

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ

SÉRIE DE MONOGRAPHIES

N° 31

**COMPOSTAGE
ET ASSAINISSEMENT**

COMPOSTAGE ET ASSAINISSEMENT

Harold B. GOTAAS

*Professeur de Génie sanitaire,
Département du Génie civil, Université de Californie,
Berkeley, Calif., Etats-Unis d'Amérique*



ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ

PALAIS DES NATIONS

GENÈVE

1959

NOTE

*Les travaux publiés dans la Série de Monographies
de l'Organisation mondiale de la Santé
n'engagent que leurs auteurs*

Dans cette publication, les noms déposés sont écrits avec une majuscule initiale. La mention de firmes et de produits commerciaux n'implique pas que ces firmes et produits sont agréés ou recommandés par l'Organisation mondiale de la Santé de préférence à d'autres.

IMPRIMÉ EN SUISSE

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Avant-propos	7
Introduction	9
Chapitre 1. La décomposition des matières organiques	13
Chapitre 2. Importance du compostage du point de vue sanitaire et agricole	19
Chapitre 3. Aperçu historique	25
Chapitre 4. Volume et composition des matières brutes utilisées	35
Chapitre 5. Principes fondamentaux	48
Chapitre 6. Méthodes et plans applicables dans les grandes villes	117
Chapitre 7. Méthodes applicables dans les villages et les petites villes	151
Chapitre 8. Méthodes applicables dans les fermes isolées . . .	174
Chapitre 9. Digesteurs de fumiers et d'excreta pour la récupération du méthane à la ferme et au village	179
Références bibliographiques	203
Index	209

Avant-propos

Les maladies auxquelles les excréments de l'homme servent de véhicule normal, en particulier les maladies parasitaires, sont largement répandues et prélèvent un lourd tribut en souffrances et en vies humaines. Dans les zones où les excréta sont couramment employés comme engrais, il n'est pas rare que 90 % de la population soient infestés par le même parasite et que la totalité des habitants souffrent d'une ou de plusieurs des diverses helminthiases communes. L'OMS est directement intéressée par la mortalité due à ces maladies, surtout chez les nourrissons et les jeunes enfants, et par la mauvaise santé générale de tous les groupes d'âge, qui, sans causer nécessairement de décès, réduit notablement la vigueur physique et la capacité de travail.

On a beaucoup écrit sur la question de l'emploi comme engrais des déchets dus aux activités de l'individu et de la collectivité. Leur intérêt pratique n'est guère douteux et, à mesure que l'on mettra au point des procédés permettant de rendre leur traitement relativement plus économique, leur utilisation s'étendra de plus en plus. Tout en reconnaissant la nécessité d'entretenir la fertilité du sol, l'OMS désire que les pratiques agricoles soient conformes aux règles de la santé publique. Or, il semble qu'il y ait un conflit entre le souci d'échapper aux dangers que comporte l'utilisation agricole des déchets et des excréta, et la nécessité de recourir aux engrais organiques pour améliorer les récoltes. Une solution consiste à rendre à peu près inoffensives les substances nuisibles par la préparation bien contrôlée de composts.

L'art de préparer des composts est très ancien ; certains de ses principes fondamentaux sont connus et appliqués depuis des siècles. Cependant, au cours des récentes années, l'étude scientifique des processus biologiques et chimiques qu'il fait intervenir a fait de rapides progrès. Ces travaux ont permis de dégager certains facteurs qui peuvent contribuer à l'élaboration d'un compost à la fois intéressant pour l'agriculture et relativement inoffensif pour la santé publique.

Puisse la publication d'un ouvrage consacré à ces principes faciliter une amélioration générale dans ce domaine.

Introduction

L'existence d'un lien entre la maladie et les déchets liquides ou solides de l'homme est admise depuis les temps les plus reculés. De même, l'idée que ces déchets ont des rapports avec la fertilité du sol et l'abondance des moissons est aussi vieille que l'agriculture. On peut même penser que l'emploi de ces engrais d'origine humaine est l'un des facteurs principaux de la durée de certaines civilisations antiques. Cependant, il n'y a guère plus d'un siècle que l'homme a commencé à acquérir une connaissance vraiment scientifique de la nature exacte des processus ainsi mis en jeu, et il lui reste encore à percer les secrets de la nature sur de nombreux points intéressant la santé, la production des denrées alimentaires et le traitement des déchets.

Tant que seuls de petits groupes nomades se déplaçaient d'un lieu à l'autre, la contamination du milieu et la propagation de la maladie qui en résultait n'avait pas de graves conséquences. Mais lorsque la densité des populations s'accrut et que les habitants de certaines régions devinrent sédentaires, l'utilisation sans précaution des déchets fit sentir ses effets : les maladies épidémiques et la déchéance physique apparurent. D'autre part, la demande de produits alimentaires augmentant cependant que la fertilité du sol diminuait, les engrais naturels prirent de l'importance : il s'agissait en effet d'améliorer la production agricole afin d'obtenir assez de denrées pour survivre. Aucun agriculteur n'ignore que l'addition de déchets organiques au sol améliore son rendement mais, faute d'apprécier les aspects sanitaires de la question, on continue encore trop souvent à utiliser ces déchets sans tenir compte des règles de l'hygiène.

Malgré la forte densité de leur population, qui serait de nature à faciliter la contagion, les centres urbains sont actuellement, dans la plupart des régions du monde, moins atteints que les régions rurales par les maladies qui, comme les maladies intestinales, se transmettent à la faveur d'une mauvaise hygiène du milieu. La cause essentielle de cette situation paradoxale est le manque d'hygiène dans l'évacuation des déchets à la campagne.

Etant donné que l'organisme animal ne retient qu'une très petite quantité de l'azote, du phosphore, de la potasse et des oligo-éléments ingérés, la majeure partie de ces substances que contenait la nourriture se retrouvent dans les excréta, les eaux usées et le fumier. Les détritux ménagers et les débris organiques contiennent aussi de nombreux éléments nutritifs venus du sol qui valent la peine d'être récupérés, quand on peut le faire d'une manière salubre et économique.

La présente monographie a pour objet d'exposer les méthodes et les techniques par lesquelles les déchets organiques qui constituent un danger

pour la santé et un véhicule pour la maladie peuvent être évacués et utilisés en agriculture sans enfreindre les règles de l'hygiène. Protection de la santé et récupération de produits intéressants pour l'agriculture sont deux préoccupations importantes et nullement incompatibles. En effet, moyennant une technique convenable, il est souvent possible tout en traitant les déchets de façon salubre d'accroître considérablement la récupération des produits nutritifs pour les plantes et ainsi d'améliorer la production alimentaire. L'azote, le phosphore, la potasse et les oligo-éléments constituent un actif important pour l'agriculture. Y puiser sans jamais le renouveler convenablement, c'est aller vers la faillite agricole, la disette, la misère et l'affaiblissement de ceux dont le bien-être dépend, dans une large mesure, de la production du sol. De même, le fumier animal dont on aurait besoin pour fertiliser le sol est parfois recueilli dans des conditions contraires à l'hygiène et utilisé comme combustible, ce qui entraîne une perte de produits nutritifs et un accroissement du danger de maladie.

Bien souvent, le problème de la mise en valeur économique d'une région donnée, constitue un tout dont les parties, intimement liées les unes aux autres, s'appellent hygiène, propagation des maladies, disette, amélioration de l'agriculture, traitement des déchets, combustible et énergie. Dans les régions du monde où la production de denrées alimentaires et d'énergie est souvent inférieure au minimum nécessaire pour maintenir la population en bonne santé, et où les ressources énergétiques ou autres ne sont pas suffisantes pour fournir des engrais de remplacement, la récupération et l'utilisation de façon salubre des éléments nutritifs contenus dans les déchets peuvent contribuer puissamment à améliorer l'alimentation, la santé et la prospérité de la population. Le retour des détritiques urbains vers les terres pauvres pourrait renverser complètement la tendance à la diminution constante de la production agricole.

Son objet étant de montrer comment l'on peut utiliser en agriculture les éléments intéressants contenus dans les déchets humains, tout en favorisant l'assainissement et en améliorant l'hygiène du milieu, la présente monographie ne consacrera pas de longs développements à l'emploi des engrais en agriculture ou aux qualités relatives des engrais organiques ou inorganiques. Il suffira de noter que les déchets animaux et humains contiennent des produits nutritifs précieux que l'on peut récupérer avec profit.

Les processus naturels que met en jeu la transformation des déchets en composts sont aussi vieux que la nature elle-même, mais ils ont été souvent mal compris ou négligés lorsqu'il s'est agi de les utiliser dans de bonnes conditions d'hygiène et d'économie. Les principes qui sont à la base de certaines techniques spéciales et commercialisées de préparation des composts ont même été entourés d'un voile de mystère quasi magique. C'est pourquoi il a paru important, dans la rédaction de la présente monographie, de confronter et d'examiner les aspects fondamentaux du compostage pour dégager les règles dont doit s'inspirer une saine pratique.

L'auteur s'est efforcé d'analyser les résultats connus de l'expérience et de la recherche, en s'attachant plus particulièrement à mettre en lumière les procédés techniques modernes. Il n'a pas été possible de reproduire, dans un ouvrage de volume réduit, tous les renseignements disponibles. L'auteur s'est néanmoins efforcé de passer en revue toutes les idées fondamentales en s'appuyant sur les données de la pratique et de l'expérimentation. Il a fallu omettre de nombreux renseignements sur bien des points importants, mais la bibliographie est assez étendue pour que le lecteur puisse se reporter à la documentation scientifique détaillée s'il le désire.

Il n'existe aucune méthode ou technique de compostage qui puisse être recommandée universellement pour toutes les régions et dans toutes les conditions. Les facteurs économiques, climatiques, sociaux ou autres dicteront le choix des procédés qui conviennent le mieux à une situation donnée. Néanmoins, l'auteur espère que les méthodes qu'il décrit faciliteront la mise en valeur économique de nombreuses régions par le traitement et l'utilisation salubre des déchets, et que ce recueil et cette analyse de renseignements fondamentaux sur l'élaboration des composts permettront à certains préparateurs d'accroître l'efficacité de leurs techniques personnelles.

* * *

L'auteur adresse ses remerciements et exprime sa reconnaissance aux personnes suivantes qui ont revu l'avant-projet de manuscrit, qui lui ont présenté des observations et des critiques, ou qui lui ont fourni de précieux renseignements, et dans certains cas des illustrations :

M. C. N. Acharya, Indian Agricultural Research Institute, La Nouvelle-Delhi, Inde

Dr H. G. Baity, Directeur de la Division de l'Assainissement, OMS, Genève, Suisse

M. P. Bierstein, Conseiller pour l'Assainissement, Bureau régional de l'OMS pour le Pacifique occidental, Manille, Philippines

M. L. P. Brunt, Consulting Engineer, Chiswick, Angleterre

M. R. N. Clark, Conseiller principal en Génie sanitaire, OMS, Genève, Suisse

M. B. H. Dieterich, Institut für Gesundheitstechnik, Stuttgart, République fédérale d'Allemagne

M. H. G. Dion, Spécialiste des Sols, FAO, Rome, Italie

Dr C. G. Golueke, Sanitary Engineering Laboratory, University of California, Etats-Unis d'Amérique

Lady Howard, Albert Howard Foundation of Organic Husbandry,
Kent, Angleterre

M. P. R. Krige, South African Council for Scientific and Industrial
Research, Pretoria, Union Sud-Africaine

M. J. N. Lanoix, Ingénieur sanitaire, OMS, Genève, Suisse

M. P. H. McGauhey, Sanitary Engineering Laboratory, University
of California, Etats-Unis d'Amérique

M. H. J. Page, Spécialiste des Sols, FAO, Rome, Italie

M. R. Pavanello, Conseiller pour l'Assainissement, Bureau régional
de l'OMS pour l'Europe, Copenhague, Danemark

M. N. D. R. Schaafsma, Ingénieur sanitaire, Bureau régional de l'OMS
pour l'Afrique, Brazzaville, Afrique Equatoriale Française

M. J. C. Scott, Perth, Ecosse

M. J. P. J. van Vuren, Kroonstad, Orange Free State, Union Sud-
Africaine

M. W. A. G. Weststrate, Directeur, N. V. Vuilafvoer Maatschappij,
Amsterdam, Pays-Bas

Professeur F. Wilson, Makerere College, Kampala, Ouganda

M. J. C. Wylie, Ingénieur, Dumfries, Ecosse

H. B. GOTAAS

LA DÉCOMPOSITION DES MATIÈRES ORGANIQUES

La décomposition ou stabilisation des matières organiques sous l'effet de facteurs biologiques se produit dans la nature depuis que la vie est apparue sur notre planète. A une époque récente, l'homme s'est efforcé de contrôler et d'utiliser directement ce phénomène naturel pour évacuer et récupérer, dans des conditions hygiéniques, les matières usées organiques ; le produit final ainsi obtenu a reçu le nom de « compost ».

On peut distinguer, d'une façon générale, deux processus : *a*) décomposition et stabilisation aérobies, et *b*) fermentation anaérobie. Dans les deux cas, des bactéries, ou des champignons, moisissures et autres organismes saprophytes se nourrissent de matières organiques telles que les débris végétaux, le fumier animal, les excréta^a et autres rebuts, et les convertissent en produits plus stables.

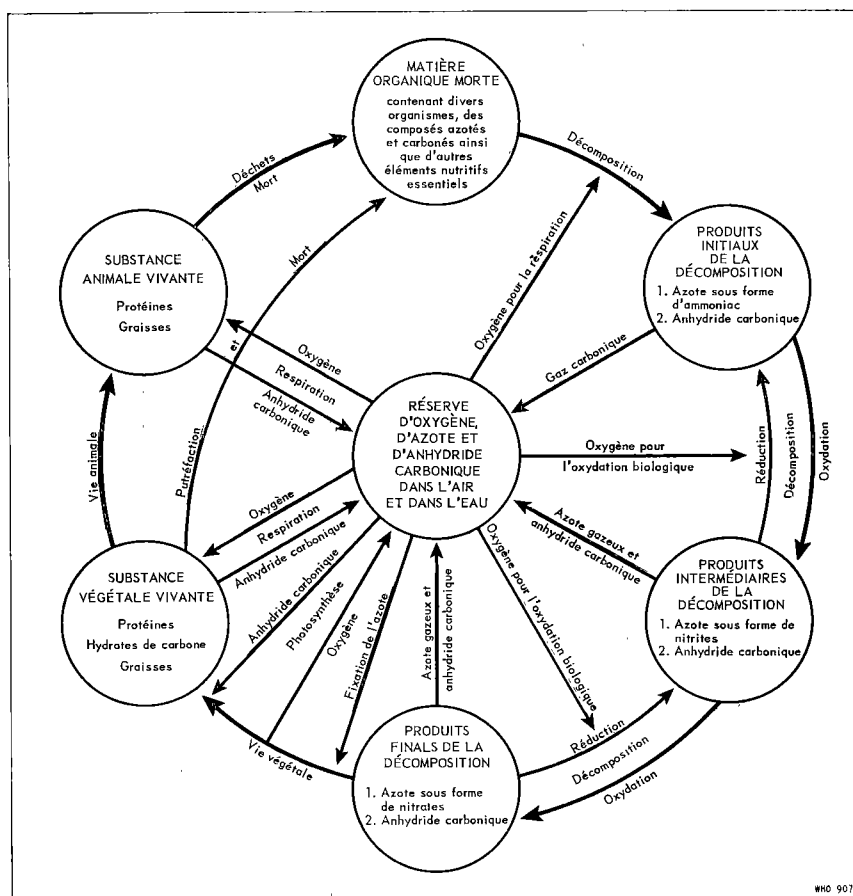
Décomposition aérobie

Lorsque les matières organiques se décomposent en présence d'oxygène, le processus est dit « aérobie ». Dans ce cas, des organismes vivants utilisant l'oxygène se nourrissent de la matière organique et en absorbent l'azote, le phosphore, une partie du carbone, de même que les autres substances nutritives qui servent à élaborer le protoplasme cellulaire. La majeure partie du carbone sert de source d'énergie à ces organismes ; il est brûlé et rejeté sous forme de gaz carbonique (CO_2). Etant donné qu'ils y trouvent à la fois une source d'énergie et un élément constitutif du protoplasme, les organismes vivants utilisent beaucoup plus de carbone que d'azote. En général, les deux tiers environ de carbone sont éliminés sous forme de CO_2 par la respiration, tandis que l'autre tiers se combine à l'azote dans les cellules. Si la quantité de carbone contenue dans les matières organiques en décomposition excède par trop la quantité d'azote, l'activité biologique diminue et il faut plusieurs générations d'organismes pour consommer la plus grande partie du carbone. Lorsque certains organismes meurent, l'azote et le carbone qu'ils ont accumulés deviennent disponibles pour les autres. Ceux-ci, à leur tour, pour employer l'azote

^a En beaucoup d'endroits, les matières fécales et l'urine sont recueillies, accumulées et utilisées séparément. Dans la présente monographie, l'expression « excréta » désigne le mélange de matières fécales et d'urine ; le terme « fèces » désigne les matières fécales sans l'urine.

provenant des cellules mortes à l'élaboration de leur matière protoplasmique, ont besoin d'un excès de carbone, qu'ils transforment en CO_2 . Ainsi, la quantité de carbone diminue et la quantité fixe d'azote est remise dans le circuit. Enfin, lorsque la proportion carbone-azote est suffisamment réduite, l'azote se dégage sous forme d'ammoniac. Dans des conditions favorables, une certaine quantité d'ammoniac peut être oxydée pour donner des nitrates. Le phosphore, la potasse et divers olégo-éléments sont également indispensables à la croissance biologique. Ces corps existent normalement en quantités plus que suffisantes dans les matières utilisées pour la préparation des composts et il n'y a, sous ce rapport, aucune difficulté ; nous n'étudierons donc pas ici leur métabolisme dans les cellules vivantes.

FIG. 1. CYCLE DE L'AZOTE ET DU CARBONE DANS LA DÉCOMPOSITION EN AÉROBIOSE *



* D'après Imhoff & Fair,³⁷ avec l'autorisation de John Wiley & Sons, Inc., New York

La figure 1 illustre le cycle du carbone et de l'azote dans le processus de décomposition aérobie, qui est le plus commun dans la nature. C'est celui qui se déroule à la surface du sol, par exemple dans les forêts, où les détritits végétaux et animaux se transforment en un humus relativement stable ou terreau. Cette opération ne présente aucun inconvénient lorsqu'elle s'accomplit en présence d'une quantité suffisante d'oxygène. Au cours de l'oxydation du carbone en CO_2 , une grande quantité d'énergie se dégage sous forme de chaleur. Par exemple, la décomposition aérobie d'une molécule-gramme de glucose donne 484 à 674 kilocalories (kcal). Si les matières organiques sont entassées ou disposées de façon à assurer une certaine isolation, leur température s'élèvera au cours de la fermentation à plus de 70°C. Toutefois, au-dessus de 65 à 70°C, l'activité bactérienne décroît et la décomposition se ralentit. Au-dessus de 45°C environ, les organismes thermophiles qui croissent à la température de 45 à 65°C se développent et remplacent les bactéries mésophiles. Seules quelques variétés thermophiles conservent leur activité au-delà de 65°C. Aux températures élevées, l'oxydation se produit plus rapidement qu'aux températures moyennes et la décomposition exige donc moins de temps. Ainsi qu'on le verra plus loin en détail (page 84) les températures élevées détruisent les germes pathogènes ainsi que les protozoaires, les œufs d'ankylostomes et les graines de mauvaises herbes, tous organismes qui sont dangereux, les uns pour la santé, les autres pour l'agriculture lorsque le compost, une fois prêt, est déposé sur le sol.

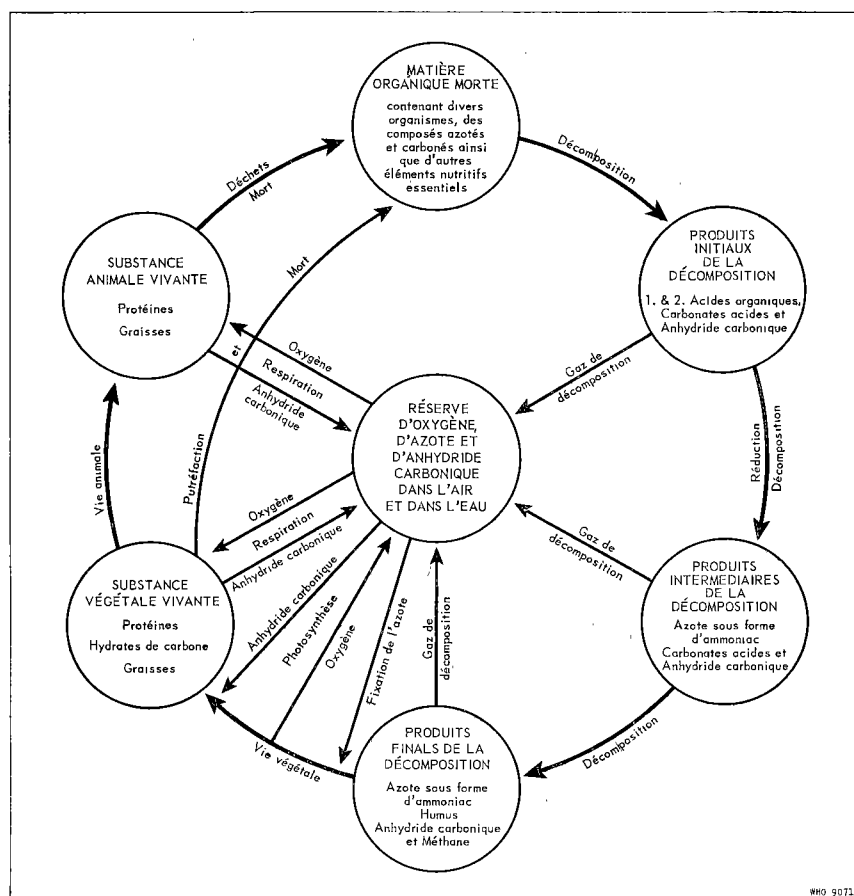
L'oxydation aérobie des matières organiques ne provoque aucune odeur désagréable. Si des odeurs se dégagent, elles sont dues, soit au fait que le processus n'est pas entièrement aérobie, soit à la présence de substances fétides ne provenant pas de l'oxydation. La décomposition aérobie qui produit le compost, peut s'accomplir dans des digesteurs mécaniques, dans des fosses, des bacs, en piles ou en tas, à condition que la quantité d'oxygène soit suffisante. Il est nécessaire de retourner de temps à autre ces matières ou d'y introduire de l'oxygène par toute autre méthode, afin de maintenir les conditions nécessaires à l'aérobiose.

Fermentation anaérobie

La décomposition putride des matières organiques s'effectue en anaérobiose. Le métabolisme des organismes vivants anaérobies dissocie les composés organiques nutritifs par réduction. Comme dans le processus aérobie, ils utilisent l'azote, le phosphore et autres substances nutritives pour former leur protoplasme cellulaire, mais ils réduisent l'azote organique en acides organiques et en ammoniac. Le carbone qui n'est pas utilisé pour constituer les protéines cellulaires se dégage surtout sous forme de

méthane (CH_4). Une faible partie du carbone peut être libérée par respiration sous forme de CO_2 .

FIG. 2. CYCLE DE L'AZOTE ET DU CARBONE DANS LA DÉCOMPOSITION EN ANAÉROBIOSE *



* D'après Imhoff & Fair,⁹⁷ avec l'autorisation de John Wiley & Sons, Inc., New York

Ce processus se produit dans la nature lors de la décomposition des boues organiques au fond des marais et dans les matières organiques enfouies dans la terre, auxquelles l'oxygène n'a pas accès. Le gaz des marais est composé principalement de CH_4 . La réduction intensive des substances organiques par la putréfaction s'accompagne en général d'odeurs désagréables dues à l'hydrogène sulfuré et aux composés organiques réduits contenant du soufre, tels que les mercaptans.

Etant donné que la destruction anaérobie des substances organiques est un processus de réduction, le produit final, l'humus, subit une certaine oxydation aérobie lorsqu'il est déposé sur le sol. Cette oxydation est assez faible, se produit rapidement et n'a pas d'importance pour l'utilisation de ces matières sur le terrain.

La figure 2 illustre le cycle du carbone et de l'azote dans le processus de décomposition en anaérobiose. L'énergie calorifique libérée n'est pas suffisante pour élever sensiblement la température des matières en putréfaction. De toute l'énergie potentielle contenue dans une molécule-gramme de glucose, la dissociation anaérobie ne dégage que 26 kcal, contre 484 à 674 kcal en fermentation aérobie. Le potentiel énergétique du carbone passe dans le méthane : la combustion de CH_4 en CO_2 dégage une grande quantité de chaleur. Aussi le méthane produit par la destruction anaérobie des matières organiques est-il souvent utilisé comme carburant dans les moteurs ou comme combustible.

La faible chaleur produite par la fermentation anaérobie est un inconvénient certain pour le traitement des excréta et autres substances contaminées, dans lesquelles, pour des raisons d'hygiène publique, il est nécessaire de détruire les germes pathogènes et les parasites. En effet, il ne se produit pas de températures élevées capable de détruire les organismes pathogènes. Ceux-ci finissent bien par disparaître de la masse organique, en raison des mauvaises conditions de milieu qu'elle crée et de certains antagonismes biologiques. Mais cette disparition est lente et il faut conserver les matières organiques pendant 6 à 12 mois pour assurer une destruction à peu près complète des œufs d'*Ascaris*, qui sont les plus résistants des parasites pathogènes transmis par les matières fécales.

Pour préparer le compost en anaérobiose, on peut mettre les matières en tas ou dans des fosses ; dans les deux cas, la masse doit être volumineuse, bien tassée et contenir 40 à 75 % d'humidité pour ne laisser pénétrer qu'une faible quantité d'oxygène ; on peut aussi employer des bacs contenant 80 à 99 % d'eau, de sorte que la substance organique demeure en suspension dans le liquide. Si les matières sont entassées ou déposées dans des fosses sans être recouvertes d'eau, le dégagement d'odeurs risque d'être très gênant. Au contraire, lorsqu'elles sont submergées, les gaz sont dissous dans l'eau et ne se dégagent en général que lentement dans l'atmosphère. Si l'on renouvelle l'eau de temps à autre lorsqu'on prélève une partie des matières, la gêne est insignifiante.

Le compost peut donc être préparé soit en aérobiose, soit en anaérobiose. De leur côté, certaines bactéries sont à la fois aérobies et anaérobies : elles peuvent pousser avec ou sans oxygène, mieux cependant dans un cas que dans l'autre. C'est sans doute ce caractère facultatif qui explique, au moins en partie, la disproportion entre la faible quantité d'oxygène présente dans les interstices de la pile de matières (y compris le gaz qui peut diffuser à travers la masse) et le degré d'oxydation qui se produit une

fois que les matières ont été entassées et avant qu'on ne les ait retournées ou aérées par un autre procédé. Dans les tas de compost en décomposition aérobie, la température atteint 55 à 65°C en 1 à 5 jours, selon la matière employée et les conditions dans lesquelles l'opération est réalisée. On peut aussi maintenir cette température pendant plusieurs jours avant de procéder à une nouvelle aération. Or la chaleur nécessaire pour produire et maintenir ces températures doit provenir de la décomposition aérobie, qui exige de l'oxygène. Mais au bout d'un certain temps, si la masse n'est pas aérée, il s'y crée des conditions d'anaérobiose. C'est donc probablement entre le moment où l'oxygène est épuisé et celui où l'anaérobiose devient évidente, qu'interviennent les bactéries facultatives.

Dans cette monographie l'expression « compostage en aérobie » sera employée dans son acception courante, pour désigner le processus qui exige une quantité considérable d'oxygène et ne présente aucun des traits caractéristiques de la putréfaction anaérobie. Dans son sens moderne, le compostage en aérobie peut être défini comme un processus au cours duquel, si les conditions de milieu sont favorables, des organismes aérobies facultatifs, principalement thermophiles, utilisent des quantités considérables d'oxygène pour décomposer les matières organiques et les transformer en humus relativement stable.

L'expression « compostage en anaérobiose » désigne ici la décomposition putride de la matière organique par réduction en l'absence d'oxygène, avec production, entre autres, de CH_4 et de H_2S .

IMPORTANCE DU COMPOSTAGE DU POINT DE VUE SANITAIRE ET AGRICOLE

Dans tous les pays du monde, l'hygiène et l'agriculture ont des rapports très étroits. Dans les régions agricoles, l'utilisation des matières usées d'origine humaine et animale présente un grand intérêt, à la fois pour la santé publique et pour les cultures.

Mais ces questions deviennent aussi d'actualité dans les régions très industrialisées, en raison : a) des difficultés croissantes que présente l'évacuation ordonnée et salubre des grandes quantités de matières usées provenant des villes ; b) de la menace croissante que fait peser sur la fertilité du sol la quasi-disparition du fumier animal, sous-produit autrefois abondant de la production et de la consommation d'énergie ; et c) du rendement intensif et croissant que l'on exige des terres cultivées, en vue de produire une plus grande quantité de denrées alimentaires. Dans les pays très industrialisés, le problème est relativement récent, mais il est très important et demandera, à l'avenir, des études approfondies pour déterminer comment les énormes quantités de matières usées et contaminées produites par les grandes villes peuvent être non seulement évacuées, mais aussi utilisées dans des conditions satisfaisantes.

Les techniques modernes de compostage, proposées tout d'abord par Sir Albert Howard^{32, 33, 35} et ses collaborateurs^{5, 41} à la suite d'observations effectuées dans l'Inde, puis développées dans ce pays par Acharya et Subrahmanyam^{1, 3} ont été étudiées de manière très approfondie par Scott⁶⁸ et van Vuren,⁸² par Gotaas et ses collaborateurs — McGauhey, Golueke et Card — à l'Université de Californie,^{23, 24, 49, 71, 81} et par beaucoup d'autres chercheurs dans différentes parties du monde.

Aspects sanitaires

Ils sont au nombre de deux :

L'un est celui du taux élevé de morbidité et de mortalité dû aux maladies transmises par les excréta quand les matières usées organiques sont évacuées et utilisées de façon insalubre.

L'autre est celui de l'amélioration de l'alimentation, facteur important en médecine préventive. Cette amélioration peut être obtenue quand les

matières usées sont rendues à la terre où elles assurent la nutrition des végétaux. Toutefois le bilan alimentaire le plus favorable n'élimine pas la nécessité de détruire ou de faire disparaître les agents des maladies d'origine fécale pour lutter efficacement contre ces affections. La morbidité de ce type est toujours élevée dans les régions agricoles où l'hygiène est précaire et où les matières usées sont utilisées sans précaution.

Les maladies d'origine fécale peuvent être réparties en trois grandes catégories d'après la nature de l'agent : affections dues à des bactéries, à des protozoaires, helminthiases. Dans la première se rangent la dysenterie bacillaire, la fièvre typhoïde, les fièvres paratyphoïdes A et B, l'entérite et le choléra. De même les *Brucella*, qui produisent chez l'homme la fièvre ondulante, peuvent être transmises par les déjections des animaux. *Coxiella burnetii*, agent de la fièvre Q, se rencontre dans le fumier. La seconde catégorie, dans laquelle l'agent causal est un protozoaire comprend la dysenterie amibienne et les diarrhées dues à *Balantidium coli* et autres flagellés. Enfin, les maladies d'origine fécale dues aux helminthes sont la bilharziose, les distomatoses à fasciola, à clonorchis, le paragonimiasis, l'ankylostomiase, l'ascaridiose, la trichocéphalose, la diarrhée de Cochinchine et l'oxyurose.

Scott⁶⁸ a démontré par des études expérimentales effectuées en Chine, que les agents des maladies d'origine fécale sont détruits par le compostage en aérobose, à condition que la température soit maintenue pendant un temps suffisant à un degré élevé dans toute la masse des matières traitées. Les œufs d'*Ascaris lumbricoides* sont ceux qui résistent le mieux à la destruction. Il y a lieu de souligner que, si les œufs d'*Oxyuris (Enterobius) vermicularis* semblent détruits par le compostage en aérobose, l'évacuation et le traitement rationnels des matières fécales ne suffisent pas pour lutter contre l'oxyurose, car un facteur d'hygiène personnelle entre en jeu dans la propagation de cette maladie.

Il n'est pas douteux que les germes pathogènes soient rapidement détruits lorsque toutes les parties d'un tas de compost sont soumises à des températures de 60°C environ. puisque ces organismes ne résistent pas à des températures de 55-60°C pendant plus de 30 à 60 minutes. Ainsi, il est établi que *Entamoeba histolytica* est détruite par séjour à des températures de 45-55°C pendant un temps appréciable. Toutefois Scott⁶⁸ a constaté que, dans les tas de compost en aérobose contenant des quantités particulièrement importantes de matières fécales humaines (70 %) et retournés les cinquième et douzième jours, *Ent. histolytica* et *Ent. coli* survivent jusqu'au douzième jour environ. De même, ses recherches ont montré que les œufs d'*A. lumbricoides* sont détruits avant le quatrième brassage dans les tas de compost en aérobose retournés les 5^e, 12^e, 22^e et 36^e jours. Scharff⁶⁶ n'a pas trouvé d'œufs d'*A. lumbricoides* au bout de trois semaines de traitement dans un compost formé d'excréments très infectés mélangés à diverses ordures. Au cours des expériences de Scott

et Scarff, on aurait probablement abrégé la survie d'*Ent. histolytica* et d'*A. lumbricoides*, en retournant plus fréquemment les tas de compost, ce qui a pour effet de favoriser l'aérobiose, de maintenir ainsi des températures élevées plus constantes et d'accélérer la décomposition. Ainsi qu'on le verra plus loin, lorsque les tas commencent à subir une anaérobiose, la température s'abaisse et il est nécessaire d'aérer le compost, en le retournant ou par tout autre moyen, afin de maintenir des températures élevées plus constantes.

Il est probable que des antagonismes biologiques, qui apparaissent dans les matières servant à la préparation de compost, influent également sur la destruction des germes pathogènes et des parasites, mais l'expérience montre que la chaleur est toujours le facteur principal et que, si l'on entretient pendant toute l'opération une température élevée, on peut obtenir une destruction complète.

En Afrique du Sud, van Vuren⁸² a pu montrer qu'il n'existait aucun danger d'insalubrité dans des composts préparés rationnellement. Ses résultats sont confirmés par Blair,¹⁰ du Département de l'Hygiène de l'Union Sud-Africaine, par Loots,⁴⁸ du Département de l'Agriculture de l'Union Sud-Africaine, par Hamblin de Johannesburg,⁸² Acharya¹ dans l'Inde, Scharff⁶⁶ en Malaisie, et par d'autres encore en Grande-Bretagne, en Allemagne, en Australie, aux Pays-Bas, au Danemark, et en Nouvelle-Zélande.^{56, 57, 60, 82}

Au cours de la préparation du compost en anaérobiose, qui ne comporte aucune réaction exothermique produisant des températures élevées, il faut six mois pour détruire la majeure partie des œufs de *A. lumbricoides* et la destruction totale exige plus de temps encore. En milieu anaérobiose défavorable, la disparition des parasites est à peu près totale. Il ne subsiste qu'un faible pourcentage d'organismes et d'œufs résistants. Scott a constaté que si la préparation anaérobique du compost, dans des fosses ou en grands tas, est précédée pendant une semaine environ d'une décomposition aérobie accompagnée de températures élevées, les œufs d'*Ascaris* sont détruits.

Dans le cas de fermentation anaérobique de matières contaminées en suspension liquide, comme la digestion des boues, des études sur la fréquence et la durée de survie des germes pathogènes et des parasites ont montré qu'un nombre considérable de ces organismes restent viables pendant des périodes allant de moins d'une semaine à six mois, selon l'organisme, la nature des produits soumis à digestion et les conditions de l'opération.^{14, 58, 72, 82} Là encore, la plupart des rapports montrent que l'élévation de la température favorise la destruction des organismes. Ruchhoft⁶⁴ a constaté que la durée de survie de *Salmonella typhosa* dans les boues entreposées était de 80 jours à 10-16°C et de 13 à 14 jours seulement à 20-22°C. Newton et ses collaborateurs,⁵⁸ dans une étude relative à l'effet du traitement des eaux d'égout sur les œufs et les miracidia de *Schistosoma japonicum*, rapportent qu'il faut deux à trois mois à des tem-

pératures de 8 à 18°C pour détruire les œufs, tandis qu'entre 18 et 24°C, trois semaines suffisent. Keller ⁴⁶ signale que, si la digestion des boues, à des températures moyennes ne détruit pas les œufs de *A. lumbricoides*, la digestion thermophile à 53-54°C est très efficace. Il est intéressant de noter que, dans les régions où les boues d'égout digérées en anaérobiose sont largement utilisées comme engrais, aucun cas de maladie d'origine fécale ne semble leur avoir été attribué.

Dans la préparation du compost en aérobiose, la prolifération des mouches, qui jouent un rôle important dans la transmission des maladies d'origine fécale, peut être empêchée en retournant assez souvent les tas de compost, afin de soumettre les œufs à la température élevée ainsi obtenue avant qu'ils puissent éclore. L'Agricultural Research Council of Great Britain ²³ a constaté qu'en Angleterre, le nombre des larves de mouches diminue dans une très forte proportion au cours des opérations de compostage. En outre, lorsque la nourriture contenue dans les matières usées organiques subit une certaine décomposition et se rapproche de l'humus, elle cesse d'attirer les mouches.

Au contraire, il est difficile, voire impossible, de lutter contre les mouches, pendant les chaleurs, lorsque la nourriture qu'elles recherchent subit un compostage anaérobie en tas. On obtient de meilleurs résultats, de ce point de vue, si les matières organiques sont digérées en suspension liquide dans des réservoirs clos. Nous reviendrons plus loin en détail sur la lutte contre les mouches (page 87), en particulier dans ses rapports avec les techniques de préparation du compost.

