique se fait d'une façon tout à fait régulière.

Les lits bactériens, alimentés par des *sprinklers* rotatifs, sont actuellement au nombre de 55. Leur forme est tronconique, leur diamètre moyen est de 20 mètres, et leur hauteur de 2^m,50. Pour les 20000 mètres cubes que fournit actuellement *Wilmersdorf*, la surface totale des lits est d'environ 16000 mètres carrés et leur volume total de 40000 mètres cubes. On voit donc qu'on a prévu 2 mètres cubes de volume de lit par mètre cube d'eau à traiter par vingt-quatre heures, ce qui correspond à 1^m,25 d'eau à traiter par mètre carré de surface et par jour.

Les matériaux employés sont constitués par du coke en gros morceaux, dont les dimensions varient de la grosseur du poing à celle de la tête. Quelques lits sont cependant aménagés avec du granit ou avec des briques. A mi-hauteur des lits, on a placé, suivant des rayons du cercle de section horizontale, des tuyaux d'aération en poterie, de 20 centimètres de diamètre environ, percés de trous. La sole du lit est constituée par des nervures en ciment, hautes environ de 10 centimètres, larges de 15 centimètres et distantes de 10 centimètres les unes des autres. On obtient ainsi un drainage excellent et une aération parfaite. Autour se trouve une rigole pour l'évacuation des eaux.

Pour protéger les *sprinklers* contre l'action perturbatrice du vent, on les a placés, autant que possible, dans les points bas, abrités du côté du nord par une haute dune plantée de sapins. Le fonctionnement est ainsi très régulier.

L'eau qui a traversé les lits bactériens coule alors aux seconds bassins de dépôt, qui sont destinés à retenir les substances entraînées lors du passage de l'eau dans les lits. Ces bassins sont au nombre de six et identiques aux grands bassins de décantation; mais ils sont de dimensions beaucoup plus réduites, car l'eau y séjourne moins longtemps. Leur volume total correspond environ au quart du volume d'eau traité par vingt-quatre heures, soit environ un quart de mètre cube par mètre cube d'eau.

Après avoir parcouru ces six bassins, l'eau est évacuée sur un filtre à sable et s'écoule limpide vers la rivière.

Cette installation, qui se trouve à *Stahnsdorf*, près Berlin, a coûté environ 2000000 de marks pour les 200000 habitants de *Wilmersdorf*, soit environ 10 marks par tête d'habitant.

Amsterdam (Hollande). — La ville d'*Amsterdam* a établi un projet d'épuration biologique de ses eaux d'égout. L'installation est faite pour 150000 habitants, à raison de 300 litres par habitant et par jour, soit 45000 mètres cubes par vingt-quatre heures.

Les eaux sont d'abord envoyées par des pompes dans trois fosses septiques de 100 mètres de long et 50 mètres de large; leur profondeur est de 3^m,50 à l'entrée et de 2^m,50 à la sortie, de sorte que le volume total des trois fosses est de 49500 mètres cubes. On a prévu une vanne d'évacuation des boues.

L'eau séjourne vingt-quatre heures dans les fosses septiques, puis elle est distribuée sur dix-huit lits à percolation, carrés, de 50 mètres de côté et de 1^m,50 de hauteur, soit 1 mètre carré de surface par mètre cube d'eau. La répartition de l'eau à la surface des lits se fait au moyen d'une fine couche filtrante (*système Dunbar*). Ces couches ont 50 mètres de longueur, 2 mètres de largeur et 30 à 40 centimètres d'épaisseur, et elles sont disposées à intervalles de 1 mètre. On doit travailler en été par percolation, et en hiver par contact, et les lits sont à cet effet entourés de murs.

C. États-Unis d'Amérique. — Il n'est que juste de reconnaître que, si l'épuration biologique par lits de contact ou par lits percolateurs a pris, surtout en Angleterre, un développement considérable à la suite des travaux de Dibdin et de Cameron, c'est aux *États-Unis*, dans les résultats des expériences poursuivies depuis de longues années sur la filtration intermittente, à la station de *Lawrence (Massachusetts)*, que ces savants ont puisé leurs suggestions.

Si le nombre des villes américaines qui ont adopté l'épuration biologique artificielle n'est pas encore très élevé, cela tient surtout à ce que la plupart d'entre elles avaient déjà pris une avance considérable et s'étaient pourvues d'installations très satisfaisantes en appliquant les principes établis par Hiram Mills et ses collaborateurs.

Seules les villes de l'ouest, dont la population s'est accrue très vite au cours de ces dernières années et qui sont presque toutes construites dans des régions qui ne se prêtent ni à l'irrigation agricole ni à la filtration intermittente, ont été amenées à essayer et à adopter l'épuration biologique.

Nous nous bornerons à relater ici les essais très scientifiquement conduits qui ont été réalisés à *Columbus (Ohio)* et qui ont fait l'objet d'un excellent rapport de la part de George A. Johnson.

Columbus. — La ville de *Columbus* est située dans l'État d'*Ohio*, à environ 100 milles du lac *Érié*, au confluent du *Scioto* et de l'*Olentangy river*. Sa population est de 150 000 habitants.

Différents projets d'irrigation ou de filtration intermittente sur sable y furent successivement essayés, puis abandonnés à cause des difficultés locales d'exécution.

En 1901, M. Rudolph Hering, ingénieur-conseil, de *New-York*, proposa de construire des fosses septiques et des filtres à sable intermittents, établis avec le sable des rives du lac *Érié*.

Les fosses septiques devaient contenir le flot de douze heures, et

les filtres à sable devaient être construits pour travailler sur la base d'environ 2 500 mètres cubes par hectare ou 250 litres par mètre carré.

D'après ce projet, en période de hautes eaux, lorsque le sewage serait dilué au huitième, on l'évacuerait directement dans les rivières.

La question fut soumise à un referendum populaire à l'occasion des élections de novembre 1903, avec une proposition d'emprunt de 1 200 000 dollars (6 000 000 de francs). Le vote fut favorable. Dès lors on institua une station d'essai en vue d'expérimenter les divers systèmes de fosses septiques et de distributeurs.

Les *sprinklers* en particulier n'avaient jamais été éprouvés dans des conditions aussi sévères qu'à *Columbus*, au point de vue de la rigueur de la température pendant la saison froide.

On décida de consacrer d'abord 46 000 dollars (230 000 francs) à ces essais, qui portèrent sur :

- 7 fosses septiques rectangulaires, chacune de 600 mètres cubes de capacité;
- 2 filtres à coke, respectivement de 39 et 13 mètres carrés de surface;
- 4 lits de contact primaires et 2 secondaires;
- 5 filtres à *sprinklers*, en calcaire concassé;
- 21 filtres à sable de dispositions variées.

La station devait épurer 160 mètres cubes par jour, du 15 juin 1904 au 30 juin 1905.

Les spécimens de sewage brut furent d'abord recueillis à des intervalles de trente minutes pendant le jour, et on fit de fréquentes analyses de l'eau brute et de l'effluent de tous les systèmes expérimentés.

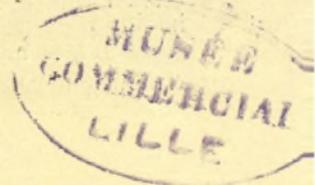
L'eau d'égout de *Columbus* renferme beaucoup de résidus industriels de toutes sortes et une proportion très élevée de matières en suspension. On peut en juger par les chiffres suivants :

Matières en suspension.	Par tête d'habitant, en grammes, par jour.	
	Totales.	Décomposables par la combustion au rouge.
Maxima.....	387	102
Minima.....	6	3
Moyenne.....	98	47

La proportion de matières en suspension s'élevait donc en moyenne à 39,5 par 1 000 habitants et par an.

Traitements préparatoires. — Ils comprennent l'emploi :

- De chambres à gravier;
- De bassins de sédimentation méthodique;
- De fosses septiques;



De bassins de précipitation chimique ;

De filtres à coke.