Les expériences qui ont été publiées semblent indiquer que la préparation correcte du compost à partir des matières fécales et autres déchets, si elle se fait dans de bonnes conditions d'hygiène, permet de lutter contre les maladies d'origine fécale si répandues partout où les excréments sont utilisés comme engrais sans précautions sanitaires.

Lorsque des excréta ou des boues d'égout sont mélangées à la masse à composter ; des mesures spéciales doivent être prises pour protéger la santé des ouvriers. Dans certaines régions on a dû abandonner le compostage surtout à cause des odeurs et des conditions d'insalubrité créées par la négligence du contrôle des opérations. Ailleurs, au contraire, on a pu préparer des composts à partir de matières fécales brutes et d'ordures diverses sans constater d'atteintes à la santé des ouvriers ou de gêne sérieuse. En tout cas, il y a lieu de prévoir un matériel de secours suffisant pour éviter l'accumulation des matières usées si un embouteillage se produit.

Aspects agricoles

Les observateurs ont souvent constaté dans diverses régions du monde que, lorsque les effluents urbains sont utilisés comme engrais, la terre est plus fertile au voisinage immédiat des villes qu'à distance, où les matières

usées sont moins abondantes. L'humus provenant des excréta, du fumier, des ordures ménagères et autres matières usées organiques possède des propriétés précieuses pour les végétaux et pour le sol lui-même. Il apporte en effet de l'azote, du phosphore et de la potasse, tous éléments nécessaires à la fertilité du sol. En outre, les déchets contiennent des oligo-éléments indispensables à la croissance optimum des végétaux. Enfin, beaucoup d'autorités estiment que la sensibilité des plantes alimentaires aux parasites et aux maladies infectieuses est exaltée par l'insuffisance de ces oligo-éléments. Ainsi, l'humus peut réduire la fréquence des maladies qui ravagent les cultures.

Outre sa richesse en substances nutritives, l'humus provenant de composts organiques possède diverses propriétés intéressantes. Lorsqu'ils sont employés avec des engrais minéraux, les acides organiques résultant de la décomposition métabolique des substances organiques s'unissent aux phosphates inorganiques. Sous cette forme, le phosphore est plus facilement absorbé par les végétaux supérieurs. D'autre part, l'humus accumule à la fois le phosphore et l'azote dans des conditions qui lui sont propres. La précipitation du phosphore par le calcium est inhibée et l'azote, qui entre dans la composition du protoplasme bactérien, devient insoluble. Puis, lorsque les bactéries meurent et se décomposent, l'azote redevient disponible. L'effet d'ensemble est d'empêcher la fuite de l'azote soluble inorganique dont le taux de dégagement se rapproche ainsi davantage du rythme d'utilisation par les plantes. La décomposition graduelle des substances organiques insolubles permet la libération continue de l'azote sous forme d'ammoniac, qui est ensuite oxydé pour former des nitrites et des nitrates.⁶³ Enfin, l'humus organique peut aussi contribuer à accroître la fixation par le sol de l'azote atmosphérique.

Les effets physiques de l'humus sur le sol sont aussi importants peut-être que ses propriétés nutritives. En effet, la fertilité du sol dépend de sa structure tout autant que de sa composition chimique. Le degré de cohésion des particules qui le composent est très important, car c'est de ce facteur que dépend l'aptitude du sol à retenir l'eau. Plus la cohésion des particules est élevée plus le sol est capable d'absorber l'eau de pluie, par conséquent plus il peut en accumuler, ce qui lui permet de mieux supporter les périodes de faible pluviosité ou de sécheresse. La cohésion des particules du sol est favorisée par les esters celluloseux (acétate de cellulose, cellulose méthylée et cellulose éthylée) qui résultent du métabolisme bactérien⁶²; l'humus joue donc de ce point de vue un rôle utile. En outre, les modifications qu'il produit dans la structure du sol favorisent le développement des racines.

Les terres soumises à une culture intensive ont tendance à s'appauvrir en humus organique, de même que celles des régions tropicales, où les températures élevées accélèrent la destruction biologique des substances organiques. En compensant cette déperdition, on contribue à maintenir

le sol dans les conditions physiques et biologiques nécessaires à la croissance normale des végétaux. La présence de l'humus est particulièrement importante dans les sols constitués par une argile lourde, dans les sols sablonneux meubles et dans les terrains salins et alcalins. L'humus et le métabolisme bactérien dont il est le siège rendent la terre plus apte à amortir par un effet-tampon les changements rapides d'alcalinité et d'acidité et à neutraliser l'action de certains déchets toxiques. D'autre part, la présence d'humus en quantité suffisante atténue l'érosion produite par le vent et par l'eau et permet de cultiver plus facilement les sols trop meubles. La chimie et la microbiologie de l'humus, et ses rapports avec le sol ont été décrits longuement par Waksman,^{83, 84} dont les nombreuses recherches ont fourni des renseignements importants sur les caractéristiques de cette substance dans les divers terrains.

La plupart des méthodes primitives d'utilisation des matières usées comme engrais sont une source permanente d'infection par les germes pathogènes d'origine fécale et ne permettent pas de conserver l'azote dans la proportion nécessaire. Scott⁶⁸ a constaté qu'une quantité considérable d'azote disparaît lors de la préparation et de la dessiccation des matières fécales utilisées comme engrais sous forme d'agglomérés. De même, lorsqu'on dépose sur les champs des matières fécales relativement fraîches et qu'elles demeurent à la surface du sol un certain temps avant d'y pénétrer, leur dessiccation amène une déperdition considérable d'azote. Pire encore, l'emploi de fumier animal comme combustible, qui se perpétue dans certains pays, fait disparaître l'azote complètement. La préparation du compost par les procédés modernes, qui répondent aux exigences de l'hygiène, permet de mieux conserver l'azote que les méthodes plus primitives et insalubres. Avec la méthode la plus sûre du point de vue sanitaire, c'est-à-dire la préparation du compost en aérobie à des températures élevées, la perte d'azote est minime ; en fait, elle est à peine plus élevée que lorsqu'on prépare le compost en anaérobiose à basse température. Cette question sera traitée plus loin de façon plus complète, à propos des méthodes de préparation.

L'épandage de fumier et autres matières usées qui n'ont pas subi un traitement suffisant favorise la propagation des herbes parasites et autres végétaux indésirables. Au contraire, les températures élevées qui règnent dans un compost en aérobie détruisent rapidement les graines. On n'obtient pas le même résultat avec l'anaérobiose : au bout de six mois, la quantité de graines fécondes a diminué, mais la destruction n'est pas complète.

Le compostage, outre qu'il permet de traiter de façon salubre les matières usées organiques contaminées, y réduit la proportion carbone-azote (C/N). Cet aspect de la question est traité de manière plus complète à la page 52.

APERÇU HISTORIQUE

Depuis des siècles, agriculteurs et maraîchers ont pratiqué le compostage sous une forme plus ou moins primitive. Les excréta, les détritux végétaux, le fumier animal, les ordures, etc... étaient accumulés en tas ou dans des fosses situés dans un endroit commode, où on les laissait se décomposer tant bien que mal, en attendant que ce matériel fût prêt à servir ou que les agriculteurs fussent prêts à l'utiliser. Ce procédé ne supposait que peu ou pas de contrôle, il exigeait une conservation prolongée avant de donner un humus satisfaisant, son rendement en azote était des plus incertains et son intérêt pour l'assainissement était à coup sûr nul.

Les premiers progrès importants dans la pratique du compostage furent accomplis par Howard^{32, 33, 35} il y a environ trente ans dans l'Inde, où, en collaboration avec Jackson & Wad,⁴² et d'autres,^{4, 17, 30} il mit au point, en systématisant les méthodes traditionnelles, une technique connue sous le nom de « procédé d'Indore », d'après la localité dans laquelle elle fut élaborée. A l'origine ce procédé n'utilisait que du fumier animal ; par la suite, il comporta l'entassement à même le sol de couches alternées de matériaux facilement putrescibles tels que fumier, excréta, boues d'égouts et ordures ménagères, ainsi que de matières organiques relativement stables comme la paille, les feuilles, les détritux urbains et certains déchets d'écuries et d'étables. Le tout était empilé en tas de 1,5 m de haut ou déposé dans des fosses spécialement construites à cet effet et profondes de 0,60 à 0,90 m. Au début on ne retournait qu'à deux reprises pendant la période de compostage, qui était de 6 mois ou davantage ; le liquide s'écoulant de la masse en décomposition était réutilisé pour humidifier le tas, ou était versé sur d'autres tas plus secs. Il est donc probable que ces amas de compost se décomposaient d'abord en aérobie pendant une brève période après la mise en tas et après chaque brassage, puis en anaérobie le reste du temps. Le procédé d'Indore, avec certaines modifications, a été largement utilisé dans l'Inde, par Howard,³³ Acharya¹ et d'autres³⁹. L'Indian Council of Agricultural Research, à Bangalore, a mis au point une variante perfectionnée connue sous le nom de procédé de Bangalore, qu'il a appliquée au cours de vastes programmes de compostage dans l'Inde. Scharff⁶⁶ en Malaisie, Wilson⁹¹ en Afrique orientale et d'autres dans différentes parties du monde^{4, 56, 57, 89, 93, 94} ont utilisé la méthode d'Indore avec quelques changements. Van Vuren⁵¹ en Afrique du Sud a fait des études considérables sur des variantes de la méthode d'Indore et sur l'utilisation du compost comme engrais. Parmi les innovations les plus importantes, il

convient de signaler le retournement plus fréquent qui, en entretenant des conditions favorables aux bactéries aérobies strictes ou facultatives, assure une décomposition plus rapide et permet ainsi d'abréger la période de compostage (voir page 73).

Scott et d'autres entreprirent en 1935 des études très complètes sur le compostage, à l'occasion de travaux relatifs à l'assainissement agricole exécutés dans la Chine du Nord. Leurs travaux ont été interrompus en 1941 par la seconde guerre mondiale, mais heureusement le résultat de ces recherches fut publié en 1951.⁶⁸ Utilisant presque uniquement des excréta, ils ont étudié :

- 1) l'influence sur la santé publique de la récupération des déchets par des méthodes primitives et insalubres ;
- 2) les problèmes sanitaires posés par le rassemblement et le traitement des matières fécales ;
- 3) les pertes de substances chimiques inhérentes aux méthodes primitives d'utilisation des déchets ;
- 4) l'effet de destruction des germes pathogènes que permettent d'obtenir différentes techniques de compostage en aérobiose et en anaérobiose ;
- 5) la récupération d'azote dans les diverses méthodes de compostage et de conservation du compost ;
- 6) la lutte contre les mouches lors des opérations de compostage ;
- 7) les effets produits sur la qualité du compost en faisant varier les proportions des diverses catégories de déchets entrant dans sa composition ;
- 8) l'action du compost sur le rendement des récoltes ;
- 9) les problèmes que pose l'adaptation du compostage aux conditions rencontrées dans les fermes isolées ou dans les villages.

Ces études ont fourni des indications importantes sur les problèmes se rapportant au compostage des matières fécales et des déchets dans les régions rurales.

De 1926 à 1941, Waksman et ses collaborateurs ont fait des recherches fondamentales sur la décomposition aérobie des résidus végétaux et du fumier d'étable. Ils ont publié des données importantes concernant l'influence de la température sur la vitesse de décomposition,⁸⁶ le rôle de groupes séparés de micro-organismes⁸⁵ et l'action de leurs cultures suivant qu'elles sont mixtes ou homogènes.^{85, 87}

Gotaas et ses collaborateurs^{23, 24, 49, 81} ont fait entre 1950 et 1952 des recherches sur certains des aspects fondamentaux du compostage de détritux urbains mélangés contenant des ordures ménagères, avec ou sans adjonction de boues d'égout. Leurs travaux ont permis d'obtenir des précisions essentielles sur l'effet respectif des divers facteurs qui interviennent dans le compostage en aérobiose, à savoir : 1) la température ;

2) l'humidité ; 3) l'aération par retournement ou par d'autres procédés ; 4) le rapport C/N dans les matières organiques ; 5) l'action d'inoculum biologiques spéciaux, et 6) le broyage ou la lacération des matériaux. Leurs études ont aussi fourni des données sur les types d'organismes qui se développent au cours du compostage, sur les techniques permettant d'apprécier l'état du compost pendant et après la préparation, sur la conductibilité thermique des matériaux constitutifs du compost et sur diverses questions touchant au mode opératoire.

Pendant que les méthodes anciennes faisaient l'objet de divers perfectionnements dans l'Inde, en Chine, en Malaisie et ailleurs, d'autres chercheurs, notamment en Europe, consacraient des efforts considérables à la mécanisation des opérations de compostage, notamment afin de traiter et d'évacuer les ordures et détritux urbains sans risque d'insalubrité. Ces efforts aboutirent à différentes innovations mécaniques, dont la plupart visaient soit à améliorer l'aspect extérieur du compost en opérant en milieu clos, soit à accélérer le processus et à en diminuer le coût.

Ces perfectionnements techniques sont principalement destinés aux villes, mais ils sont également intéressants pour le compostage en milieu rural.

Parmi les premiers procédés brevetés, l'un des plus largement utilisés ^{11, 18, 36, 60, 78} a été mis au point par Beccari,⁷ de Florence, et porte le nom de son inventeur. Dans cette méthode, qui utilisait un premier stade de fermentation anaérobie suivie d'une phase finale en aérobiose, le matériel était entassé dans une cuve fermée pour empêcher le dégagement des odeurs fétides qu'entraîne la putréfaction des matières organiques. Dans sa forme première, la cuve de Beccari comprenait un compartiment unique avec une trappe de chargement au sommet et une porte de déchargement sur le devant. Des trous d'aération, que l'on ouvrait à la phase finale, permettaient d'assurer des conditions d'aérobiose partielle. Une modification du procédé Beccari, qui consiste à remettre en circulation l'effluent liquide ou les gaz et permet peut-être une meilleure aération, est connue sous le nom de procédé Verdier.

Bordas⁷⁷ apporta en 1931 un nouveau perfectionnement au procédé Beccari en s'efforçant d'éliminer la phase anaérobie par l'introduction d'air sous pression dans un réservoir de fermentation au moyen d'une conduite centrale et de conduites murales. Une grille partage le réservoir en une chambre inférieure et une chambre supérieure. Le principe est d'obtenir des fournées successives et, pour utiliser l'espace au maximum, de faire tomber la charge dans la chambre inférieure à travers la grille quand son volume a été considérablement réduit par la décomposition.

Earp-Thomas, de Hampton (New Jersey), a pris en 1939 un brevet pour un digesteur à grilles multiples.

Un brassage par socs rotatifs et l'introduction d'air sous pression, permettent d'obtenir un compost en aérobiose. Une des caractéristiques

essentielles de ce procédé est l'utilisation de cultures bactériennes spéciales fournies par Earp-Thomas.

Une variante de la cuve fermée du type digesteur, consiste en un réservoir à parois doubles et à compartiments horizontaux multiples. Il a été récemment mis au point par la Ralph W. Kiker Company, de Lansing (Michigan). Les matières organiques sont contenues dans la partie intérieure du réservoir, qui est aérée à la fois par l'intérieur et par l'extérieur et constamment arrosée par l'effluent liquide pompé à partir d'un puisard collecteur. D'après les indications fournies, il semble que ce procédé utilise un inoculum spécial.

Le procédé Frazer,¹⁹ qui a été breveté aux Etats-Unis en 1949, utilise un digesteur clos ventilé et entièrement mécanisé dans lequel la matière organique dilacérée est continuellement brassée à mesure qu'elle descend et mise en contact avec les gaz de décomposition. Ce dernier point est une des caractéristiques principales du brevet. Le compost est passé au crible à sa sortie du compartiment inférieur, et les résidus du criblage sont réintroduits dans le circuit.

Le digesteur Hardy est une grande cuve circulaire à l'intérieur de laquelle des vis sans fin verticales assurent l'aération et le brassage des matériaux. Le fond de la cuve est poreux pour permettre l'entrée de l'air et l'écoulement de l'effluent. Cette cuve malaxeuse, dans laquelle s'effectue la décomposition aérobie, fonctionne de manière continue et décharge le compost fini au fur et à mesure de l'introduction de la matière brute. Il existe d'autres digesteurs brevetés, avec différents dispositifs d'aération et de déplacement des matériaux.

Snell⁷¹ a fait des études expérimentales sur le compostage dans un digesteur à brassage mécanique. Il ressort de ses rapports que des efforts considérables ont été faits pour mettre au point des procédés plus efficaces d'agitation et pour résoudre certains problèmes mécaniques se rapportant au fonctionnement du digesteur.

Il semble que les digesteurs aient été principalement utilisés dans de petites installations pour le traitement d'ordures ménagères triées ayant une teneur élevée en matières organiques. Ils sont fortement mécanisés en vue d'assurer l'aération continue et les températures élevées qui y règnent accélèrent le compostage. La rapidité des opérations permet de réduire le volume des installations et la superficie du terrain, mais l'avantage économique qui en résulte est moindre qu'on ne le pense parfois ; en effet, le compost fini est utilisé à un rythme saisonnier alors que la matière première du compostage arrive de manière plus ou moins régulière. D'autre part, on peut se demander si le compostage d'ordures ménagères triées est vraiment un procédé économiquement justifié. En effet, les ordures contenant une forte proportion de déchets d'aliments peuvent être cuites et servir de façon rentable à la nourriture des porcs. En outre, leur compostage entraîne une perte d'azote très considérable puisque ces matières ont un rapport C/N assez bas. En sens contraire, on peut arguer que, si l'on

composte des ordures mélangées avec des déchets organiques en une masse de rapport C/N plus élevé, on accroît le temps nécessaire pour ramener ce rapport à 20 : cette considération n'est pas sans importance du point de vue économique lorsqu'on utilise des digesteurs mécanisés.

Le premier procédé Dano, mis au point au Danemark, est en général considéré comme une méthode de compostage, mais en fait, il se ramène à une opération de triage et de broyage des déchets, dont le produit peut ensuite servir à la fabrication de compost selon l'une quelconque des méthodes connues. Les ordures et les déchets sont introduits dans un cylindre rotatif à mouvement lent, dont l'axe est légèrement incliné par rapport à l'horizontale, et où les matériaux sont aérés pour éliminer les odeurs désagréables, puis mélangés et partiellement réduits en morceaux plus petits. Les métaux ferreux et autres matières récupérables sont éliminés au moyen d'un séparateur magnétique et par triage manuel au cours de leur acheminement vers un appareil de broyage et d'homogénéisation appelé Egsetor. Le broyage en particules de dimensions voulues s'effectue par frottement entre les fragments d'ordures et entre ceux-ci et les parois rugueuses de l'Egsetor en rotation. Il faut 4 à 6 heures environ pour le passage des matériaux à travers le broyeur. Le compostage s'effectue finalement en tas disposés à même le sol et hauts de 1,5 à 1,8 m.

La Dano Corporation¹⁵ a récemment construit un digesteur mécanique appelé *Bio-stabilizer*, qui a été utilisé dans une usine-pilote assurant le compostage d'environ 20 tonnes de déchets par jour. Le *Bio-stabilizer* consiste essentiellement en un long cylindre, à peu près semblable à un four à ciment, qui tourne lentement (à raison d'un tour toutes les 5 minutes) sur un axe légèrement incliné par rapport à l'horizontale. Les déchets, avec ou sans addition de boue d'égout, sont introduits dans le digesteur, qui peut en contenir environ 100 tonnes et qui est maintenu à peu près plein. La rotation du cylindre entraîne une lente progression des déchets. On peut ajouter de l'eau pour accroître le degré d'humidité. L'aération est assurée par deux rangées de tuyères fixées le long du cylindre. La désintégration des déchets est obtenue par l'abrasion des particules en rotation et par une action biologique. Suivant leur nature, les détritiques restent dans le digesteur de trois à cinq jours, et leur température reste à peu près constamment à un niveau favorable aux bactéries thermophiles. À la sortie de l'appareil, le compost passe à travers un tamis à mailles de 1 cm et, s'il y a lieu, il est encore soumis à une stabilisation supplémentaire par conservation en tas avant d'être préparé pour la vente. Un petit *Bio-stabilizer* fonctionne à Rüsclikon, près de Zurich (Suisse), et un plus grand est actuellement en construction à Edimbourg. Une installation expérimentale doit être montée près de Los Angeles (Californie).

La méthode VAM^{83, 96} est utilisée aux Pays-Bas depuis 1932 par la N. V. Vuilafvoer Maatschappij (VAM), entreprise non commerciale créée par le Gouvernement pour l'évacuation des ordures urbaines. Dans son

principe, c'est une adaptation du procédé d'Indore pour le compostage de grandes quantités de détritiques urbains, ne contenant qu'une faible proportion d'ordures ménagères ou de déchets alimentaires facilement putrescibles. A l'origine, ce procédé consistait à empiler les déchets non broyés. Les piles, allongées et élevées, étaient aspergées périodiquement avec leur propre effluent. Les matières décomposées étaient ensuite broyées au moyen d'un pilon et vendues comme humus. Dans les installations plus récentes, les déchets sont préalablement dilacérés dans un broyeur spécial mis au point par le directeur de la VAM, M. Westrate.⁹⁰ Ce broyeur a la forme d'une roue sans jante. Les rayons de fer en U sont articulés par des broches à un moyeu et tournent au-dessus d'une base horizontale de 4,5 m ou plus de diamètre. Cette base est constituée par une série alternée de plaques rugueuses et de cribles. Le broyage s'effectue par la rotation des rayons qui raclent les plaques rugueuses. Les matières récupérables sont triées et écartées avant le début de l'opération ; les matières non broyables sont enlevées deux fois par jour. Les produits du broyage passent à travers les cribles et tombent sur un tapis roulant qui les amène à un emplacement où ils peuvent être facilement arrosés en vue d'en contrôler l'humidité, et retournés de temps à autre pour assurer l'aération pendant le compostage.

Stovroff et ses collaborateurs de la Compost Corporation of America,^{74, 75} qui ont fait fonctionner d'importantes installations-pilotes, ont étudié la rentabilité de la préparation d'engrais par compostage de détritiques urbains et de déchets industriels provenant de collectivités importantes. Ces usines-pilotes sont dotées d'un équipement moderne de manutention qui permet de traiter les masses considérables de déchets que les villes évacuent journellement. La mécanisation est avantageuse car elle permet de vendre le compost en gros à des prix qui demeurent inférieurs à ceux des fumiers d'étable ou de basse-cour.

L'usine dont la construction est envisagée à Oakland (Californie) par une compagnie privée est prévue pour composter un mélange de 300 tonnes d'ordures ménagères et de détritiques urbains par journée de travail de 8 heures, ou 600 tonnes sur la base de deux équipes fonctionnant au total 16 heures par jour. Le traitement est entièrement aérobique et le compost est disposé en silos régulièrement espacés. Il s'agit en fait de la technique d'Indore, perfectionnée par l'application de méthodes modernes de mécanisation.

L'installation est à débit continu. Le cycle commence sur une vaste aire de réception en béton où les ordures sont chargées sur des bandes transporteuses. Les éléments inorganiques et non compostables sont éliminés en plusieurs phases qui font intervenir un appareillage mécanique, pneumatique et magnétique, une centrifugation, et enfin un contrôle manuel. Les matériaux ainsi récupérés sont traités pour revente à l'industrie. L'équipement et les opérations sont conçus de manière à entretenir dans les tas en fermentation des conditions favorables à l'action biologique souhaitée.

Le compostage exige approximativement trois semaines, pendant lesquelles l'humidité, l'aération et la température sont contrôlées. Quand le compost est stabilisé, les tas sont réunis en grosses meules de stockage ou soumis à une préparation finale pour la vente. Cette préparation consiste à tamiser le matériel pour le rendre homogène avant l'expédition en vrac par camions, ou à ajouter des substances chimiques et à mettre en sacs. L'importance de ce traitement final dépend de l'état du marché, de la saison et de l'usage auquel le produit est destiné.

Il peut être utile d'indiquer, à la fin de cet aperçu historique, quelques-unes des nombreuses régions où les diverses méthodes sont appliquées en grand pour traiter les ordures évacuées par des villes importantes. Lorsqu'il existe un réseau d'égouts, il est fréquent que les excréments ou les boues soient mis à composter avec les ordures ménagères et les détritiques mais cette pratique n'est pas répandue partout. Dans certaines localités, les boues d'égouts sont mêlées à d'autres déchets organiques utilisés pour le compostage, mais en règle générale elles sont digérées en anaérobiose et répandues sur la terre sans autre traitement que la déshydratation.

Le procédé Beccari est utilisé dans plus de 50 villes d'Italie et de France pour le traitement des ordures ménagères, et le procédé Verdier est employé dans plusieurs villes du midi de la France. Des installations de broyage du type Dano, qui accumulent le matériel sur place ou sur des terrains spéciaux en vue du compostage, sont en service dans plusieurs villes du Danemark et de la Suède. Dans certaines de ces installations, des boues d'égouts ou des excréments sont mélangés aux déchets au moment où ceux-ci sortent du broyeur pour être mis à composter.

Diverses variantes du procédé d'Indore sont appliquées aux Pays-Bas, en Allemagne, en Autriche, en Angleterre, en Afrique, en Australie, en Nouvelle-Zélande, dans l'Inde, en Malaisie, en Amérique centrale et aux États-Unis.

Les Pays-Bas sont le pays d'Europe où les opérations de compostage ont le plus d'envergure ; des milliers de tonnes de compost y sont produites chaque année à partir des ordures urbaines par la VAM ainsi que par diverses municipalités, pour être vendues aux agriculteurs.⁸⁹ Les ordures et déchets de La Haye, de Groningue et de Zandvoort sont transportés dans des wagons de chemin de fer spécialement aménagés jusqu'au lieu de décharge à Wijster ; là, les trains sont alors dirigés sur un des viaducs, hauts de 6 mètres et longs de 488 mètres. Le contenu des wagons est enfin déversé pour former au-dessous des viaducs des couches qui sont nivelées mécaniquement et aspergées d'eau. Le compostage exige 4 à 8 mois, après quoi le matériel est pulvérisé et passé au crible. Il est probable que la décomposition, aérobie au début, devient ensuite anaérobie. A Schiedam, à Flessingue⁹⁰ et dans d'autres villes, les détritiques contenant de faibles quantités d'ordures ménagères sont broyés et disposés en tas, que l'on retourne pour les aérer. Dans ces installations, la durée du compostage

varie de trois mois pour les ordures d'été à deux mois pour les ordures d'hiver, qui contiennent une quantité considérable de cendres.

Une nouvelle usine de compostage munie d'un équipement mécanique de manutention fonctionne en Allemagne à Baden-Baden. Les ordures sont d'abord triées par criblage, par élimination magnétique des métaux, et par enlèvement manuel ; elles sont ensuite mélangées à des boues d'égout digérées pour être compostées en silos. Après 4 ou 6 mois de décomposition, le compost est tamisé et les parcelles volumineuses sont pulvérisées dans un broyeur à marteaux. D'autres villes allemandes construisent ou envisagent des installations municipales de compostage. A Heidelberg, on vient d'ouvrir une usine utilisant le broyeur VAM et fabriquant le compost à l'air libre en silos.

A Londres, l'arrondissement (*Borough*) de Southwark fabrique des composts depuis 1906, en utilisant les balayures des rues, les déchets des marchés, le fumier animal et les ordures ménagères.⁵¹ La méthode est une variante de la technique d'Indore qui emploie des cuves de béton d'une contenance de 70 tonnes. Les municipalités de Leatherhead, Maidenhead et Dumfries, ainsi que les Northern Sewage Outfall Works du Comté de Londres, pratiquent de même le compostage des boues d'égout, des détritrus urbains et des ordures ménagères.^{51, 94} L'usine de Dumfries recueille les ordures de plusieurs petites villes, les traite et vend le compost obtenu. Le compostage s'effectue dans des cuves en béton qui sont aérées afin d'obtenir une décomposition à haute température. Le matériel est placé dans les cuves et arrosé avec de l'effluent liquide d'égout qui laisse un dépôt de boue sur les ordures lorsque la majeure partie de l'eau s'est écoulée. Les manutentions s'effectuent mécaniquement. Des études sont en cours dans l'île de Jersey, pour la création d'une usine-pilote de compostage. On envisage de construire un digesteur capable de traiter en 7 jours un mélange d'ordures et de boues d'égout qui serait ensuite conservé en tas pendant une période de maturation de 8 à 10 semaines.

Dans plusieurs parties de l'Afrique, notamment dans l'Union Sud-Africaine et au Kenya, la production de composts suivant diverses variantes du procédé d'Indore, dépasse 380 000 m³ par an.⁸² Il ressort d'une enquête récente que 14 municipalités de la Province du Cap fabriquent du compost.⁶⁰ Le procédé s'implante également dans les régions rurales, où les détritrus, les débris végétaux et le fumier sont récupérés en petites quantités, et généralement avec des moyens assez primitifs, soit par les agriculteurs, pour qui le maintien de la fertilité du sol est une nécessité économique, soit par les jardiniers amateurs.

En Amérique centrale, le Gouvernement de Costa Rica a créé une société chargée d'organiser les travaux de compostage dans les centres urbains. Au Salvador, des entreprises privées se chargent avec profit de ce travail dans les villes de Santa Ana et de San Salvador. Les déchets sont triés, broyés, malaxés avec de la boue d'égout et des détritrus d'abat-

toirs, amoncelés en tas et retournés. Il faut cinq à six semaines pour obtenir le compost fini.

Au Mexique, il existe plusieurs installations-pilotes qui préparent la voie à des opérations plus vastes ; elles utilisent la méthode des tas périodiquement retournés. De même, en Nouvelle-Zélande, des installations-pilotes fonctionnent et d'importantes recherches sont en cours sous la direction d'un comité inter-ministériel.

Aux Etats-Unis, où l'on ne s'était pas beaucoup intéressé jusqu'ici au compostage des ordures urbaines, plusieurs villes ont reconnu récemment les avantages que ce procédé peut procurer en permettant d'évacuer les ordures à frais réduits. Ce manque d'intérêt était dû en partie au fait que certains des procédés brevetés qui avaient été proposés, sans avoir jamais été poussés jusqu'au stade de l'application pratique, paraissaient techniquement et économiquement douteux, exigeaient des installations compliquées et coûteuses, et nécessitaient l'obtention d'une licence ou le paiement de redevances. Cinq usines employant le procédé Beccari ont été créées aux environs de 1930, mais toutes furent abandonnées par la suite.⁷⁷ Depuis quelque temps, une petite installation gérée par la Compagnie Frazer Products Inc. à Bayshore (Long Island) fabrique du compost à partir d'ordures ménagères triées avec adjonction de 25 % de boue d'égout.

C'est probablement dans l'Inde que le compostage, pratiqué en vue du traitement et de la récupération des déchets, a pris le plus d'extension ; le nombre de municipalités où le procédé est appliqué est passé de 260 en 1944/45 à 1609 en 1951, et la production annuelle s'est élevée pendant la même période de 182 610 à plus de 2 millions de tonnes.^{1, 40} Près de 138 000 villages traitent leurs ordures et déchets par le procédé de Bangalore.

D'une façon générale, il semble que le compostage, considéré comme un moyen économique d'évacuation et de récupération des déchets organiques, suscite un intérêt considérable dans les régions les plus diverses. L'auteur a eu connaissance de différents projets actuellement à l'étude dans plusieurs localités qui n'ont pas été mentionnées ici.

Peu d'indications nouvelles ont été apportées, depuis la mise au point du procédé Beccari, sur l'utilisation de la digestion anaérobie en tas des ordures ménagères, des déchets et des excréta. Ces méthodes, produisant des températures plus basses, entraînent sans doute une moindre déperdition d'azote, mais le dégagement d'odeurs fétides, le pullulement des mouches et la destruction moins complète des germes pathogènes constituent des inconvénients majeurs.

Il existe une volumineuse littérature sur les méthodes de traitement en suspension liquide pour la digestion anaérobie des boues d'égouts et des déchets industriels. Ces procédés ont fait l'objet de travaux et développements trop nombreux pour pouvoir être exposés en détail ici ; il est

possible, néanmoins, d'indiquer de quelle façon ils peuvent être adaptés aux besoins des entreprises agricoles et des petits villages. Etant donné, d'une part, que les exploitations agricoles produisent de grandes quantités de matières contenant du carbone, et notamment des fumiers qui ont en outre une forte teneur en azote, et que, d'autre part, la digestion anaérobie de ces matières dégage du méthane, on voit les intéressantes possibilités qu'offrent des digesteurs conçus de telle sorte que le gaz puisse être recueilli pour servir à la production de chaleur ou d'énergie, et que l'humus obtenu puisse être utilisé comme engrais. Des progrès considérables ont été accomplis dans cette voie, en particulier en France, en Allemagne, en Italie et dans l'Inde, où des installations de ce type fonctionnent depuis quelque temps déjà.^{37, 52, 54} Cette méthode a reçu une grande extension en France, où l'on comptait 600 installations individuelles en 1950, et plus de 1000 en 1952. L'industrie française livre des réservoirs et des gazomètres préfabriqués d'un modèle simple. Ces installations, qui seront décrites de façon plus complète au chapitre 9, peuvent rendre de grands services dans les régions à la fois pauvres en combustible et en engrais.

VOLUME ET COMPOSITION DES MATIÈRES BRUTES UTILISÉES

La quantité, la nature et la composition des matières usées pouvant servir au compostage varient considérablement selon le lieu et la saison. Dans les villages et les fermes, ces caractéristiques dépendent du climat, du nombre des personnes, de l'étendue de l'exploitation, des types de culture, des animaux utilisés et de leur stabulation, des possibilités matérielles de collecte des ordures, des coutumes sociales et des habitudes alimentaires, de l'emploi des déchets organiques comme combustible et des conditions économiques de la région. Dans les villes et les zones urbaines, la plupart de ces facteurs interviennent également, mais il faut en ajouter d'autres : présence de déchets industriels, de débris provenant de l'entretien des parcs et des pelouses, de balayures des rues et de cendres ; utilisation d'incinérateurs dans les habitations et les entreprises commerciales ; fréquence et modalités du ramassage des ordures (en vrac ou par catégories) ;^a abondance des matières récupérées ; utilisation des issues pour la nourriture des animaux et emploi par les particuliers de broyeurs d'ordures.

Ces facteurs sont si multiples et complexes qu'on ne saurait établir de règles uniformes ou de méthodes passe-partout pour calculer la quantité de matières usées que l'on peut s'attendre à trouver dans une localité donnée. Pour évaluer l'importance et la composition des ordures provenant d'une population déterminée, il faut, soit faire une étude spéciale de la localité, soit se servir des renseignements obtenus dans des collectivités présentant des caractéristiques similaires. Il existe, toutefois, certaines données essentielles qui peuvent faciliter l'analyse d'une opération déterminée de compostage en complétant les informations obtenues sur place.

Zones rurales et villages agricoles

Dans les zones rurales et les villages agricoles où il n'existe pas de canalisation d'égouts et où les excréta sont conservés, les indications qualitatives et quantitatives suivantes pourront servir de point de repère général pour l'analyse d'une opération de compostage.

^a Nous englobons ici dans le terme d'« ordures » les déchets de cuisine, les détritiques combustibles ou non, les vieux papiers et autres rebuts qui sont habituellement récoltés lors du ramassage en vrac des matières usées urbaines : les boues d'égouts, les excréta et les déchets industriels ne sont pas compris dans ces « ordures ».

*Excreta humains sans urines (Fèces)**Quantité approximative*

135-270 g par habitant et par jour (avant déshydratation)

35-70 g par habitant et par jour (après déshydratation)

Composition approximative

	%
Eau	66-80
Matières organiques (après déshydratation) ^a	88-97
Azote	5,0-7,0
Phosphore (exprimé en P_2O_5)	3,0-5,4
Potassium (exprimé en K_2O)	1,0-2,5
Carbone	40-55
Calcium (exprimé en CaO)	4-5
Rapport C/N	5-10

*Urine humaine**Quantité approximative*

Volume : 1,0-1,3 litre par habitant et par jour

Matières solides : 50-70 g par habitant et par jour

Composition approximative

	%
Eau	93-96
Matières organiques (après déshydratation)	65-85
Azote	15-19
Phosphore (exprimé en P_2O_5)	2,5-5
Potassium (exprimé en K_2O)	3,0-4,5
Carbone	11-17
Calcium (exprimé en CaO)	4,5-6

Fumier animal

Quantité approximative. La quantité de fumier diffère considérablement selon la nourriture et le mode de logement des animaux. Van Slyke (cité par Millar & Turk ⁵⁵) donne, sur la production d'excreta, les informations qui figurent dans le tableau 1 ; à ces chiffres, il convient d'ajouter le poids de la paille, de la litière et des détritrus qui entrent dans la composition totale du fumier.

Mignotte ⁵⁴ donne les évaluations suivantes de la quantité de fumier produite annuellement par divers animaux : chevaux et bœufs de trait, 10 tonnes métriques ; bœufs (de boucherie), 15 tonnes, vaches laitières, 12 tonnes ; moutons, 0,5 tonne ; porcs, 1,5 tonne.

^a Dans la présente monographie, la quantité de matières organiques a été calculée sur la base de la perte de poids après incinération du produit sec.