On trouva que 50 ou 60 p. 100 des matières en suspension contenues dans le sewage brut (5 à 6 grammes par litre) sont si fines qu'on ne peut pas les éliminer par les procédés qui précèdent. Elles doivent donc être enlevées par un traitement subséquent.

En ce qui concerne la sédimentation naturelle, on observa que 13 grammes environ par litre, soit 65 p. 100 des matières en suspension, peuvent se déposer dans les bassins capables de recevoir le flot moyen de quelques heures : un délai de quatre heures est très suffisant à cet effet. Lorsqu'on le prolonge, il ne se dépose pratiquement plus rien.

La sédimentation simple permet de séparer environ 1^{kg},44 de boues par mètre cube, évalué à l'état sec. Cette boue contient environ 87 p. 100 d'eau : 1 mètre cube en produit donc 12^{kg},528 à l'état frais.

La précipitation chimique par la chaux et le sulfate ferreux ou par le sulfate d'alumine fut essayée dans des bassins de sédimentation ayant une capacité égale au flot de huit heures. On trouva que, tandis que les coagulants produisaient une précipitation plus rapide des matières en suspension que la sédimentation simple, les particules fines pouvaient être éliminées dans une proportion plus grande, mais avec plus de difficultés et avec une dépense assez considérable de réactifs précipitants. Le volume de boues est tellement plus grand que, dans le cas de la sédimentation simple, il apparaît avec évidence que ce procédé, à cause des frais qu'il entraîne, ne peut pas être pris en considération.

Dans les bassins de sédimentation simple, on est obligé d'enlever la boue accumulée, au moins une fois chaque semaine, dès qu'elle commence à se putréfier et à dégager des gaz.

On a étudié les *fosses septiques* de capacités différentes, permettant de recevoir le flot pendant des temps variables de quatre à vingt-quatre heures. Celles qui gardent le liquide huit heures sont suffisantes en pratique pour permettre aux fermentations de s'accomplir. 50 p. 100 de la boue séparée du sewage brut y disparaît par liquéfaction et gazéification.

Les fosses septiques qui retiennent le flot de vingt-quatre heures n'accroissent pas très sensiblement le volume des boues dissoutes et, d'autre part, leur effluent ne s'épure pas avec plus de difficultés, malgré cette fermentation prolongée.

Aucune odeur offensive n'est perceptible autour des fosses septiques, et la boue déposée, lorsqu'on l'enlève, est remarquablement inodore.

Les *filtres à coke* sont à rejeter, car ils obligent à enlever environ 1 mètre cube de coke colmaté par 1 000 mètres cubes d'eau traitée.

L'élimination des graisses par les filtres à coke fut d'environ 77 p. 100 ; par les bassins de sédimentation, elle n'était que de 53 p. 100.

Question des boues. — Il est toujours possible de déposer les boues sur le sol autour des bassins. Celles des fosses septiques présentent l'avantage considérable d'être beaucoup moins abondantes qu'avec les autres procédés. Elles peuvent en outre être évacuées dans les rivières aux époques de hautes eaux, parce qu'elles ne sont pas putrescibles. Rien n'empêche dès lors de prévoir la construction de bassins capables d'accumuler les boues produites en huit mois ou davantage, et de les vider en une seule ou en deux périodes par an, dès qu'elles peuvent être diluées dans 800 volumes d'eau de rivière.

Un autre avantage des fosses septiques est que la conservation des boues pendant un si long temps amène la mort de la plupart des germes pathogènes. Au point de vue hygiénique, cet avantage est capital, et aucun procédé de sédimentation ne le possède.

Avec la dilution dans 800 parties d'eau de rivière, la quantité de matière organique que renferme l'eau de la rivière en aval du point d'évacuation est moindre que celle que renferme la même rivière à l'époque des basses eaux, lorsqu'elle reçoit seulement le sewage épuré par les lits bactériens.

L'évacuation de cette boue fermentée est infiniment moins nocive que la décharge en temps d'orage du flot d'eau d'égout brut qui peut contenir un nombre considérable de germes virulents.

Procédés de filtration. — Les procédés d'épuration finale susceptibles de donner des résultats pratiques sont :

1° Les filtres à sable intermittents, dont M. *Hering* a proposé l'adoption en 1901 ;

2° Les lits de contact et les filtres à sprinklers, qui n'ont jamais été employés dans les régions du nord de l'Amérique, où les hivers sont rigoureux.

Les *filtres à sable intermittents* se composent d'une couche de 0^m,90 à 1^m,50 de sable poreux provenant des rives du lac *Érié*.

On peut leur distribuer chaque jour une dose de sewage de 0^m,10 à 0^m,30 d'épaisseur. Le fond du filtre est drainé et les pores s'aèrent pendant les intervalles qui séparent les immersions.

Les *lits de contact* sont formés d'aires de cailloux brisés ou de coke en couches de 2 à 50 millimètres de diamètre sur 0^m,90 à 1^m,50 de profondeur. Ils fonctionnent par remplissage avec sewage et évacuation après des temps variables de contact, de une à trois fois par jour.

Les *filtres sprinklers*, de 0^m,90 à 1^m,50 de profondeur également, formés de cailloux brisés, reçoivent le sewage en *spray*, soit par les tourniquets hydrauliques, soit par les jets fixes. Les derniers seuls peuvent fonctionner par les temps froids. Il s'accumule bien un peu

de glace à la surface des filtres, mais les expériences ont prouvé qu'il n'en résulte aucun dommage sérieux.

Le choix des différents types de filtres doit varier beaucoup suivant la perfection avec laquelle les matières en suspension sont éliminées par le traitement préparatoire.

Les lits de contact se sont montrés nettement inférieurs aux lits à *sprinklers*, tant au point de vue du degré d'épuration obtenu qu'à celui du volume d'eau traitée avec de bons résultats sur une même surface.

Avec l'eau d'égout distribuée au moyen des becs pulvérisateurs fixes sur des filtres de pierres concassées, de 1^m,50 de profondeur, la projection du sewage se faisant à environ 1^m,20 au-dessus de la surface du lit, on a trouvé parfaitement possible d'obtenir un effluent imputrescible avec un débit d'environ 2^m^e,27 par mètre carré et par jour.

L'effluent des fosses septiques s'est comporté aussi bien, mais pas mieux que celui des bassins de sédimentation simple. Et, bien que les odeurs soient perceptibles et désagréables près des becs, on ne sentait plus rien à une distance supérieure à 300 mètres.

Malgré que l'eau épurée ne soit plus putrescible, elle restait plus ou moins louche, et cela est dû à ce que des particules détachées à intervalles irréguliers des matériaux filtrants s'échappent en forme de filaments ou *films*. On doit chercher à éliminer par sédimentation la plus grande quantité possible de ces particules. Cela est facile en recueillant l'eau dans les bassins qui lui permettent de stagner pendant environ deux heures.

Conclusions. — Dans les conditions locales de *Columbus*, le procédé de choix consiste :

1° A traiter l'eau d'égout dans des fosses septiques de capacité telle que le flot de huit heures y soit capté et soumis à la fermentation septique;

2° A purifier l'effluent des fosses septiques par des lits bactériens à becs pulvérisateurs, au taux net de 2227 litres par mètre carré et par jour;

3° A clarifier finalement l'effluent en faisant séjourner l'eau épurée dans des bassins capables de retenir le flot de deux heures.

Ce procédé produit un effluent imputrescible, parfaitement satisfaisant, et dans lequel 90 p. 100 des bactéries présentes dans l'eau d'égout brute sont éliminées.

D'autres villes américaines ont adopté récemment l'épuration biologique artificielle. Les plus importantes sont : *Baltimore*, qui va traiter par ce système 340000 mètres cubes d'eau d'égout par jour ; *Newton (New-Jersey)* et *Reading (Pensylvanie)*.

XXIII. — TRAITEMENT DES EAUX RÉSIDUAIRES INDUSTRIELLES.

Les industries dont les eaux résiduaires sont une importante cause de pollution pour les fleuves, rivières ou canaux, peuvent être rangées en deux catégories :

1° Celles qui mettent en œuvre des matières premières de nature organique ;

2° Celles qui portent sur le travail des produits chimiques, minéraux ou des métaux.

Les premières comprennent la *sucrierie*, l'*amidonnerie*, la *féculerie*, la *distillerie* et les *diverses industries de fermentation*, la *tannerie*, les *industries textiles*, les *fabriques de pâtes de bois*, les *papeteries*, les *teintureries*, les *peignages de laines*, les *fabriques de produits alimentaires*, la *laiterie*, les *abattoirs*, etc.

Elles sont de beaucoup les plus nombreuses, et l'extrême putrescibilité de leurs résidus les rend particulièrement redoutables.

Les secondes (*forges et fondries*, *mines de houille et de fer*, *salines*, *usines à gaz*, *fabriques de produits chimiques minéraux*, *galvanoplastie*, *chaudronneries*, *blanchisseries*, etc.), empoisonnent les eaux par leurs déversements de substances toxiques pour les êtres vivants, poissons ou plantes.

Les industries de la première catégorie éprouvent les plus grandes difficultés à rendre imputrescibles leurs résidus de nature organique.

Il n'existe pas de procédé *passé-partout* qui leur soit applicable. Pour chacune d'elles, une étude spéciale s'impose pour déterminer leur composition chimique moyenne, leur volume, les effets de la décantation, des fermentations anaérobies et aérobies ou des divers réactifs chimiques sur les matières en suspension et sur les matières dissoutes qu'elles contiennent.

Beaucoup d'entre elles, principalement les *sucrieries*, *amidonneries*, *distilleries*, *brasseries*, *tanneries*, *laiteries*, peuvent avantageusement utiliser l'épandage sur le sol nu ou cultivé ou l'épuration biologique artificielle, soit seule, soit précédée d'une précipitation chimique.

Quant aux *industries métallurgiques* ou *minérales*, leurs eaux résiduaires sont à peu près exclusivement justifiables de traitements chimiques.

Il ne saurait entrer dans le cadre de cet ouvrage d'étudier ce grave problème avec les développements qu'il comporte. Nous devons donc nous borner à indiquer les conditions légales qui régissent, dans les grandes nations civilisées, les déversements industriels dans les cours d'eau.

Mais il arrive que certaines villes, par exemple *Roubaix*, *Tourcoing*

en France, *Verviers* en Belgique, *Bradford* en Angleterre, où se trouvent concentrées des industries telles que celle du lavage et du peignage des laines, éprouvent de grandes difficultés à épurer convenablement leurs eaux d'égout, parce que les eaux résiduaires d'usines, chargées d'une énorme proportion de savons et de matières grasses, viennent s'y mélanger.

Dans de tels cas, la solution du problème ne peut être obtenue que par des procédés mixtes permettant de séparer tout d'abord les matières grasses et les savons à l'aide de réactifs chimiques appropriés, et de minéraliser ensuite soit par épandage, soit par lits bactériens, les matières organiques en solution dans les eaux d'égout.

Voici, à titre d'exemple, la composition des eaux résiduaires de *Tourcoing*, actuellement évacuées sans épuration dans le ruisseau *l'Espierre*, qui se jette dans *l'Escaut*, en Belgique :

	Milligrammes par litre.
Extrait sec.....	827,450
Résidu fixe.....	3,225
Perte par calcination au rouge.....	5,225
Couleur.....	Brunâtre.
Odeur.....	Très forte (de suint).
Réaction.....	Acide.
Ammoniaque.....	61
Azote organique.....	155
Matières grasses.....	1,930
— en suspension organiques.....	1,504
— — minérales.....	1,819

Ces matières en suspension contiennent :

Matières grasses.....	17,6 p. 100.
Azote.....	2,0 —

Pour les deux villes de *Roubaix* et *Tourcoing*, la solution qui s'imposera tôt ou tard consiste à recueillir les eaux de peignage de laines dans une canalisation séparée pour les conduire à une usine d'épuration chimique dont l'effluent, après séparation des graisses et des dépôts, serait ensuite rejeté dans l'égout collecteur des eaux-vannes urbaines.

Ces dernières, ne contenant dès lors plus que les graisses ménagères, présenteraient une composition à peu près identique à celle des localités de même importance, et l'on n'éprouverait aucune difficulté à les épurer par les procédés biologiques usuels.

Non seulement cette solution est la seule qui, en l'état actuel de nos connaissances, permette d'éviter l'extrême pollution de *l'Espierre*, mais elle est certainement la plus économique, puisque le traitement chimique, toujours très onéreux, ne porterait plus que sur un volume de 15 000 mètres cubes par jour au maximum, alors que le débit total de l'égout unique est de 70 000 mètres cubes en moyenne.

On peut ajouter qu'elle est également la plus équitable, car il est logique d'admettre que les 20 000 habitants des deux villes ne doivent pas payer les frais d'épuration des eaux résiduaires de quelques usines, alors que cette épuration entraîne des frais particulièrement élevés. Il serait juste que la population entière supporte la part de dépenses qui résulte du traitement des eaux-vannes communes, et que les industriels prissent à leur charge celle qu'entraîne la séparation chimique des graisses et des boues de nature spéciale que les usines évacuent actuellement à l'égout unique, interurbain.

Il est, d'ailleurs, très probable que la précipitation chimique ne portant que sur un volume d'eaux résiduaires relativement restreint (15 000 mètres cubes par jour au maximum) et extrêmement riche en suint de mouton, permettrait de récupérer sous forme de graisses commercialement utilisables (au moins comme combustible) une proportion importante de matières grasses. La valeur de celles-ci venant en déduction des frais de traitement rendrait l'épuration moins onéreuse.

Certaines villes industrielles, dans lesquelles le travail de la laine est très développé, doivent évacuer des volumes parfois énormes d'eaux contenant une si forte proportion de matières grasses qu'elles ne peuvent être traitées par les procédés biologiques. Ainsi les eaux d'égout de *Bradford (Angleterre)* contiennent 630 grammes de matières grasses par mètre cube; les eaux de l'*Espierre (Roubaix-Tourcoing)*, de 500 à 1 000 grammes; il en est de même pour les eaux de *Verviers (Belgique)*.

De très nombreux procédés ont été proposés pour l'épuration de ces eaux grasses (procédés chimiques basés sur l'emploi de réactifs précipitants), mais ils produisent des quantités considérables de boues inutilisables comme engrais. On a bien essayé d'en retirer les graisses, mais les modes opératoires proposés n'ont jamais donné les résultats qu'on en espérait.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, la méthode la plus rationnelle d'utilisation de ces boues semble être la combustion. En effet, desséchées convenablement, elles peuvent contenir près de la moitié de leur poids en matières grasses éminemment combustibles. Des essais entrepris dans ce sens, à Roubaix et à Bradford, ont donné des résultats très encourageants.

La précipitation des eaux de peignage par l'eau de chaux permet d'obtenir un effluent limpide ne contenant pas de matières en suspension, pourvu que l'eau de chaux ajoutée soit en proportion convenable et que le mélange soit intime. L'addition d'une certaine quantité de tourbe ou de lignite, comme on le fait à *Kæpenick*, près de Berlin, ou encore de charbon maigre en poussière, favorise la décantation et produit une rapide décoloration de l'eau. Pour rendre

transportables les boues obtenues par précipitation par la chaux seule, on a généralement fait usage de filtres-presses, dont l'emploi est très coûteux par suite de l'usure rapide des toiles; la précipitation avec addition de charbon a l'avantage de donner des boues qui s'égouttent plus facilement et n'exigent pas d'être filtrées.

À *Yorkshire* (*Angleterre*), les eaux de lavage des laines sont d'abord concentrées par évaporation, puis traitées par des appareils centrifuges qui agissent comme les écrémeuses sur le lait. On obtient ainsi trois couches : une de boues, qui n'est pas utilisée; une solution concentrée de savon de potasse, qui est calcinée et transformée en carbonate de potasse; enfin une couche de *lanoline* brute, marchande.