TABLEAU 1. QUANTITÉS D'EXCRETA D'ORIGINE ANIMALE

Animaux	Nombre de tonnes par an, pour 100 kg de poids vif	Quantité d'azote (nombre de kg par an, pour 1000 kg de poids vivant		
		liquide	solide	total
Chevaux	1,80	5,4	8,8	14,2
Vaches	2,70	4,8	4,9	9,7
Porcs	3,06	4,0	3,6	7,6
Moutons	1,26	9,9	10,7	20,6
Volaille	0,86	—	20,0	20,0

Reproduit d'après *Fertilizers and Crop Production* de Van Slyke (cité par Millar & Turk ⁵⁵).

La quantité annuelle d'azote évacué a été estimée par divers auteurs à environ 9 kg pour les chevaux et les bœufs, 7 kg pour les vaches ; et 5,6 kg pour les ovins et les caprins.

Composition approximative. Le fumier provenant des écuries et des étables contient les trois principaux éléments suivants : a) litière et détritux végétaux ; b) excreta solides et c) urines. Les caractéristiques et l'importance relative de ces composants varient considérablement suivant les animaux, leur alimentation, leur destination et la façon dont les étables sont agencées. La paille et les résidus végétaux utilisés pour les litières contiennent habituellement des quantités importantes de carbone, en particulier sous forme de cellulose, ainsi que de faibles quantités d'azote et de minéraux. Les excreta solides contiennent des quantités importantes de protéines qui fournissent un milieu nutritif mieux équilibré pour la croissance des microorganismes. Le tableau 2 donne, d'après Waksman,⁸⁴ les proportions de certains des éléments chimiques entrant dans la composition des différents fumiers frais.

TABLEAU 2. COMPOSITION CHIMIQUE DE DIFFÉRENTS FUMIERS FRAIS *

Composition chimique	Mouton ^a	Cheval ^b	Vache ^a
	%	%	%
Substances solubles dans l'éther	2,8	1,9	2,8
Matières organiques solubles dans l'eau froide	19,2	3,2	5,0
Matières organiques solubles dans l'eau chaude	5,7	2,4	5,3
Hemicelluloses	18,5	23,5	18,6
Cellulose	18,7	27,5	25,2
Lignine	20,7	14,2	20,2
Protéines totales	25,5	6,8	14,9
Cendres	17,2	9,1	13,0

* Excreta solides uniquement

^a Calculée sur le fumier déshydraté après élimination des détritux.

^b Excreta solides et liquides

Reproduit d'après Waksman,⁸⁴ avec l'autorisation de John Wiley & Sons, Inc., New York.

Le tableau 3 montre, d'après Jenkins,⁴⁴ la nature chimique des divers types de fumiers.

TABLEAU 3. NATURE CHIMIQUE DES DIVERS TYPES DE FUMIERS

Types de fumiers	Eau %	Composition du produit sec		
		Azote %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
Bovins	80	1,67	1,11	0,56
Chevaux	75	2,29	1,25	1,38
Ovins	68	3,75	1,87	1,25
Porcins	82	3,75	3,13	2,50
Poules	56	6,27	5,92	3,27
Pigeons	52	5,68	5,74	3,23

Reproduit d'après Waksman,⁸⁴ avec l'autorisation de John Wiley & Sons, Inc., New York

Il ressort de nombreuses analyses^{68, 84} que le fumier des écuries et des étables contient, à l'état frais, environ 70-80 % d'eau, 0,03-1,9 % d'azote, 0,1-0,6 % de phosphore (exprimé en P₂O₅) et 0,3-1,2 % de potassium (exprimé en K₂O). Une tonne de fumier frais contient donc environ 180 à 270 kg de matière sèche, approximativement 3,5-5 kg d'azote, 2 à 3 kg de P₂O₅ et 4 à 5 kg de potassium. Au cours du compostage du fumier, le degré d'humidité et la quantité de matière sèche diminuent beaucoup, mais la plupart des éléments nutritifs peuvent être conservés dans le produit fini.

Il convient de signaler que les urines humaines ou animales ont une teneur en azote largement supérieure à celle des matières fécales. Une politique rationnelle de récupération suppose donc qu'on s'efforce tout particulièrement de ne pas les laisser perdre. On peut les absorber en utilisant pour les litières et dans les fosses à purin de la paille, de la sciure et d'autres déchets celluloseux.

Ordures (ordures ménagères, déchets et autres rebuts)

Quantité approximative. Les quantités d'ordures ménagères, de déchets organiques et de matière végétale morte dont on dispose dans les villages et les exploitations agricoles pour la fabrication du compost sont extrêmement variables. Les ordures ménagères et les déchets de cuisine servent en majeure partie à l'alimentation des animaux et il ne reste donc que des quantités très limitées de produits végétaux non comestibles riches en cellulose. On trouve de même fort peu de vieux papiers, chiffons, etc. La grande masse est constituée par des cendres, surtout dans les régions froides, les balayures de rues et des rebuts divers. Dans les régions chaudes à pluies abondantes, les débris de plantes entrent pour une forte proportion dans la composition des ordures ; celles-ci sont toutefois en quantité

insuffisante dans de nombreux villages pour fournir une matière à composter satisfaisante après mélange avec les excréments, et il est nécessaire de la compléter en y ajoutant du fumier. Bien qu'elle varie considérablement d'un endroit à l'autre, la quantité d'ordures ménagères et de déchets rejetés dans les villages peut être évaluée à environ 220-340 g par habitant et par jour.

Composition approximative

	%
Eau	10-60
Matières organiques (après déshydratation)	25-35
Azote	0,4-0,8
Phosphore (exprimé en P_2O_5)	0,2-0,5
Potassium (exprimé en K_2O)	0,8-1,5
Carbone	12-17
Calcium (exprimé en CaO)	4,0-7,5

Déchets des abattoirs

Quantité approximative. Ces déchets sont en quantité extrêmement variable suivant qu'on prépare plus ou moins de sous-produits. On estime que les petits abattoirs où la récupération est nulle donnent jusqu'à 22-36 kg de matières compostables (poids sec) par tonne de viande débitée ; dans les grands abattoirs qui utilisent la majeure partie des déchets pour la fabrication de sous-produits, la quantité pouvant servir au compostage ne dépasse pas 11 à 18 kg par tonne. Les proportions de matières usées liquides et solides varient également selon les abattoirs. Dans les grandes installations modernes, les matières usées se présentent sous forme d'effluent liquide.

Composition approximative. La composition varie elle aussi selon l'ampleur des opérations et l'importance du traitement des déchets pour la fabrication de sous-produits. La plupart des abattoirs ruraux n'emploient que des procédés rudimentaires de récupération et leurs déchets comprennent du sang, des viandes impropres à la consommation, des tripes, des abats, des contenus intestinaux, des sabots, etc. ; la composition est en général la suivante :

	%
Eau	75-80
Matières organiques (après déshydratation)	80-95
Azote	8-11
Phosphore (exprimé en P_2O_5)	3,0-3,5
Potassium (exprimé en K_2O)	2,0-2,5
Carbone	14-17
Calcium (exprimé en CaO)	3,0-3,5

Agglomérations urbaines

Dans les agglomérations urbaines, la quantité et la composition des matières usées varient presque autant que dans les zones rurales. Des données nombreuses ont toutefois été publiées à ce sujet pour des villes situées dans différentes régions du monde. On trouvera ci-après certaines indications générales relatives à des villes possédant des réseaux d'égouts et dans lesquelles la collecte des ordures ménagères et des déchets est régulièrement effectuée ; ces renseignements peuvent faciliter l'analyse des opérations urbaines de compostage en complétant les informations obtenues localement.

Boues d'égouts

Le tableau 4 indique approximativement la quantité et la composition du contenu solide et de la boue des égouts selon les diverses méthodes de traitement utilisées. Dans la préparation du compost, les boues d'égouts, fraîches ou digérées, peuvent être utilement mélangées avec des ordures ménagères et d'autres déchets. Lorsque la boue d'égouts n'a pas été partiellement égouttée, il est nécessaire, comme on le montrera plus loin, d'y ajouter des quantités considérables de matières usées sèches, afin d'absorber l'eau et de créer des conditions d'aérobiose.

Déchets industriels

La quantité et la composition des déchets industriels pouvant servir à la fabrication de compost varient considérablement et doivent être évaluées dans chaque cas particulier d'après les renseignements disponibles sur les industries de la région. Les déchets des industries alimentaires — détritiques végétaux, plumes, résidus d'abattoirs — peuvent fournir des quantités importantes de matières solides ou semi-solides pour le compostage. La sciure et les copeaux de bois provenant des scieries, et dont la teneur en eau est habituellement de 40 à 65 %, sont également intéressants, surtout lorsqu'ils sont mélangés à des matières riches en azote telles que les boues d'égouts, les excréta ou les déchets des abattoirs. Des matières usées liquides d'origine industrielle, comme celles qui proviennent des laiteries, brasseries, etc., sont souvent présentes dans les eaux d'égouts et influent sur la quantité et la composition des boues.

Ordures (ordures ménagères, déchets et autres rebuts)

Les quantités utilisables d'ordures ménagères et de déchets alimentaires dépendent du climat, des moyens disponibles pour la conservation des aliments, des habitudes alimentaires, de l'utilisation des ordures ménagères pour l'alimentation du bétail, de l'emploi de broyeurs domestiques d'ordures et de la situation économique de la collectivité. Ces ordures ménagères

**TABEAU 4. DONNÉES APPROXIMATIVES SUR LA QUANTITÉ DES EAUX ET DES BOUES D'ÉGOUTS
ET SUR LEUR COMPOSITION**

	Quantité de matières solides (sèches) par habitant et par jour (grammes)	Boues liquides (pourcentage de solides)	Dépôt dans les bassins de sédimentation (pourcentage de solides)	Dépôt dans les filtres à vide (pourcentage de solides)	Composition du produit sec (%)				
					Matières organiques	Matières minérales	Azote (N)	Phosphate (P ₂ O ₅)	Potasse (K ₂ O)
1. Eaux vannes domestiques, fraîches	82-100	0,04-0,15	—	—	60-85	15-40	5,0-10,0	2,5-4,5	3,0-4,5
2. Contenu d'une fosse Imhoff bien digéré	23-36	8,0-12,0	35-50	—	30-45	55-70	2,0-3,0	1,2-3,5	0,1-0,5
3. Boues brutes, fraîches	45-64	2,5-5,0	28-45	22-34	60-80	20-35	1,5-4,0	0,8-4,0	0,1-0,5
4. Boues brutes, digérées	27-41	5,0-12,0	35-50	26-34	35-60	40-65	1,0-3,5	1,2-4,0	0,1-0,5
5. Boues brutes et humus resté dans les filtres (frais)	59-77	3,5-6,5	26-40	23-34	50-75	25-50	2,0-4,5	0,8-3,6	0,1-0,5
6. Matières brutes et humus resté dans les filtres (digéré)	36-50	5,0-12,0	35-50	25-35	35-60	40-65	1,0-3,5	1,0-3,8	0,1-0,5
7. Boues brutes et activées, fraîches	73-91	3,0-6,0	26-40	20-24	50-80	20-50	2,3-5,2	1,2-4,0	0,2-0,6
8. Boues brutes et activées, digérées	45-104	4,5-8,5	28-50	22-26	35-55	45-65	2,0-4,8	1,3-4,0	0,2-0,6
9. Boues brutes digérées et boues activées, fraîches	54-73	2,5-4,5	28-45	20-24	40-60	40-60	2,2-5,0	1,3-4,0	0,3-0,8

d'origine commerciale ou domestique, qui se composent principalement de déchets de cuisine et d'épluchures de légumes, varient en quantité de 90 à 400 g par habitant et par jour et contiennent 60 à 85 % d'eau et 65 à 85 % de matières organiques après déshydratation. Dans quelques villes, on enregistre jusqu'à 600 g par habitant et par jour ; la quantité se situe entre 90 et 270 g quand il n'y a pas de gaspillage excessif des denrées alimentaires et que les possibilités de réfrigération sont bonnes. Le poids de ces ordures ménagères est de 460 à 590 kg par m³.

La quantité de résidus combustibles dépend de la situation économique de la ville, de l'emploi d'incinérateurs privés dans les immeubles, de la densité de la population, de l'ampleur des récupérations et de l'importance du jardinage domestique. En règle générale, la quantité varie entre 0,1 et 1,3 kg par habitant et par jour, avec une teneur en eau de 35 à 60 % et 55 à 80 % de matières organiques dans le produit sec. Les quartiers résidentiels anciens et les grandes propriétés donnent parfois des quantités de résidus combustibles atteignant 1,8 à 2,2 kg par habitant et par jour. Dans les quartiers plus neufs, dans les immeubles locatifs modernes ou lorsque les ordures sont incinérées ou compostées à domicile, le poids peut descendre en dessous de 700 g et souvent même de 450 g par habitant et par jour. Les résidus combustibles normalement tassés pèsent de 115 à 230 kg par m³ et peuvent être comprimés jusqu'à une densité de 345 à 400 kg par m³. Toutefois un tel tassement est rarement obtenu dans les bennes collectrices municipales du type usuel.

La quantité de rebuts non combustibles et impropres au compostage (boîtes de conserve, bouteilles, porcelaines et métaux) varie de 45 à 500 g par habitant et par jour, et se tient habituellement entre 135 et 350 g. On obtient toutefois des chiffres beaucoup plus élevés si l'on y inclut les cendres et mâchefers. La cendre peut être ajoutée aux matières mises à composter ou mélangée aux boues d'égouts, pour absorber l'humidité, ou encore être répandue directement sur le sol.

Les diverses sortes d'ordures, à savoir les ordures ménagères et les autres déchets, combustibles ou non, sont fréquemment collectées ensemble. La quantité d'ordures de toutes sortes ainsi ramassées dans les collectivités urbaines varie entre 0,3 et 2 kg par habitant et par jour et sera le plus souvent comprise entre 0,35 et 1,3 kg, avec une moyenne inférieure à 0,9 kg.

On possède des données sur la quantité d'ordures provenant de villes situées dans différentes régions du monde. Ainsi, une enquête ^{59, 80} effectuée dans 13 villes de Californie a montré que la quantité des ordures de toutes sortes variait de 0,47 à 1,88 kg par habitant et par jour, avec une moyenne de 0,93 kg.

A Berkeley (Californie), la moyenne est de 0,57 kg d'ordures de toutes sortes par habitant et par jour ; la composition physique et chimique moyenne est indiquée dans le tableau 5.

TABEAU 5. NATURE ET COMPOSITION CHIMIQUE MOYENNES DES ORDURES DE TOUTES SORTES RAMASSÉES A BERKELEY (CALIFORNIE)⁴¹

Composition physique		Composition chimique	
Éléments composants	Pourcentage en poids lors du ramassage	Éléments composants ^a	Pourcentage
Boîtes de conserve	9,8	Eau (lors du ramassage)	49,3
Bouteilles et débris de verre	11,7	Cendres (après déshydratation)	28,5
Chiffons ^b	1,6	Carbone (après déshydratation)	35,7
Métaux	0,9	Azote (après déshydratation)	1,07
Déchets divers sans valeur, impropres au compostage	7,6	Phosphore, exprimé en P_2O_5 (après déshydratation)	1,16
Matières se prêtant au compostage ^c (ordures ménagères, substances végétales, papier, etc)	68,4	Potassium, exprimé en K_2O (après déshydratation)	0,83

^a Rapport C/N = 33,8^b Les chiffons et le papier propre se prêtent au compostage mais il est plus profitable de les récupérer.^c Matières se prêtant au compostage = 380 g par habitant et par jour = 157 kg par habitant et par année

A Long Beach (Californie) — ville comprenant de nombreuses maisons individuelles entourées d'un jardin et sans chauffage au charbon — la quantité totale d'ordures atteint en moyenne 1,4 kg par habitant et par jour, dont 0,3 kg d'ordures ménagères, 0,7 kg de résidus combustibles et 0,4 kg de déchets non combustibles.⁷³ En admettant que les ordures ménagères et les résidus combustibles — qui représentent ensemble 70 % environ du total — se prêtent presque entièrement au compostage, la quantité des matières utilisables est, par habitant, d'environ 1 kg par jour ou de 400 kg par année.

La Compost Corporation of America a analysé en 1952 un fort tonnage d'ordures non triées provenant d'Oakland (Californie) pour déterminer les quantités relatives de déchets récupérables, de matières se prêtant au compostage et de substances inorganiques. Ces recherches, faites dans une installation-pilote de compostage, avaient pour but de dégager des données techniques et économiques pour l'établissement des plans d'une grande usine. Sur la base des résultats de ces analyses, les prévisions ont été calculées en fonction de la composition pondérale moyenne suivante :

	%
Boîtes de conserve	10
Papier (divers, propres)	7
Chiffons (divers)	1,5
Métaux non ferreux	0,5

	%
Métaux ferreux	0,7
Fil de fer	0,3
Verre jaune	4
Verre blanc	5
Bouteilles (récupérables et vendables comme telles)	1
Matières inorganiques (dont une certaine proportion est nécessairement perdue) . .	15
Matières se prêtant au compostage	55

On voit que ces ordures contiennent une quantité considérable de produits récupérables dont le tri serait avantageux.

La teneur moyenne en eau et le poids spécifique (déterminé en mesurant le volume occupé dans les bennes par des charges préalablement pesées) au cours des diverses phases du traitement sont indiqués ci-après :

<i>Matières</i>	<i>Eau (%)</i>	<i>Poids (kg/m³)</i>
Ordures non triées	—	288 à 320
Ordures triées	40 à 50	400
Ordures de toutes sortes pulvérisées, après addition de 10 % de terre (en poids)	50 à 60	960
Compost (non tamisé)	10 à 20	832
Compost (tamisé)	10 +	720 à 800

Aucune indication n'a été fournie sur le tassement des matériaux.

Des données recueillies pour sept communes suburbaines de Detroit (Michigan),⁵⁶ on a calculé les moyennes pondérées suivantes en grammes (par habitant et par jour) : ordures ménagères, 200 ; résidus divers, 360 ; total des ordures, 560. Toutes les ordures ménagères et les résidus organiques sont propres au compostage. A East Lansing (Michigan) la quantité d'ordures ménagères collectées s'élève en moyenne à 300 g par habitant et par jour.

En Grande-Bretagne, l'Institute of Public Cleansing⁵⁶ donne, pour la quantité des ordures de toutes sortes collectées par habitant, les chiffres de 710 g par jour ou 280 kg par an, et fournit les indications suivantes concernant la composition :

	%
Poussières et cendres	60,2
Matières végétales et putrescibles	12,5
Papier	12,6
Métaux	3,7
Textiles	1,8
Verre	2,8
Os	0,5
Débris combustibles	2,2
Débris non combustibles	3,7

TABLEAU 6. TENEUR APPROXIMATIVE EN AZOTE ET RAPPORT C/N DE CERTAINES MATIÈRES SE PRÊTANT AU COMPOSTAGE (PRODUIT SEC)

Matières	N (%)	C/N
Urines	15-18	0,8
Sang	10-14	3
Déchets de poissons	6,5-10	—
Fumier de basse-cour	6,3	—
Déchets divers des abattoirs	7-10	2
Excreta	5,5-6,5	6-10
Boues activées	5,0-6,0	6
Déchets de viande	5,1	—
Pourpier	4,5	8
Gazon coupé	4,0	12
Fumier de mouton	3,75	—
Fumier de porc	3,75	—
Amarante	3,6	11
Laitue	3,7	—
Choux	3,6	12
Tomates	3,3	12
Tabac	3,0	13
Oignons	2,65	15
Poivrons	2,6	15
Chiendent	2,55	19
Luzerne	2,4-3,0	16-20
<i>Kentucky blue grass</i>	2,4	19
Herbe coupée, tout venant (moyenne)	2,4	19
Fumier de cheval	2,3	—
Fanes de navets	2,3	19
Bouton d'or	2,2	23
Ordures ménagères brutes	2,15	25
Seneçon	2,15	21
Fumier de ferme (moyenne)	2,15	14
Pain	2,10	—
Varechs	1,9	19
Trèfle incarnat	1,8	27
Fumier de vache	1,7	—
Farine de blé	1,7	—
Carottes entières	1,6	27
Moutarde	1,5	26
Fanes de pommes de terre	1,5	25
Fougères	1,15	43
Ordures de toutes sortes, Berkeley (Californie) (moyenne)	1,05	34
Paille d'avoine	1,05	48
Navets entiers	1,0	44
Déchets de lin (phormium)	0,95	58
Fléole des prés	0,85	58
Agrostides	0,85	55
Paille de blé	0,3	128
Sciure pourrie	0,25	208
Sciure fraîche	0,11	511
Papier d'emballage pour pain	néant	—
Papier journal	néant	—
Papier fort d'emballage	néant	—

Il s'agit, dans cette analyse, d'ordures provenant d'une région où le chauffage se fait au charbon, où des quantités considérables de papier sont récupérées et où l'on utilise pour le jardinage une partie des débris provenant de l'entretien des pelouses et des jardins. C'est ce qui explique la forte proportion des poussières et des cendres ; celles-ci, qui contiennent des phosphates et de la potasse, pourraient être mélangées au compost, mais elles ne subiraient pas de décomposition biologique. Il est probable que ces ordures présentent un rapport C/N qui permettrait, si l'on pouvait négliger les problèmes de santé publique, de les répandre directement sur le sol sans compostage préalable, car elles n'appauvriraient pas la terre en azote. En supposant que les matières végétales, le papier, les textiles, les os et les débris combustibles se prêtent au compostage, on pourrait traiter 29,6 % du total, soit 82 kg d'ordures par habitant et par an.

Lund Humphries⁵⁵ a calculé qu'en Grande-Bretagne la quantité totale des ordures collectées (non compris les eaux usées) s'élève à 760 g par jour ou 280 kg par année et par habitant, avec une teneur en eau de 25 à 55 %. L'analyse donne les moyennes suivantes : poussières fines et cendres, 55 % ; matières organiques, 18 % ; papier et chiffons, 17 % ; métaux, verre, etc., 9 % ; et os, 1 %. Il est probable que 36 % de ces ordures, soit 100 kg par habitant et par année, se prêtent au compostage.

Il ressort d'informations concernant la ville de Baden-Baden (Allemagne)⁵⁶, que la quantité des ordures propres au compostage atteint environ 370 g par jour ou 152 kg par an et par habitant.

Selon les évaluations de Acharya,¹ la quantité d'ordures se prêtant au compostage, y compris les poussières, les balayures des rues, le papier, les ordures ménagères et les substances végétales (*katchra*), peut atteindre jusqu'à 700 g par jour et par habitant dans des villes comme Bombay, mais n'est que de 220 à 340 g dans les petites villes et les villages. Selon le même auteur, ces ordures contiendraient environ 25 à 30 % de substances organiques et leur teneur en eau serait de 10 à 20 % au moment du ramassage.

Scott⁶⁸ a calculé que les ordures de toutes sortes provenant de Tsinan (Chine) contiennent, après déshydratation, environ 45 à 60 % de matières organiques et 40 à 55 % de cendres. Les teneurs en azote, en P_2O_5 et en K_2O sont respectivement de 0,8 %, 0,35 % et 0,6 %. Dans les opérations de compostage de van Vuren⁸² en Afrique du Sud, la quantité d'ordures ramassées s'élevait à environ 0,5 livre par habitant et par jour, avec un volume de 0,7 m³ pour mille habitants.

Pour l'ensemble des villes de la Nouvelle-Zélande, la quantité moyenne d'ordures se prêtant au compostage, à l'exclusion des poussières et des cendres, est évaluée à 112 kg par habitant et par an, avec un volume de 3 m³ par tonne.⁵⁶ La production des villes de Auckland et de Wellington est estimée à 152 kg par habitant et par année. A Masterton, la partie des

ordures qui se prête au compostage, et qui représente 60 % du total, est évaluée à 76 kg par habitant et par année.

Teneur en azote de diverses matières

Le tableau 6 donne des chiffres provenant de sources diverses concernant la teneur approximative en azote ^{1, 56, 59, 79, 83} et le rapport C/N de certaines des matières qui peuvent servir à la préparation de composts. La question du rapport C/N est examinée de manière plus approfondie au chapitre 5 (voir page 52).

PRINCIPES FONDAMENTAUX

Dans la préparation d'un programme comme dans l'analyse d'opérations de compostage, il importe de tenir compte de plusieurs facteurs essentiels, dont certains sont interdépendants. Certaines méthodes peuvent être appliquées avec les meilleurs résultats économiques dans des circonstances différentes. L'analyse des méthodes en fonction de ces facteurs fondamentaux permettra soit : *a)* de choisir une technique classique qui convienne bien à la situation donnée, *b)* de choisir un ensemble de modalités concrètes d'application empruntées à diverses techniques classiques, ou *c)* d'élaborer d'autres méthodes répondant de la manière la plus économique aux exigences du cas particulier. On examinera ci-après les facteurs principaux qui interviennent dans les opérations de compostage. Ce sont : 1) le triage des ordures et la récupération de certains produits ; 2) le broyage et la dilacération des ordures ; 3) le rapport C/N ; 4) le mélange ou le dosage des diverses catégories d'ordures ; 5) la teneur en eau ; 6) la disposition des matières mises à composter ; 7) la température ; 8) l'aération ; 9) la flore microbienne ; 10) l'ensemencement ; 11) le pH ; 12) les conditions climatiques ; 13) la destruction des germes pathogènes ; 14) la lutte contre les mouches ; 15) la récupération de l'azote et d'autres éléments nutritifs ; 16) le temps requis pour le compostage ; 17) l'appréciation de l'état du compost ; 18) la qualité des composts ; 19) les aspects économiques du compostage.

Triage des ordures et récupération de certains produits

Lorsque les ordures ne sont pas triées au ramassage — c'est-à-dire lorsque les éléments combustibles et non combustibles ne sont pas enlevés séparément — il est souhaitable et généralement nécessaire d'éliminer les éléments récupérables et les matières impropres au compostage. En effet, il est fréquemment indiqué de dilacérer les matières entrant dans le compost ; or, les boîtes de conserves, les métaux divers, les débris de verre et de porcelaine et les fragments de béton ne peuvent être broyés qu'avec difficulté et à grands frais.

Les chiffons, les métaux ferreux et non ferreux, les boîtes de conserves, certains papiers et le verre, peuvent être récupérés et cette opération sera souvent d'un bon rapport. Il existe habituellement d'excellents débouchés

pour les chiffons et les vieux métaux, qui peuvent être triés et écoulés avec profit sur des marchés éloignés. De même, il est avantageux de récupérer le papier et le verre lorsque les frais de transports jusqu'au débouché ne sont pas trop élevés. Certaines bouteilles ont une valeur marchande en tant que telles et non pas en raison de la matière première. Enfin, l'ensemble des opérations de compostage exige un triage qui donne de la valeur à des matériaux dont on n'aurait pas entrepris la récupération.

La vente des matériaux récupérés exige un certain traitement préalable : lavage du verre, mise en balles du papier, des chiffons et des boîtes de conserves écrasées, nettoyage des métaux, etc. Avant de mettre en place l'équipement nécessaire à la récupération, il faut faire une étude de marché pour savoir jusqu'à quel point il est profitable de pousser ces opérations.

Les boîtes de conserves et autres métaux ferreux peuvent être facilement séparés au moyen d'un électro-aimant, tandis que le papier propre peut être aspiré par succion pneumatique. Les chiffons, les métaux non ferreux ayant une certaine valeur, les bouteilles et autres objets de verre ou de céramique peuvent être retenus mécaniquement par criblage ou enlevés à la main sur le transporteur ou la plate-forme. De petits morceaux de verre peuvent être acheminés sans inconvénient vers le broyeur, mais la plupart des appareils de broyage ne sont pas capables de concasser efficacement les gros tessons. Le verre pulvérisé ne sera pas particulièrement nuisible au compost, car il ne se distingue pas du sable.

Dans les villes utilisant des poubelles distinctes pour les différentes catégories d'ordures, on peut s'en remettre dans une large mesure aux particuliers et aux entreprises commerciales pour assurer le triage, en demandant que seuls certains résidus spécifiés tels qu'ordures ménagères, papiers, objets de caoutchouc et débris végétaux soient placés dans les boîtes destinées aux déchets à composter. Malgré cela, une surveillance constante doit être exercée dans les usines de compostage pour éviter que les appareils de broyage ne soient endommagés par de gros objets en métal placés par négligence dans les boîtes à ordures. Dans les localités où la collecte en vrac est d'usage, il est probable que la population n'acceptera pas facilement des décisions qui lui imposeraient la complication supplémentaire d'un triage. De toute façon, l'opération ne pose pas de problème difficile et ne doit pas faire obstacle au compostage.

Dans les villages et les régions agricoles, le triage et le broyage n'imposeront certainement pas une tâche considérable, car les métaux et autres matières utilisables auront déjà été mis à part avant le ramassage et les ordures collectées ne contiendront en général que de faibles quantités de détritres impropres à la fabrication du compost.

Les méthodes et les appareils utilisés pour le triage et la préparation de déchets récupérables sont examinés de manière plus détaillée au chapitre 6 (voir page 128).

Dilacération des ordures

La dilacération ou le broyage des matières brutes destinées au compostage peut présenter de nombreux avantages, notamment lorsqu'on utilise des ordures urbaines. En effet, les bactéries pénètrent plus facilement dans la masse lorsqu'on leur offre une plus grande surface d'attaque et qu'on détruit la résistance naturelle des végétaux à leur invasion. On conçoit qu'un morceau de bois, un livre ou un gros quartier de viande ne peuvent pas se décomposer en un temps relativement bref dans un tas en compostage. En outre, la quantité d'oxygène au centre de tels objets n'est pas suffisante pour assurer une décomposition aérobie rapide. Golueke²² a observé en compostant du fumier de porc, que des conditions d'anaérobiose apparaissaient dans les gros morceaux de fiente qui n'avaient pas été broyés ; néanmoins, l'ensemble de la masse était suffisamment aérobie pour atteindre les hautes températures souhaitées. Il a observé également que la dilacération permettait d'obtenir une décomposition plus uniforme et plus rapide. Ce traitement rend les matières plus homogènes, leur donne une aération initiale utile et produit une consistance qui facilite ensuite le contrôle de l'humidité et de l'aération, ainsi que le transport et la manipulation. Les ordures dilacérées s'échauffent de façon plus uniforme et résistent mieux à une dessiccation excessive de la surface du tas ; elles sont en outre mieux protégées contre les déperditions de chaleur et l'eau de pluie y pénètre moins que dans les déchets non broyés. D'autre part, il est plus facile d'éviter le pullulement des mouches. Enfin, les utilisateurs du compost estiment que les matières broyées ou morcelées peuvent être épandues plus aisément et plus uniformément sur la terre.

La dimension optimum des fragments est d'un peu moins de 5 cm dans le sens de la plus grande longueur, mais des parcelles plus volumineuses peuvent également être compostées sans inconvénient. La finesse du broyage est régie dans une certaine mesure par les spécifications prévues pour le produit fini et par le prix de revient d'une nouvelle mouture en fin de cycle. Si le produit doit être utilisé sur des pelouses, dans des jardins d'agrément ou dans des potagers, il doit être tamisé ou moulu après compostage jusqu'à ce qu'il traverse des cribles à mailles de 1 cm environ, afin de lui donner meilleure apparence et d'en faciliter l'épandage et l'incorporation dans le sol.

Lorsque le compostage s'effectue dans des exploitations agricoles ou dans des villages, on peut se demander si les avantages du broyage sont suffisants pour justifier l'augmentation de dépenses qu'il entraîne. Les fragments trop volumineux peuvent être en ce cas enlevés à la fourche ou au crible et morcelés s'il y a lieu. L'exploitant agricole qui prépare lui-même le compost se montre moins exigeant quant à l'uniformité de décomposition et à la consistance que lorsqu'il l'achète tout fait. En outre, l'uniformité a moins d'importance pour les cultures de céréales que pour les cultures maraîchères.

Toutes les ordures destinées au compostage n'exigent pas un broyage initial. Il est souvent préférable de traiter seulement les fragments volumineux de matières organiques qui restent après enlèvement mécanique des produits récupérables, des déchets qui ne se prêtent pas au compostage et des parcelles les plus fines. Certains fabricants de compost estiment d'ailleurs qu'en conservant un certain nombre de morceaux irréguliers et volumineux, on ménage de plus grands espaces vides à l'intérieur de la masse, ce qui permet d'y retenir plus d'oxygène. En outre, les détritiques urbains sont assez abrasifs et peuvent endommager les tranchants des broyeurs à marteaux et autres dispositifs à lames. Il existe certes des broyeurs capables de pulvériser des objets résistants tels que les boîtes de conserves et les culs de bouteille, mais ils ne peuvent en général pas servir de manière satisfaisante à broyer les ordures ménagères au cours de la même opération. D'autre part, il convient d'éviter de pulper complètement les ordures ménagères et les matières végétales, car elles risquent de devenir trop pâteuses pour une bonne décomposition aérobie. Afin de réduire l'abrasion, on mouille parfois les ordures avant le broyage, mais la forte teneur en eau qui en résulte les rend ensuite peu propres au compostage. Le compost fini est moins abrasif et plus facile à pulvériser, grâce à la décomposition biologique qui l'a ameublé. La méthode de broyage ou de dilacération dépend de la nature de la matière brute, mais il faut se garder de compliquer inutilement l'opération. On passe parfois les ordures sur des cribles rotatifs ou à secousses pour éliminer les cendres et les particules fines. Une partie des cendres peuvent être laissées sur le compost, afin de tamponner l'acidité et d'absorber l'humidité en cas d'adjonction de boues d'égouts.

A Wijster (Pays-Bas), les ordures, mises à composter sans broyage préalable, sont ensuite pulvérisées au moyen d'un broyeur à marteaux. Les boîtes de conserves et les objets en métal mince sont si fortement attaqués pendant le compostage aérobie, qu'il est ensuite facile de les briser. Dans d'autres usines de compostage — par exemple à Schiedam et à Flessingue — on pratique le broyage préalable à l'aide d'appareils analogues à la râpe VAM décrite plus haut. Le broyeur Dano, dont il a été question plus haut à propos du procédé Dano, permet de résoudre certains des problèmes d'abrasion que pose l'emploi des broyeurs à marteaux, mais il exige une grosse dépense d'énergie. Dans le procédé *Bio-stabilizer* de Dano, la seule préparation nécessaire est le broyage initial des gros fragments, tels que les branches d'arbres ou les trognons de choux. La décomposition biologique et l'abrasion qui se produisent dans le cylindre rotatif entraînent une désintégration suffisante pour que la plus grande partie des matières passent au travers d'un crible à mailles de 1 cm. Ce qui reste sur les cribles est remis dans le circuit en vue d'une décomposition plus complète.

La Compost Corporation of America a mis au point un broyeur d'ordures considéré comme très efficace et économique. Cet appareil, dérivé des modèles à marteau oscillant, a été conçu pour traiter des quantités

importantes avec une faible consommation d'énergie. En Angleterre, on utilise un appareil dit *Lightning Pulverizer*, qui est un broyeur à marteaux. La Gruendler Crusher and Pulverizer Company, à Saint-Louis (Missouri), Etats-Unis d'Amérique, a mis au point un matériel de broyage et recommande de broyer les ordures brutes et de dilacérer le compost fini ou de le passer sur un crible à secousses.

Les économies que la suppression du broyage préliminaire permet de réaliser compensent très fréquemment la perte de certains avantages. Les fragments volumineux non décomposés peuvent être éliminés du produit fini par criblage et remis dans le circuit. Le choix dépendra des conditions locales d'exploitation.

Le but du traitement mécanique final — broyage, dilacération, mouture ou criblage — est de séparer les particules volumineuses qui se seraient agglomérées, de donner au compost un meilleur aspect et de rendre la texture plus fine qu'après le broyage initial, ce qui assure un épandage plus uniforme lorsque le produit est utilisé en surface. Le second broyage peut être effectué, soit après maturation, au moment où le compost est prêt pour l'usage ou la mise en sac, soit vers la fin du processus de maturation. Dans ce dernier cas, l'opération remplace le dernier brassage normalement effectué pour assurer l'aération, et la stabilisation peut ensuite s'achever dans les grands tas de stockage. L'intérêt de cette méthode dépendra des conditions économiques dans lesquelles elle s'insère dans l'ensemble des manipulations. Il existe des broyeurs pourvus de dispositifs permettant de régler le broyage et le criblage de manière à obtenir des particules plus fines ; ces appareils peuvent donc être utilisés à la fois pour le traitement préalable et pour le traitement final. Toutefois, lorsque les quantités sont importantes, il est plus économique d'avoir des installations différentes pour les deux broyages. Quand les ordures ont été préalablement dilacérées, l'opération finale peut souvent se faire sur des tambours qui émettent les mottes agglomérées. Les méthodes et les installations utilisées pour le broyage et la dilacération seront examinées de façon plus détaillée au chapitre 6 (voir page 130).

Il convient de souligner à nouveau que l'opportunité du traitement mécanique dépend de la nature des matières brutes, des caractéristiques — aspect, dimension des particules et qualité — que l'on désire donner au produit fini et des exigences économiques de l'opération.

Rapport carbone/azote

Le processus de décomposition des matières organiques est, comme on l'a indiqué précédemment, influencé par la présence de carbone et d'azote. Le rapport C/N exprime les proportions respectives de ces deux éléments. Lorsqu'une matière contient, par exemple, 25 fois plus de car-

bone que d'azote, on dit que le rapport C/N est de 25 : 1 ou plus simplement de 25. En fait, c'est seulement le rapport entre les quantités utilisables des deux éléments qui compte, car une partie du carbone peut se présenter sous une forme si résistante à l'attaque biologique qu'elle n'intervient pratiquement pas.

On a déjà vu que la décomposition des matières organiques est provoquée par des organismes vivants qui utilisent le carbone comme source d'énergie et l'azote comme élément constitutif de la substance cellulaire. Ce processus exige plus de carbone que d'azote, mais lorsque l'excédent de carbone est trop considérable, la décomposition est ralentie à partir du moment où les réserves d'azote sont consommées, et certains organismes meurent ; l'azote qu'ils ont assimilé est alors utilisé par d'autres organismes pour constituer leur substance cellulaire et de nouvelles quantités de carbone sont brûlées dans cette opération. De la sorte, la quantité de carbone est ramenée à un niveau plus satisfaisant tandis que l'azote est réintroduit dans le cycle. Cependant, le processus exige davantage de temps lorsque le rapport C/N initial est très supérieur à 30.

Dans le sol, la succession des cycles de l'azote qui se produisent en présence d'un fort excédent de carbone fait intervenir un autre facteur : l'azote que la terre contient sous une forme utilisable par les bactéries. En ce cas, si le rapport C/N est trop élevé, les cellules microbiennes vivantes consomment au maximum le carbone disponible en retirant du sol, dans des proportions appropriées, l'azote qui y est contenu sous une forme utilisable par elles. Le sol est donc « dépouillé » de son azote, dont l'action fertilisante sur la croissance des plantes sera retardée jusqu'au moment où il ne sera plus utilisé dans le cycle biologique des bactéries du sol. A l'opposé, lorsque la source d'énergie, c'est-à-dire le carbone, est inférieure à la quantité requise pour convertir tout l'azote disponible en protéines, les micro-organismes consomment le carbone disponible et éliminent l'excès d'azote sous forme d'ammoniac. Il en résulte une perte d'azote dans le tas de compost lorsque le gaz ammoniac peut s'échapper dans l'air ; il convient par conséquent de réduire cette production de gaz au minimum. La récupération de l'azote est examinée plus loin dans une section distincte (voir page 94).

On admet généralement qu'un rapport C/N égal à 20 (C et N étant ici les quantités effectivement utilisables) représente la limite supérieure en-deça de laquelle l'appauvrissement du sol n'est pas à craindre. Si une partie considérable de carbone se présente sous la forme de lignine ou d'autres substances résistantes, le rapport C/N (quantités totales) peut sans inconvénient dépasser 20. Comme il importe avant tout d'éviter que le sol soit dépouillé de son azote et qu'il faut conserver une quantité maximum d'azote dans le compost, le rapport C/N constitue un facteur critique.

Il s'ensuit que la valeur de ce rapport qui représente l'optimum pour le compostage ne saurait être la meilleure pour le sol. Comme les orga-

nismes vivants utilisent environ 30 parties de carbone pour 1 partie d'azote,⁸³ un rapport initial de 30 (quantités utilisables) semblerait le plus avantageux pour un compostage rapide et assurerait la présence, dans le compost fini, d'une certaine quantité d'azote sous une forme immédiatement utilisable. Certains chercheurs donnent des valeurs optimums allant de 26 à 31,^{3, 65, 67, 68, 81} et la majorité d'entre eux estiment que des rapports supérieurs à 30 n'entraîneraient que de faibles pertes d'azote. Des études ont été effectuées par l'Université de Californie⁸¹ sur des matières dont le rapport C/N initial allait de 20 à 78 et dont la teneur en azote variait de 0,52 à 1,74 % ; il en ressort qu'une valeur initiale comprise entre 30 et 35 constitue l'optimum. Ces chiffres indiqués comme optimums ne sont d'ailleurs pas incompatibles avec la présence de certaines quantités de carbone non utilisable. La durée du compostage s'accroît considérablement lorsque le rapport C/N dépasse l'intervalle de 30 à 40. Si la quantité de carbone non utilisable est faible, le rapport peut tomber jusqu'à 10 sous l'action des bactéries, et l'on observe communément des valeurs comprises entre 14 et 20, selon la nature des matières brutes ayant servi à la production de l'humus. Ces études⁸¹ ont montré que le compostage de matières présentant un rapport C/N de 78 donne dans l'humus final un rapport de 35. Un tel produit n'est pas nuisible au sol, car le carbone en excédent devient utilisable à un rythme si lent que la quantité d'azote « dérobée » est insignifiante. Ainsi donc, la diminution du rapport C/N donne un indice utile de l'état d'avancement du compostage.

Le tableau 6 (voir page 45), qui indique les valeurs correspondant à plusieurs catégories de matières, peut être utilisé pour l'évaluation des rapports C/N initiaux.

Mélange ou dosage des matières

La plupart des producteurs de compost, amateurs ou professionnels, savent prévoir, au seul aspect des matières, la composition qui donnera un bon produit fini. Lorsqu'un dosage est souhaitable, un opérateur expérimenté peut généralement le faire par simple examen visuel de la quantité et de la nature des matières. Cependant, dans une usine municipale traitant des quantités importantes, il peut arriver, exceptionnellement en fait, que des analyses de laboratoire s'avèrent nécessaires pour effectuer un mélange.

Le rapport C/N et l'humidité sont les deux facteurs à considérer dans le dosage. Aucun mélange n'est nécessaire lorsque le rapport C/N est compris entre 25 et 50, encore qu'un rapport de l'ordre de 30 à 40 soit préférable. Si l'usine reçoit séparément, d'une part, des ordures contenant des quantités considérables de papier, de paille, de sciure et d'autres substances riches en carbone, et, d'autre part, des produits azotés tels que sang,⁶⁶ déchets d'abattoirs, détritiques de poissons, excréments ou boues

d'égouts, il conviendra de mélanger les éléments à fort et à faible rapport C/N de manière à obtenir un rapport proche de l'optimum. De même, on mélangera en proportions convenables des matières trop sèches pour se prêter à un compostage satisfaisant et les matières trop humides qui dégageraient des odeurs gênantes. Lorsqu'on procède à un broyage préliminaire, le dosage se fait en général dans le broyeur ; dans les autres cas, les matières sont mélangées lors de la mise en tas ou en fosse.

Certains fabricants de compost ajoutent de la terre aux matières organiques, croyant ainsi augmenter le nombre de micro-organismes et accélérer la décomposition. En réalité, ainsi qu'on le verra plus loin, les germes nécessaires sont apportés par les substances organiques elles-mêmes et ceux qui sont contenus dans la terre ajoutée n'ont pas d'effet appréciable. De même, on utilise parfois de la terre sèche pour réduire l'humidité et pour absorber l'ammoniac dans les matières à faible rapport C/N. Cette méthode se justifie en l'absence de matières organiques sèches en quantité suffisante, mais la récupération d'azote ainsi obtenue demeure faible. Les résultats sont bien meilleurs lorsqu'on ajoute des matières organiques contenant de la cellulose pour porter le rapport C/N au-dessus de 30. Par contre, dans les composts à forte teneur en matières organiques, l'addition de terre permet de tamponner l'acidité et produit un effet diluant qui retarde la fermentation. Elle peut aussi servir à améliorer l'aspect du compost fini, à lui donner une texture plus granuleuse et à le rendre plus facilement maniable en lui assurant une plus grande consistance. Enfin, il arrive que certains fabricants de compost ajoutent de la terre en vue de forcer le poids du produit lors de la vente. Quoi qu'il en soit, il faut veiller à ne pas porter le pourcentage des cendres (en poids sec) à plus de 50 %, si l'on désire obtenir des températures élevées et une décomposition rapide. En général l'addition de terre dans une proportion dépassant 10 % est d'un intérêt douteux, sauf s'il y a lieu de craindre une forte déperdition d'azote. En résumé, on peut dire que, si ce procédé ne nuit pas au compost et peut même être utile dans certaines circonstances, notamment pour combattre l'excès d'humidité, aucun agriculteur ne voudra acheter et transporter, au lieu d'humus et d'éléments nutritifs, de la terre que ses champs peuvent lui fournir en abondance.

Bien que les cendres et le mâchefer contiennent du phosphore et de la potasse qui sont utiles au sol, il est préférable, lorsqu'on peut faire autrement de ne pas en introduire de grandes quantités dans les tas de compost, car l'élévation du pH due au caractère basique de ces résidus facilite les pertes d'azote. Le mélange peut se faire après coup, lorsque le compost est prêt et relativement sec. S'il est impossible de séparer les cendres mêlées aux matières à composter, on ne renoncera pas à l'opération mais il faudra veiller à maintenir un degré suffisamment élevé d'humidité et à assurer dans le tas de compost un rapport C/N et une consistance aussi satisfaisants que possible.

La quantité d'excreta que l'on peut ajouter aux tas de compost dépend de la composition des autres matières que ceux-ci contiennent. En pareil cas, il est souhaitable de maintenir le rapport C/N au-dessus de 30, afin d'assurer l'échauffement nécessaire à la destruction des germes pathogènes tout en réduisant au minimum la perte d'azote. Scott⁶⁸ a constaté que les œufs de *A. lumbricoides* sont détruits même lorsque la quantité de fèces humaines présentes dans le tas atteint 70 % en poids. Néanmoins, il recommande de ne pas dépasser 10 à 20 % pour la plupart des conditions de production qu'il a rencontrées en Chine. Van Vuren⁸² a traité des excreta mélangés à des ordures sèches à raison de 150 à 300 litres par m³. Les proportions les plus satisfaisantes étaient de 150 et 225 litres par m³. L'addition de 300 litres par m³ donnait une masse trop détrempée. On obtient en général de bons résultats avec une quantité allant de 10 à 25 % du poids des ordures. Lorsque la masse est constituée par de la paille sèche et du fumier de ferme, on peut lui ajouter jusqu'à 50 à 60 % de son poids d'excreta.

Lorsqu'on les mélange avec des ordures non broyées, on peut suivre avec des résultats satisfaisants la règle suivante : ne pas dépasser la proportion qui permet de poser le pied sur la masse sans qu'il s'enfonce.

La quantité de boues d'égouts que l'on peut ajouter aux ordures dépend de l'humidité de chacun de ces deux éléments. Dans diverses usines, on mélange à poids égal les boues d'égouts digérées et les ordures. A Baden-Baden, on ajoute aux ordures sèches et compactes un volume égal de boues contenant 15 % de matières solides. On obtient ainsi un degré d'humidité voisin de la limite supérieure compatible avec un compostage aérobie.

Humidité

En assurant une aération suffisante, on peut obtenir une décomposition aérobie avec un degré d'humidité compris entre 30 et 100 %. Dans la pratique, il convient toutefois d'éviter une humidité trop forte, car l'eau, en chassant l'air des interstices entre les particules, fait naître des conditions d'anaérobiose. A l'inverse, une humidité trop faible prive les organismes de l'eau nécessaire à leur métabolisme et inhibe par conséquent leur activité.

Il résulte des recherches effectuées par l'Université de Californie⁸¹ que le degré d'humidité des ordures urbaines étudiées était habituellement compris entre 40 et 60 %, chiffre considéré comme le plus favorable pour le compostage aérobie. Selon Scott,⁶⁸ le chiffre optimum serait 50 à 60 %, tandis que Acharya¹ propose 45 à 50 %. Waksman⁸⁴ recommande de son côté une humidité de 75 à 80 % pour composter le fumier de ferme. Le maximum compatible avec un compostage aérobie satisfaisant varie selon les matières utilisées. Lorsque la masse contient des quantités considérables de paille et de substances fibreuses résistantes, son degré d'humidité peut être beaucoup plus élevé sans que sa consistance soit altérée, et sans qu'elle devienne trop détrempée et trop compacte pour admettre suffisamment

d'air dans les interstices. Si par contre les matières utilisées contiennent une forte proportion de papiers et d'ordures ménagères, qui s'amollissent quand on les mouille, ou si elles ont une texture granuleuse, comme les cendres et la terre, on aura de la peine à entretenir des conditions d'aérobiose au-dessus de 70 % d'humidité.

Dans les études effectuées par l'Université de Californie,⁵¹ des matières fibreuses contenant une quantité considérable de paille ont été compostées en aérobiose avec un degré d'humidité de 85 à 90 %, mais d'autres composts, contenant beaucoup de papier, sont devenus anaérobies en l'espace d'une journée à une humidité d'environ 70 %.

Différentes substances peuvent être ajoutées aux excréta, aux boues d'égout, aux eaux usées ménagères et au fumier de porcherie, qui sont souvent trop humides. Parmi ces additifs, la paille et les matières fibreuses sont les plus efficaces ; à défaut, la sciure sèche et la terre donnent des résultats satisfaisants, tandis que le papier n'a qu'une utilité très limitée. Dans les cas où l'addition de paille ou de sciure élèverait indûment le rapport C/N, on peut réduire l'humidité par évaporation en retournant la masse plus fréquemment pour l'aérer. Si par contre le rapport C/N est faible, il est avantageux d'ajouter des substances fibreuses, car elles éviteront les pertes d'azote produites par le retournement. Inversement, lorsque la teneur en humidité est trop faible (au-dessous de 40 %), il suffit d'ajouter de l'eau au début de l'opération et d'arroser quand on retourne.

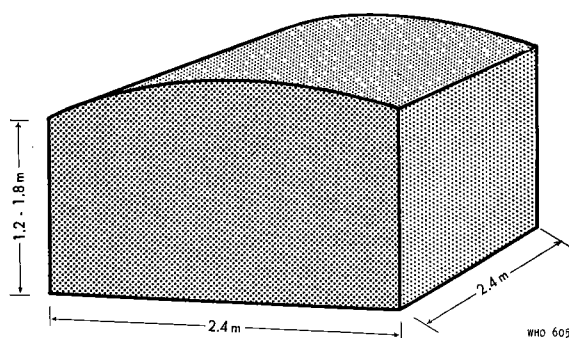
Un degré d'humidité très élevé est acceptable lorsque le compostage s'effectue dans un digesteur à aération mécanique du type *Bio-stabilizer*. Il peut être facilement déterminé par séchage et pesée en laboratoire. Cependant, ces mesures sont rarement nécessaires, sauf dans les essais ou lorsqu'il s'agit de fixer un mode opératoire, car un peu d'expérience suffit pour se rendre compte d'un coup d'œil si l'humidité se situe dans les limites voulues.

Dans le compostage anaérobie l'humidité joue un rôle moins important puisque l'oxygénation n'intervient pas. La limite maximum, qui peut aller en ce cas de 80 % à plus de 90 %, est atteinte à partir du moment où l'écoulement d'effluent devient excessif. Si le compostage doit s'effectuer au début dans des conditions d'aérobiose, afin de produire pendant quelques jours les hautes températures nécessaires à la destruction des germes pathogènes, puis se poursuivre en anaérobiose, le degré maximum d'humidité initiale peut atteindre 65 à 85 % selon la nature des matières à décomposer.

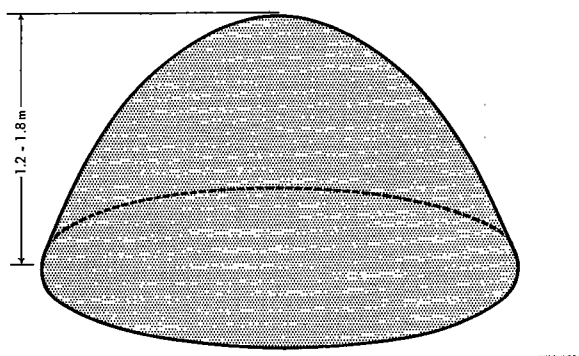
Disposition de la masse à composter

On a utilisé ou préconisé différents dispositifs, tels que bacs, cellules, fosses et digesteurs à aération mécanique en forme de réservoir vertical ou horizontal ou de cuve peu profonde. Lorsqu'on utilise un digesteur à aération mécanique, la disposition de la masse dépend du type de l'appareil.

FIG. 3. MEULE ET TAS DE COMPOST



A. Meule dont la face supérieure peut être plate ou arrondie, selon les conditions climatiques



B. Tas conique d'un diamètre de 2,4 à 3,6 m

Il semble que le coût légèrement plus élevé des opérations de compostage dans les digesteurs limite l'emploi de ces derniers aux usines d'une capacité d'au moins 200 tonnes par jour.

Meules ou silos disposés en plein air à même le sol ou sur une surface cimentée, ou encore tas placés dans une fosse peu profonde, tels sont les moyens, de loin les plus répandus, qu'on utilise pour le compostage et la maturation des déchets organiques. Les modalités particulières d'aménagement et d'utilisation des meules, des silos et des fosses dépendent des circonstances locales : outillage disponible pour la manipulation des matériaux, coût de la main-d'œuvre, et conditions climatiques (température, précipitations et régime des vents).

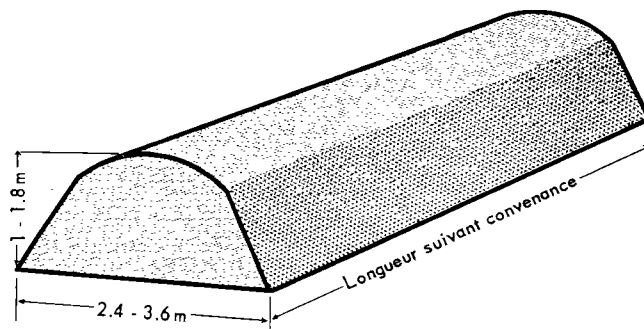
Si l'on veut aérer fréquemment la masse en la retournant, afin d'assurer un compostage aérobic, les meules ou les silos disposés à même le sol semblent plus pratiques que les fosses. Si d'autre part, la décomposition doit être entièrement anaérobie ou ne demeurer aérobic que pendant une brève période initiale, il convient d'utiliser des fosses d'environ 1 mètre

de profondeur dont les autres dimensions varieront selon l'apport quotidien de nouvelles matières. La figure 3 donne le schéma d'une meule et d'un tas conique ; la figure 4 montre un silo et indique différents modes d'aération ; la figure 5 présente le plan d'une fosse.

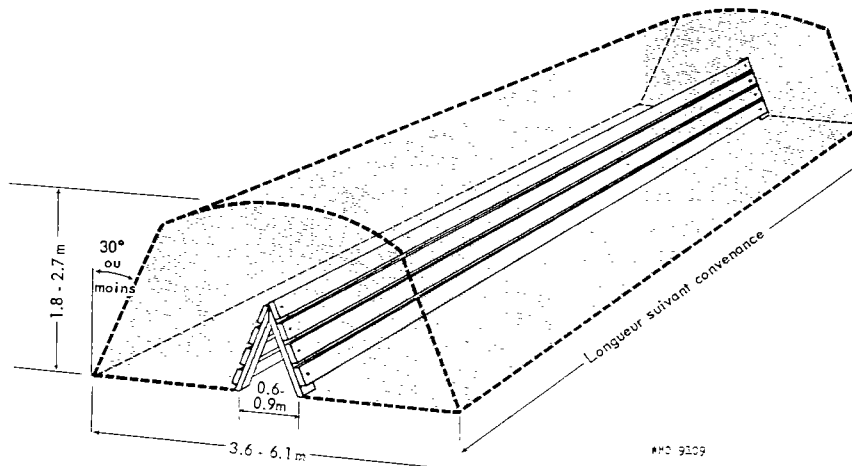
Silos et tas

Dans le compostage aérobique, il faut éviter de comprimer la masse pour que l'air puisse pénétrer aussi facilement que possible dans les interstices. La longueur des meules sera déterminée par la seule commodité, mais leur hauteur joue un rôle assez important. Si la meule est trop haute, la masse sera comprimée par son propre poids, ce qui a pour effet de réduire les interstices, d'augmenter les frais du retournement ou de prolonger l'opération en faisant apparaître des conditions d'anaérobiose. Dans certains

FIG. 4. SILOS



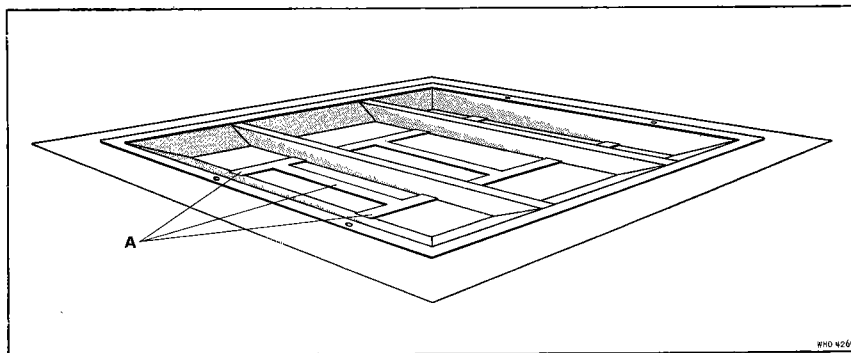
A. Silo à retourner pour aération



B. Silo avec tunnel intérieur d'aération, maintenu par une charpente (en bois, en bambou, en rotin, etc.)

cas, la hauteur maximum sera, en pratique, déterminée par le type d'outillage utilisé pour entasser les ordures ou par la nécessité d'éviter un échauffement excessif du tas. En effet, par temps chaud, les meules de grandes dimensions peuvent atteindre des températures trop élevées pour les bactéries.

FIG. 5. FOSSE DE COMPOSTAGE



A. Rigoles de drainage et d'aération

Les meules trop basses se refroidissent rapidement et ne permettent pas d'obtenir les températures optimums pour la destruction des germes pathogènes et la décomposition par les bactéries thermophiles. En outre, si les dimensions sont trop réduites, la perte d'humidité risque d'être excessive, notamment sur les bords, et la décomposition en sera retardée.

L'expérience indique rapidement la hauteur à choisir pour chaque catégorie d'ordures. Le maximum absolu est d'environ 1,5 à 1,8 m, et le minimum de 1 à 1,2 m pour la plupart des ordures urbaines fraîches broyées. La hauteur peut être plus grande par temps froid que par temps chaud.

La largeur initiale d'un silo sera habituellement comprise entre 2,4 et 3,6 m à la base, afin de faciliter le retournement et de conserver la chaleur. D'autres dimensions et arrangements peuvent toutefois être adoptés, y compris la juxtaposition des tas. Par temps sec, on donne en général aux tas une section trapézoïdale, dont la largeur au sommet dépend de la largeur de la base et de la pente du talus, qui est d'environ 30° par rapport à la verticale. Des meules à faces latérales verticales donnent des résultats satisfaisants lorsque les ordures n'ont pas été broyées et qu'elles peuvent être entassées de cette manière sans augmentation excessive des frais. Par temps pluvieux, la section transversale du tas doit être plutôt semi-circulaire ou arrondie, comme celle d'une meule de foin, afin que l'eau puisse s'écouler, et la hauteur peut être alors légèrement augmentée ; elle dépendra en partie de la largeur maximum.

Pour les silos très allongés que l'on utilise dans le compostage de grandes quantités d'ordures urbaines, on peut adopter n'importe quelle longueur.

Ils peuvent être allongés progressivement en ajoutant chaque jour les nouvelles livraisons à la suite des ordures accumulées la veille. Après quelques jours de décomposition, les matières peuvent être, si on le désire, réunies en un seul tas. La disposition de ces silos sera conçue de manière à faciliter les manutentions et à utiliser au mieux l'aire disponible.

Suivant leur nature et leur tassement, les ordures en décomposition perdent de 40 à 80 % de leur volume initial. En général, le compost fini ne pèse plus que 50 à 80 % du poids initial après enlèvement des matières récupérables et non compostables ; cette diminution dépend dans chaque cas de la nature des ordures et de la perte d'humidité. Si les matières brutes contiennent des quantités importantes de substances organiques, la perte de poids est beaucoup plus grande que lorsque la teneur en minéraux et en cendres est élevée.

Les quantités quotidiennes de matières usées produites par les villages et les exploitations agricoles sont généralement trop faibles pour permettre l'utilisation satisfaisante de silos. En pareils cas, on peut former des meules de forme circulaire ou rectangulaire de 2,4 à 3,6 m de diamètre ou de 1,8 à 2,4 m de côté respectivement, dont le dessus sera plat (par temps sec) ou arrondi comme celui d'une meule de paille (par temps pluvieux). La hauteur des tas plats peut être de 0,9 à 1,5 m et celle des tas coniques de 1,2 à 1,8 m, selon la nature des ordures et la température de l'air. Il est préférable de constituer les tas en une seule fois ; en cas de besoin, on peut cependant ajouter successivement les ordures produites pendant deux à trois journées. Il est alors nécessaire de conserver les excréta jusqu'au moment où le tas sera prêt à les recevoir.

Quand on mélange aux ordures des excréta humains solides ou liquides, deux méthodes d'antioisement sont d'usage courant. La première, qui comporte diverses variantes, consiste à creuser une tranchée ou un trou au centre du tas et à y verser les excréments, que l'on recouvre ensuite d'autres matières compostables ; les hautes températures qui règnent à l'intérieur du tas assureront la destruction des germes pathogènes. Il peut être bon de laisser les ordures se décomposer d'abord pendant deux à quatre jours, puis d'ouvrir ou de retourner le tas et de déverser les matières fécales au milieu. On obtient de cette façon un échauffement plus considérable avant l'adjonction des excréta, qui atteindront donc plus rapidement une haute température. Lorsque la quantité d'excreta dépasse la proportion souhaitable pour un compostage initial satisfaisant, on peut les ajouter en deux fois : la deuxième moitié est introduite lorsqu'on retourne le tas, c'est-à-dire à un moment où la première aura été déjà bien chauffée et partiellement stabilisée. Le degré d'humidité et le rapport C/N indiqueront si ces additions ultérieures sont possibles.

La seconde méthode de mélange consiste à constituer un tas comprenant des couches alternées d'ordures et d'excréments. On commence par disposer sur le sol une couche d'ordures d'au moins 15 à 22 cm d'épaisseur, et on

relève les bords jusqu'à environ 45 cm au-dessus du sol, de manière à former un creux à l'intérieur du tas. Une couche d'excreta de 5 cm d'épaisseur est ensuite étendue dans ce creux jusqu'à une distance d'environ 45 cm des bords extérieurs, ce qui permet d'assurer la destruction des germes pathogènes par la chaleur et de ne pas exposer les excréta à l'air libre. Puis on ajoute de la même manière des couches successives d'ordures et d'excreta jusqu'à ce que le tas ait atteint la hauteur voulue. On veillera à maintenir le degré d'humidité dans les limites convenables. Le tas doit être retourné et aéré après quelques jours, au moment où la température commencera à baisser, ou si le retournement est imposé par une autre nécessité, telle que la lutte contre les mouches.

On peut également ajouter des excréta aux ordures broyées dans un malaxeur rotatif. Le mélange est ensuite mis à composter en tas ou en meules. Ces tas ou meules sont recouverts d'une couche de 5 à 8 cm de compost stabilisé ou de grillages en vue d'empêcher la reproduction des mouches et ils sont aérés au bout de 4 à 6 jours.

Fosses

Les mêmes méthodes peuvent être utilisées pour antoiser le compost et pour ajouter les excréta, lorsque les matières sont placées dans des fosses peu profondes au lieu d'être posées à même le sol. Dans ce cas, les parois et le fond de la fosse sont revêtus de briques ou de maçonnerie ou la terre est battue et tassée. Les ordures sont empilées jusqu'à ce qu'elles dépassent le niveau du sol de 30 cm environ, ce qui donne un tas de 0,9 à 1,4 m d'épaisseur. Les matières peuvent être retournées dans la fosse aussi fréquemment qu'il le faut pour obtenir les hautes températures et les conditions d'aérobiose requises. Quand on utilise des fosses, la surface exposée à l'air se trouve réduite et les parois et le fond de la fosse assurent un certain isolement qui protège contre les pertes de chaleur et d'humidité. On peut également y déverser les excréta solides ou liquides ou les laisser s'écouler de réservoirs placés sur des charrettes.

Les fosses du type représenté dans la figure 5 sont pourvues d'un revêtement intérieur et possèdent habituellement une cheminée et des tranchées ou un fond poreux, afin d'assurer l'aération et l'écoulement de l'effluent. On peut utiliser des tranchées de même forme sans dispositif d'aération et de drainage et sans revêtement de maçonnerie. Toutefois, en l'absence de revêtement intérieur, les parois risquent de s'effriter et la forme de la fosse devient alors irrégulière. Lorsque les travaux se font manuellement, le retournement et la manipulation des matières dans la fosse ne coûtent pas plus cher que si les tas sont disposés à la surface du sol. Au contraire, lorsque ces opérations sont mécanisées, l'amoncellement en surface est d'un prix de revient inférieur, sauf peut-être dans le cas de certaines fosses très perfectionnées pourvues d'un dispositif spécial pour le retournement.

Acharya¹ préconise des fosses d'environ 0,9 m de profondeur, dans lesquelles on entretient des conditions d'aérobiose et des températures élevées pendant les quelques premiers jours, pour laisser ensuite le processus se dérouler en anaérobiose pendant quatre à six mois. Les ordures, y compris les excréta, sont disposées dans la fosse en couches successives de la manière décrite précédemment avec une couche d'ordures d'au moins 15 à 22 cm d'épaisseur au sommet. La quantité d'oxygène emprisonné est suffisante pour que les organismes aérobies produisent une température élevée pendant les premiers jours. Il semble que cette haute température se maintienne pendant deux semaines environ grâce aux propriétés isolantes des tas de ce type, et malgré l'installation rapide de l'anaérobiose. La masse reste en fermentation essentiellement anaérobie pendant trois mois au moins sans être retournée. Au fur et à mesure qu'elle s'affaisse, on la recouvre parfois d'une nouvelle couche d'ordures et d'excréta pour conserver l'épaisseur désirée. Après le passage à l'anaérobiose, on peut recouvrir le tas de poussière ou d'un autre revêtement analogue pour absorber l'azote qui s'en échappe, retenir l'humidité et éviter la reproduction des mouches. Dans ce système, la couche supérieure, jusqu'à une profondeur de 10-15 cm ne fermente généralement pas bien. En outre, on ne peut avoir la même certitude d'obtenir des températures suffisamment élevées et uniformes pour détruire les germes pathogènes. Enfin, la fermentation anaérobie pose le problème du pullulement des mouches et de la production d'odeurs fétides.

Pour le compostage anaérobie, Scott⁶⁸ a utilisé des fosses revêtues de maçonnerie ayant 1,8 à 3 m de profondeur. Il a constaté qu'il est impossible de détruire à coup sûr les œufs de *A. lumbricoides* sans avoir préalablement obtenu les températures élevées et uniformes qui accompagnent la décomposition aérobie. C'est pourquoi il commençait par mettre les matières à composter pendant quelques jours en tas aérobies retournés une ou plusieurs fois avant de les disposer dans des fosses assez profondes en vue d'une digestion anaérobie. La masse était fortement tassée dans les fosses afin de réduire au minimum les interstices et la quantité d'air emprisonné; elle reposait ensuite sans autre manipulation pendant 4 à 6 mois.

Les fosses ne donnent pas de bons résultats dans les régions où la nappe phréatique est peu profonde. Si on les utilise malgré cet inconvénient, il faut assurer le drainage du fond et prendre les dispositions nécessaires pour empêcher les eaux de ruissellement de pénétrer.

On peut se demander si les fosses présentent vraiment des avantages par rapport aux tas disposés à même le sol et aérés par retournement. L'économie de main-d'œuvre qu'elles apportent risque d'être obtenue au prix d'un plus grand pullulement des mouches, d'un plus fort dégagement d'odeurs, et d'une incertitude accrue sur la destruction des germes pathogènes. En sens inverse, il ressort d'expériences faites dans l'Inde que les

éléments nutritifs se conservent mieux lorsque le compostage s'effectue dans des fosses. Toutefois, comme on l'indiquera plus loin (voir page 94), il n'est pas entièrement prouvé que le compostage anaérobie permette de retenir une quantité beaucoup plus forte d'azote que le compostage aérobie, si ce dernier est complété par certaines autres techniques de conservation de l'azote.

Le digesteur à aération mécanique, qui a été décrit précédemment, est sans grand intérêt économique pour le traitement des ordures et des excréments dans les villages. Cependant, ces appareils ont été utilisés avec succès pour le compostage des ordures dans des localités où l'on recherchait une stabilisation rapide. Il y a de sérieuses raisons de douter que les digesteurs mécaniques assurent un compostage plus économique que la mise en tas dans les villes où des quantités considérables d'ordures doivent être traitées. Cette formule trouvera sans doute son emploi le plus indiqué dans les régions dont le climat est trop inclément pour permettre le compostage en plein air.

Température

La température est un facteur important, surtout dans le compostage aérobie. On a indiqué précédemment que la fermentation aérobie s'accompagne d'un dégagement considérable de chaleur. Etant donné que la masse d'ordures possède d'assez bonnes propriétés isolantes, elle est capable, si son volume est suffisamment grand, de retenir la chaleur dégagée par cette réaction biologique exothermique, et des températures élevées seront ainsi obtenues.

Ces températures élevées sont indispensables pour la destruction des germes pathogènes et des graines de mauvaises herbes. En outre, la décomposition s'effectue beaucoup plus rapidement aux températures convenant aux bactéries thermophiles. L'intervalle optimum est de 50 à 70°C, et les meilleurs résultats sont habituellement obtenus au voisinage de 60°C. Certains producteurs de compost (Dano Corporation) considèrent que les températures allant de 50 à 60°C sont les plus favorables, tandis que d'autres ont obtenu des résultats excellents entre 60 et 70°C. Etant donné qu'un petit nombre seulement d'organismes thermophiles contribuent effectivement à la décomposition lorsque la température s'élève au-dessus de 70°C, il est souhaitable de ne pas dépasser ce niveau pendant des périodes prolongées.

Le Service de Santé publique des Etats-Unis⁷⁶ a publié un rapport sur des expériences de compostage effectuées dans des installations pourvues d'un système d'aération mécanique et dans lesquelles la production de CO₂ et la perte d'humidité ont été mesurées à différentes températures, afin de déterminer le degré de décomposition. La production de CO₂ a été calculée d'après la formule : $\log Y = 0,01417 X_F - 1,9101$, où Y est la

production de CO_2 et X_F la température en degrés Fahrenheit.^a De même, la perte d'humidité (Z) a été calculée d'après la formule $\log Z = 0,008096 X_F - 1,1953$, où X_F est la température en degrés Fahrenheit.^a La température maximum obtenue au cours de ces expériences a été de $159,5^\circ\text{F}$ ($70,8^\circ\text{C}$). L'expérience fait ressortir une augmentation marquée du degré de décomposition aux températures les plus élevées.

Bien qu'il ait été établi que les œufs de *A. lumbricoides* et les kystes de *Ent. histolytica* sont détruits rapidement au-dessus de 50°C , on a constaté que ces œufs et ces kystes pouvaient survivre pendant plusieurs jours dans des tas de compost dont la température intérieure dépassait 50°C .⁶⁸ Etant donné qu'il faut se réserver une marge de sécurité sur ce point, et qu'il est facile d'obtenir des températures élevées pendant une grande partie de la période de décomposition active, l'ensemble des matières devrait être maintenu à 60°C au moins.

Dans certains cas, des producteurs de compost évitent d'opérer pendant longtemps à ces températures élevées, qui ont tendance à augmenter les pertes d'azote par suite de l'évaporation de l'ammoniac, qui se produit lorsque le rapport C/N est faible. On montrera plus loin qu'il existe d'autres moyens de diminuer la perte d'azote sans abaisser la température. L'inconvénient des pertes d'azote, d'ailleurs faibles, dues à la température élevée est compensé par les avantages que constituent la destruction des germes pathogènes et des graines de mauvaises herbes, la possibilité d'éviter le pullulement des mouches et la certitude d'une meilleure décomposition.

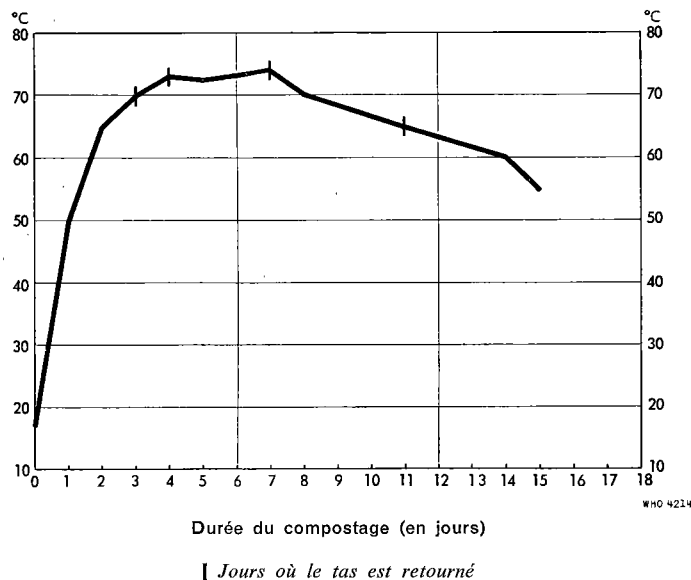
La figure 6 reproduit une courbe typique de la température régnant à l'intérieur d'un tas d'ordures broyées. La courbe ne reflète pas les baisses minimales qui se produisent lors du retournement des tas et qui sont rapidement compensées. En général, on atteint 45 à 50°C dans les premières 24 heures et 60 - 70°C au bout de 2 à 5 jours. La baisse finale de la température est moins brusque que son augmentation initiale, ce qui indique une bonne stabilisation. Une baisse de température intervenant avant la stabilisation signifie que des conditions d'anaérobiose s'établissent à l'intérieur du tas et qu'une aération s'impose. En effet, les températures élevées ne se maintiennent pas lorsque la fermentation devient anaérobie.^b La courbe varie quelque peu en différents points de la masse suivant les dimensions du tas, la température ambiante, le degré d'humidité, l'aération et la nature des matières utilisées. Néanmoins, c'est l'approvisionnement en oxygène

^a Si la température est exprimée en degrés centigrade (X_C), ces deux formules sont : $\log Y = 0,025506 X_C - 1,45666$; $\log Z = 0,0145728 X_C - 0,936228$.