Ces méthodes ne sont évidemment pas applicables aux villes dont les eaux ne renferment qu'une quantité faible de matières grasses, mais elles présentent un grand intérêt pour celles, comme *Roubaix-Tourcoing*, *Fourmies* en France, *Verviers* en Belgique, *Bradford* en Angleterre, etc., où il existe un grand nombre d'usines où l'on traite les laines.

La société pour l'utilisation des résidus des villes à *Francfort-sur-le-Mein* (*Frankfurter Gesellschaft für Verwertung städtischer Abfälle*) a imaginé pour la séparation des graisses un appareil absolument analogue à l'appareil *Kremer*, que nous avons décrit en détail à propos de la séparation des matières en suspension dans les eaux d'égout, et qui est aujourd'hui employé avec avantage par plusieurs stations d'épuration urbaines (*Manchester* entre autres), ainsi que par beaucoup de blanchisseries privées.

On ne connaît pas encore bien les transformations que subissent les graisses sous l'influence des fermentations anaérobies et aérobies dans les processus d'épuration biologique. D'après *Rideal*, l'ammoniaque qui se forme en abondance dans les fosses séptiques favoriserait leur émulsion, et *Bechold* a constaté que les microorganismes les détruisent dans les boues de sédimentation putréfiées, surtout à l'abri de la lumière. Les moisissures qui se développent très activement sur le chapeau des fosses contribuent aussi, dans une large mesure, à les décomposer.

Aux dépens de la graisse, il se forme de la glycérine et des acides gras. La glycérine, soluble dans l'eau, sert d'aliment aux microbes, et les acides gras se combinent en partie aux alcalis libres pour former des savons qui sont décomposés à leur tour.

J. Lacombe a cherché à déterminer le sort des graisses sur les supports d'oxydation. Il est arrivé à conclure que leur désintégration s'effectue à peu près complètement sous l'influence des actions microbiennes, à moins qu'elles ne soient trop abondantes, auquel cas leur arrêt mécanique dans les pores des matériaux amène un rapide colmatage des lits bactériens. D'où la nécessité de les séparer autant

que possible avant l'entrée des eaux d'égout en fosses septiques par des procédés mécaniques ou par l'emploi de l'appareil *Kremer*.

XXIV. — *LÉGISLATION RELATIVE A LA PROTECTION DES COURS D'EAU.*

En France, jusqu'à la promulgation de la loi du 15 février 1902 sur l'hygiène publique, la protection des cours d'eau n'était rendue possible que par l'article 25 de la loi du 15 avril 1829 interdisant de *jeter dans les eaux des drogues ou appâts de nature à enivrer le poisson ou le détruire*. Cet article n'avait évidemment en vue que la protection du poisson ; mais les arrêtés préfectoraux qui s'appuyaient sur lui pour interdire les déversements aboutissaient par ricochet à sauvegarder la santé publique. Malheureusement ces arrêtés ne pouvaient viser que les déversements industriels et non ceux des eaux d'égout des villes, pourtant beaucoup plus généralement nocives.

La loi du 15 février 1902 a comblé cette grave lacune. Son *article 1^{er}* impose aux maires l'obligation de prendre un arrêté municipal contenant un règlement sanitaire et, parmi les prescriptions que doit renfermer ce règlement, sont stipulées celles relatives à l'alimentation en eau potable et à l'évacuation des eaux usées.

En outre, par son *article 9*, elle dispose qu'au cas où, pendant trois années consécutives, le nombre des décès dans une commune a dépassé le chiffre de la mortalité moyenne de la France, le préfet est tenu de faire procéder par le Conseil départemental d'hygiène à une enquête sur les conditions sanitaires de cette commune.

Si cette enquête établit la nécessité des travaux d'assainissement, notamment si la commune n'est pas pourvue suffisamment d'eau potable de bonne qualité ou si les eaux usées y restent stagnantes, ou si elles polluent les nappes souterraines qui alimentent les puits, le préfet, après une mise en demeure à la commune restée sans effet, invite le Conseil départemental d'hygiène à délibérer sur la nature des travaux qu'il juge nécessaire.

En cas d'avis de ce conseil contraire à l'exécution de travaux, ou de réclamations de la commune, le préfet transmet la délibération au ministre de l'Intérieur, qui peut saisir le Conseil supérieur d'hygiène publique.

Sur l'avis du Conseil départemental et, s'il y a lieu, du Conseil supérieur, le préfet met la commune en demeure de dresser le projet des travaux et d'y procéder. Si le Conseil municipal ne s'est pas, dans le mois, engagé à déférer à cette mise en demeure, ou n'a pris, dans les trois mois, aucune mesure en vue de l'exécution de ces travaux, ceux-ci sont ordonnés par un décret du Président de la République, rendu en Conseil d'Etat, qui en détermine les conditions

d'exécution. Mais la dépense ne peut être mise à la charge de la commune que par une loi, et l'on prévoit la participation du département à cette dépense, bien entendu avec le consentement du *Conseil général*.

D'autre part, pour les villes de 20 000 habitants au moins, le chapitre II concernant les mesures relatives aux immeubles remplace les prescriptions de la loi du 13 avril 1850 sur les logements insalubres et permet d'imposer à toutes les maisons des villes pourvues d'un réseau complet d'égouts la suppression des fosses fixes à vidange et l'établissement d'une conduite particulière servant à évacuer dans l'égout public les matières solides et liquides des cabinets d'aisances, les eaux ménagères, etc.

Enfin le *titre IV* édicte les pénalités qu'encourent les contrevenants. Il déclare notamment passible du maximum des peines de simple police le fait de laisser introduire des matières excrémentielles ou autres susceptibles de polluer les eaux dans celles servant à l'alimentation publique. Mais il ne prononce aucune peine contre le déversement de ces substances dans les eaux courantes non affectées à l'alimentation publique. Il en résulte que le fait de déverser des matières fécales et résidus putrescibles dans les cours d'eau, malgré la défense qui en serait faite par un règlement sanitaire municipal ou préfectoral, ne ferait encourir à son auteur que l'amende de 1 à 5 francs, dont l'article 471 du Code pénal punit la contravention aux règlements de l'autorité administrative.

Aussi le *ministère de l'Agriculture*, dont le service hydraulique est plus particulièrement chargé de la surveillance et de la protection des cours d'eau, a-t-il pris l'initiative d'élaborer un nouveau texte de loi dont la promulgation est, sans aucun doute, très prochaine et qui a fait l'objet d'une étude très approfondie de la part d'une Commission spéciale comprenant à la fois des industriels, des hygiénistes et des délégués de tous les services intéressés.

Nous croyons utile d'en reproduire ci-après le texte :

Projet de loi pour la conservation des eaux qui ne font pas partie du domaine public.

TITRE PREMIER.

Cours d'eau non navigables ni flottables.

CHAPITRE PREMIER. — DISPOSITIONS GÉNÉRALES. — ARTICLE PREMIER. — Il est interdit de jeter, déverser ou laisser écouler soit directement, soit indirectement dans les cours d'eau aucune matière susceptible de nuire :

A l'écoulement des eaux ;

A la salubrité ;

A l'utilisation des eaux pour l'alimentation des hommes ou des animaux,

pour les besoins domestiques, pour les emplois agricoles ou industriels ;
A la vie des poissons.

ART. 2. — Un arrêté du ministre de l'Agriculture fixera les conditions que les jets, déversements ou écoulements devront remplir aux points de vue organoleptique, physique, chimique et bactériologique.

Le simple fait qu'un jet, déversement ou écoulement ne remplit pas les conditions ainsi fixées, constituera un délit, sans qu'il y ait lieu de rechercher quelles en ont été les conséquences.

CHAPITRE II. — DÉVERSEMENTS DES RÉSIDUS INDUSTRIELS. — ART. 3. — Un arrêté du ministre de l'Agriculture, pris après accord avec le ministre du Commerce et de l'Industrie, fixera les industries qui ne pourront déverser directement ou indirectement leurs résidus dans les cours d'eau qu'après leur avoir fait subir une épuration efficace.

Les dispositions à prendre pour l'épuration seront proposées par l'industriel et devront être reconnues acceptables par un arrêté du préfet rendu dans le délai d'un an sur le rapport du Service hydraulique.