^b Il est possible d'obtenir, pendant quelque temps, de hautes températures dans une partie d'un tas fermentant en anaérobiose lorsque le degré d'humidité n'est ni assez fort pour que la décomposition s'effectue normalement, ni assez faible pour l'empêcher complètement. L'échauffement et le dégagement de combustibles volatils déclenchent une combustion spontanée. Toutefois, cette situation n'est pas propice à une bonne décomposition et ce n'est pas le genre d'échauffement que l'on recherche dans un compostage rationnel.

qui constitue le facteur le plus important dans le maintien de températures élevées pendant la décomposition.

FIG. 6. COURBE TYPIQUE DE LA TEMPÉRATURE DANS UN VOLUME CONSIDÉRABLE D'ORDURES URBAINES MÊLÉES EN COMPOSTAGE AÉROBIE *



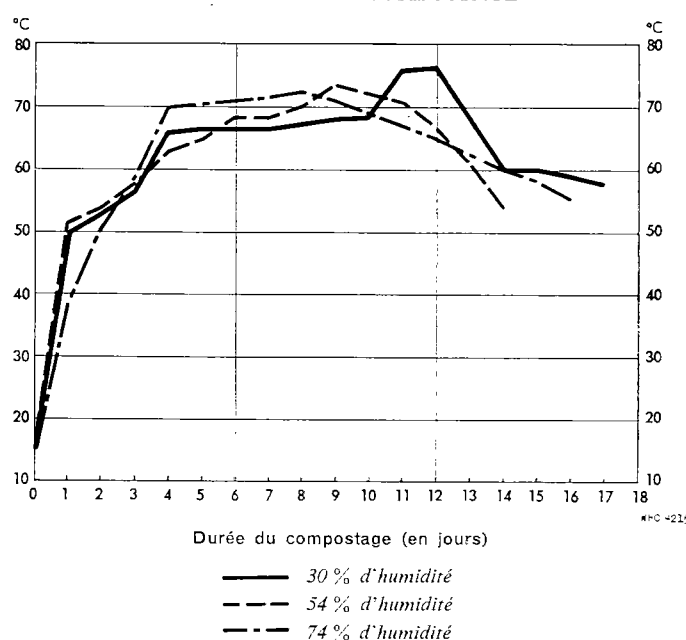
* D'après les études faites par l'Université de Californie

Comme on l'a dit plus haut, on peut faire des tas plus grands pour obtenir des températures élevées par temps froid, ou plus petits pour éviter un échauffement excessif par temps chaud. L'expérience a prouvé que le retournement ou l'aération ne sont pas des moyens très efficaces pour libérer la chaleur d'un tas de compost dont la température s'est élevée (dépassant 60-75°C) au point d'inhiber l'activité bactérienne. En effet, si la décomposition est active, la température, après avoir baissé légèrement pendant le retournement, remonte à son niveau antérieur au bout de 2 ou 3 heures. On n'arrive pas davantage à provoquer un refroidissement appréciable en arrosant le tas, à moins de le noyer complètement. L'effet des dimensions sur la température est illustré par l'expérience suivante, faite sous une température extérieure de 15 à 20°C : Un tas de 1,5 m de hauteur dont la masse atteignait 70°C fut ramené à 0,6 m de hauteur : la température tomba à 65°C en 3 heures. Trois jours plus tard, le tas fut porté de nouveau à 1,5 m de hauteur et, en 24 heures, la température intérieure remonta à 70°C.

Dans les tas dont les dimensions sont suffisantes pour empêcher les pertes de chaleur, la température des points voisins de la surface ne varie guère avec celle de l'air ambiant. Toutefois, des vents violents et une forte évaporation entraînent une baisse de température près de la surface exposée au vent.

Des variations du degré d'humidité comprises entre 30 et 75 % sont sans grand effet sur la température maximum à l'intérieur du tas, ainsi que le montre la figure 7, extraite des études faites par l'Université de Californie.⁸¹ L'échauffement initial semble un peu plus rapide à 30-50 % d'humidité qu'à 73 %.

FIG. 7. EFFET DU DEGRÉ D'HUMIDITÉ SUR LA TEMPÉRATURE D'UNE MASSE EN COMPOSTAGE *



* D'après les études faites par l'Université de Californie

Ces études ont cependant fait apparaître une corrélation importante et significative entre l'humidité et la répartition des températures à l'intérieur du tas. La température de la couche superficielle est plus élevée, et la zone des hautes températures se rapproche davantage de la surface lorsque l'humidité est plus forte. Ainsi, dans les expériences effectuées par l'Université de Californie,⁸¹ sous une température ambiante comprise entre 10 et 25°C, la zone d'échauffement maximum s'étendait jusqu'à environ 2,5 cm de la surface dans un tas dont l'humidité était de 61 %,

alors que dans un tas contenant 40 % d'humidité, cette même zone commençait à 15 cm au-dessous de la surface. On peut ajouter, pour souligner la portée de cet exemple, que, dans le tas contenant 61 % d'humidité, la température atteignait 48°C à 6-12 mm de la surface, 58°C à 5 cm et 68°C (température intérieure maximum) à 10 cm. Dans le tas contenant 40 % d'humidité, l'isotherme 50°C passait à 8 cm de la surface, celle de 60°C à 13 cm et celle de 70°C (température maximum) à 15 cm. La température au fond du tas est en général inférieure au maximum, mais supérieure à celle du sommet et des côtés.

Les études de Golueke²² sur le compostage du fumier de vache et de porc font également ressortir des variations considérables dans les températures des couches extérieures du tas.

Le tableau 7 extrait des études de van Vuren,⁸² donne les moyennes de quatre relevés quotidiens de la température en des points divers de fosses de compostage ayant les unes 0,6 m et les autres 1,2 m de profondeur, et dans lesquelles le compost était retourné chaque jour.

On voit qu'on a obtenu des températures plus élevées dans la fosse la plus profonde, en même temps qu'une meilleure répartition de la chaleur, et que la proportion des matières soumises simultanément à une température élevée y était plus considérable. Ainsi, le volume effectif de la masse dégageant de la chaleur constitue un facteur important pour la production de températures suffisamment hautes.

Le broyage ou la pulvérisation des matières, en donnant une plus grande homogénéité, contribue également à assurer une meilleure répartition des températures et à diminuer les pertes de chaleur.

Les matières dont le rapport C/N est élevé ou qui contiennent de grandes quantités de cendres et de substances minérales s'échauffent en général plus lentement.

L'aération, qui permet d'entretenir l'aérobiose dans le tas de compost, est une condition indispensable pour arriver à des températures élevées. Lorsque l'anaérobiose s'installe, la température baisse rapidement. Même les petites zones où la fermentation devient anaérobie ont des températures plus basses que les parties avoisinantes du tas où l'aérobiose se maintient.

Aération

Comme nous l'avons indiqué précédemment, il faut aérer la masse en compostage pour entretenir l'aérobiose et les températures élevées et obtenir la décomposition rapide et inodore qui caractérise cette variante du processus. L'aération sert également à réduire l'humidité initiale lorsqu'elle était trop élevée. Diverses techniques ont été employées avec plus ou moins de succès. La méthode la plus courante, qui s'applique au compostage en tas, consiste à retourner la masse.

**TABLEAU 7. TEMPÉRATURES PRISES A DIFFÉRENTS POINTS
DANS DEUX FOSSES A COMPOST**

Paroi latérale de la fosse		Fond de la fosse										
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
G	X	38,9	51,1	48,3	62,2	51,1	58,9	60,0	59,4	61,1	47,8	62,8 °C
	Y	29,4	26,1	34,4	28,9	21,7	28,9	27,2	23,9	33,3	23,3	35,6 °C
F	X	60,0	55,6	65,6	72,2	52,8	69,4	62,8	70,6	67,8	58,3	71,1 °C
	Y	34,4	30,6	40,6	42,2	28,9	36,7	37,2	31,7	42,2	33,3	47,2 °C
E	X	67,8	70,0	68,9	71,7	63,3	70,0	66,7	70,6	71,7	65,0	73,9 °C
	Y	36,7	43,9	44,4	49,4	33,9	42,8	47,8	44,4	48,9	47,8	56,1 °C
D	X	70,6	77,8	72,2	71,1	70,6	66,1	67,8	68,9	68,9	68,9	76,1 °C
	Y	40,0	62,8	62,2	58,9	36,1	45,6	65,6	56,7	56,7	57,2	66,7 °C
C	X	57,2	73,9	73,3	66,1	66,7	66,7	62,8	66,7	66,7	60,6	70,6 °C
	Y	43,3	63,9	62,2	55,0	58,3	54,4	63,3	60,6	59,4	55,6	65,6 °C
B	X	57,8	70,0	67,2	61,7	59,4	62,8	60,6	63,9	61,7	58,9	68,9 °C
	Y	52,8	55,6	61,1	45,0	52,2	51,7	58,3	53,9	53,9	52,2	58,9 °C
A	X	56,1	68,9	65,6	60,6	62,8	61,1	56,1	58,9	58,9	57,8	62,8 °C
	Y	47,8	50,6	56,1	44,4	47,8	46,7	48,9	51,7	51,1	48,3	58,3 °C

X = températures prises dans la fosse profonde de 1,20 m

Y = températures prises dans la fosse profonde de 0,60 m

A - G = tranches horizontales dans lesquelles les températures ont été prises ; l'épaisseur des tranches était de 10 cm dans la fosse de 1,20 m et de 5 cm dans la fosse de 60 cm

a - k = tranches verticales et longitudinales dans lesquelles les températures ont été prises la largeur des tranches était d'environ 13 cm dans les deux fosses.

D'après van Vuren ; ¹² reproduit avec l'aimable autorisation de Faber and Faber Ltd, Londres.

Quand les quantités traitées sont faibles, par exemple dans les villages et dans les fermes, le compost, en tas ou en fosse, est en général retourné à la fourche. C'est dans les grandes installations à l'échelle municipale que la mécanisation présente le plus d'intérêt économique. Le point le plus important, en dehors de l'aération, est de faire en sorte que les couches

extérieures du tas se retrouvent au centre, où elles seront soumises aux températures élevées. Ce brassage ne présente aucune difficulté quand on travaille à la fourche : si les tas sont à même le sol, on les refait simplement à côté, en mettant à l'intérieur du nouveau tas les matières qui se trouvaient à l'extérieur de l'ancien. Si le compost se fait en fosses ou en tranchées, on transporte le contenu d'une fosse dans une autre ou, s'il reste un peu d'espace libre au bout de la fosse, on retourne la masse à l'intérieur de la fosse. La perte de volume au cours de la stabilisation facilite le retournement à l'intérieur de la fosse. On peut également profiter de ces manipulations pour réunir plusieurs tas en un seul, surtout si l'on pratique le compostage prolongé.

L'intérêt accru qu'a suscité le compostage comme méthode d'évacuation des ordures a conduit à mettre au point des méthodes mécanisées pour retourner les tas longitudinaux dans les usines importantes. On se sert de diverses machines, qui sont en général des adaptations de matériel normalement destiné à d'autres usages. Une version modifiée du chargeur auto-propulsé Barber-Green est utilisée dans une usine de compostage pour retourner un mélange de fumier et de paille servant à la culture des champignons. On a obtenu de bons résultats avec un bulldozer dont la lame ou la benne était remplacée par de grandes fourches à dents écartées capables de ramasser et de retourner un tas. De même, on utilise un tracteur ameulonneur modifié. Un autre procédé consiste à retourner le compost au moyen d'un bulldozer dont le doget déverse les matières dans un épancheur de fumier monté sur un camion, qui les dépose mécaniquement en une nouvelle rangée. Les études faites en Nouvelle-Zélande ont amené à proposer l'emploi de grues mobiles ou de drag-lines manœuvrant des bennes presseuses à grappin. Cet équipement serait particulièrement intéressant pour retourner le compost en fosse.

La Compost Corporation of America signale qu'elle envisage d'utiliser un transporteur mobile, à auto-propulsion et auto-alimentation, pour aérer et déplacer les rangées de compost et pour contrôler l'humidité et la température. Un réservoir d'eau monté sur la machine permet en cas de besoin d'augmenter l'humidité en arrosant la masse pendant qu'on la retourne. Ce matériel doit permettre à un seul opérateur de manipuler en une heure plus de 100 tonnes de compost disposé en rangées. Pareil dispositif à gros débit élimine tout travail manuel et assurera, pour une dépense d'exploitation réduite, un contrôle très étroit de l'état des rangées de compost. Il est prévu qu'en retournant les matières pour les aérer on les déplacera en direction des locaux où le produit fini doit être entreposé et préparé pour la vente.

Une machine auto-propulsée, rappelant les chasse-neige rotatifs modernes, pourrait être construite pour se déplacer à cheval sur les rangées ou pour les longer en ramassant le compost avec des godets rotatifs de forme conique qui retourneraient vers le centre les matières se trouvant à l'extérieur

et les projetteraient contre un moule de tôle. Ce moule serait conçu de manière à recevoir le compost soulevé par les godets rotatifs et à refaire les tas aux mêmes emplacements ou juste à côté. L'emploi d'une charrue

FIG. 8. USINE DE COMPOSTAGE A DUMFRIES (ÉCOSSE) : FOSSES, PONT ROULANT ET BENNE PRENEUSE



Reproduit avec l'aimable autorisation de
Lady Howard, Albert Howard Foundation
of Organic Husbandry, Kent, Angleterre

rotative présenterait bien des avantages pour retourner les tas d'ordures préalablement pulvérisées ou dilacérées. Il ne serait pas difficile de mettre au point d'autres types de machines permettant d'accomplir le même travail.

Pour retourner le compost en fosses ou en cuves, on pourrait creuser, sur un terrain horizontal ou légèrement en pente, une longue tranchée

continue de 3 m de large et de 1,20 m de profondeur, équivalent à une série de cuves. Une fourche mécanique montée sur rails se déplacerait le long de la tranchée pour retourner le compost. Les ordures seraient déposées à une extrémité et chaque retournement les ferait avancer vers l'autre extrémité, où elles arriveraient stabilisées. A Kirkconnel (Dumfries, Ecosse), on utilise un pont roulant avec une benne preneuse (fig. 8) pour charger, décharger et retourner le compost dans les fosses. De nombreuses autres méthodes d'aération sont possibles. A l'heure actuelle, il semble que la plus économique pour les grandes installations est de constituer des silos et de les retourner au moyen d'un appareil auto-propulsé qui les reforme et qui permet à un seul ouvrier de retourner plusieurs centaines de tonnes par jour pour une dépense unitaire très réduite.

On a essayé d'aérer les meules par la base et d'éliminer l'excès d'humidité en disposant des drains en tuile au fond de cuves ou de fosses pavées de briques sans joints. Cette méthode donne bien une certaine ventilation par la base, mais la structure d'une meule d'ordures — surtout si elles ont été broyées — se prête mal à une circulation d'air à l'intérieur. Des conditions d'aérobiose en surface peuvent parfaitement coexister avec l'anaérobiose à quelques centimètres de profondeur. De plus, puisque l'intérieur de la meule est chaud, les gaz qui y sont produits (gaz carbonique et autres) ont tendance à refluer vers le dehors, et donc d'empêcher l'air d'entrer. Les matières non broyées contenant de la paille en gros brins ou d'autres éléments grossiers absorbent l'air par les côtés et par la base beaucoup mieux que les ordures dilacérées, mais cette absorption reste néanmoins très faible. Dans certains cas, on fait passer un courant d'air pulsé par le fond de la fosse, qui est perforé à cet effet. Mais cette technique n'est pas particulièrement efficace, car les détritiques ne constituent pas une masse dans laquelle l'air puisse circuler et se répartir de manière uniforme.

On utilise également des cheminées cylindriques en tôle perforée ou en treillis métallique, d'un diamètre de 10 à 20 cm, et placées à 0,90 ou 1,50 m l'une de l'autre dans les meules, les fosses ou les silos de compost. Les expériences faites à l'Université de Californie ont montré que l'aération assurée par ces cheminées est si limitée, du fait de la consistance de la masse en décomposition, que leur emploi ne se justifie guère. D'autres chercheurs semblent cependant avoir obtenu des résultats satisfaisants avec cette méthode.

A Baden-Baden, le compost en silos est aéré au moyen d'un châssis en forme de V renversé (un tunnel parcourt ainsi toute la longueur du silo) sur lequel les matières sont entassées (voir fig. 4 B, page 59). L'air qui se trouve à l'intérieur de ces châssis diffuse dans le compost. La masse n'est pas retournée et, de ce fait, échappe en grande partie aux hautes températures.

Dans certains digesteurs mécaniques, on aère en forçant de l'air dans les détritiques par des tuyaux perforés, des doubles parois, ou encore par

des orifices pratiqués dans des bras rotatifs creux qui tournent dans la masse. D'autres digesteurs assurent l'aération en mélangeant les matières en présence d'air au moyen d'agitateurs à vrilles ou à palettes. Lorsque la masse est brassée lentement dans un digesteur, la température est plus ou moins uniforme, et il n'y a plus à se soucier d'amener les couches extérieures plus froides aux températures élevées de l'intérieur.

La périodicité de l'aération ou du retournement, de même que l'intensité de l'aération et le nombre total de retournements dépendent essentiellement de l'humidité et de la nature des matières traitées, surtout du premier de ces deux facteurs. Une forte humidité rend la masse moins poreuse et, en amollissant les détritiques, facilite leur tassement, ce qui diminue encore les interstices ou les vides par où l'air pourrait pénétrer. D'autre part, si le rapport C/N est élevé ou si des quantités considérables de cendres ou d'autres matières inertes sont présentes, l'aération n'a pas besoin d'être aussi fréquente que pour des matières qui se décomposent plus activement et plus vite.

Le procédé de Bangalore,¹ mis au point dans l'Inde, comporte peu d'aération : on considère que l'air emprisonné à l'origine dans la masse mise en fosse suffit pour entretenir des températures élevées pendant plusieurs jours. Ensuite, les détritiques subissent apparemment une digestion anaérobie pendant plusieurs mois jusqu'au moment où ils sont relativement bien décomposés. Cette méthode a l'avantage d'économiser la manutention, mais elle pose le problème des odeurs, de la destruction des germes pathogènes et de la lutte contre les mouches.

Howard (utilisant le procédé d'Indore),³³ Scott,²⁸ van Vuren,⁷² Scharff,⁶⁶ Stovroff,⁷⁵ Weststrate⁸⁹ et d'autres retournent le compost, qu'il soit en fosse ou en meules, de une à quatre ou cinq fois sur une période de 1 à 6 mois. La température augmente immédiatement après chaque retournement jusqu'à stabilisation complète. Si on laisse s'écouler un long intervalle entre deux retournements ou aérations, la décomposition active est retardée par l'installation de l'anaérobiose et la stabilisation demande beaucoup plus de temps.

Les études faites à l'Université de Californie⁸¹ montrent qu'en retournant le compost assez fréquemment pendant les 10 ou 15 premiers jours, on obtient à peu près le même degré de stabilisation qu'avec le même nombre de retournements répartis sur une période plus longue. Une meilleure aération pendant les premières phases de la décomposition intensifie l'activité des micro-organismes et abrège la période de décomposition active, réduisant ainsi le temps et l'espace nécessaires au compostage. Il va sans dire que si le compostage doit être essentiellement anaérobie, ce qui vient d'être dit du nombre des manutentions ne s'applique pas. Cependant, si l'on se propose d'entretenir, au moins partiellement, des conditions d'aérobiose et des températures élevées, il semble à peine plus difficile de retourner le compost aux intervalles nécessaires pour obtenir

une décomposition aérobie plus ou moins continue, que d'aérer à intervalles plus espacés mais répartis sur une période plus longue.

La quantité d'air disponible est fonction non seulement de la fréquence des retournements, mais aussi de l'humidité et de la consistance des matières. D'autre part, la quantité d'oxygène nécessaire à l'activité biologique dépend, dans une certaine mesure, de la quantité de substances nutritives présentes dans les déchets (en d'autres termes, un rapport C/N élevé ne permet pas de nourrir une flore aussi abondante). Il est donc impossible de fixer, pour une série de conditions différentes, des normes minimums applicables à la périodicité ou au nombre des retournements. Les études faites à l'Université de Californie sur le compostage de détritux ménagers (ordures ménagères, débris d'herbe coupée et de branches taillées, plus des quantités considérables de papier et d'autres déchets combustibles) montrent qu'on peut obtenir une décomposition rapide en appliquant le plan suivant.

Si l'humidité initiale est inférieure à 70 %, on retourne une première fois le troisième jour. Ensuite, jusqu'au dixième ou douzième jour :

Humidité de 60 à 70 % : retourner tous les deux jours, 4 à 5 fois

Humidité de 40 à 60 % : retourner tous les trois jours, 3 à 4 fois

Humidité inférieure à 40 % : ajouter de l'eau.

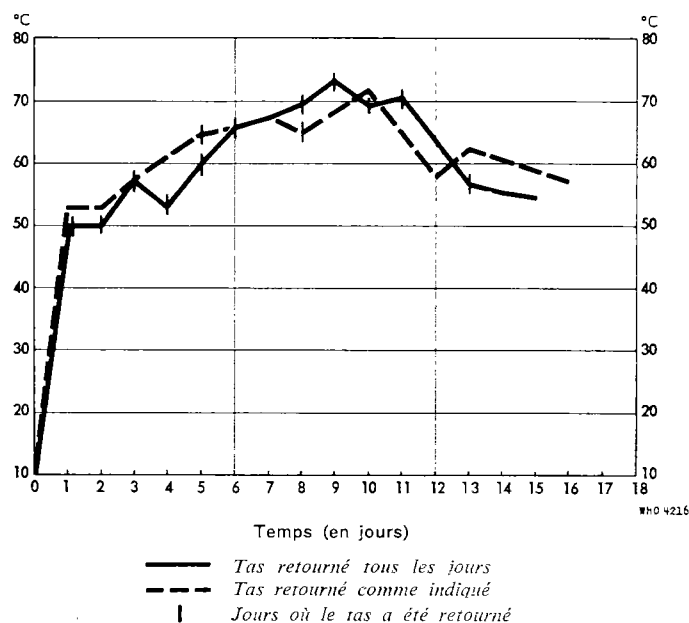
Lorsque l'humidité initiale est nettement supérieure à 70 % il convient de retourner tous les jours jusqu'à ce que ce chiffre soit ramené à moins de 70 % ; suivre ensuite le régime indiqué ci-dessus.

Ce plan assurera une décomposition rapide à des températures élevées. En retournant un peu moins souvent, on ralentit le compostage, mais on doit pouvoir éviter ainsi l'anaérobiose prononcée et les mauvaises odeurs. Lorsque le compost fini est conservé en grand tas avant d'être mis en sac, on peut parfois considérer que le transport sur le tas final tient lieu de dernier retournement. Il y a lieu de noter en outre que, si le régime indiqué ci-dessus a donné satisfaction pour les ordures mélangées auxquelles on avait affaire à Berkeley (Californie), une manutention moins fréquente peut suffire dans d'autres conditions. L'auteur a remarqué aux Pays-Bas et au Danemark que les tas de compost contenant environ 40 % d'humidité ne deviennent ni septiques ni fétides même lorsqu'on les retourne rarement (une fois toutes les 6 semaines). Quand on suit un certain plan d'aération, il n'est pas nécessaire de déterminer l'humidité dans chaque silo de compost. L'expérience permet rapidement d'apprécier la nécessité d'ajouter de l'eau ou de retourner les matières. On obtient de bons résultats en appliquant la recette pratique suivante : dès qu'on sent les odeurs fétides de la putréfaction anaérobie en fouillant le tas pour le retourner ou pour l'inspecter, retourner quotidiennement jusqu'à disparition de ces odeurs. Si complète que soit devenue l'anaérobiose, un retournement quotidien, qui réduit l'humidité et introduit de l'air, la fera disparaître. De même, il est quelque-

fois nécessaire de retourner la masse tous les jours pour empêcher le pullulement des mouches. Une baisse de température survenant au cours des 7 ou 10 premiers jours du compostage indique qu'il est nécessaire de retourner le tas pour l'aérer.

La figure 9 indique le rapport entre la périodicité des retournements et la température ; les mesures ont été prises sur deux tas semblables de compost et de diverses ordures broyées, à une température ambiante variant entre 10 et 25°C.⁸¹

FIG. 9. COURBES DE TEMPÉRATURES DE DEUX TAS SEMBLABLES D'ORDURES MÉLANGÉES, MONTRANT LE RAPPORT ENTRE LA PÉRIODICITÉ DES RETOURNEMENTS ET LA TEMPÉRATURE



Dans ce cas particulier, la température du tas retourné tous les jours est restée légèrement plus basse, pendant la majeure partie des 5 premières journées, que celle du tas retourné moins souvent. Généralement, la température diminue de 5 à 10°C au moment de la manutention, mais elle remonte à son niveau précédent au bout de 2 ou 3 heures.

Il semble que le retournement quotidien empêche la prolifération des moisissures et des actinomycètes, qui caractérise les tas brassés moins souvent. Dans le premier cas, ces organismes ne se développent que sporadiquement, tandis que dans les tas qu'on laisse reposer pendant 2 ou 3 jours, ils forment une couche épaisse et continue qui atteint son maximum au bout de 4 jours environ. Cet effet de la manutention journalière est

probablement dû au fait que ces micro-organismes sont exposés quotidiennement à l'action inhibitrice des températures qui règnent à l'intérieur du tas ; ils sont ainsi empêchés de s'accumuler dans les couches extérieures plus froides.

Pour autant qu'ils dépendent de la température et de l'humidité, les besoins en air peuvent être contrôlés avec précision dans les digesteurs aérés mécaniquement. Ces appareils étant fermés, le problème de la lutte contre les mouches ne se pose pratiquement pas.

En résumé, l'utilité d'éviter l'anaérobiose, l'entretien de températures élevées et la lutte contre les mouches sont les principaux facteurs à considérer pour fixer la politique d'aération.

Flore microbienne

Les matières compostables (ordures ménagères, déchets, excreta, fumier, boues d'égouts, détritux végétaux divers) contiennent normalement de nombreuses espèces différentes de bactéries, de champignons, de moisissures et d'autres organismes vivants. On ne possède que des connaissances très incomplètes sur la diversité des organismes représentés et sur les fonctions propres à chacun. Waksman^{85, 86, 87} et d'autres auteurs^{13, 21} ont montré, dans d'importantes études sur la microbiologie du compostage aérobie du fumier et d'autres matières organiques, que certains micro-organismes ont certaines fonctions spécifiques et qu'aucun d'entre eux, si actif soit-il, ne réussit aussi bien qu'un mélange de souches, à produire une décomposition rapide et satisfaisante. Il semble que la décomposition aérobie fait intervenir un plus grand nombre d'espèces de bactéries que la putréfaction anaérobie. Cependant, on est mal renseigné sur les espèces de bactéries qui jouent un rôle actif dans le compostage anaérobie, encore que plusieurs recherches aient été faites sur les bactéries associées à la digestion anaérobie des boues d'égouts. Sans doute doit-on retrouver en grande partie les mêmes espèces dans le compostage anaérobie et dans la digestion des boues d'égouts. Cependant, comme le degré d'humidité et la quantité de substances nutritives sont très différents dans les tas de compost et dans les boues, il faut s'attendre à des différences correspondantes dans les flores microbiennes.

Un grand nombre d'espèces sont donc nécessaires à la décomposition des diverses matières compostables. La variété nécessaire est généralement présente et ces organismes se développent bien lorsque les conditions de milieu sont satisfaisantes. La nature et l'abondance de la flore subissent d'ailleurs des changements importants au cours de la décomposition. Certaines espèces se multiplient rapidement au début, mais dépérissent au fur et à mesure que le milieu change et que d'autres organismes peuvent proliférer à leur tour. Ce sont probablement la température et la nature

des substances nutritives présentes qui exercent la plus grande influence sur la composition de la flore, à un moment donné. Le compostage aérobique est un processus dynamique qui résulte de l'action combinée et prolongée de bactéries, d'actinomycètes,^a de champignons et autres. Chaque flore est adaptée à un milieu particulier, pour une durée relativement limitée, et participe électivement à la décomposition de telle ou telle catégorie de matière organique, chacune complétant l'activité des autres. L'hétérogénéité de la flore fait pendant à celle des milieux complexes que constituent les matières en décomposition. L'apparition de flores successives traduit les changements constants du milieu sous l'influence de la température et des modifications incessantes du substrat, au fur et à mesure que les substances nutritives complexes sont dissociées en composés plus simples. Quant à la température, sauf pendant de courtes périodes, à l'occasion des retournements de la masse, elle augmente constamment avec l'activité biologique, jusqu'à ce que les pertes de chaleur équilibrent l'échauffement, ou que le compost soit bien stabilisé.

Dans le compostage aérobique, les variétés aérobies, strictes ou facultatives, de bactéries, d'actinomycètes et de champignons sont les plus actives. Au début du processus, les bactéries mésophiles prédominent de manière caractéristique, puis cèdent rapidement la place aux bactéries thermophiles, qui envahissent toutes les parties du tas où la température est satisfaisante c'est-à-dire, en fin de compte, la plus grande partie de la masse. Les champignons thermophiles apparaissent généralement au bout de 5 à 10 jours et les actinomycètes prennent de l'importance au cours des dernières phases. Sauf lorsque la température tombe, vers la fin de la période de compostage, les actinomycètes et les champignons se cantonnent dans une couche nettement définie, d'une épaisseur de 5 à 15 cm, située immédiatement sous la surface du tas. Certaines moisissures se développent également dans cette zone extérieure. A moins que l'on ne retourne le matériel très fréquemment et que l'on ne rende ainsi leur croissance impossible faute du temps et des conditions nécessaires, les populations de champignons et d'actinomycètes sont souvent assez abondantes pour donner à cette couche extérieure un net aspect blanc grisâtre. La délimitation, très accusée, vers le dehors et vers le dedans, de la couche dans laquelle les actinomycètes et les champignons se développent au cours de la période de compostage actif à température élevée est due au fait que ces organismes ne peuvent se développer aux hautes températures qui règnent à l'intérieur du tas. On a constaté que les actinomycètes et champignons thermophiles poussent à des températures variant entre 45 et 60°C. D'après les études faites à l'Université de Californie,⁸¹ la température de la couche extérieure dans laquelle ces organismes prédominent varie entre 48°C à la limite extérieure et 58°C à la limite intérieure. Leur développement est entravé lorsqu'on

^a Enumérés séparément des autres bactéries, en raison de leur rôle distinct dans le compostage.

retourne fréquemment les tas, comme il est parfois nécessaire de le faire pour lutter contre les mouches ; en effet, la couche extérieure plus froide est alors mélangée avec la masse intérieure avant que la germination ait pu progresser.

Nous ne chercherons pas ici à montrer en détail le rôle de certains organismes ou groupes d'organismes dans la décomposition des différentes matières. Diverses recherches ont indiqué qu'un grand nombre d'espèces de bactéries thermophiles semblent jouer un rôle important dans la décomposition des protéines et d'autres substances organiques faciles à dissocier. On doit apparemment leur attribuer toute l'intense activité caractéristique des quelques premiers jours pendant lesquels la température atteint 60 à 70°C et que des modifications importantes s'opèrent dans la nature du tas de compost. Celui-ci diminue alors radicalement de volume et change rapidement d'aspect. Ces bactéries prédominent jusqu'à la fin dans l'intérieur de la masse, où les températures inhibent la croissance des actinomycètes et des champignons. Dans toutes les expériences qu'ils ont faites avec des flores mixtes sur la thermogénèse dans la décomposition des plantes, Carlyle & Norman¹³ ont constaté que les bactéries constituent l'élément actif.

Bien qu'ils se confinent essentiellement dans les couches extérieures et ne deviennent actifs que vers la fin du compostage, les champignons et les actinomycètes jouent un rôle important dans la décomposition de la cellulose, des lignines et autres matières résistantes, qu'ils attaquent après avoir utilisé les substances plus faciles à décomposer. Certes, de nombreuses bactéries attaquent la cellulose ; cependant, dans les parties des tas de compost qui sont peuplées principalement de bactéries, le papier donne très peu de signes de décomposition, alors que dans les couches ou zones habitées par les actinomycètes et les champignons, il devient presque méconnaissable. Ces organismes détruisent activement la cellulose et la lignine vers la fin de la période de compostage, lorsque les températures ont déjà diminué et que la plus grande partie du tas commence à présenter des conditions favorables à leur développement. Il convient donc, pour faciliter cette action, de ne pas retourner le compost plus fréquemment qu'il n'est nécessaire à l'entretien de l'aérobiose et à la lutte contre les mouches. Parmi les actinomycètes, *Streptomyces* et *Micromonospora* sont les plus courantes dans les composts, surtout la dernière espèce nommée. Les champignons rencontrés dans les composts comprennent *Thermomyces* sp., *Penicillium dupontii* et *Aspergillus fumigatus*.

Il y a lieu de noter que, les organismes nécessaires au compostage étant généralement présents et entretenant le processus lorsque le milieu est favorable, il n'est pas nécessaire, pour exploiter une installation de compostage, de connaître à fond les caractéristiques des différents organismes. Toutefois, avec une connaissance plus détaillée il devrait être possible d'améliorer le processus et de le rendre plus économique.

Ensemencement

Les perfectionnements du compostage se sont accompagnés de nombreuses discussions sur l'importance d'inoculum spéciaux censés contenir plusieurs souches pures d'organismes cultivés en laboratoire ou d'autres facteurs biologiques essentiels à la décomposition des matières inorganiques et à la fixation de l'azote : « enzymes », « hormones », « organismes vivants préservés », « facteurs activés », « biocatalyseurs » etc. Plusieurs méthodes commerciales de compostage sont construites autour d'un inoculum spécial dont la formule est souvent tenue secrète par l'inventeur ou l'initiateur, qui prétend que ce produit est essentiel pour le bon fonctionnement du procédé. L'utilité et la valeur de tels produits ont toujours été discutables⁸⁴ et la plupart des études scientifiques indiquent très nettement qu'ils ne sont pas nécessaires.^{1, 23, 56, 68, 89}

Au surplus, cette conclusion semble logique puisque des bactéries sont toujours présentes en grand nombre dans les détritiques organiques compostables (ordures ménagères, déchets, fumier, eaux usées, excréta, débris végétaux, etc.) et qu'elles ne peuvent en être éliminées que par des méthodes rigoureuses de stérilisation. De toute façon, le nombre initial de bactéries est rarement un facteur limitatif, pour autant que les conditions de milieu soient favorables : En effet, les bactéries indigènes, beaucoup mieux adaptées que les formes atténuées produites au laboratoire, se multiplient rapidement et le rythme du compostage dépend donc simplement des conditions du milieu.

Quant aux préparations spéciales d'enzymes, on peut dire que le nombre des enzymes qui participent à la décomposition est si grand, leur isolement et leur synthèse si difficiles et si coûteux, qu'on voit mal la portée pratique d'une méthode de compostage employant seulement ces substances, à supposer même que des préparations satisfaisantes puissent être mises au point. Il est inutile d'ajouter des enzymes aux matières brutes en compostage, car les bactéries présentes élaborent de manière efficace et rapide tous ceux qui sont nécessaires. On appelle couramment « hormones » les facteurs de croissance et les vitamines dont ont besoin les bactéries et d'autres organismes. Or les composants organiques des ordures mélangées mises à composter contiennent habituellement tous les facteurs de croissance et toutes les vitamines nécessaires pour la prolifération normale des micro-organismes, qui peuvent, au surplus, en faire la synthèse et produiront certainement les quantités suffisantes pour répondre à tous les besoins normaux dans une population microbienne mélangée. Les termes « biocatalyseurs » et « facteurs activés » s'appliquent couramment à divers produits biologiques qui sont censés activer et accélérer la décomposition et la stabilisation des matières organiques. Les recherches expérimentales sur la digestion des boues et le traitement des eaux d'égouts par des boues

« activées » montrent que l'un et l'autre de ces processus ne sont modifiés en rien par des biocatalyseurs.^{31, 50} Il est intéressant de noter que Bird⁹ a constaté, en étudiant une préparation commerciale, que celle-ci se composait presque uniquement de carbonate de calcium et contenait une flore bactérienne équivalente à celle qui contamine normalement ce genre de substances pulvérulentes.

Van Vuren⁸² cite des exemples d'amélioration du compostage obtenue grâce à ce qu'il appelle des « activateurs ». En fait, ces produits apportaient une substance qui n'existait pas dans le compost. Par exemple, la paille ou le papier, qui ne contiennent pas les substances nutritives nécessaires, ne se décomposent pas facilement lorsqu'ils sont à l'état pur ; mais lorsqu'on leur ajoute de l'azote et du phosphore, ils servent de source de carbone pour la décomposition. Il a été démontré qu'en ajoutant au sol du fumier stérile, on obtient finalement la même flore microbienne que si l'on avait ajouté du fumier contenant les mêmes substances nutritives et, en plus, une flore bactérienne importante. Ce phénomène s'explique par le fait que les bactéries présentes dans le sol se multiplient dès qu'elles trouvent les substances nutritives nécessaires.