Les déversements effectués sans épuration préalable ou en ne se conformant pas aux dispositions acceptées par le préfet seront assimilées aux délits prévus par les articles 1 et 2.

Le préfet pourra toujours prescrire la revision des dispositions agréées par lui pour l'épuration, si les déversements ne remplissent pas les conditions imposées à l'article 2.

ART. 4. — Les résidus industriels dont les déversements dans les cours d'eau sont interdits pourront être admis, sous réserve de l'autorisation de l'autorité compétente, dans les égouts autorisés, comme il est prévu au chapitre III.

Toutefois, un arrêté du préfet sur le rapport du Service hydraulique pourra interdire l'admission dans les égouts de certains résidus industriels ou la subordonner à certaines conditions.

ART. 5. — Un arrêté du ministre de l'Agriculture fixera les sections de cours d'eau où les déversements de résidus industriels pourront être effectués, bien que ne remplissant pas les conditions imposées à l'article 2, sous la réserve d'avoir subi une épuration préalable, comme il est prévu à l'article 3.

Cette tolérance pourra toujours être retirée par un arrêté du ministre de l'Agriculture, mais les industries qui en bénéficieraient disposeront, pour se conformer aux conditions imposées à l'article 2, d'un délai qui sera fixé par le préfet sur le rapport du Service hydraulique, sans pouvoir être inférieur à deux ans ni supérieur à quatre ans.

Les irrigations au moyen des eaux résiduaires d'industrie bénéficieront de la servitude d'aqueduc, telle qu'elle est réglée par la loi du 29 avril 1845.

Les propriétaires des fonds traversés pourront toujours exiger que les eaux soient renfermées dans des tuyaux ou des aqueducs souterrains.

Lorsque la pollution d'un cours d'eau par les résidus d'un établissement industriel, rentrant dans la catégorie définie à l'article 3, ne pourra disparaître que par des travaux s'étendant en dehors de l'immeuble d'où ils proviennent, la commune pourra exproprier, pour le compte des propriétaires de l'établissement, après l'accomplissement des formalités prescrites par la loi

du 3 mai 1844, les propriétés indispensables à l'exécution des travaux. Toutefois, ne pourront être compris dans cette expropriation les maisons, cours, jardins, parcs et enclos attenants aux habitations.

CHAPITRE III. — DÉVERSEMENTS D'EAUX USÉES PROVENANT DES COMMUNES. —

ART. 7. — Les déversements d'eaux usées provenant des agglomérations communales ne pourront être effectués directement ou indirectement dans les cours d'eau que s'ils remplissent les conditions imposées à l'article 2, paragraphe 1^{er}.

Les dispositions à prendre à cet effet seront proposées par la commune et devront être fixées par le préfet sur le rapport du Service hydraulique.

Si les égouts sont destinés à recevoir des matières provenant des fosses d'aisances, l'arrêté du préfet devra être approuvé par le ministre de l'Agriculture.

ART. 8. — Faute par les communes de se conformer aux dispositions fixées par le préfet, il y sera pourvu, après une mise en demeure sans résultat, d'office et à leurs frais. Les mesures nécessaires seront ordonnées par un décret rendu sur les propositions des ministres de l'Agriculture et de l'Intérieur.

ART. 9. — Les communes pourront se constituer en syndicats dans les conditions prévues par la loi du 22 mars 1890, pour l'usage commun d'égouts et de travaux destinés à l'épuration des eaux usées.

ART. 10. — Les projets relatifs à l'épuration des eaux d'égouts par le sol ou par tout autre procédé pourront faire l'objet de déclarations d'utilité publique autorisant le département ou les communes ou les syndicats de communes, propriétaires des égouts, à exproprier les terrains nécessaires pour assurer l'épuration des eaux.

Si l'épuration doit être effectuée par le sol, ne pourront être compris dans l'expropriation des maisons, cours, jardins, parcs et enclos attenants aux habitations, si mieux n'aime leur propriétaire requérir l'expropriation dans le cas où l'immeuble se trouverait enclavé dans les champs d'épuration. Cette exception sera étendue à une zone attenante à ces immeubles et dont les limites seront déterminées dans chaque cas par l'acte portant déclaration d'utilité publique.

Les habitants et les propriétaires des communes où seront établis les travaux et ceux des communes dans l'intérêt desquelles ces travaux seront exécutés ne pourront être appelés à faire partie du jury spécial d'expropriation, qui statuera sur les indemnités à allouer.

ART. 11. — Lorsque les égouts d'une commune traverseront le territoire d'autres communes pour atteindre le lieu de l'épuration ou le cours d'eau où l'effluent est déversé, ces dernières pourront déverser leurs eaux usées dans l'égout établi sous leur sol, à la condition de contribuer, proportionnellement à l'usage qui sera fait par elles de cet ouvrage, aux frais d'établissement et d'entretien des égouts et à ceux des procédés d'épuration.

En cas de désaccord sur la part contributive de chaque commune, le Conseil de préfecture statuera, sauf recours au Conseil d'État.

Lorsqu'il s'agira d'égouts à construire, les communes devront déclarer leur intention d'en faire usage, au moment des enquêtes préalables à la déclaration d'utilité publique. Elles ne pourront faire usage des égouts existants que si les dimensions de ces égouts permettent de recevoir leurs eaux.

TITRE II.

Eaux souterraines.

ART. 12. — Un arrêté du préfet sur le rapport du Service hydraulique pourra soit interdire l'évacuation, le déversement direct ou indirect, à la surface ou dans le sol, dans des puits perdus, dans des excavations naturelles ou artificielles, des matières qui contamineraient les eaux souterraines ou compromettraient leur utilisation, soit subordonner leur maintien à certaines conditions.

ART. 13. — Un arrêté du ministre de l'Agriculture fixera les matières qui ne pourront être évacuées, déversées directement ou indirectement, soit à la surface, soit dans le sol, soit dans des puits perdus, soit dans des excavations naturelles ou artificielles, qu'après que des dispositions convenables auront été prises pour ne pas contaminer les eaux souterraines et ne pas compromettre leur utilisation.

Ces dispositions seront proposées par l'intéressé et devront être reconnues acceptables par un arrêté du préfet rendu dans le délai d'un an sur le rapport du Service hydraulique.

Le simple fait qu'une évacuation ou un déversement de matières rentrant dans la catégorie définie au premier paragraphe a été effectué sans autorisation ou en ne se conformant pas aux dispositions acceptées par le préfet, constituera un délit, sans qu'il y ait lieu de rechercher quelles en ont été les conséquences.

L'arrêté du ministre de l'Agriculture visé au présent article devra être pris d'accord avec le ministre du Commerce et de l'Industrie en ce qui concerne les résidus industriels et les produits industriels en dépôt ou en travail.

ART. 14. — Les opérations d'épuration par le sol des eaux usées provenant des communes ne pourront être effectuées qu'à la condition de ne pas contaminer les eaux souterraines et de ne pas compromettre leur utilisation.

Les dispositions à prendre à cet effet seront proposées par les communes et fixées par un arrêté du préfet sur le rapport du Service hydraulique. Cet arrêté devra être approuvé par le ministre de l'Agriculture.

Faute par les communes de se conformer aux dispositions fixées, il y sera pourvu d'office à leurs frais, comme il est prévu à l'article 8.

TITRE III.

Commissions de conservation des eaux.

ART. 15. — Il sera institué, auprès de la Direction de l'hydraulique et des améliorations agricoles, une Commission supérieure de conservation des eaux, dont les membres seront nommés par le ministre de l'Agriculture.

Cette Commission comprendra deux membres de la Commission de l'hydraulique et des améliorations agricoles, deux membres du Conseil supérieur d'hygiène publique de France, deux membres du Comité consultatif des Arts et Manufactures, le directeur de l'Hydraulique et des Améliorations agricoles, des inspecteurs généraux ou ingénieurs du Service hydraulique, des inspecteurs ou ingénieurs du Service des Améliorations agricoles, des représentants des diverses administrations intéressées, des géologues,

des chimistes, des industriels, des agriculteurs, des représentants de communes, de syndicats de pêcheurs et de pisciculteurs.