Golueke et al.²³ ont étudié le compostage de détritrus mélangés et d'ordures avec adjonction de fumier de cheval, de compost, de terre et de cultures bactériennes spéciales préparées dans le commerce. Ils ont fait décomposer des lots analogues d'ordures avec ou sans addition de ces divers produits et ils ont constaté que, malgré leur richesse en bactéries, aucun de ces produits n'accélérait le compostage ou n'améliorait le produit final. Ils n'ont constaté aucune différence sensible dans les courbes de température ou dans la composition chimique du compost à différents stades du processus. L'absence d'effet des inoculums sur le cycle de compostage tient, d'une part, au fait que la population microbienne indigène est suffisante et d'autre part, à la nature même du processus. Lorsque le milieu lui convient, la flore indigène mixte se multiplie rapidement et le compostage n'est pas retardé. Une inoculation microbienne ne serait utile que si la population présente dans un état donné du milieu était incapable de se développer assez rapidement pour profiter pleinement des possibilités de prolifération offertes par ce milieu. En pareil cas, un décalage se produirait, que l'on pourrait combler en complétant la population initiale. Cependant, aucun décalage de cette nature n'a été observé au cours de ces expériences ni dans les opérations de compostage utilisant des ordures de composition usuelle, normalement riches en bactéries indigènes. Il semble que divers groupes d'organismes composant la flore mixte initiale restent inactifs jusqu'au moment où le milieu commence à se prêter à leur développement ; ils se mettent alors à proliférer et à jouer leur rôle dans les phases successives du processus de stabilisation. Le processus étant dynamique et chaque groupe d'organismes pouvant survivre dans un spectre assez large de conditions de milieu, une population peut entrer en activité alors qu'une

autre est encore florissante et qu'une troisième est en train de disparaître. En conséquence, lorsqu'un groupe donné de bactéries est capable de se multiplier au même rythme que le milieu évolue, tout apport extérieur d'organismes semblables serait superflu.

Si les matières compostables étaient stériles, ce qui n'est pratiquement jamais le cas dans les conditions normales, des inoculums microbiens seraient nécessaires. Cependant, le succès du compostage sans inoculum pratiqué aux Pays-Bas,⁸⁹ en Nouvelle-Zélande,⁵⁶ en Union Sud-Africaine,⁸² dans l'Inde,¹ en Chine,⁶⁸ aux Etats-Unis²³ et dans de nombreux autres pays, prouve de manière convaincante que l'apport de bactéries ou d'autres additifs ne correspond à aucune nécessité.

pH

Le pH initial des ordures ménagères, des détritits, du fumier et d'autres matières compostables est en général compris entre 5 et 7, à moins que les déchets ne contiennent des cendres ou autres substances fortement alcalines. Si les matières ont été en putréfaction avant d'être utilisées pour le compostage, le pH sera proche de la valeur inférieure. S'il est compris au départ entre 6 et 7, il diminue généralement un peu au cours des deux ou trois premiers jours de compostage aérobie, sous l'effet d'une certaine production d'acide. S'il ne dépasse pas 5 ou 5,5 à l'origine, il varie peu au cours de cette période. Au bout de deux à quatre jours, il commence généralement à augmenter, pour atteindre 8 ou 9 vers la fin du processus. Le contrôle du pH en cours de compostage est très rarement un problème tant que l'aérobiose se maintient. Par contre, des quantités considérables d'acides organiques sont élaborées par la fermentation anaérobie de lots de compost. En pareil cas, les cendres, les carbonates, la chaux ou d'autres substances alcalines feront fonction de tampon et empêcheront le pH de descendre trop bas. Cependant, il est rarement nécessaire d'ajouter des substances alcalines au cours de la décomposition aérobie ; elles risquent d'ailleurs de faire plus de mal que de bien, car la perte d'azote par formation d'ammoniac gazeux sera plus grande si l'alcalinité est élevée. Le pH optimum se trouvant entre 6,5 et 7,5 pour la plupart des organismes, il serait probablement utile de le maintenir à ce niveau. Cependant, le compostage étant nécessairement une opération qui se fait en gros, il faut s'attendre à de petites différences de pH.

Il semble qu'un pH initial compris entre 5 et 6 ne retarde pas sérieusement les premiers stades de l'activité biologique, puisque la décomposition active et les températures élevées apparaissent peu de temps après la mise en tas. Cependant, la température semble augmenter un peu plus rapidement lorsque le pH initial est d'environ 7 ou davantage. En pratique, les déchets normalement utilisés pour le compostage ne posent aucun problème de contrôle du pH.

Conditions climatiques

Les conditions climatiques et plus particulièrement la température, le vent et la pluie, ont une influence sur le compostage. On ne connaît pas exactement l'effet de la température ambiante, notamment le minimum au-dessous duquel la décomposition ne se produit plus de façon satisfaisante. Dans le nord de la Chine, Scott ⁶⁸ a obtenu de bons résultats en plein hiver en augmentant la masse des matériaux pendant la durée des froids, réduisant ainsi la perte de chaleur par unité de volume. Il a constaté qu'il fallait des tas d'environ 1600 kg (5 à 7 m³) en hiver contre 700 kg (2 à 3 m³) en été. On sait d'ailleurs que les tas de fumier de ferme se décomposent en entretenant des températures élevées en plein hiver.

Les déchets organiques ont un excellent pouvoir isolant. Comme on l'a montré plus haut (voir tableau 7, page 69), les températures enregistrées dans un tas de compost varient considérablement avec la profondeur : la différence peut atteindre plusieurs degrés centigrades par centimètre. Il est donc permis d'admettre que le compostage peut se faire dans des conditions satisfaisantes même par temps de gel, pour autant que la neige n'empêche pas la manutention ou ne se mélange pas avec le compost. Il ne serait probablement pas nécessaire de retourner les tas aussi souvent que lorsqu'il fait chaud ; en effet, la température mettrait plus de temps à remonter après chaque retournement puisque l'opération ramènerait au centre du tas des couches extérieures très froides.

Un fort vent diminue considérablement la température du côté du tas qui est exposé. Deux facteurs importants déterminent l'effet du vent sur la température : a) le volume des particules, dont dépendent la porosité et l'évaporation, et b) le degré d'humidité. Les ordures non broyées ou réduites en morceaux grossiers ont une porosité plus élevée et le vent pénètre plus facilement dans le tas ; l'évaporation est donc plus forte et lorsque les matières deviennent trop sèches, l'activité microbienne se trouve entravée. Si l'on broie en particules d'environ 5 cm au maximum, on obtient une masse plus homogène et moins facile à pénétrer. On peut aussi protéger le tas en mouillant complètement l'extérieur, surtout du côté du vent ; la zone de hautes températures peut alors se rapprocher davantage de la surface. Dans les régions à forts vents dominants, une solution possible consisterait à abriter les tas de compost derrière un brise-vents. Mais cette précaution est rarement nécessaire, car en augmentant les dimensions des tas et en les mouillant, on arrive très bien à entretenir les températures voulues et le retournement garantit que toute la masse sera exposée aux températures élevées. Bien entendu, le refroidissement et le séchage dus au vent sont négligeables lorsque le compost se fait en fosses ou en cuves, puisque la masse est alors protégée de tous les côtés, sauf au sommet, qu'il suffit de mouiller pour le protéger.

La pluie n'a généralement pas d'effet important sur le compostage, à condition que la partie supérieure des tas soit arrondie pour assurer le ruissellement de l'eau et que l'emplacement soit bien drainé, de telle sorte que l'eau ne séjourne pas autour des tas et ne s'y infiltre pas par le fond. Les fortes pluies accompagnées d'un vent violent peuvent pénétrer jusqu'à 30 ou 40 cm du côté exposé si les ordures sont broyées grossièrement mais lorsque les tas sont de grandes dimensions, il est facile de remédier à cette situation en les retournant.

Van Vuren⁵² et Golueke²² ont montré que la pluie n'abaisse pas fortement les températures, et que les légères diminutions enregistrées sont dues en partie à la baisse de la température de l'air ambiant qui accompagne les précipitations. Golueke a pu composter du fumier de bovins et de porc avec des résultats satisfaisants malgré de fortes pluies tombées les quatrième, cinquième, sixième et septième jours et suivies d'averses légères quotidiennes pendant le reste de la période de compostage.

Il faut éviter de retourner le compost sous la pluie, car il risque d'être complètement détrempé. Si le mauvais temps empêche de suivre le rythme de manutention prévu, il vaut mieux laisser les tas manquer d'air pendant quelque temps que de les exposer à être saturés d'eau. Dans les régions pluvieuses et lorsque les opérations de retournement sont mécanisées, on s'efforcera d'éviter la boue et les autres inconvénients de l'excès d'humidité en disposant les tas de compost sur un fond de béton, d'asphalte ou de pierre ou sur toute autre surface que l'on puisse drainer.

La pluie est plus gênante lorsque le compostage se fait en fosses ou en cuves. Le dessus des tas doit être bombé pour que l'eau s'écoule. Les côtés de la fosse laisseront néanmoins passer des infiltrations qui s'accumuleront au fond. Un bon drainage est donc nécessaire, afin que l'eau s'écoule et que sa pénétration dans le compost soit réduite au minimum. Dans les régions pluvieuses, les fosses doivent être revêtues de béton, de brique ou de maçonnerie et munies de drains en tuiles, ou encore recouvertes d'une toiture.

Par temps pluvieux, le broyage et le triage du matériel doivent se faire sous abri. Il y a lieu de prévoir des locaux pour entreposer les nouveaux arrivages pendant quelque temps, de manière à ne pas être obligé de les mettre en tas sous la pluie. De même, la mise en sac ou le chargement doivent se faire sur un emplacement couvert.

Même dans les climats froids ou très pluvieux, on peut composter de manière satisfaisante avec un minimum de bâtiments couverts. Par contre, les fortes chutes de neige gênent considérablement les opérations continues et il est généralement nécessaire d'enlever la neige. Pendant les froids vraiment rigoureux, le compost ne devient pas anaérobie et ne produit pas de mauvaises odeurs ; en conséquence, lorsque la surface disponible est suffisante, on peut laisser les tas sans les retourner pendant de longues périodes en attendant que le temps devienne plus clément.

Destruction des germes pathogènes

La destruction des germes pathogènes est un aspect très important du compostage des ordures contenant des excréta, des eaux d'égouts et autres matières fortement contaminées. C'est aussi un problème. Rares sont les études expérimentales de grande envergure qui ont été faites à ce sujet. Elles montrent cependant que le compostage en aérobose à des températures élevées détruit de manière efficace les germes pathogènes. Il semble que toutes les opérations de compostage bien organisées qui se pratiquent dans de nombreux pays aient pour caractéristique commune l'absence de danger pour la santé publique. Cette constatation fait bien ressortir l'intérêt du compostage aux températures élevées.

L'analyse des courbes de températures typiques données dans les figures 6, 7 et 8, et leur comparaison avec les indications du tableau 8 sur les températures mortelles pour un certain nombre de micro-organismes pathogènes, de parasites et d'œufs de parasites, montrent que la survie de certains agents pathogènes courants est peu probable. On voit que les températures bactéricides sont sensiblement inférieures aux températures maximums que l'on trouve à l'intérieur des tas de compost. Etant donné, d'une part, le niveau et la persistance de ces températures, et, d'autre part,

**TABLEAU 8. TEMPÉRATURES ET TEMPS D'EXPOSITION NÉCESSAIRES
A LA DESTRUCTION
DE CERTAINS AGENTS PATHOGÈNES ET PARASITES COURANTS**

Organisme	Remarques
<i>Salmonella typhosa</i>	Aucun développement au-dessus de 46°C; mort en 30 minutes à 55-60°C et en 20 minutes à 60°C: détruite rapidement dans le compost ⁴⁵
<i>Salmonella</i> sp.	Mort en une heure à 55°C et en 15 à 20 minutes à 60°C ⁴⁵
<i>Shigella</i> sp.	Mort en une heure à 55°C ⁴⁵
<i>Escherichia coli</i>	Pour la plupart, mort en une heure à 55°C et en 15 à 20 minutes à 60°C ⁴⁵
<i>Entamoeba histolytica</i> (kystes)	Mort en quelques minutes à 45°C et en quelques secondes à 55°C ⁵³
<i>Taenia saginata</i>	Mort en quelques minutes à 55°C ⁵³
<i>Trichinella spiralis</i> (larves)	Tuées rapidement à 55°C; instantanément à 60°C ⁵³
<i>Brucella abortus</i> ou <i>Br. suis</i>	Mort en 3 minutes à 62-63°C et en une heure à 55°C ⁵³
<i>Micrococcus pyogenes</i> var. <i>aureus</i>	Mort en 10 minutes à 50°C ⁶⁰
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Mort en 10 minutes à 54°C ⁶⁰
<i>Mycobacterium tuberculosis</i> var. <i>hominis</i>	Mort en 15 à 20 minutes à 66°C ou en quelques instants à 67°C ⁶⁰
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	Mort en 45 minutes à 55°C ⁶⁰
<i>Necator americanus</i>	Mort en 50 minutes à 45°C ⁸
<i>Ascaris lumbricoides</i> (œufs)	Morts en moins d'une heure aux températures dépassant 50°C ⁵³

les phénomènes d'antibiose qui caractérisent les flores mixtes de micro-organismes, on est fondé à penser qu'aucun germe pathogène, parasite ou œuf de parasite ne peut survivre au compostage en aérobiose.

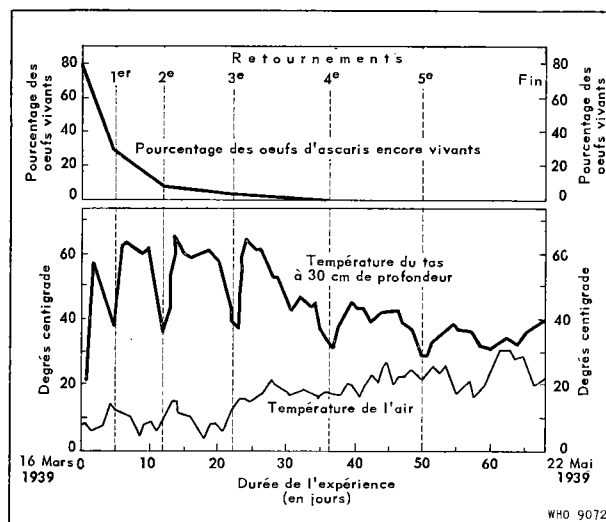
Comme nous l'avons décrit précédemment, la zone de températures élevées ne s'étend habituellement que jusqu'à 10 ou 20 cm de la surface. En conséquence, toute question d'aération mise à part, le retournement est nécessaire pour assurer la destruction des germes pathogènes et des parasites, surtout lorsque la période de compostage adoptée est de moins de six mois. On peut penser, en comparant les courbes de température du compost et les températures bactéricides, qu'il suffit de retourner une seule fois pour éliminer tous les agents pathogènes, à condition que toutes les matières qui se trouvent en surface soient bien ramenées vers l'intérieur du tas afin d'exposer tous les organismes présents aux températures mortelles. Il en est bien ainsi dans bon nombre de cas, mais à titre de précaution et pour être sûr qu'une partie de la couche superficielle n'aura pas échappé au retournement, il faut au moins deux manutentions, et même trois lorsqu'on mélange aux ordures des excréta et des boues d'égouts brutes et qu'on veut être entièrement assuré que la destruction est complète. Le même nombre de retournements est également la bonne règle à suivre pour l'aération lorsqu'on désire un compostage rapide en meules ou en tas disposés à même le sol.

Certains producteurs qui opèrent en fosses ne retournent qu'une seule fois ou même ne retournent pas du tout. Ils estiment que la période d'aérobiose qui suit la mise en tas initiale suffit à donner les températures élevées nécessaires pour tuer les germes pathogènes et les parasites. Il est permis de se demander sérieusement si cette manière de faire est suffisamment sûre lorsqu'on utilise pour le compostage des excréta ou des eaux d'égout : en effet, un certain nombre de germes pathogènes et de parasites risquent d'échapper à la destruction dans les couches extérieures moins chaudes. Scott⁶⁸ a constaté qu'il faut au moins deux retournements pour détruire *Ent. histolytica* en 12 jours et trois retournements pour détruire les œufs d'*A. lumbricoides* en 36 jours.

Les courbes de la figure 10, tirées d'une expérience de Scott, indiquent la température ambiante, la température à l'intérieur du tas, la date des retournements et le pourcentage des œufs viables d'ascaris. La meule étudiée contenait environ 1800 kg de matières fécales humaines fraîches, 500 kg de matières végétales et de paille sèches, 25 kg de cendres et 250 kg de terre. L'humidité du tas était de 60 %. La proportion des matières fécales était très élevée par rapport aux substances végétales et à la paille. De même, puisque les matières fécales ont une forte humidité, la quantité de terre et de cendres relativement inertes était assez élevée. Néanmoins, les œufs d'ascaris, qui semblent être les plus résistants de tous les agents pathogènes à envisager, ont été détruits complètement au bout de 36 jours. Il est possible qu'en retournant le compost à intervalles plus rapprochés,

on ait pu entretenir une température élevée plus constante et accélérer la destruction des œufs. Cette expérience montre toutefois qu'il est possible de détruire les parasites dans des conditions beaucoup plus difficiles que celles qui se présentent normalement quand on peut employer du fumier d'étable et une grande quantité de débris végétaux. Dans un tas comportant une forte proportion de matières organiques et retourné tous les deux ou trois jours pour entretenir une température à peu près constante d'environ 60°C, la destruction des germes pathogènes et des parasites devrait être complète en 6 à 8 jours, ou même moins.

FIG. 10. TEMPÉRATURE ET DESTRUCTION DES ŒUFS D'ASCARIS *



* D'après Scott,⁶⁸ avec l'aimable autorisation de Faber and Faber Ltd, Londres

Scott ⁶⁸ a constaté que, faute de retourner au début pour bénéficier des températures élevées du compostage en aérobiose, on laisse survivre des œufs d'*A. lumbricoides* pendant plusieurs mois. La fermentation anaérobie aux températures moyennes ne donne pas un taux satisfaisant de destruction des parasites, au moins si l'on opère pendant un temps relativement court. Certes, la mortalité naturelle des germes pathogènes et des parasites dans un milieu anaérobie, ainsi que les antagonismes biologiques finissent par les éliminer, mais il faut attendre en général six mois au moins. Ainsi donc, à moins qu'on ne puisse laisser ce délai s'écouler avant d'utiliser le compost, le traitement anaérobie doit être précédé d'une semaine au moins de décomposition aérobie à des températures élevées avec au moins un retournement, afin d'assurer la destruction des germes pathogènes.

D'une façon générale, il faut enlever soigneusement tous les débris qui traînent, veiller à la propreté générale des lieux et prêter une attention systématique à tous les détails de l'opération, surtout lorsqu'on composte des boues d'égout ou des excréta.

Lutte contre les mouches

L'un des problèmes les plus importants que pose le compostage est celui de la lutte contre les mouches. Les ordures ménagères, les matières fécales, le fumier animal, les déchets des abattoirs et les résidus du traitement des tomates ou autres aliments, constituent des milieux excellents pour la reproduction et le développement d'une importante quantité de mouches. Faute de mesures de protection, et surtout si l'on emploie du fumier et des matières fécales, le site en sera infesté. L'insalubrité de tels composts est presque aussi grave que celle des dépôts d'ordures non surveillés. Mais, moyennant un effort à peine plus grand que dans le compostage parfaitement salubre, les opérations entreprises pendant la saison des mouches peuvent être organisées de façon à combattre efficacement le pullulement. De toute façon, lorsqu'on utilise un digesteur fermé, il ne se pose aucun problème, sauf dans les trémies de chargement.

Les larves de mouches qui se trouvent dans les tas de compost proviennent d'œufs pondus soit pendant le ramassage des ordures soit pendant les manipulations subies sur les lieux de compostage. Si cette dernière provenance était la principale, il n'y aurait pas de problème. Mais, en fait, une grande partie des matières utilisées sont déjà infestées d'œufs et de larves à divers stades de développement, quelquefois même à la nymphose, lorsqu'elles arrivent à l'usine. Il est donc évident qu'elles doivent être préparées immédiatement pour le compostage et mises sans délai en tas ou en fosses, où les températures élevées et les conditions de milieu défavorables empêcheront l'éclosion des mouches de se poursuivre.

L'espèce dominante à combattre varie avec la région et avec la nature des matières utilisées. Dans les études de van Vuren⁶² en Afrique du Sud, c'était *Musca domestica*. Scott⁶⁸ a fait en Chine du Nord de larges enquêtes sur les préférences alimentaires des espèces rencontrées dans des conditions de milieu différentes. Il a constaté que *Musca vicina* était l'espèce dominante à l'intérieur des locaux et dans les villes, et *Chrysomya megacephala* en plein air et dans les campagnes, mais de nombreuses autres espèces étaient largement représentées. Il s'est d'ailleurs demandé si sa technique de classification permettait de distinguer dans tous les cas entre *M. domestica* et *M. vicina*. Golueke,²² étudiant en Californie le compostage de fumier animal, a rencontré principalement *M. domestica*. Les matières utilisables dans la fabrication du compost sont si variées qu'elles offrent de bonnes conditions de ponte pour un grand nombre d'espèces différentes, mais d'une manière

générale, on n'a pas à se soucier d'identifications précises, car les méthodes de lutte les plus sûres s'appliquent également à toutes les espèces.

Il est bon de rappeler que le cycle évolutif de la mouche domestique commune dure généralement de 7 à 14 jours lorsque les circonstances sont favorables. La durée des différents stades varie avec la température et avec certaines autres conditions, mais on peut tabler sur les moyennes suivantes : œufs, 1 à 2 jours ; larves, 3 à 5 jours ; pupes, 3 à 5 jours ; naissance de la jeune mouche, 7 à 11 jours ; nouvelle ponte, 10 à 14 jours. Il s'agit d'interrompre ce cycle et d'empêcher l'éclosion de la mouche adulte.

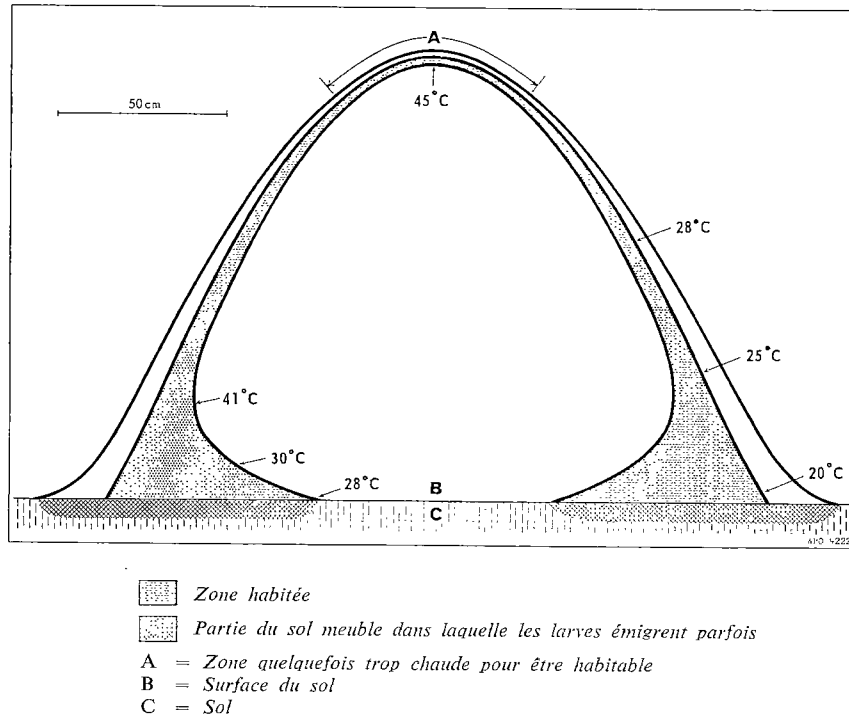
Certaines des techniques employées pour produire un compost de bonne qualité et pour détruire les parasites et les germes pathogènes (notamment le broyage, le retournement et la propreté systématique) sont en même temps des mesures efficaces de protection contre les mouches. La dilacération ou le broyage préliminaires servant à faciliter l'action des bactéries, détruisent également une bonne partie des larves et des pupes présentes dans les matières brutes. De plus, la consistance des ordures réduites en morceaux de 5 cm au maximum est moins favorable à la reproduction des mouches. Les études faites à l'Université de Californie sur le traitement d'ordures mélangées montrent qu'une fois les matériaux bruts broyés et mis en tas, même s'ils contiennent un nombre considérable de larves et d'œufs, aucune éclosion n'a lieu, les brassages étant pratiqués au rythme habituel d'un tous les deux ou trois jours. Des résultats semblables ont été obtenus au Danemark dans des installations où des ordures mélangées sont mises à composter après broyage, même sans retournements ultérieurs. Il semble que la reproduction des mouches dans les détritiques comprenant une proportion importante d'ordures ménagères soit efficacement arrêtée par la destruction mécanique des larves due au broyage, par le mélange et le changement de consistance des matières ainsi traitées, ainsi que par la chaleur rapidement dégagée dans les tas de compost. Toutefois, il n'en va pas de même lorsque la masse en compostage contient une proportion considérable de matières fécales, de fumier animal, de déchets d'abattoirs ou de rebuts rejetés par les conserveries de tomates ou d'autres produits analogues.

Lorsque des matières qui attirent des mouches et contiennent un grand nombre de larves et de pupes sont mises à composter, une partie des larves se déplacent vers les couches extérieures plus froides, et leur cycle évolutif se poursuit. La meilleure méthode pour les détruire est de retourner les tas fréquemment. On obtient de bons résultats en retournant quotidiennement lorsque l'infestation est forte et les conditions générales de reproduction favorables, et en retournant au moins tous les trois ou quatre jours quand ces conditions ne sont pas particulièrement propices.

Golueke²² a constaté, au cours d'études faites à l'Université de Californie sur le compostage de fumier de vache et de porc, que l'on diminue considérablement le nombre initial de larves et qu'on réduit le nombre des

mouches produites mais qu'on n'arrive pas à empêcher la reproduction de façon complète ou même simplement satisfaisante, si l'on ne retourne pas les tas tous les jours. En outre, la température initiale du compostage actif ne permet pas de combattre la reproduction des mouches, car une partie des larves et des pupes survivantes se déplacent vers les couches extérieures plus froides, et pénètrent même dans la terre lorsque les tas

FIG. 11. COUPE D'UN TAS DE FUMIER EN FORME DE MEULETTE DE FOIN, INDICQUANT LA ZONE HABITÉE PAR DES LARVES DE MOUCHES DOMESTIQUES LE SIXIÈME JOUR ²²



de compost sont disposés à même le sol. Scott,⁶⁸ van Vuren⁸² et Acharya¹ ont également observé dans les tas ou dans les fosses ce mouvement des larves et des pupes vers les couches extérieures.

La figure 11 donne une coupe transversale d'un tas de fumier en forme de meulette de foin, d'environ 2,50 m de diamètre et de 1,40 m de hauteur, et indique les zones habitées par les larves ainsi que les températures atteintes au sixième jour de compostage. Pendant toute la période, la température ambiante a varié entre 7 et 20°C environ. On voit que les larves ont envahi une zone considérable dans les couches superficielles de ce tas relativement petit et qu'une partie d'entre elles se sont réfugiées dans le sol à la lisière

du tas, où elles ont pu éclore par la suite. On a pu constater d'autre part que des mouches venaient pondre sur cette meule. Des tas plus grand (de 2,5 m à 3,5 m de diamètre) ou à base rectangulaire (2,6 m × 6 m) avec une hauteur d'environ 1,5 m, ont produit une chaleur suffisante pour que la zone habitable soit considérablement réduite et que la ponte diminue dans une certaine mesure. Le nombre des mouches qui éclosaient dans les petits tas restait faible tant qu'on les retournait fréquemment, mais dès qu'on restait trois jours sans le faire, les larves et les pupes se multipliaient fortement. A raison d'un retournement par jour ou tous les deux jours pendant les huit ou douze premières journées, on a pu réduire presque à zéro le nombre des larves et des pupes présentes dans les grandes meules et éviter le pullulement des mouches adultes. Si le compostage se fait sur un sol asphalté ou en béton, les larves ne peuvent plus se réfugier dans le sol et éclore lorsqu'on déplace les tas.

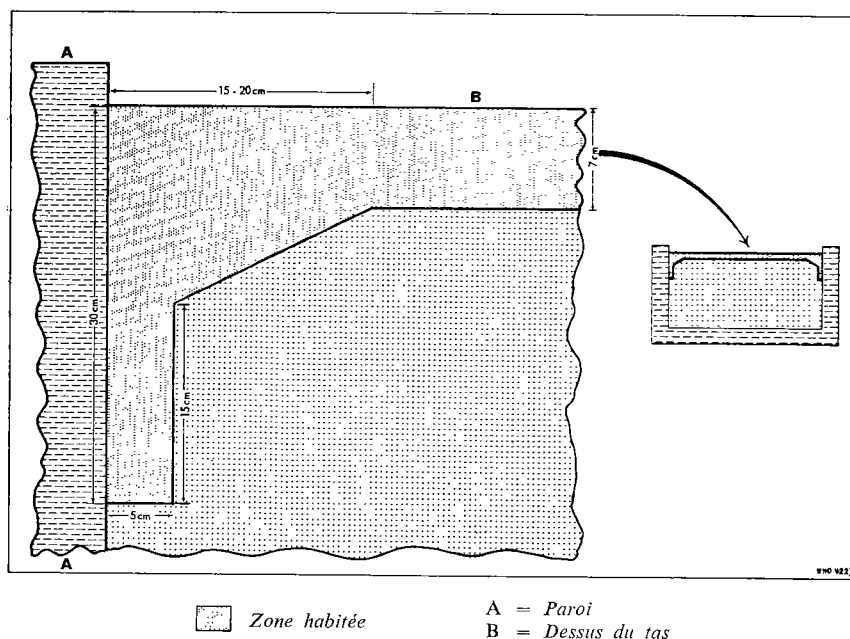
La Compost Corporation of America a constaté, au cours du traitement de matières attirant les mouches et infestées de larves et de pupes, que, si l'on isolait les tas avec du compost stabilisé, on produisait des températures élevées assez près de la surface pour éviter la reproduction des mouches.

Van Vuren,⁸² traitant dans des fosses revêtues de briques des ordures mélangées d'excreta, a étudié l'emplacement des larves de mouches en fonction de la température. Il n'a pas trouvé de larves dans les zones chauffées à plus de 50,5°C ; elles se déplaçaient vers les zones situées près des parois et au sommet du tas où la température était de 40,5 à 45,5°C, mais il s'en trouvait également dans des zones atteignant 46 à 50,5°C.

La figure 12 indique la zone habitée par des larves dans une fosse à compost où les températures intérieures les plus élevées atteignent 58 à 61°C. Cette expérience montre qu'il est possible de lutter contre les mouches en retournant le matériel. Il n'est pas difficile de déplacer à la fourche la couche infestée qui est très localisée et de la mélanger avec la masse plus chaude située au centre du tas. Au cours d'expériences de cette nature, van Vuren a constaté que 25 % des larves étaient détruites par le premier retournement (troisième jour) et que 85 % étaient détruites après le second retournement (huitième jour). Il est probable que le reste aurait été détruit par une troisième manipulation.

Il y a lieu de noter que van Vuren a constaté, en compostant des ordures urbaines et des excréments dans des fosses, qu'on pouvait empêcher la reproduction des mouches en retournant moins fréquemment que Golueke n'a dû le faire avec du fumier animal en tas. Cette différence tient sans doute au fait que les tas ont une surface exposée plus grande et que le fumier animal est un excellent milieu pour la reproduction des mouches. La plupart des détritiques et des matières végétales celluloses n'ont pas cette qualité. En recouvrant l'extérieur des tas ou des fosses où l'on fait composter des excreta, qui restent donc au centre de la masse, on facilite la lutte contre les mouches et il n'est plus nécessaire de retourner

FIG. 12. COUPE TRANSVERSALE D'UNE FOSSE A COMPOST, INDIQUANT LES ZONES HABITÉES PAR LES LARVES DE MOUCHES



aussi souvent. Cette couche extérieure, peu favorable à la ponte de nouveaux œufs constituera l'isolant thermique. Il faudrait autant que possible retarder au moins jusqu'au troisième jour le premier retournement afin que les excréta aient eu le temps de se stabiliser suffisamment. Plus cette stabilisation avance, moins les excréta et le fumier, qui prennent la forme d'humus, attireront les mouches.

On notera que la présence de larves dans les tas de compost, tout en constituant un signal d'alarme, n'indique pas nécessairement que des mouches adultes vont éclore. En effet, le compost peut contenir des œufs et des larves pendant les deux premières semaines sans poser de véritable problème, à condition qu'on le retourne assez souvent et avec assez de soin pour tuer les larves et les pupes avant la dernière mue. D'autre part, si le retournement semble être la meilleure méthode pour lutter contre les mouches, d'autres procédés peuvent être utilisés avec un succès acceptable lorsque le coût de la manutention ou certains autres facteurs en font apparaître les avantages économiques. Ainsi, van Vuren⁸² a fait des expériences pour déterminer les résultats obtenus en pulvérisant du naphthalène brut et des résidus de distillation sur les couches infestées de larves : il a constaté que, par rapport à une zone témoin non traitée, une seule pulvérisation diminuait le nombre des mouches de 66,2 % avec du naphthalène brut, et de 77,6 % avec un résidu de distillation. Il est possible qu'un second

traitement ait donné une destruction beaucoup plus complète. On peut encore utiliser d'autres insecticides. Cependant, il ne faut pas perdre de vue que l'une ou l'autre de ces substances chimiques toxiques risque d'être nuisible aux organismes qui interviennent dans le processus du compostage ou de diminuer les qualités fertilisantes du compost. Etant donné que le compostage met en œuvre de grandes quantités de produits de faible valeur pendant une période relativement courte, il ne semble pas que l'utilisation d'insecticides relativement chers soit économiquement justifiée. Par contre, l'application d'insecticides pour lutter contre les mouches autour des bâtiments ou chantiers de compostage peut être utile.

Acharya¹ a mis au point diverses techniques pour détruire les mouches au cours du compostage en fosse sans manutention. Il a obtenu de bons résultats, alors qu'il traitait un mélange d'ordures urbaines et d'excréments, en disposant une couche d'ordures d'environ 25 cm au sommet du tas et en la recouvrant d'une couche de poussière d'environ 5 cm. Ces deux revêtements servaient d'isolant et permettaient d'entretenir les températures mortelles produites par la décomposition. Par temps de pluie, qui rend en général la lutte contre les mouches très difficile, on peut ajouter après le quatrième jour une couche de 10 cm formée de poussière contenant du fumier de vache et tassée de manière à former un enduit qui colle aux côtés de la fosse et isole la surface. A condition de boucher les fentes qui peuvent se former dans cet enduit, on arrive à détruire environ 95 % des larves et pupes, même pendant la saison pluvieuse. En revanche, ce procédé retarde la décomposition et exige une main-d'œuvre considérable ainsi que de grandes quantités de terre, qui ne sont pas toujours disponibles sur place. En dernière analyse, il risque d'être plus coûteux que le retournement des tas.

Dans l'Inde, on a essayé de détruire les mouches par le feu. A cette fin, on étend, vers le cinquième ou sixième jour, une couche de détritiques secs de 15 cm environ par-dessus la couche de terre de 5 cm qui recouvre le compost et on y met le feu. On détruit ainsi environ 75 % des vers et des pupes, qui se rassemblent habituellement dans les couches supérieures.

En répétant ce traitement vers le dixième jour, on détruit près de 95 % des larves. Cette méthode a l'inconvénient de gaspiller des détritiques utiles ; en outre, pendant les pluies, alors précisément que la reproduction des mouches risque d'être la plus rapide, il est difficile de trouver des matières sèches à brûler.

La méthode de la toile goudronnée a été également utilisée dans l'Inde pour empêcher l'éclosion des mouches adultes. On étend d'abord une couche de terre et de fumier de vache large d'environ 15 cm le long des bords de la fosse, puis on tend une toile, fortement goudronnée des deux côtés, sur la tranchée ou la fosse, et on la tend de telle sorte que ses bords reposent sur l'enduit de terre et de fumier. On étend alors sur tout le pourtour une deuxième couche d'enduit, de 15 cm de large et d'environ 8 cm

d'épaisseur, de manière à sceller la toile sur la fosse. On laisse la toile en place du cinquième au douzième jour, puis on l'enlève. Ces bâches goudronnées peuvent être utilisées à plusieurs reprises, et il en suffit de 6 ou 8 lorsqu'on remplit une nouvelle fosse par jour. Grâce à cette méthode, on arrive à détruire 95 % des larves présentes à l'origine dans les ordures et Acharya¹ la considère comme la plus économique pour le compostage en fosse.

Un autre procédé consiste à creuser des rigoles remplies d'eau sur tout le pourtour de la fosse. Les larves qui fuient la chaleur du compost viennent s'y noyer. Les rigoles doivent être nettoyées tous les jours. Cependant, l'efficacité de cette méthode n'est pas entièrement démontrée. Reprenant le principe du piège à mouches de Barbour, van Vuren⁸² a construit une fosse à compost dont le pourtour est muni d'un grillage métallique le long duquel court une rigole contenant du poison ; les larves, chassées par les hautes températures, émigrent vers les bords ainsi entourés et tombent dans la rigole. Cette dernière doit être nettoyée tous les jours pour éviter qu'elle ne soit bouchée par les déchets. Le piège permet de lutter efficacement contre les mouches, mais le temps nécessaire au compostage est augmenté du fait qu'il n'est plus possible d'aérer suffisamment. Il est permis de se demander si l'économie de main-d'œuvre réalisée sur les retournements n'est pas absorbée, et au-delà, par les frais supplémentaires que représentent le piège et son entretien.

Les méthodes indiquées ci-dessus, ainsi que d'autres qui permettent d'isoler complètement le tas ou la fosse sont les seuls moyens de lutter efficacement contre les mouches lorsque le compostage se fait en anaérobiose. Ainsi, les compartiments fermés comme ceux qui sont utilisés dans le procédé Beccari empêchent le développement et la sortie des mouches.

Le traitement à température élevée dans les digesteurs mécaniques ne pose aucun problème si le compost sortant de l'appareil est assez stabilisé pour ne plus attirer les mouches. Cependant, les matières dont le rapport C/N est peu élevé au départ peuvent être utilisées comme engrais après un temps de décomposition assez court ; elles risquent donc d'attirer encore les mouches quand on les retire des digesteurs et de constituer ainsi un foyer de reproduction. Pour éviter cet inconvénient, il faut prolonger le traitement pour qu'un humus sans attrait pour les mouches ait le temps de se former, ou encore faire sécher le compost.

Les fumiers de cheval ou de vache présentent le problème le plus difficile car ils sont plus favorables que tout autre milieu à la ponte des œufs et au développement des larves. Viennent ensuite, dans l'ordre de difficulté, les mélanges de matières fécales et d'ordures ; mais on peut remédier dans une certaine mesure à la situation en recouvrant les excreta d'une couche d'au moins 30 cm de déchets qui n'attirent pas les mouches et en s'efforçant d'obtenir un maximum de stabilisation et de destruction des germes pathogènes et des parasites avant qu'il devienne nécessaire de retour-

ner le matériel pour la première fois. Le compostage d'un mélange d'ordures et de déchets broyés n'appelle généralement aucune précaution spéciale contre les mouches.

Pour mesurer l'intensité de la reproduction et l'efficacité de la méthode de lutte choisie, il faut disposer des pièges à mouches en différents points stratégiques autour de la zone de compostage.

Wilson ⁹¹ a obtenu de bons résultats en recouvrant ses tas de compost avec une couche d'herbes de 30 cm d'épaisseur, ne contenant aucune nourriture pour les larves. Il a constaté qu'on pouvait également se protéger en plaçant le compost sur du ciment ou sur toute autre surface dure qui empêche les larves de se métamorphoser.

Les poules et autres oiseaux de basse-cour contribuent à la lutte contre les mouches en mangeant les larves lorsqu'elles émigrent vers l'extérieur du tas ou de la fosse pour échapper aux températures élevées. Cependant, en grattant les tas et en éparpillant le compost, les poules risquent de créer de nouveaux gîtes larvaires et de provoquer des inconvénients plus graves.

Tout autant que dans les tas de compost, il faut empêcher la reproduction des mouches dans les allées, dans les fosses ou sur les surfaces momentanément inutilisées. A cette fin, le nettoyage, le ramassage et le rejet sur les tas de tout ce qui peut servir de gîte ou répandre de mauvaises odeurs, et la propreté générale sont des règles essentielles.

Les ouvrages de Scott ⁶⁸ et de van Vuren ⁶² donnent des indications plus détaillées sur la lutte contre les mouches lors du compostage. De même, de nombreux ouvrages ou publications entomologiques fournissent des renseignements complets sur la reproduction des insectes dans les fumiers.

Dans l'ensemble, la méthode la plus efficace est de retourner le compost ; si elle est appliquée correctement, elle donne d'excellents résultats. Lorsqu'on traite des ordures mélangées ou du fumier animal, surtout en grandes quantités, le plus économique est de former des tas ou des silos sur une dalle de béton ou sur un sol dur, en retournant à la fourche ou même mécaniquement, ce qui est généralement moins cher. Lorsqu'on composte des matières fécales ou des gadoues, les fosses ou compartiments présentent l'avantage d'enfermer le matériel infesté et d'éviter de l'étaler sur une grande surface en le retournant, comme c'est le cas avec les rangées. Le compost en fosses peut être retourné mécaniquement si les considérations économiques le permettent.

Récupération de l'azote et d'autres éléments nutritifs

Les deux buts les plus importants du compostage des déchets organiques sont : *a)* récupérer ou conserver les éléments nutritifs et fertilisants de ces déchets, et *b)* assurer la salubrité de leur traitement et de leur utilisation afin d'empêcher la propagation de maladies. Parmi les principales

substances nutritives — azote, phosphore et potasse —, la première nommée est la plus importante à récupérer dans la plupart des pays du monde, car c'est très souvent sa rareté qui limite la production alimentaire. D'autre part, l'azote est plus difficilement retenu que le phosphore, la potasse et les oligo-éléments qui, du fait de la forme chimique sous laquelle ils se présentent, ne se perdent que par lessivage. L'azote peut aussi se perdre de cette façon, mais la principale cause de déperdition est le dégagement dans l'atmosphère d'ammoniac ou d'autres composés azotés volatils provenant des matières compostables.

De nombreuses recherches ont été faites et des volumes ont été écrits sur la conservation de l'azote et des autres éléments nutritifs, plus particulièrement dans ses rapports avec la microbiologie du sol. Nous limiterons l'examen de cette question à la conservation et à la récupération au cours du processus de compostage, sujet sur lequel les données expérimentales sont relativement limitées. Les résultats des recherches et des études sur l'utilisation de l'azote dans les processus biologiques fondamentaux donnent les renseignements de base dont on a besoin pour limiter les pertes d'azote au cours du compostage.

Le dégagement d'ammoniac au cours du compostage aérobie varie avec le rapport C/N, le pH, l'humidité, l'aération, la température, la forme initiale des composés azotés et la capacité d'adsorption ou de retenue de l'azote que possèdent les matières utilisées.

Etant donné que les micro-organismes utilisent environ 30 parties de carbone pour une partie d'azote,⁸³ un rapport C/N initial voisin de 30 — dont on a déjà vu qu'il est le plus favorable au compostage — semble aussi celui qui permet la meilleure fixation de l'azote dans la substance cellulaire et qui limite donc le mieux les pertes. Divers chercheurs donnent des chiffres variant de 26 à 38 comme valeur optimum du rapport C/N.^{3, 30, 47, 56, 67, 70} Un rapport C/N (quantités effectivement disponibles) de 30 ou davantage permet de réduire les pertes au minimum, mais il faut souligner que le rapport carbone/azote mesuré par analyse chimique ne correspond souvent pas au rapport des quantités effectivement disponibles. En pratique, comme la plupart des matières utilisées contiennent des quantités considérables de cellulose et de lignines qui résistent à la décomposition biologique et comme la plus grande partie de l'azote est généralement présente sous une forme immédiatement disponible, il se peut qu'un rapport C/N (quantités totales) considérablement supérieur à 30 soit nécessaire pour assurer une conservation optimum de l'azote. Scott,⁶⁸ qui a étudié le compostage de mélanges différents (ordures rurales et matières fécales d'une part, paille et matières fécales d'autre part) a constaté que la valeur optimum du rapport C/N se situe entre 38 et 40. D'après ses résultats, les pertes d'azote augmentent rapidement dès que le rapport initial tombe en dessous de ces chiffres. Ses études montrent également que la conservation de l'azote diminue rapidement lorsque le rapport passe de 40 à 50.

Cette baisse rapide est d'ailleurs difficile à concilier avec les lois fondamentales de la décomposition bactérienne. Au-dessus de 50, la conservation de l'azote se maintient uniformément à 70 % de l'optimum. Théoriquement, les pertes devraient à peine dépasser le minimum lorsque le rapport C/N initial est supérieur à celui qu'utilisent les micro-organismes. En effet, lorsqu'il y a excès de carbone, les micro-organismes doivent avoir besoin de tout l'azote disponible pour décomposer les matériaux carbonés. En Nouvelle-Zélande,⁵⁶ des chercheurs ont constaté qu'un rapport C/N d'environ 26 donnait le compostage le plus rapide. Cependant, avec des rapports initiaux de 22 à 29, leurs pertes d'azote étaient d'environ 50 %. Scott⁶⁸ signale des pertes allant jusqu'à 60 % au cours de certaines de ses expériences, mais avec des rapports C/N faibles. Des pertes d'environ 50 % ont été observées au cours des études faites à l'Université de Californie⁸¹ avec des rapports C/N compris entre 20 et 25 ; au-dessus de 30 cependant, les pertes étaient minimales. Le tableau 9 emprunte à ces études

TABLEAU 9. CONSERVATION DE L'AZOTE EN FONCTION DU RAPPORT C/N

Epreuve	Rapport C/N initial	Pourcentage d'azote final (à sec)	Conservation de l'azote (%)
1	20	1,44	61,2
2	20,5	1,04	51,9
3	22	1,63	85,2
4	30	1,21	99,5
5	35	1,32	99,5
6	76	0,86	108

quelques pourcentages de conservation de l'azote pour différentes valeurs du rapport C/N. Waksman⁸⁶ a constaté que, dans les composts à base de fumier, l'azote ne se conservait bien que si le rapport C/N était suffisamment élevé et si la décomposition commençait immédiatement, provoquant la transformation des formes solubles de l'azote en formes non solubles. Si la décomposition était retardée, la température étant trop basse ou trop élevée, il existait une déperdition de composés azotés volatils. Il est possible de conserver 85 à 90 % et même 95 %, de l'azote présent dans les matériaux bruts, lorsque le rapport C/N est élevé et que les autres causes de pertes sont combattues.

Du point de vue de la teneur initiale et finale en azote envisagée dans ses rapports avec la teneur en carbone, on peut envisager trois cas : a) lorsque la quantité de carbone est faible par rapport à celle de l'azote, c'est-à-dire lorsque les micro-organismes trouvent plus d'azote qu'ils n'en ont besoin pour utiliser le carbone (rapport C/N bas), des quantités très considérables d'ammoniac et de composés azotés volatils se dégagent et se perdent ; b) lorsque le carbone et l'azote sont présents en proportions

convenables pour l'utilisation par les bactéries, la décomposition se fait sans perte appréciable d'azote ; c) lorsque la quantité d'azote est faible par rapport à celle du carbone, un certain nombre de micro-organismes meurent et l'azote qu'ils contiennent est réintroduit dans le cycle comme on l'a déjà vu à propos du compostage en aérobiose. En outre, lorsque les conditions sont favorables, de petites quantités supplémentaires d'azote peuvent être acquises par fixation. Ainsi donc, dans ces trois cas, la quantité finale d'azote tend à être la même, c'est-à-dire celle que peuvent contenir les bactéries lorsque le compost est stabilisé. Dans le premier cas, il y a perte ; dans le second, il y a conservation avec stabilisation ; dans le troisième il y a réintroduction dans le cycle, avec concentration et parfois gain. On voit donc que les opérations de compostage peuvent être conçues de manière à conserver la majeure partie de l'azote présent dans les déchets.

L'ammoniac s'échappe de plus en plus facilement sous forme d'hydroxyde d'ammonium à mesure que le pH s'élève au-dessus de 7. Or, au cours des dernières étapes du compostage, le pH peut atteindre 8 ou 9. A ce moment, il ne doit pas y avoir trop d'azote présent sous forme d'ammoniac. Les matières contenant une grande quantité de cendres auront un pH initial élevé et il faut s'attendre à une perte d'azote plus grande. En pareil cas, il faudrait autant que possible séparer une partie des cendres et les rajouter après le compostage ; on réduirait ainsi les pertes d'azote pendant la période de décomposition active, au cours de laquelle une certaine quantité d'ammoniac libre peut être présente aux stades intermédiaires de la décomposition.

Certains producteurs de compost ont proposé d'ajouter de la chaux pour améliorer l'opération. Cette addition ne doit se faire que dans des circonstances exceptionnelles, par exemple lorsque les matières brutes ont une acidité élevée due à des déchets industriels ou lorsqu'elles contiennent des éléments dont la décomposition libère de grandes quantités d'acide. Mais, lorsque le pH se maintient au-dessus de 4-4,5 et que les déchets utilisés ne sont pas fortement tamponnés à ce niveau, il est recommandé de ne pas ajouter de chaux. Le pH augmentera sous l'effet de l'action biologique et l'azote sera conservé.

L'humidité du compost a une influence sur la conservation de l'azote, mais beaucoup moindre que le rapport C/N et le pH. Le dégagement d'ammoniac est plus grand lorsque l'humidité est faible. En effet, l'eau sert de solvant et de diluant pour l'ammoniac, réduisant ainsi la tension de vapeur et la volatilisation. Une humidité variant entre 50 et 70 %, satisfaisante également à d'autres égards, facilite la conservation de l'azote.

L'aération et le retournement ont un effet défavorable. En effet, l'ammoniac qui a pu se former s'échappe plus facilement lorsque le compost est remué et exposé à l'air libre. Cependant, si le rapport C/N initial est suffisamment élevé, les pertes d'azote pendant les manutentions seront minimales. Néanmoins, puisqu'une certaine quantité d'ammoniac peut être

présente pendant les phases dynamiques intermédiaires de la décomposition active, on prendra soin de ne pas retourner les tas plus souvent qu'il n'est nécessaire pour entretenir l'aérobiose et pour détruire les mouches. Dans l'ensemble, lorsque les autres facteurs sont favorables, les pertes dues aux manutentions ne seront pas importantes. Il semble pourtant que certains producteurs aient été amenés à préférer le compostage en anaérobiose pour la conservation de l'azote parce que le retournement provoquait des pertes quand les autres facteurs étaient défavorables.

Les températures élevées augmentent la volatilisation et l'échappement d'ammoniac. Comme elles sont inséparables de la décomposition aérobie et qu'elles sont nécessaires pour la destruction des germes pathogènes, on ne peut faire mieux que de les empêcher de monter au-dessus de 70°C, niveau où l'activité bactérienne est ralentie et l'accumulation d'ammoniac facilitée. En laissant la température diminuer dès que la désinfection a été obtenue, on peut aussi réduire légèrement la perte d'ammoniac. Toutefois, comme celle-ci se produit en majeure partie pendant les premières phases de la décomposition active, on ne s'assure qu'un avantage minime en réduisant la température après les deux premiers retournements ou après les 6 à 8 premiers jours de décomposition active. Si les autres facteurs de rétention de l'azote sont satisfaisants et que la température se maintient en-dessous de 65-70°C, l'effet du retournement sur la perte d'azote sera faible.

La forme sous laquelle l'azote est initialement présent peut aussi jouer un rôle. Si les matières brutes contiennent de grandes quantités d'ammoniac, une partie risque de se volatiliser et de se perdre avant que les micro-organismes aient eu le temps de l'utiliser et de le stabiliser, même si le rapport C/N est satisfaisant de ce point de vue. Ce facteur peut être important, puisqu'une grande partie des pertes d'azote se produisent au cours des premiers jours du compostage.

Certaines substances, telles que la cellulose et les matières fibreuses et poreuses adsorbent ou retiennent l'humidité et les substances volatiles, réduisant ainsi leur tendance à s'échapper. De nombreux faits indiquent que ces substances contribuent à diminuer les pertes d'azote dans les composts qui contiennent de l'ammoniac accumulé. Scott ⁶⁸ a constaté qu'aux basses valeurs du rapport C/N, les matières compostables riches en fumier de cheval ou de vache semblent mieux retenir l'azote que d'autres et il les considère comme des fournisseurs d'azote. Ce phénomène, qu'il a observé au cours de ses expériences, s'explique sans doute par la forme de l'azote, la capacité d'adsorption ou de rétention de l'azote ou encore par d'autres caractéristiques du fumier. Scott a noté en outre que, si l'on ajoute de la terre aux composts riches en ammoniac, une partie de l'azote est adsorbée.

Il peut y avoir des pertes d'azote par lessivage pendant les pluies ou lorsque les matières traitées ont une humidité initiale trop élevée et que

le liquide en excès s'écoule. L'intensité du phénomène dépend de la quantité d'azote soluble présent dans le compost et du volume des précipitations. Il est possible de réduire le lessivage en disposant les tas de compost de manière à empêcher l'eau de pluie d'y pénétrer.

Nous ne disposons d'aucun renseignement sur les pertes d'azote qui se produisent dans les digesteurs aérés mécaniquement. Toutefois, elles paraissent devoir être très élevées s'il y a production d'ammoniac libre, car le brassage et l'aération continuels tendent à laisser échapper le gaz au fur et à mesure qu'il se forme et avant qu'il puisse être fixé dans les cellules bactériennes.

Plusieurs chercheurs font état d'un enrichissement des composts par fixation de l'azote atmosphérique. Howard & Wad³⁵ signalent des gains de 4,4 à 26,3 %. Van Vuren⁸² et Scott⁶⁸ ont observé tous deux le même phénomène dans des mélanges d'ordures urbaines, de matières fécales et de fumier animal lorsque les conditions étaient favorables. Comme il fallait s'y attendre, on a trouvé des organismes fixateurs d'azote dans des composts, d'ailleurs stabilisés depuis plusieurs mois. Il semble douteux que cet enrichissement se produise lorsqu'on opère à haute température sur des périodes ne dépassant pas 12 à 30 jours. Waksman⁸⁶ a constaté, en compostant des fumiers, que la fixation d'azote se faisait plus rapidement à des températures variant entre 28°C et 50°C et qu'elle avait lieu après la période de décomposition rapide, généralement 33 jours ou davantage après le début du traitement.

Les conditions nécessaires à la fixation d'azote sont les suivantes : absence ou production très minime d'ammoniac, présence d'hydrates de carbone solubles dans l'eau, présence d'organismes fixant l'azote et niveaux convenables de température, de pH et d'humidité. Après la décomposition qui accompagne le compostage, il reste peu d'hydrates de carbone solubles dans l'eau, mais la dégradation lente et régulière de la cellulose pourrait en produire une quantité suffisante pour fixer l'azote. Cet enrichissement est souhaitable, mais on ne doit pas compter l'obtenir dans la plupart des opérations de compostage. Avec les méthodes les plus récentes, la seule fixation d'azote qui ait lieu se produit probablement dans les vieux composts et pendant le stockage du produit fini, avant qu'il ne soit devenu trop sec.

Pour enrichir les composts produits à partir de déchets pauvres en azote, tels que le coton, les tiges de sorgho, les bagasses de cannes à sucre et autres résidus à forte teneur en cellulose, Jackson et al.⁴³ proposent de planter sur les tas de produit fini du chanvre du Bengale (*Crotalaria juncea*) ou autres plantes qui fixent l'azote. Quand ces plantes ont jeté un réseau serré de racines porteuses de nodules, on retourne les tas, où elles se décomposent en donnant un compost final plus riche en azote.

Différentes études^{32, 68, 82} ont montré que les pertes d'azote sont très faibles pendant le stockage, à moins que le compost ne contienne de grandes

quantités d'ammoniac. Scott⁶⁸ et d'autres estiment que le compostage anaérobie conserve sans doute mieux l'azote que l'aérobie. Cependant, le sort de l'azote dans les tas anaérobies est trop mal connu pour qu'on puisse déterminer l'étendue de la dénitrification et mesurer le dégagement d'azote et d'ammoniac. Le compostage anaérobie réunit plusieurs conditions très favorables à la dénitrification : a) présence de quantités relativement élevées d'ammoniac ; b) abondance de matières organiques décomposables ; c) absence d'oxygène libre ; d) pH convenable ; e) humidité propice. La conception classique suivant laquelle la dénitrification n'a lieu que dans des conditions d'anaérobiose a été récemment remise en question, car il y a maintenant de bonnes raisons de penser que le phénomène se produit également dans des conditions d'aérobiose. On est en tout cas fondé à se demander si, lorsque les autres facteurs sont favorables à la conservation, le compostage anaérobie autre qu'en fosses ou en cuves fermées permet une meilleure rétention de l'azote que le compostage aérobie.

La récupération optimum serait évidemment assurée par le procédé de la digestion anaérobie dans l'eau, qui conserve à la fois les matières solides et les liquides. En effet, si d'une part on ne peut obtenir ainsi une fixation d'azote, les pertes seraient en revanche presque nulles puisque l'ammoniac à faible concentration dans le liquide ne s'échapperait pas.

Un exposé sur la conservation de l'azote ne serait pas complet s'il ne faisait pas ressortir que les plus grandes pertes d'azote comme de potasse et, dans une large mesure, de phosphore, sont dues à l'absence de récupération des urines dans les fermes et dans les installations hygiéniques des villes et des villages. Comme on l'a montré plus haut, l'urine animale est beaucoup plus riche que les matières fécales en substances organiques, en azote et en potasse, et contient presque autant de phosphore. Dans les fermes, une grande partie des éléments nutritifs contenus dans le purin s'infiltré dans le sol jusqu'au niveau des eaux souterraines ou se perd par ruissellement en surface. Dans de nombreuses agglomérations urbaines ou rurales où l'on pratique le ramassage des gadoues, les urines et les matières fécales sont séparées et seules les secondes sont ramassées parce que l'évacuation des premières ne constitue pas un problème de santé publique important. Une grande partie de l'urine est évacuée avec les eaux de lessive quand elle n'est pas déversée dans une fosse creusée dans un coin de la cour de ferme, d'où elle s'infiltré dans le sol.

Acharya¹ et Scott⁶⁸ ont étudié des méthodes permettant de récupérer une plus grande quantité d'urine humaine en utilisant des récipients spéciaux contenant une matière absorbante qui assure la séparation. Dans les fermes, on peut creuser des fosses que l'on remplit de couches alternées de déchets, de balayures, de paille et d'autres débris cellulotiques ainsi que de terre. Ces fosses peuvent être aménagées en des points où elles recevront le purin en même temps qu'elles serviront d'urinoirs aux habitants. Il faudrait en construire au moins deux. Dès que le contenu arrive à

saturation, il doit être enlevé, étendu sur le sol comme humus, et remplacé.

La conservation du phosphore et de la potasse au cours du compostage ne présente aucune difficulté car, en pratique, la seule cause de déperdition est le lessivage par la pluie.

Temps nécessaire au compostage

La période de 1 à 6 mois que prévoient certains producteurs de compost pour la décomposition des déchets n'est en général pas le minimum de temps nécessaire à une stabilisation convenable, qui peut être obtenue sensiblement plus vite. D'ordinaire, les producteurs choisissent une période qui convient à leur méthode particulière de compostage et à leur programme d'utilisation du produit fini. Dans la pratique, les temps de compostage les plus longs comprennent à la fois la stabilisation active et un délai réservé à ce que l'on appelle couramment la « maturation ». Du point de vue du rapport C/N et des qualités du produit en tant qu'humus, le compost est en général dans un état satisfaisant pour l'épandage aussitôt que la période de stabilisation active est terminée et qu'on ne peut plus entretenir de températures élevées dans la masse même si l'aérobiose persiste. Une certaine stabilisation ultérieure, notamment la décomposition de la cellulose et des lignines, se produit alors lentement, mais le rapport C/N varie peu au cours de cette période de maturation.

Le temps nécessaire à une stabilisation convenable dépend avant tout des facteurs suivants : a) rapport C/N initial ; b) dimensions des particules ; c) entretien de l'aérobiose ; d) humidité. En admettant que l'humidité soit optimum, que le compost reste aérobie et que les dimensions des particules en facilitent l'attaque par les micro-organismes présents — tous facteurs qu'on peut contrôler au cours de l'opération — c'est le rapport C/N qui détermine la durée de la stabilisation. C'est quand il est bas que la décomposition est la plus rapide, car la quantité de carbone à oxyder pour atteindre la stabilisation est faible. De plus, dans les matières compostables qui présentent cette caractéristique, une proportion plus importante du carbone est en général présente sous une forme immédiatement utilisable, tandis que les matières dont le rapport C/N est plus élevé contiennent davantage de cellulose et de lignine, assez résistantes. Ainsi que nous l'avons montré précédemment, la cellulose et la lignine sont attaquées en dernier par une population microbienne modifiée dans un milieu modifié. Lorsque le rapport C/N (quantités effectivement disponibles) dépasse 30, le processus doit être plus long pour permettre la réintroduction de l'azote dans le cycle.

Les études faites à l'Université de Californie⁸¹ sur le compostage en tas aérobies d'ordures urbaines mélangées et broyées (ordures ménagères et autres déchets), avec une humidité de moins de 70 %, donnent la relation

suivante entre le rapport C/N et le temps nécessaire à la stabilisation active :

<i>Rapport C/N initial</i>	<i>Nombre approximatif des jours nécessaires au compostage</i>
20	9-12
30-60	10-16
78	21

Des études faites sur le compostage de fumiers animaux et de litières de paille ou de luzerne ont donné des périodes de stabilisation semblables lorsque le rapport C/N est inférieur à 50.

Si l'aérobiose n'est pas entretenue pour que les températures restent élevées pendant la période de décomposition active, si les particules sont de dimensions trop grandes pour que les bactéries les attaquent facilement ou si des morceaux trop gros deviennent le siège de conditions d'anaérobiose à l'intérieur de leur masse, la période de compostage est plus longue.

Dans des conditions d'aérobiose et à des températures élevées, avec un rapport C/N inférieur ou égal à l'optimum, la masse prend l'apparence et l'odeur d'humus au bout de 2 à 5 jours de décomposition active. Cependant, celle-ci n'est pas encore terminée à ce moment, et il se peut que le rapport C/N n'ait pas encore été réduit au niveau souhaitable pour un engrais.

Earp-Thomas, la Dano Corporation, Snell et d'autres, estiment que 2 à 3 jours suffisent dans des silos-digesteurs aérés mécaniquement. Il est certain qu'au bout de ce délai, on aura obtenu un produit voisin de l'humus si on opère sur des ordures ménagères qui contiennent peu de déchets résistants, dont le rapport C/N est d'environ 20 et qui sont souvent déjà en voie de décomposition lorsqu'on les reçoit. Cependant, si on lui en laisse la possibilité, cet humus continue généralement à se décomposer à des températures élevées pendant un temps considérablement plus long. D'autre part, s'il était suffisamment déshydraté pour empêcher l'action biologique, il pourrait être manipulé sans inconvénients et employé comme engrais. On sait en effet que, dans le procédé de traitement des eaux d'égouts qui utilise des boues activées, des matières présentant un rapport C/N très bas sont stabilisées en quelques heures jusqu'à un point où, après dessiccation, elles constituent un excellent engrais. En revanche, lorsque l'humidité dépasse 40 %, la décomposition active se poursuit le plus souvent. Il paraît en tout cas douteux qu'un compost ayant un rapport C/N élevé, ou même seulement supérieur à 25, puisse être stabilisé convenablement au bout de 3 ou 4 jours s'il contient de la cellulose et de la lignine. La Dano Corporation emmagasine le produit sortant de son digesteur aéré *Bio-stabilizer* pendant 7 à 10 jours, au cours desquels il subit une nouvelle stabilisation sans qu'il soit cependant nécessaire de l'aérer ou de le retourner.

Acharya,¹ Scott,⁶⁸ van Vuren,⁸² Scharff,⁶⁶ Weststrate⁸⁹ et un grand nombre d'autres chercheurs prévoient des périodes de compostage plus longues qui comprennent généralement un temps de maturation. La durée plus prolongée de la stabilisation active est souvent due à un nombre moins élevé d'aérations et de retournements. Le tableau 10 indique les temps de compostage appliqués dans des conditions différentes dans plusieurs parties du monde.

Le temps effectif de compostage n'est pas d'une importance particulière, à condition qu'il suffise à la destruction des germes pathogènes et des parasites et à la conservation de l'azote. Certes, il contribue à déterminer la surface nécessaire aux opérations mais, dans la plupart des cas, la différence entre un cycle de 10 jours et un cycle de 30 jours est sans conséquence. En effet, la demande de compost destiné à servir d'engrais est saisonnière tandis que l'approvisionnement en matières premières est plus ou moins uniforme. Il est donc habituellement nécessaire d'entreposer de grandes quantités de compost stabilisé entre les périodes de grande demande de l'agriculture, qui sont déterminées par les saisons des semailles et des récoltes. Le matériel peut être entreposé en tas ou en fosses de petites dimensions puis accumulé en grandes meules lorsqu'il est stabilisé, ou encore broyé et mis en sacs pour être conservé sous toit. Le temps de conservation en fosses ou en tas dépend avant tout des nécessités économiques de l'exploitation.

Lorsqu'on utilise un terrain coûteux et qu'un capital important a été investi en installations de toutes sortes, notamment dans les grandes exploitations municipales, il peut être souhaitable de ne laisser le compost sur l'aire de décomposition active (fosses, meules ou silos) que pendant le temps strictement nécessaire à la stabilisation, et de l'entreposer ensuite en grandes meules où il attendra le moment de la préparation finale pour la vente. Lorsque les travaux se font à la main, par exemple dans les fermes et dans les villages, il peut être plus économique de retourner moins souvent et de prolonger l'opération, puis de laisser les paysans prendre directement livraison du compost dans les fosses ou sur les tas. Il n'est pas rationnel d'employer des méthodes onéreuses d'aération pour accélérer le compostage si le produit doit être ensuite conservé en sacs dans un dépôt coûteux jusqu'au moment où le consommateur est prêt à venir l'enlever. Si le compost n'est pas suffisamment sec, les sacs pourrissent. La méthode la moins coûteuse consiste donc à entreposer jusqu'à la vente dans de grandes meules disposées en plein air.

Les aspects techniques et économiques seront examinés plus loin en détail, mais il y a lieu de souligner ici que, sous réserve du maintien d'une qualité convenable, la fréquence des retournements, le temps de compostage, l'emmagasinage et les autres conditions d'exploitation doivent être fixés en fonction de l'économie des moyens et du souci de conserver l'azote.

TABLEAU 10. TEMPS DE COMPOSTAGE DANS DIVERSES CIRCONSTANCES

Méthode	Matières premières	Producteur	Temps	Echelle de production
Digesteur aéré	Ordures ménagères triées plus boues d'égout	Frazer, New York	7 jours	Exploitation
Digesteur aéré	Ordures ménagères	Michigan State College	3 à 5 jours	Usine-pilote
Digesteur aéré	Déchets mélangés	Dano Corporation	3 à 5 jours	Usine-pilote
Tas retournés	Ordures ménagères et paille	Université de Californie	5 à 9 jours	Expérimentale
Tas retournés	Déchets urbains mélangés contenant des ordures ménagères	Université de Californie	10 à 21 jours	Exploitation
Tas retournés	Déchets urbains mélangés contenant des ordures ménagères et des boues d'égout	Université de Californie	10 à 16 jours	Exploitation
Tas retournés	Fumier de vache ou de porc plus paille	Université de Californie	10 à 16 jours	Exploitation
Fosses (avec retournement)	Déchets séchés à l'air et excreta	Ficksburg, Union Sud-Africaine	30 jours en fosse ; 4 à 6 semaines de maturation	Exploitation
Fosses (avec retournement)	Déchets séchés à l'air et excreta	Calcutta, Inde	20 jours	Exploitation
Tas retournés peu souvent	Déchets urbains mélangés	Dannevirke, Nouvelle-Zélande	20 à 30 semaines	Exploitation
Fosses aérées	Déchets triés plus boues d'égout	Comté de Dumfries, Ecosse	6 semaines de compostage ; 6 semaines de maturation	Exploitation
Tas retournés	Déchets urbains mélangés	Compost Corporation of America	20 à 30 jours	Exploitation
Tas retournés	Déchets urbains ne contenant pas d'ordures ménagères	VAM, à Schiedam, Pays-Bas	3 à 6 semaines	Exploitation
Tas non retournés	Déchets urbains ne contenant pas d'ordures ménagères	VAM, à Wijster, Pays-Bas	4 à 6 mois	Exploitation
Fosses (sans retournement)	Déchets sans ordures ménagères, excreta, cendres, etc.	Inde	4 à 6 mois	Exploitation
Tas	Déchets, végétation et excréments	Malaisie Kenya	2 mois 2 mois	Exploitation
Fosses (avec retournement)	Déchets sans ordures ménagères, excreta, fumiers, paille et terre	Chine du Nord	2 à 8 mois	Usine-pilote et exploitation

Appréciation de l'état du compost

Nombreuses sont les épreuves et les vérifications qui permettent de suivre les phases du processus et d'apprécier l'état du compost. Du point de vue du fonctionnement d'ensemble et du produit final, il y a trois groupes d'épreuves : *a*) évaluation de la qualité sanitaire des opérations et du produit (destruction des germes pathogènes et des parasites, absence de mouches et d'odeurs) ; *b*) évaluation de la valeur fertilisante ou de l'intérêt agricole (quantité d'azote, de phosphore, de potasse et d'autres éléments nutritifs, conservation de ces éléments, rapport C/N et utilité du compost indiquée par le rendement des récoltes ; *c*) évaluation de l'intérêt économique (vérifier si le coût total de production est inférieur à la valeur de l'engrais obtenu augmentée du coût de l'évacuation des ordures par d'autres méthodes telles que l'incinération ou l'utilisation comme matériau de remblayage).

Le producteur qui composte le fumier de sa ferme, les détritiques de son jardin ou même les ordures de son petit village, ne s'embarrasse généralement pas d'épreuves détaillées et se contente de vérifier si son produit n'est pas insalubre, ce que lui indiquera la température, et s'il fait un bon engrais, ce qui se voit à l'apparence. Au contraire, une grande exploitation municipale a besoin d'épreuves pour contrôler la qualité sanitaire et agricole du compost, et aussi sans doute pour surveiller la marche de ses opérations.

La recherche des agents pathogènes importants pour la santé publique peut être confiée le cas échéant à des organismes ou laboratoires spécialisés. Des épreuves chimiques peuvent être pratiquées suivant des méthodes standards pour doser l'azote sous ses différentes formes, le phosphore et la potasse, et pour vérifier la nature organique des matières traitées ; elles servent utilement à analyser le produit fini et à déterminer les effets de différentes techniques de compostage. Pour les opérations quotidiennes, la température, l'aspect du compost, les odeurs et la présence de mouches sont les signes importants. La propreté des lieux, l'absence générale de mouches, ainsi que l'absence d'une grande quantité de larves dans les tas, sont des critères de la qualité sanitaire de la technique adoptée. La température est le meilleur indice de l'avancement du compostage aérobie et elle permet également de déterminer si les germes pathogènes, les parasites et les graines de mauvaises herbes sont détruits.

La température du compost peut être vérifiée de différentes manières : *a*) en creusant dans la meule pour tâter le compost ; *b*) au toucher d'une tige plongée dans la masse ; ou encore *c*) en utilisant un thermomètre. Le premier moyen donne une idée approximative de la température. Le compost doit donner une sensation de forte chaleur qui ne permet pas d'y laisser la main pendant longtemps. En outre, lorsqu'on ouvre le tas, il

doit se dégager de la vapeur. Une tige en métal ou en bois, enfoncée à 50 cm de profondeur pendant 5 à 10 minutes pour le métal et 10 à 15 minutes pour le bois, doit ressortir trop chaude pour qu'on puisse la tenir. Ces contrôles sont suffisants pour le compostage individuel ou à l'échelle du petit village. Dans les exploitations plus importantes, on doit utiliser des thermomètres métalliques à longue tige pour mesurer la température en différents points de la masse. Ce type d'appareil long d'environ 50 cm et muni d'un cadran à son extrémité, est le plus pratique car il ne se casse pas facilement.

Lorsque le processus de compostage en aérobiose se déroule normalement, la température monte rapidement jusqu'à 55-70°C au cours des trois premiers jours. Dans les tas ou les fosses de petites dimensions, on observe souvent un palier vers 43 et 50°C, qui marque le passage d'une flore mésophile à une flore thermophile. Cet arrêt ne se produit en général pas dans les grandes masses utilisées par les usines importantes car elles ont un pouvoir isolant plus élevé et les organismes thermophiles deviennent rapidement dominants. Après la première montée, une température élevée persiste pendant plusieurs jours au cours de la période de décomposition active, à condition que les conditions de l'aérobiose se maintiennent. Ensuite, une lente baisse de température se manifeste au fur et à mesure que la chaleur produite diminue par rapport à la chaleur radiante. Au cours de cette période, l'activité bactérienne diminue plus rapidement que ne l'indique la température ; ce décalage est dû aux qualités isolantes des matières compostées.

Lorsqu'un tas de compost n'atteint pas une température élevée au cours des 3 à 6 premiers jours, on peut en conclure, soit qu'il est trop petit pour retenir la chaleur, soit que l'humidité est excessive ou insuffisante, soit encore que les matières organiques et les éléments nutritifs sont présents en quantités insuffisantes pour donner lieu à une décomposition rapide.

Cependant, l'état de la masse ne peut être jugé d'après la seule température. Une baisse de cet indice signifie peut-être que le milieu est devenu défavorable aux bactéries aérobies thermophiles, soit à cause d'une chaleur excessive, soit par manque d'oxygène, soit encore à cause d'une humidité insuffisante. Dans certains cas exceptionnels, que l'on ne rencontre guère au cours du compostage des ordures urbaines, la présence d'une substance acide fait baisser le pH à tel point que la température diminue. En conséquence, pour juger des progrès du compostage, il faut compléter les indications tirées de la température par l'application d'autres critères simples.

Si le refroidissement est dû à la destruction des bactéries par une chaleur excessive, on aura noté, avant la baisse, des températures sensiblement au-dessus de 70°C. L'installation de l'anaérobiose se reconnaît facilement aux odeurs désagréables que l'on remarque plus particulièrement lorsque le tas est remué. On sait alors qu'une aération est nécessaire pour entre-

tenir une décomposition active et des températures élevées. De plus, la fermentation anaérobie donne à l'intérieur du tas une couleur vert pâle, légèrement lumineuse, que l'on reconnaît facilement et qui change très peu d'un jour à l'autre, alors que le compost aérobie normal se caractérise par une couleur qui fonce progressivement.

De même, le producteur de compost expérimenté constate sans difficulté l'excès ou le manque d'humidité ; il apprend très rapidement à discerner à vue si le compost est trop humide ou s'il faut le mouiller. Pratiquement, un compost sec a tout simplement l'air d'être sec et un compost trop humide présente des suintements de liquide et son aspect est mouillé ou même détrempé. On peut utiliser une tige de fer pour évaluer l'humidité à différentes profondeurs. Plongée dans la masse, cette tige doit être tout à fait mouillée aux endroits où elle a été en contact avec le compost.

On peut admettre qu'un compost est prêt lorsqu'il est possible de l'entreposer indéfiniment en grandes meules sans qu'il devienne anaérobie ou qu'il produise une chaleur appréciable ; on peut alors l'épandre dans les champs sans danger du fait que son rapport C/N est bas ou qu'il contient peu de carbone utilisable. Toutefois, une activité très ralentie continue à se manifester, et le compost « mûrit » encore un peu dans les meules.