Le nombre des industriels dans la Commission devra toujours être le tiers du nombre total de ses membres.

Un laboratoire sera créé auprès de la Commission pour effectuer les recherches nécessaires à son fonctionnement et pour procéder à l'expérimentation des systèmes d'épuration ainsi qu'à des études en vue de leur amélioration.

ART. 16. — Il sera institué dans chaque département une Commission de conservation des eaux, dont les membres seront nommés par le Préfet.

Cette Commission comprendra l'ingénieur en chef du Service hydraulique, deux membres désignés par le Conseil général, deux membres du Conseil départemental d'hygiène, des représentants du Service hydraulique et des diverses administrations intéressées, des géologues, des chimistes, des industriels, des agriculteurs, des représentants de communes, de syndicats de pêcheurs et de pisciculteurs.

Le nombre des industriels dans la Commission devra toujours être le tiers du nombre total de ses membres.

ART. 17. — Les arrêtés du ministre de l'Agriculture, prévus aux articles 2, 3, 5, 13, devront être pris après avis de la Commission supérieure de conservation des eaux.

Les arrêtés du Préfet prévus aux articles 3, 4, 7, 12, 13, 14 devront être pris après avis de la Commission départementale de conservation des eaux.

Lorsqu'un arrêté du Préfet, pris par application des articles précédents, fera l'objet d'un recours au ministre, il sera statué après avis de la Commission supérieure de conservation des eaux.

TITRE IV.

Pénalités et constatations des délits.

ART. 18. — Les infractions aux articles 1, 2, 3 et 13 de la présente loi, aux arrêtés préfectoraux pris en vertu des articles 3, 4, 12 et 13, aux règlements d'administration publique prévus à l'article 22 seront punies par les tribunaux correctionnels d'une amende de 50 à 100 francs. En cas de récidive, cette amende sera portée de 100 à 2000 francs.

Sera considéré comme étant en état de récidive quiconque, ayant été condamné par application de la présente loi, aura, dans les cinq ans qui suivront la date à laquelle cette condamnation sera devenue définitive, commis un nouveau délit tombant sous l'application de la présente loi.

En cas de pluralité des délits, l'amende sera appliquée autant de fois qu'il aura été relevé d'infractions.

Les tribunaux correctionnels pourront appliquer, pour la première condamnation, les dispositions de l'article 463 du Code pénal, sans que l'amende puisse être inférieure à 16 francs.

Le sursis à l'exécution des peines d'amende édictées par le présent article ne pourra être prononcé en vertu de la loi du 26 mars 1891.

Lorsqu'il s'agira d'un déversement ou d'une évacuation de résidus industriels, les chefs de l'industrie, gérants, administrateurs ou directeurs pour-

ront être rendus pénalement responsables des délits commis par leurs ouvriers ou leurs employés.

Dans tous les cas, les maîtres de l'entreprise (particuliers ou sociétés) seront civilement responsables des condamnations prononcées contre les ouvriers, employés, gérants, administrateurs ou directeurs.

Le jugement devra toujours imposer au maître de l'entreprise l'obligation de prendre, dans les conditions prévues aux articles 3 ou 13, les dispositions nécessaires pour sauvegarder le cours d'eau ou les eaux souterraines et lui impartir un délai pour leur mise en fonctionnement, sous peine, pour chaque jour de retard, d'une astreinte pénale qui sera fixée entre 5 francs et 100 francs par jour, suivant l'importance de l'établissement, et qui ne devra en aucun cas se confondre avec les amendes prévues aux paragraphes précédents.

Le préfet devra accuser réception des propositions qui seront faites par le maître de l'entreprise en ce qui concerne l'épuration et lui notifier dans un délai de six mois s'il les reconnaît ou non acceptables.

ART. 19. — Les procès-verbaux constatant les infractions commises seront dressés par les agents du Service hydraulique commissionnés à cet effet par le ministre de l'Agriculture, soit sur leur initiative, soit sur la plainte des intéressés.

La constatation nécessaire pour réprimer les infractions commises aux articles 3, 5, 12, 13 pourra être faite, indépendamment des agents du Service hydraulique, par des agents spécialement commissionnés à cet effet par le ministre de l'Agriculture.

Les procès-verbaux seront transmis à l'ingénieur en chef du Service hydraulique, qui en adressera deux expéditions, l'une au préfet et l'autre au procureur de la République.

Les agents des deux catégories pourront pénétrer de jour et de nuit dans les usines closes, et non closes ou leurs dépendances, pour procéder aux constatations qu'exige l'application de la présente loi. Pour pénétrer de nuit dans les parties closes, ils devront être accompagnés d'un représentant de l'autorité municipale ou d'un commissaire de police.

Ils prêteront serment de ne point révéler les secrets de fabrication et en général les procédés d'exploitation dont ils pourraient prendre connaissance dans l'exercice de leurs fonctions. Toute violation de ce serment sera punie conformément à l'article 378 du Code pénal.

Sera puni d'une amende de 100 à 500 francs quiconque aura mis obstacle à l'accomplissement des devoirs des agents ci-dessus mentionnés. En cas de récidive, l'amende sera portée de 500 à 1 000 francs. Les tribunaux correctionnels pourront appliquer, pour la première condamnation, les dispositions de l'article 463 du Code pénal, sans que l'amende puisse être inférieure à 16 francs.

ART. 20. — Des arrêtés du ministre de l'Agriculture fixeront les conditions dans lesquelles les prélèvements d'échantillons des déversements seront opérés, les laboratoires chargés des analyses, ainsi que toutes les autres mesures ayant pour objet la constatation des délits et les poursuites devant les tribunaux.

ART. 21. — Les associations syndicales constituées en vertu des lois des 21 juin 1865, 22 décembre 1888, les associations organisées par l'Adminis-

tration en vertu des lois des 14 floréal an XI, 16 septembre 1807 et 8 avril 1890, les associations de riverains pour la protection des cours d'eau et les syndicats et sociétés de pêcheurs formés en vertu de la loi du 1^{er} juillet 1901 pourront exercer les droits reconnus à la partie civile par les articles 63, 64, 66, 67, 68 et 182 du Code d'instruction criminelle, en ce qui concerne l'exécution de la présente loi.

TITRE V.

Dispositions diverses et transitoires.

ART. 22. — Des règlements d'administration publique, rendus sur la proposition du ministre de l'Agriculture, fixeront les mesures à prendre pour l'application de la présente loi.

ART. 23. — Les déversements dans les cours d'eau provenant des établissements industriels existant au moment de la promulgation de la présente loi ne pourront plus être effectués dans un délai de quatre ans s'ils n'ont pas été au préalable épurés comme il est prévu à l'article 3.

Ils devront, dans un délai de dix ans, remplir les conditions imposées à l'article 2, paragraphe 1^{er}.

Les dispositions à prendre pour l'épuration des résidus provenant de ces établissements devront être proposées par les industriels au préfet, au plus tard deux ans, et mises en fonctionnement après avoir été reconnues acceptables par celui-ci, au plus tard quatre ans après la promulgation de la présente loi.

Les évacuations ou déversements de matières rentrant dans la catégorie définie au premier paragraphe de l'article 13 existant au moment de la promulgation de la présente loi ne pourront plus être effectués dans un délai de quatre ans s'ils ne remplissent pas les conditions imposées à cet article.

Les dispositions à prendre à cet effet devront être proposées par les intéressés au préfet, au plus tard deux ans, et mises en fonctionnement après avoir été reconnues acceptables par celui-ci, au plus tard quatre ans après la promulgation de la présente loi.

Les déversements dans les cours d'eau et les opérations d'épuration par le sol, des eaux usées des communes, pratiquées au moment de la promulgation de la présente loi ne pourront plus être effectués dans un délai de quatre ans, s'ils ne remplissent pas les conditions imposées soit à l'article 2 paragraphe 1^{er}, soit à l'article 14, paragraphe 1^{er}.

Les dispositions à prendre à cet effet devront être proposées par les communes au préfet, au plus tard deux ans, et mises en fonctionnement après avoir été fixées par celui-ci, sous réserve de l'approbation du ministre de l'Agriculture, au plus tard quatre ans après la promulgation de la présente loi.

Avant d'adopter le texte du projet de loi qui précède, la Commission qui l'a élaboré a pris connaissance des législations étrangères, en particulier des *Rivers pollution Prevention Acts* de 1886 et 1893 et *Public Health (amend)* 1890 du *Royaume Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande*, des travaux de la *Sewage's disposal royal Commission* et de ceux de l'*Institut Royal prussien d'essais et d'examen pour l'épuration des eaux résiduaires*.

En Allemagne, l'interdiction de déversement dans un cours d'eau porte :

1° Sur les eaux résiduaires contenant du chlore libre, des hypochlorites, de l'acide sulfurique, de l'acide sulfhydrique, des sulfures métalliques solubles ou des cyanures dans une proportion supérieure à la quantité minima que l'on peut directement y déceler par voie chimique;

2° Sur les substances solides ou liquides putrides si elles n'ont pas été au préalable diluées de façon à ne plus pouvoir subir de processus de putréfaction fétide;

3° Sur les hydrocarbures (pétrole, goudrons, etc.) et les graisses en quantité telle qu'on puisse nettement en constater la présence;

4° Sur les solutions de chaux vive, à moins qu'elles n'existent dans un état de dilution tel qu'on ne puisse observer de réaction alcaline nette, en aval de leur débouché;

5° Sur les eaux résiduaires susceptibles d'augmenter la teneur du cours d'eau en sels minéraux solubles.

Les *Rivers pollution Prevention Acts* anglais formulent des indications beaucoup plus précises :

Le *Conseil du Comté* peut obliger les autorités sanitaires de district à faire épurer les eaux résiduaires nuisibles aux cours d'eau dans le district ou en dehors de celui-ci. Si les autorités sanitaires n'obéissent pas, le *Conseil du Comté* en appelle à une *Cour du Comté*, qui examine la question et fixe un délai pour l'adoption de moyens d'épuration. Appel peut-être interjeté à un tribunal supérieur contre la décision de cette cour.

Les méthodes adoptées pour l'épuration peuvent être *quelconques*; mais la table suivante donne les titres fixés par les commissaires de surveillance de pollution des rivières. Ils recommandent qu'aucun effluent donnant des titres plus élevés ne soit toléré dans les cours d'eau :

Matières en suspension.	{ Organiques sèches	0,01
	{ Minérales sèches	0,03
Matières dissoutes.....	{ Carbone organique.....	0,02
	{ Azote organique.....	0,003
Métaux (excepté calcium, magnésium, potassium ou sodium).....		0,02
Arsenic.....		0,0006
Chlore (libre après addition d'acide sulfurique)		0,01
Soufre (en sulfate).....		0,01
Acidité (en acide chlorhydrique).....		0,02
Alcalinité (en soude caustique)		0,01
Matières huileuses (pétrole ou huiles).....		0,0005
Couleur : Aucune couleur lorsqu'on examine sur un fond blanc l'eau à travers une épaisseur d'un pouce (0 ^m ,0254).		

Les autorités sanitaires sont autorisées par le *Local Government Board* à limiter autant que possible leurs exigences, en ce qui concerne les eaux résiduaires des grandes industries. Elles n'ont pas à

exiger l'épuration *avant le rejet dans un égout*; mais on doit alors traiter la totalité des eaux à la sortie de l'égout.

Les eaux résiduaires industrielles ne peuvent, bien entendu, être admises dans les égouts que si elles ne sont pas susceptibles de détériorer les canalisations. Des règlements municipaux fixent pour chaque ville les conditions de cette admission. Voici, à titre d'exemple, le texte du contrat que la ville de Bradford impose à tous les industriels :

Contrat passé entre la ville de Bradford et les industriels.

1° Aucun canal destiné à recevoir les eaux résiduaires industrielles ne peut être établi sans l'autorisation préalable de la direction des travaux de la ville; il ne peut être installé avant que les dispositifs d'épuration des eaux soient terminés et déclarés satisfaisants par la direction des travaux municipaux.

2° et 3° Un canal qui reçoit les eaux résiduaires industrielles ne peut en aucun cas être utilisé pour les eaux ménagères, et inversement il ne doit y avoir aucune communication, dans l'usine, entre les canalisations d'eaux résiduaires industrielles et d'eaux résiduaires ménagères.

4° L'industriel s'engage à établir, avant la jonction de son canal avec les égouts publics, des bassins de décantation et des réservoirs suffisants pour retenir toutes les matières en suspension de ses eaux résiduaires; il doit établir également des bassins et autres dispositifs de clarification et d'épuration de ces eaux. L'acceptation de ces dispositifs d'épuration par la direction des travaux municipaux doit être faite par écrit : ils doivent être maintenus en bon état et fonctionner régulièrement. Si, par la suite, la ville juge que les dispositifs ne donnent plus une purification suffisante, l'industriel doit procéder aux changements et agrandissements nécessaires, jusqu'à ce que la ville se déclare, par écrit, satisfaite.

5° L'industriel s'engage à n'utiliser les canalisations de ses eaux résiduaires dans aucun autre but que pour évacuer les effluents de sa propre usine.

6° L'industriel doit veiller à faire passer tous les effluents des diverses parties de son usine dans les dispositifs de clarification et d'épuration avant de les évacuer dans les canaux publics.

7° L'industriel s'engage à disposer un orifice de contrôle sur son canal d'évacuation pour que la ville puisse, nuit et jour, s'assurer de l'état des eaux et prélever des échantillons.

8° L'industriel doit permettre aux agents de la ville et de la direction des travaux municipaux de pénétrer dans son usine pour qu'ils

puissent se rendre compte de l'état et du fonctionnement des dispositifs de clarification prévus par ce contrat.

9° L'industriel s'engage à ne laisser écouler dans les égouts publics que des eaux qui donnent satisfaction aux exigences de la ville.

10° La ville ne s'engage pas, par ce contrat, à recevoir d'une façon définitive et durable les eaux d'égout industrielles dans ses canaux et à les purifier.

11° Le contrat peut, de part et d'autre et à toute époque, être résilié après un préavis de trois mois. Le raccordement avec les égouts publics doit être supprimé par l'industriel après cette résiliation.

12° En cas d'infraction par l'industriel à un des articles de ce contrat, ou si la ville juge que les eaux évacuées sont insuffisamment épurées et peuvent entraîner un surcroît de difficultés pour l'épuration de l'ensemble des autres eaux d'égout, la ville peut, par écrit, réclamer la suppression de la jonction de la canalisation avec les égouts publics, dans un délai de sept jours; elle a le droit, dans le cas de retard apporté par l'industriel à cette suppression, de faire pénétrer ses agents dans l'usine et de faire exécuter les travaux de suppression nécessaires, sans être responsable d'aucun dommage causé par cette opération.

XXV. — DIFFÉRENTS ASPECTS DU PROBLÈME DE L'ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT DANS LES AGGLOMÉRATIONS URBAINES. — PROCÉDÉS DE CHOIX SUIVANT LES CIRCONSTANCES LOCALES.

Le nombre des installations d'épuration biologique naturelle ou artificielle qui ont été réalisées jusqu'à présent en France est extrêmement restreint. Ce fait est d'autant plus surprenant et regrettable que la plupart de nos villes et de nos grandes industries polluent abominablement nos rivières, nos fleuves et nos canaux, sous les yeux trop bienveillants des administrations publiques, et que l'ignorance des exemples que nous donnent les pays étrangers ne peut même pas être invoquée, puisque depuis six ans, dans une suite de publications ininterrompues, nos collègues hygiénistes font avec nous les plus grands efforts pour créer un mouvement d'opinion favorable à la grande cause de l'assainissement.

Nous pouvons espérer que la nécessité d'appliquer la loi du 15 février 1902 sur l'hygiène publique obligera bientôt les municipalités à s'occuper de cette question et qu'un vote prochain du parlement permettra de promulguer le projet de loi actuellement en préparation au ministère de l'Agriculture pour la protection des cours d'eau et dont nous avons précédemment reproduit le texte.

Comment concevoir que le pays qui a vu naître Pasteur n'ait pas été le premier à comprendre l'importance des mesures destinées à sauvegarder la santé du peuple ?

Lorsqu'on réfléchit aux avantages et aux inconvénients que comportent les différents procédés ou systèmes d'épuration actuellement connus, on comprend que la seule excuse aux hésitations des municipalités, des ingénieurs et des autorités sanitaires est dans leur embarras de faire un choix.

Notre expérience du sujet nous autorise à leur donner quelques conseils, que nous espérons pouvoir leur être utiles dans ce but :

Avant d'établir un projet ou un plan d'épuration, la première précaution à prendre est de bien connaître la composition chimique moyenne des eaux qu'il s'agit de traiter ; car, si ces eaux renferment une forte proportion de certaines substances à réaction acide, ou des antiseptiques, ou un excès d'alcalis, il sera tout à fait impossible de les épurer par l'un quelconque des procédés biologiques ou par l'irrigation agricole. On se trouvera alors nécessairement amené à neutraliser préalablement les acides ou les alcalis, ou à précipiter les antiseptiques par des réactifs convenablement choisis. La question se posera ensuite de savoir si, après cette neutralisation, le liquide peut être déversé sans inconvénients sur un sol cultivé ou sur des lits bactériens.

Pour éviter les expériences toujours coûteuses et les erreurs difficilement réparables, il sera prudent de consulter à la fois un ingénieur et un hygiéniste bactériologiste, spécialisés dans l'étude de ces questions. On les priera d'examiner les plans élaborés, d'en contrôler l'exécution et de surveiller les débuts du fonctionnement du procédé adopté.

Le choix d'un système d'épuration ne pourra dans tous les cas être utilement effectué que lorsqu'on aura déterminé :

- 1° La nature et la composition chimique des eaux à épurer ;
- 2° La quantité de ces eaux à traiter par jour ;
- 3° Les variations horaires journalières et saisonnières du volume ;
- 4° La disposition des canaux d'égout (unitaires ou séparatifs) ; leur développement, leur pente ;
- 5° La disposition du lieu où s'effectuera l'épuration (hauteur de chute, nature et étendue du terrain) ;
- 6° Le point de déversement des eaux épurées (utilisation possible de celles-ci à l'irrigation culturale, rejet dans des cours d'eau ou à la mer) ;
- 7° Dans les cas où les eaux épurées devraient être déversées dans un cours d'eau, on indiquera le régime de ce dernier, et on précisera si les eaux servent à l'alimentation de localités situées en aval ou s'il existe des parcs à huîtres voisins, susceptibles d'être contaminés par les microbes pathogènes provenant des égouts.

Les *procédés d'épuration chimique* trouveront leur application partielle ou exclusive lorsqu'on aura affaire à des eaux contenant soit des matières tinctoriales ou des graisses en fortes proportions, soit des résidus industriels acides ou alcalins capables de gêner les actions microbiennes d'oxydation.

L'*irrigation agricole*, dont les effets épurants sont incontestablement les plus parfaits, n'est applicable que dans les cas *extrêmement rares* où l'on dispose, à proximité des villes, de terrains d'une grande perméabilité, peu coûteux et suffisamment vastes pour qu'on ne soit jamais obligé de faire absorber au sol cultivé des quantités d'eaux d'égout susceptibles de nuire à la culture.

En principe, on n'admettra jamais en irrigation culturale des eaux renfermant plus de 300 grammes d'azote organique et 10 grammes de graisse par mètre cube.

On s'assurera en outre, par des épreuves à la fluorescéine par exemple, que les infiltrations souterraines ne pourront jamais contaminer les nappes d'eau servant à l'alimentation de sources ou de puits dans un rayon de plusieurs kilomètres alentour.

L'*épandage intensif sur sol nu* sera avantagusement employé par les villes dans le voisinage immédiat desquelles se trouvent des plaines sablonneuses non cultivables. Les déversements intermittents d'eau d'égout sur ces plaines divisées en compartiments ou bassins alternativement irrigués peuvent alors être effectués à la dose de 40 litres par mètre carré et par jour; mais c'est là un maximum qu'il ne faudra pas dépasser. En réduisant ce taux d'irrigation intermittente à 20 litres, il sera le plus souvent possible d'utiliser bientôt les sables, ainsi fertilisés, à la culture du maïs fourrager ou du topinambour, ou mieux à l'établissement d'oseraies.

Dans toutes les circonstances où l'on serait conduit à adopter soit l'irrigation agricole, soit l'épandage intensif sur terrains sablonneux, avec ou sans les cultures sus-indiquées, il conviendra de *décant*er ou mieux *encore de solubiliser* préalablement les matières organiques contenues dans les eaux d'égout en faisant séjourner celles-ci pendant un temps suffisant dans des *bassins de décantation* ou dans des *fosses septiques*. L'épuration par le sol s'effectuera alors dans des conditions parfaites, et l'on évitera tout colmatage par l'élimination ou la dissolution préalable de la plus grande partie des matières organiques en suspension. On réalisera du même coup une importante économie de main-d'œuvre, qui compensera largement les frais de construction des fosses.

Chaque fois que l'un des systèmes d'épuration qui précèdent ne s'imposera pas pour les raisons très spéciales que nous avons indiquées, on devra s'adresser de préférence aux *procédés biologiques artificiels*, parce qu'ils présentent le maximum d'efficacité avec le minimum de dépenses.

Les procédés biologiques conviennent à merveille dans tous les cas où il s'agit de traiter des eaux d'égout de faible ou de moyenne concentration et contenant des matières de vidange.

Il sera presque toujours avantageux d'adopter le système des *lits percolateurs à distribution automatique et intermittente*, plutôt que le système des *lits de contact*.

On choisira, pour la distribution automatique sur les lits percolateurs, des appareils aussi robustes que possible, distribuant l'eau uniformément à la surface des matériaux, et non influençables par les variations de débit ni par les influences atmosphériques.

Quel que soit le mode construction et de distribution adopté pour les lits bactériens percolateurs comme pour les lits de contact, il est essentiel de décantier soigneusement les eaux d'égout, et il est recommandable de solubiliser le plus possible les matières organiques en suspension dans des fosses septiques bien construites avant de les admettre sur les lits bactériens. Plus la décantation et la solubilisation préalables sont parfaites, plus l'épuration finale est satisfaisante, et mieux est évité le colmatage ou l'encrassement des lits.

Dans tous les cas, on ne devra jamais considérer comme *potables* les eaux épurées par l'un quelconque des systèmes biologiques artificiels, pas plus d'ailleurs que celles épurées par l'irrigation agricole. Ces eaux renferment toujours des microbes en plus ou moins grand nombre, et quelques-uns de ceux-ci peuvent accidentellement appartenir à des espèces pathogènes (colibacille).

S'il arrivait qu'on fût obligé de s'en servir immédiatement ou de les déverser dans un cours d'eau à faible débit servant à l'alimentation d'une ville ou d'un village, ou dans la mer au voisinage de parcs à huîtres, il faudrait réaliser leur purification bactériologique complète, soit par des filtres à sable fin, submergés ou non submergés, soit par les appareils beaucoup plus efficaces de stérilisation par l'ozone ou par les rayons ultra-violet.

Hâtons-nous d'ajouter que la nécessité de cette épuration complémentaire ou de cette stérilisation des eaux d'égout épurées ne se présentera probablement qu'à titre tout à fait exceptionnel et qu'il serait ridicule d'imposer, sans raisons particulièrement graves, aux municipalités ou aux industriels, ce luxe onéreux ! *La seule chose qu'on soit en droit d'exiger légitimement des villes ou des industries est qu'elles rendent aux rivières ou aux fleuves des eaux dont le degré de pollution ne soit pas sensiblement plus élevé que celles qu'elles leur ont elles-mêmes empruntées.*