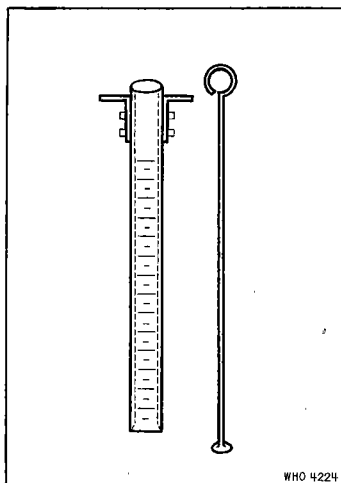
Dans une grande exploitation, le moment précis où le compost est prêt doit être déterminé d'après l'aspect et par des tests de laboratoire. Un critère pratique et commode est fourni par une température déclinante qu'on ne peut attribuer ni à la destruction des bactéries par la chaleur, ni au manque d'oxygène ni à une humidité insuffisante et qui intervient après une évolution typique caractérisée par une montée rapide suivie d'un palier. Lorsque la température est ainsi redescendue à 55 ou 50°C, on peut admettre que le compost est prêt. Une certaine maturation lente avec décomposition de cellulose peut encore se poursuivre, mais après que la masse a été aérée par sa mise en meule définitive, elle ne doit plus s'échauffer. Elle doit alors être d'une couleur gris-noir ou brun-noir, suivant qu'elle contenait ou non à l'origine des tanins et autres substances à pigmentation brune. Néanmoins, la couleur n'est pas à elle seule un critère suffisant car un bon compost commence à prendre l'apparence d'un riche terreau bien avant que la chute de température n'indique la diminution de l'activité microbienne.

Des indications complémentaires sont fournies par l'évolution caractéristique des odeurs. Le broyage suffit à remplacer l'odeur aigre et grasseuse des ordures brutes par celle de la matière végétale verte fraîchement coupée. De plus, l'aération que provoque le broyage contribue à éliminer les relents d'hydrogène sulfuré dans les fumiers et autres matières analogues. Au cours de l'augmentation initiale de température des tas de compost, on sent souvent des odeurs de cuisson, mais elles diminuent progressivement à mesure que la décomposition avance. Une légère odeur d'ammoniaque se dégage parfois et peut même devenir très prononcée si le compost perd

très rapidement son azote. On peut en conclure que la méthode employée n'assure pas une bonne conservation de l'azote. Comme on l'a déjà vu, une odeur putride indique que la décomposition devient anaérobie et que la masse doit être aérée. Les tas de compost anaérobie peuvent produire les odeurs les plus nauséabondes. En fin de traitement, le compost doit être inodore, tout au plus sentir légèrement la terre ou le moisi.

Ces épreuves physiques grossières sont suffisantes pour la plupart des petites installations individuelles ou de village, dont le produit est

FIG. 13. SONDE A COMPOST



pris sur place par les paysans de l'endroit qui s'en servent sur des terres plus ou moins voisines. Dans les grandes usines qui écoulent sur un large marché un compost destiné à différents usages, il faut en outre des analyses de laboratoire pour déterminer la qualité du produit fini et contrôler la production.

Comme nous l'avons déjà mentionné, la mesure de l'humidité n'a pas besoin d'être faite avec une précision de laboratoire lorsqu'il s'agit de suivre la marche de l'opération ; par contre, une détermination plus rigoureuse est nécessaire si le produit fini doit être mis en sacs et vendu au poids. La figure 13 représente une sonde utilisée dans l'Inde pour prélever des échantillons dans différentes parties du tas. On peut en fabriquer une avec un

tube d'acier de 4 cm de diamètre intérieur et de 1 m de longueur. Une extrémité est aiguisée pour présenter un bord tranchant et des poignées peuvent être soudées ou rivées à l'autre bout pour faciliter l'enfoncement. La sonde est accompagnée d'une tige qui permet d'extraire l'échantillon contenu dans le tube. Il est préférable de faire des prélèvements séparés à des profondeurs de 30, 60 et 90 cm, plutôt que d'enfoncer la sonde en une seule fois jusqu'au fond, ce qui comprimerait trop l'échantillon et empêcherait de distinguer entre les éléments correspondant aux différentes profondeurs.

Un prélèvement de volume approprié est déposé dans une bassine dont le poids a été déterminé préalablement ; la bassine et son contenu sont alors pesés, mis au four à environ 103°C pendant deux heures et pesés à nouveau. Le pourcentage d'humidité est calculé d'après la formule suivante après déduction du poids de la bassine :

$$100 \times \frac{\text{poids initial} - \text{poids final}}{\text{poids initial}} .$$

Le poids total des matières minérales, que l'on appelle généralement cendres, est déterminé en incinérant un poids connu de l'échantillon sec, pour en éliminer toutes les matières organiques combustibles. On pèse à nouveau après refroidissement. Le pourcentage des cendres, à sec, est le suivant :

$$100 \times \frac{(\text{poids à sec avant incinération} - \text{poids après incinération})}{\text{poids à sec avant incinération}}.$$

Les techniques de laboratoire servant à déterminer l'azote, le phosphore et la potasse sont plus précises et exigent un équipement plus complet, mais il n'y a là que des analyses chimiques relativement simples. La détermination du rapport C/N, très importante du point de vue de la conservation de l'azote et de l'appréciation du compost fini, présente un problème plus difficile, car l'analyse quantitative du carbone est difficile, longue et coûteuse. D'après une étude faite en Nouvelle-Zélande,⁵⁶ il suffirait pour les besoins du compostage de calculer le pourcentage du carbone présent d'après le pourcentage des cendres, beaucoup plus simple à mesurer. La formule serait la suivante :

$$C = \frac{100 - \text{pourcentage de cendres}}{1,8}.$$

Les chercheurs de l'Université de Californie⁸¹ ont contrôlé cette méthode simple : l'approximation par rapport aux résultats des déterminations plus précises est de 2 à 10 %.

Si le compost doit être modifié par addition de sulfate d'ammonium, de phosphates ou d'autres éléments nutritifs pour servir d'engrais spécial, il est nécessaire de déterminer à sec la concentration de ces substances afin de permettre à l'acheteur de comparer avec d'autres engrais.

Qualité des composts

La valeur nutritive des composts varie considérablement suivant la qualité des matières premières utilisées. Si elles contiennent du sang, des déchets d'abattoirs, de l'urine conservée, des ordures ménagères et du fumier ou des boues d'égouts, le produit final sera plus riche en azote et autres éléments nutritifs que si l'on opère principalement sur de la paille, des balayures, des bagasses, des cendres, de la terre ou des ordures urbaines. La liste ci-après indique les valeurs entre lesquelles varient les caractéristiques chimiques de la plupart des composts finis, produit sec. Les écarts sont assez considérables car les matières premières étant très diverses, les composts ont des qualités chimiques très différentes.

<i>Substances</i>	<i>Pourcentage (poids)</i>
Matière organique	25-50
Carbone	8-50
Azote (N)	0,4-3,5
Phosphore (P_2O_5)	0,3-3,5
Potassium (K_2O)	0,5-1,8
Cendres	20-65
Calcium (CaO)	1,5-7

McGauhey & Gotaas⁴⁹ ont déterminé les caractéristiques de composts, préparés à partir d'ordures et de rebuts urbains contenant des quantités considérables de papier et ils ont trouvé les valeurs moyennes suivantes (produit sec) : N, environ 1,4 % ; P_2O_5 , environ 1,1 % ; K_2O , environ 0,8 % ; carbone, environ 28 % ; cendres, environ 37 %. Golueke²² a analysé cinq qualités différentes de compost fait avec du fumier de bétail et de porc contenant des quantités considérables de paille et de luzerne ; il a obtenu les valeurs suivantes (produit sec) : N, 0,8-2,2 % ; P_2O_5 , 2,2-4,7 % ; K_2O , 1,5-5,2 % ; C, 14-31 % ; cendres, 20-56 %. L'étude néo-zélandaise portant sur les composts produits dans 12 localités différentes donne les valeurs suivantes (produit sec) : N, 0,6-2,7 % ; P_2O_5 , 0,05-0,8 % ; K_2O , 0,5-1,5 % ; C, 15-56 % ; cendres, 5,1-63 %. Dans ces expériences, la teneur en azote des divers composts était en moyenne d'environ 1,7 %.

Les matières premières utilisées aux Pays-Bas par la VAM sont les détritiques des balayures et des cendres ne contenant pratiquement pas d'ordures ménagères, de fumier ou de substances riches en azote. L'analyse du compost fini sec donne, en moyenne, les chiffres suivants : matières organiques, 4,5-12 % ; N, 0,4-0,5 % ; P_2O_5 , 0,4-0,5 % ; K_2O , 0,4 % ; cendres, 75-80 %. La qualité de ce compost est moins bonne que d'ordinaire parce que les matières premières se composent principalement de cellulose et de détritiques analogues.

Il y a lieu de penser que les composts contiennent également une grande variété d'oligo-éléments. On n'a guère fait d'analyses précises, mais du fait que les déchets, les ordures ménagères et les excréta contiennent des produits de l'agriculture, on doit logiquement retrouver ces oligo-éléments dans le compost. Des expériences agricoles indiquent que les engrais à base de compost ont des effets favorables que leur teneur en azote, en phosphore, en potasse et en humus ne suffit pas à expliquer.

Aspects économiques du compostage

Tous les agriculteurs connaissent les avantages économiques généraux que présente l'épandage de fumiers et de déchets organiques. Ils savent que la récupération de ces produits conditionne non seulement les rendements immédiats mais encore l'entretien de la fertilité du sol et les récoltes à

venir. Dans les régions où les conditions économiques ne permettent pas d'utiliser des engrais minéraux pour compléter les déchets organiques, la récupération efficace de l'azote contenu dans ces déchets peut être un facteur important du niveau de vie et de l'économie alimentaire. Composter les résidus organiques de manière à pouvoir les utiliser sans crainte comme engrais est de bonne économie pour toutes les fermes et pour la plupart des villages dans différentes parties du monde. En effet, lorsque ces résidus sont à proximité des terrains qui doivent les recevoir, aucun problème économique ne se présente.

Au contraire, le compostage des déchets des grandes agglomérations urbaines fait intervenir une série de considérations économiques, car le producteur et propriétaire des déchets ne se confond pas avec l'utilisateur. Bien qu'elle soit responsable de leur enlèvement dans des conditions de salubrité satisfaisante, la municipalité propriétaire des déchets ne s'intéresse généralement pas directement à leur utilisation agricole. Son principal souci est d'évacuer ces résidus de façon aussi simple et aussi peu coûteuse que le permettent les exigences de l'hygiène. De plus, la plupart des villes éprouvent des hésitations compréhensibles à faire un investissement important qui, pour être rentable, les oblige à devenir entrepreneurs en même temps que gardiennes de l'hygiène publique.

Lorsqu'une ville adopte le compostage comme méthode d'élimination des ordures, elle doit comprendre que la vente du compost n'a pas à payer entièrement les frais de l'opération. En effet, d'autres méthodes d'enlèvement des ordures, telles que l'utilisation pour le remblayage ou l'incinération (qui coûte généralement quatre à six fois plus que le remblayage), comportent des dépenses très considérables sans aucune contrepartie financière. D'un point de vue strictement financier, il suffit que le produit de la vente du compost soit au moins égal à la dépense totale ainsi encourue, y compris les frais généraux et les intérêts, diminuée du coût de l'enlèvement des ordures par toute autre méthode qui pourrait être appliquée. Le poids du compost fini varie généralement entre 50 et 80 % du poids initial des matières brutes, après l'enlèvement des déchets non compostables et récupérables. La réduction de poids sec est donc de 20 à 50 %, suivant la composition initiale et la perte d'humidité.

Les agriculteurs des régions où la culture intensive est nécessaire pour couvrir les besoins alimentaires connaissent la valeur du compost en tant qu'engrais et sont prêts à l'acheter à un prix qui correspond à son intérêt économique. Dans certaines zones où l'on n'utilise que des engrais minéraux, il peut être utile de prendre des mesures éducatives pour montrer les possibilités que présente l'utilisation d'engrais organiques, complétés par des engrais minéraux, de manière à réduire le prix de revient tout en entretenant la fertilité du sol. Quand on traite de grandes quantités de matériaux de faible valeur unitaire tels que les déchets organiques, il est indispensable de réduire au minimum le coût de production.

Il semble que le compostage des ordures urbaines et des boues d'égouts offre des possibilités intéressantes pour les investissements privés, plus à même que les autorités municipales de résoudre les problèmes de vente et de commercialisation. Le concessionnaire privé ne pourrait compter que sur la ville pour lui fournir la matière première ; il doit donc être assuré d'un approvisionnement régulier avant de placer des capitaux dans une installation de compostage. Il lui faut un contrat ou la garantie que la ville ne va pas décider d'adopter une autre méthode d'évacuation avant l'expiration d'une période raisonnable qui lui permette d'amortir son capital.

Les villes pourraient aussi payer à un entrepreneur une somme égale au coût de l'exploitation d'un système municipal d'évacuation des ordures et l'autoriser à faire un bénéfice sur la vente du compost, à condition qu'il accepte les risques que comporte l'opération et qu'il s'engage à produire dans de bonnes conditions d'hygiène.

Un contrat à long terme avec la ville, éventuellement avec partage des bénéfices dépassant un pourcentage déterminé, serait peut-être un bon moyen d'intéresser le capital privé à l'utilisation de déchets, ce qui déchargerait la ville du soin de récupérer et de vendre le compost. Dans bien des cas, il serait possible que la ville et un entrepreneur privé financent ensemble une installation qui serait exploitée par l'entrepreneur en régime mixte avec partage des bénéfices. Il y a de nombreuses régions où la demande locale serait telle que la vente ne présenterait aucune difficulté pour la municipalité. Dans certaines villes, le compost est produit en régie directe et vendu par adjudication annuelle à des entrepreneurs qui se chargent de la revente.

La création d'entreprises coopératives pour le compostage et la récupération des excréta et des ordures offre de nombreuses possibilités, surtout dans les villages et les petites villes. Cette exploitation coopérative pourrait être très avantageuse dans les villages où chaque ferme ne produit pas assez de matières premières pour permettre une fabrication individuelle satisfaisante. Les agriculteurs et jardiniers pourraient aussi constituer des coopératives qui passeraient des contrats avec les autorités municipales pour l'élimination des déchets de la ville par voie de compostage. Les membres de la coopérative pourraient non seulement trouver ainsi une source d'humus fertilisant mais, de plus, participer aux bénéfices éventuels de l'opération. Toutefois, des formules de ce genre ne seraient sans doute guère intéressantes lorsqu'il s'agirait de composter les déchets d'une grande ville où les quantités risquent d'être trop grandes pour être absorbées par les fermes de la région immédiatement voisine. Dans ces conditions, la coopérative serait obligée d'organiser un service de vente et de distribution, dépassant ainsi l'objectif essentiel de cette organisation, qui est de fournir à la région en question des engrais à bon marché.

Lorsque le compost produit par une grande ville ne peut être consommé entièrement par les fermes des alentours immédiats, les frais de transport

risquent de grever le prix de vente. Certes, l'humus servant d'engrais pour les jardins d'agrément, l'horticulture et les exploitations maraîchères, peut être transporté à des distances considérables sans grand inconvénient économique. Par contre, l'utilisation massive de compost dans les fermes n'est économiquement possible que si le produit est bon marché et si des frais de transport élevés ne le mettent pas hors de portée des agriculteurs éloignés.

Le producteur et distributeur de compost ne doit jamais perdre de vue que ses méthodes doivent avoir un rendement suffisant pour permettre de vendre à des prix que l'agriculteur peut payer. C'est ce qui se fait avec succès aux Pays-Bas, dans l'Inde et dans de nombreux autres pays.

L'addition de boues d'égouts aux matières compostables présente des avantages économiques. Les boues peuvent être soit préalablement digérées en anaérobiose, puis mélangées avec les ordures pour le compostage, soit utilisées à l'état brut s'il n'y a pas intérêt à récupérer les gaz produits par la digestion. En les traitant de cette manière, on s'assure une garantie d'hygiène supplémentaire. Les manutentions représentent une partie importante du coût du compostage de ces mélanges. Or, les diverses techniques possibles se présentent sous un jour économique très variable d'une région du monde à l'autre. On peut cependant affirmer d'une manière générale, que, pour les grandes installations, le coût de manutention par tonne peut être réduit considérablement par la mécanisation. Toutefois, l'économie ainsi réalisée dépend de multiples facteurs locaux. L'analyse et la planification des grandes exploitations municipales de compostage sont donc affaire d'ingénieurs et exigent une connaissance complète du processus ainsi que des conditions économiques locales.

Parmi les principaux facteurs économiques à considérer dans l'organisation d'une usine de compostage, on peut citer : les installations de réception, de triage, de récupération et, éventuellement, de broyage ; le matériel et les immobilisations ; le terrain nécessaire, la main-d'œuvre, l'énergie et tous autres frais d'exploitation et d'entretien ; l'intérêt du capital et les amortissements ; enfin la valeur marchande du produit fini.

Le triage et la récupération des chiffons et de certains métaux ferreux et non ferreux sont généralement intéressants, mais il en va souvent autrement des bouteilles, des boîtes de conserve et du papier, à moins qu'il ne s'agisse d'une région où ces matériaux sont demandés. Cependant, dans les grandes installations de compostage où le triage et la récupération font partie de la suite normale des opérations, il est possible de récupérer avec bénéfice un certain nombre de matériaux qui ne pourraient l'être autrement. C'est le cas du papier, souvent présent en quantités considérables.

Le prix de revient du compost varie considérablement suivant les conditions de production et sous l'effet des facteurs indiqués ci-dessus. Les expériences faites dans l'Inde ont fourni de nombreux renseignements sur les éléments du coût total, et notamment sur les frais de main-d'œuvre

dans les villes agricoles. Il n'en est pas de même dans le cas des grandes villes, où l'on peut mécaniser les opérations pour réduire le prix de revient. Au Danemark, en Angleterre, en Allemagne, aux Pays-Bas, en Nouvelle-Zélande, en Suède et dans l'Union Sud-Africaine, où des machines sont assez largement employées avec de bons résultats, l'expérience acquise a permis de réunir un certain nombre de données comptables mais il faut noter que ces renseignements ne sont pas directement comparables d'une grande exploitation à l'autre. Chacune demande une analyse distincte des circonstances particulières qui déterminent le coût de production ainsi que des possibilités de vente du compost.

Le Natural Resources (Technical) Committee²⁷ de Grande-Bretagne a conclu que le compostage des ordures urbaines ne serait en général pas rentable en Angleterre. Cette commission estime que la quantité de matières organiques récupérables dans les ordures urbaines serait faible par rapport aux besoins du sol et à l'apport que peuvent fournir les pratiques agricoles courantes. Elle ajoute : « Néanmoins, on peut envisager, lorsque les circonstances s'y prêtent, la création de petites installations gérées en collaboration par les autorités locales et par les agriculteurs pour produire des composts à partir de boues d'égouts et de déchets agricoles. Ce rapport ne fournit toutefois aucune comparaison entre le coût du compostage en Angleterre et d'autres méthodes d'enlèvement des déchets organiques. Gothard & Brunt,²⁵ qui ont fait une étude détaillée des procédés de compostage et qui ont évalué le coût de production à l'échelle municipale en Angleterre, critiquent les principes mêmes de l'analyse ainsi présentée ; ils fournissent des données comptables et des renseignements de base qui contredisent les conclusions de la commission. Ces conclusions contradictoires montrent à nouveau combien il est important d'obtenir des renseignements plus complets en faisant des expériences pour déterminer la valeur précise des engrais organiques à base de composts pour les divers usages agricoles.

Un ingénieur conseil, M. J. Fruchtbaum, a fait une étude complète des plans et des frais d'exploitation d'une installation commerciale de compostage, la Compost Corporation of America, à Oakland (Californie). L'analyse du coût de production, faite dans l'hypothèse d'une manutention assurée par des méthodes efficaces, indique que si les déchets mélangés s'obtenaient moyennant une redevance symbolique pour l'évacuation, un bénéfice très intéressant pourrait être réalisé par la vente du compost et des matériaux récupérés en traitant 300 tonnes de matières brutes par jour. Les devis établis par la Compost Corporation montrent que les déchets livrés à l'usine pourraient être compostés et transformés en engrais à un prix sensiblement plus bas que celui de l'incinération. Ainsi, en admettant que les agriculteurs prennent eux-mêmes le compost à l'usine et se chargent de l'emmagasiner, la ville pourrait le leur donner gratuitement et faire encore une économie sur ce que lui coûterait l'incinération des ordures. Ces mêmes

analyses montrent en outre qu'un compost d'une qualité et d'un prix semblables à ceux du fumier de ferme pourrait être produit avec bénéfice.

Seabrook,⁶⁹ ingénieur municipal de Tacoma (Etat de Washington) a fait des recherches dans une installation-pilote sur le compostage de déchets mélangés et de boues d'égouts. D'après les résultats de ces études, il estime que, sans même tenir compte du coût actuel de l'envoi aux décharges, la ville pourrait réaliser un bénéfice en compostant les déchets et les boues d'égouts. Son rapport indique en outre que des plans sont à l'étude pour la construction d'une usine assez puissante pour composter tous les déchets organiques de la ville.

La Dano Corporation (communication personnelle, 1955) estime que, dans une usine installée à Los Angeles et recevant 50 tonnes d'ordures brutes par jour, le coût de production par le procédé *Bio-stabilizer*, compte tenu de l'amortissement du matériel, serait à peu près égal au prix de l'incinération. Ainsi, en admettant que le compost ait une valeur marchande, la dépense nette serait moindre qu'avec le système de l'incinération.

La méthode de compostage en silos est probablement beaucoup plus économique que l'emploi de petits digesteurs aérés mécaniquement lorsqu'il s'agit de traiter des quantités importantes de l'ordre de 200 tonnes par jour ou plus. Cependant, les petits digesteurs pourraient présenter un intérêt comparable s'ils étaient installés en plusieurs points du territoire municipal, permettant ainsi de réduire les frais de transport des matières brutes. Ces petits appareils, fermés et aérés mécaniquement, comportent moins de risques de nuisance et pourraient être montés dans des zones où il ne serait pas recommandable d'établir une grande exploitation en plein air.

L'utilisation économique du compost dépend avant tout de l'existence de débouchés dans une zone accessible sans frais de transport excessifs. Lorsque le compostage des ordures additionnées de boues d'égouts coûte moins cher que leur enlèvement par d'autres moyens, le prix de vente peut être fixé à un niveau avantageux pour l'agriculture.

L'existence de nombreuses installations de compostage à grand débit montre que le traitement des ordures urbaines pour la fabrication et la vente d'engrais peut être rentable ; il est néanmoins nécessaire de procéder à une analyse approfondie du marché et du coût de production avant de construire une usine. Etant donné que les ordures constituent une matière première volumineuse et de faible valeur, il est essentiel que la méthode de fabrication choisie soit d'un prix de revient aussi faible que possible.

Il semble que la récupération des ordures urbaines à des fins agricoles fournisse l'occasion de resserrer la collaboration entre la ville et la campagne dans l'amélioration générale de l'économie régionale. Il n'est pas possible de chiffrer la valeur de cette collaboration, mais il a été démontré souvent et dans différentes régions du monde, que les progrès accomplis dans un secteur de la collectivité peuvent se répercuter sur un autre et être avantageux

pour tous. La récupération économique des ordures urbaines suppose un procédé de traitement bon marché qui permette de vendre le produit fini en grandes quantités à un prix suffisamment bas pour que son utilisation devienne intéressante pour l'agriculture.

De nombreuses installations de compostage ont trouvé un marché intéressant parmi les maraîchers et les pépiniéristes qui pratiquent la culture intensive et peuvent acheter des engrais organiques à des prix élevés. Si ce marché est intéressant du point de vue des bénéfices sur la vente, il serait cependant vite saturé par une production massive utilisant de grandes quantités d'ordures urbaines. Pour être économique, la récupération des déchets des villes doit fournir un engrais à un prix suffisamment bas pour que toutes les catégories d'agriculteurs puissent l'utiliser.

MÉTHODES ET PLANS APPLICABLES DANS LES GRANDES VILLES

Le compostage des ordures des grandes villes doit être organisé avec soin de manière à assurer l'efficacité des manutentions. En d'autres termes, il faut un équipement spécialement conçu ou adapté pour convenir au mode opératoire choisi.

Les plans et l'organisation opérationnelle d'une usine importante ne peuvent être arrêtés qu'après une étude technique approfondie de la situation générale et de la production d'ordures de la ville. La disposition des lieux, l'outillage et les techniques de travail qui donnent les meilleurs résultats dans une certaine ville peuvent ne pas être les meilleurs dans une autre. Guttridge,²⁸ Brunt¹² et la Compost Corporation of America⁷⁴ ont analysé certains des problèmes technologiques que pose la mise en place d'usines municipales de préparation des composts. Cependant, en attendant d'avoir accumulé une expérience suffisamment riche de l'exploitation en grand pour pouvoir établir des plans standardisés, chaque usine devra être conçue spécialement et organisée en fonction des besoins d'après une analyse particulière.

L'usine devra pouvoir se prêter aux agrandissements rendus nécessaires par l'accroissement de la population ; d'autre part, lorsqu'il s'agit de villes qui ne possèdent pas encore de moyens suffisants pour la collecte et l'évacuation des ordures, il faudra tenir compte de l'augmentation probable de la quantité collectée par habitant. En effet, quand les méthodes de ramassage et d'enlèvement s'améliorent, les quantités reçues augmentent car l'insuffisance antérieure incitait à évacuer une partie notable des ordures par d'autres moyens plus commodes, encore que généralement plus insalubres et plus inesthétiques.

Composter les 40 tonnes quotidiennes qui représentent la production minimum d'une grande ville est une véritable opération industrielle avec réception de matières premières, transformation et fabrication d'un produit fini. Elle peut se comparer avec l'épuration des eaux de boisson ou le traitement des eaux d'égout, puisque, dans les deux cas, une matière première variable en quantité et en composition est transformée en un produit répondant à certaines conditions physiques, chimiques et biologiques.

Emplacement et plans des usines municipales

Les études préliminaires devront prendre en considération les éléments suivants :

- 1) la population actuelle et son évolution probable ;
- 2) l'étendue de la ville et la répartition de sa population ;
- 3) la quantité actuelle d'ordures et son évolution probable ;
- 4) la nature et la qualité des ordures ;
- 5) l'opportunité d'ajouter des boues d'égouts pour le compostage ;
- 6) les caractéristiques de la région : climat, topographie, voies de communication (routes, chemins de fer, voies navigables) et nature du sol ;
- 7) les méthodes actuelles ou possibles d'évacuation des ordures et leur coût ;
- 8) l'emplacement des débouchés pour le compost et les matériaux récupérés ;
- 9) l'emplacement de l'usine ou des usines ; le choix sera dicté par les frais de transport, par la décision prise quant à l'utilisation des boues d'égouts, et par les variations du prix de revient du compost suivant la capacité des usines ;
- 10) les méthodes de compostage et l'outillage envisagés ;
- 11) les nécessités d'une manutention efficace ;
- 12) le prix initial et l'amortissement du terrain, des bâtiments et du matériel ;
- 13) les frais d'exploitation, y compris la rémunération du personnel (direction, techniciens, main-d'œuvre et services commerciaux), le coût de l'énergie, celui des fournitures et l'intérêt du capital ;
- 14) le montant du fonds de roulement nécessaire à l'exploitation ;
- 15) l'état du marché, qu'il faut analyser pour déterminer la demande future du produit, la demande relative des diverses qualités du produit, les méthodes de commercialisation et le prix qui pourra être demandé sur le marché ;
- 16) l'intérêt économique final et la rentabilité de l'exploitation, compte tenu des économies réalisées par rapport à d'autres méthodes d'évacuation qui ne comportent aucune recette.

L'usine peut être située soit dans un quartier industriel ou relativement peu peuplé si les terrains sont suffisants et si la technique de compostage est bonne, soit en dehors de la ville. Comme tout grand établissement industriel, elle doit bénéficier de bonnes communications ferroviaires et routières de telle sorte que ni la livraison des matières premières ni l'enlè-

vement des produits finis ne posent de problèmes difficiles de transport. Si elle est située à quelque distance de la ville, les frais de transport des ordures à traiter seront plus élevés, mais elle sera peut-être plus facilement accessible aux agriculteurs ou aux camionneurs qui prennent livraison du compost. Inversement, si l'usine est située dans la ville même, le transport des matières premières est moins cher, mais les frais de distribution risquent d'être plus élevés.

A la suite de larges études sur les aspects économiques de la collecte des ordures dans les villes des Etats-Unis, Pearson et al.⁵⁹ ont constaté que les ordures une fois chargées sur les camions, quelques kilomètres de plus n'augmentent pas considérablement le prix du transport. Ces études ont montré qu'il est plus économique de transporter les ordures dans les bennes de ramassage sur des distances de 15 à 25 kilomètres que d'établir des stations intermédiaires pour le transfert de ces matériaux sur des camions plus grands pour raccourcir le trajet des bennes. En choisissant un emplacement, on devra donc faire une analyse des frais de transport.

Il existe en pratique deux solutions différentes des problèmes du transport : a) on peut créer des stations locales où l'on procède au tri, à la récupération des métaux, chiffons, etc., et au broyage, et d'où les matières

FIG. 14. USINE DE COMPOSTAGE DES ORDURES ET DES BOUES D'ÉGOUT
A BADEN-BADEN (ALLEMAGNE)

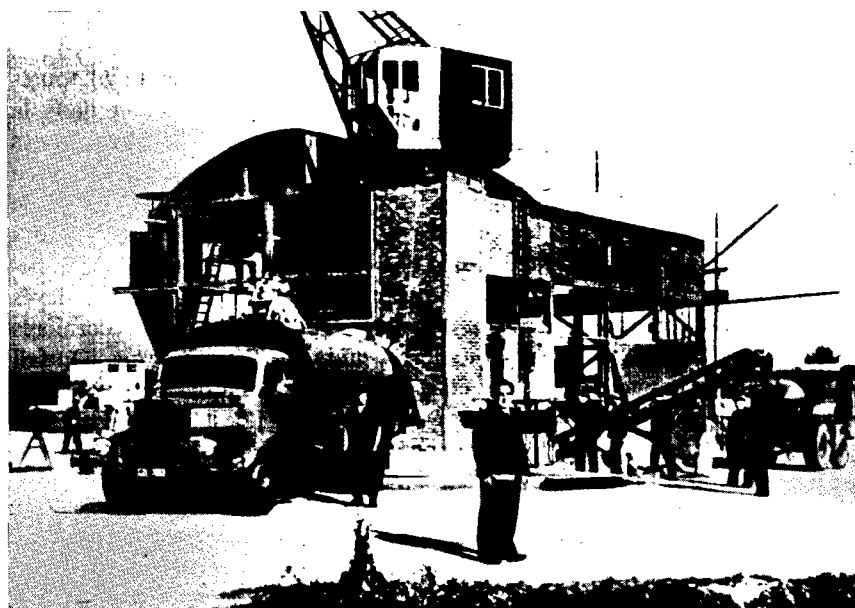


Photo obligeamment communiquée par M. B. H. Dieterich
et M. F. Popel, Institut für Gesundheitstechnik, Stuttgart,
Allemagne

FIG. 15 MAQUETTE DE L'USINE DE COMPOSTAGE PROJETÉE
PAR LA COMPOST CORPORATION OF AMERICA A OAKLAND (CALIFORNIE)

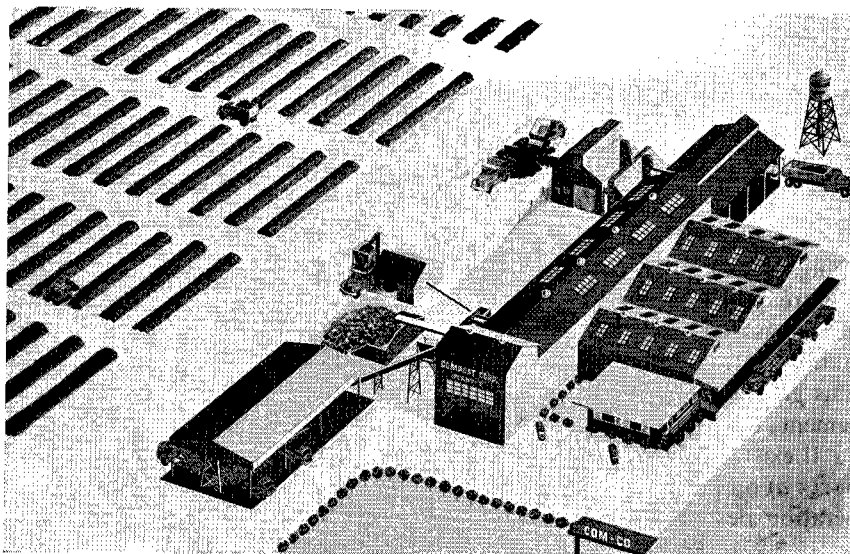


Photo obligeamment communiquée par la
Compost Corporation of America, San
Francisco, Californie

compostables sont ensuite transportées à l'usine de traitement ; b) toutes les opérations sont réunies en une seule installation située soit dans la zone industrielle de la ville, soit à l'extérieur, en un point plus proche des débouchés principaux du produit fini. L'un et l'autre systèmes sont en usage. A titre d'exemple du premier, on peut mentionner le quartier de Southwark, à Londres, où les ordures brutes sont transportées dans des centres de triage et de broyage situés dans la ville ; les matériaux récupérables pour la vente, les éléments impropres au compostage sont enlevés et les matières compostables sont broyées. Une partie de ces dernières sont ensuite transportées par voie ferrée aux Northern Sewage Outfall Works, dans le comté d'Essex, où elles sont mélangées à des filtrats d'eaux d'égout pour servir à la préparation du compost. Il est en général plus économique de transporter les matières brutes dans une seule usine située dans la ville ou à proximité (de préférence au voisinage de l'usine de traitement des eaux d'égout lorsque des boues sont mélangées aux ordures pour la préparation du compost) et de procéder dans un même emplacement aux opérations de tri, de broyage et de compostage. Cette solution a été adoptée dans de nombreuses villes, notamment à Baden-Baden, Allemagne (fig. 14), au Danemark et en Suède, ainsi que pour l'usine dont la construction est envisagée à Oakland (Californie) (fig. 15).

Un autre exemple de ce second système est fourni par les importantes installations des Pays-Bas : avant tout triage, les matières brutes sont transportées par voie ferrée sur une distance maximum de près de 200 km de la Haye et de deux autres villes à Wijster, où le compostage s'effectue dans la région même où le terreau ainsi obtenu est le plus utile.

Si des boues d'égout doivent être mélangées aux ordures et que l'usine de compostage ne puisse pas être aisément combinée avec l'installation de traitement des eaux usées, les boues peuvent être transportées en citernes ou par pipe-line.

Le système des stations locales de tri et de broyage présenterait, selon certains ingénieurs, les avantages suivants : le trajet à effectuer par les véhicules spéciaux de ramassage est plus court ; les matériaux récupérables sont enlevés sur les lieux mêmes où ils peuvent être vendus le plus facilement et les risques de détérioration et de destruction dus à de nouvelles manipulations sont réduits au minimum ; le poids des matières restant ensuite à transporter est réduit ; en broyant plus tôt les ordures, on évite d'y attirer les mouches et la vermine et on empêche le dégagement d'odeurs nauséabondes ; enfin, le broyage rend les matières plus homogènes et plus faciles à traiter mécaniquement. Toutefois, ces avantages dépendent des conditions locales. Le surcroît de dépenses dû à l'allongement du trajet des véhicules spéciaux peut être relativement faible par rapport au coût du transbordement. Le tri des matériaux récupérables dans un emplacement situé en ville, à proximité des marchés éventuels, pourrait n'offrir qu'un avantage économique insignifiant car ces matériaux doivent souvent être entreposés avant de parvenir aux consommateurs. D'autre part, lorsque les ordures comprennent des matières putrides ou susceptibles d'attirer les mouches, il est souvent préférable de les transporter d'emblée jusqu'à l'usine de compostage en vue du tri et du broyage. L'allongement de la durée du transport est en général faible, surtout par rapport au temps de séjour des ordures dans les bennes pendant le ramassage. D'autre part, le tri et le broyage sont les opérations les plus difficiles, et celles qui provoquent fréquemment des embouteillages à l'usine pendant les périodes de pointes, à l'arrivage des ordures. Celles-ci doivent en général être entreposées pendant quelques heures avant le triage et le broyage si les bennes arrivent toutes à peu près à la même heure, car il ne faut pas retarder le déchargement. Si le broyage se fait en ville, l'installation doit avoir une capacité suffisante pour n'avoir pas à fonctionner en dehors des heures normales de travail, car un système de roulement exigerait le stockage de quantités considérables d'ordures mélangées brutes, ce qui est à éviter dans la plupart des zones industrielles d'une ville. En cas de fonctionnement continu, il vaut mieux entreposer les matières brutes dans une usine de compostage plus vaste et plus éloignée, que de les conserver dans une petite station locale de broyage située en ville. Enfin, s'il est exact qu'une plus grande homogénéité des matières facilite les manipulations mécaniques, l'avantage est le même dans une

station distincte de broyage et dans une installation qui assure à la fois le broyage et le compostage car, dans les deux cas, le traitement mécanique intervenant après le broyage consiste uniquement à disposer les matières en tas ou en cuves.

Nous estimons que, d'une manière générale, le groupement de toutes les opérations en un même point constitue la méthode la plus économique, sauf peut-être dans les cas où le transport vers le lieu de traitement final est très long, par exemple 25 km ou davantage, et doit emprunter des voies encombrées.

L'emplacement le plus favorable pour l'usine de compostage est en général un terrain plat et horizontal, en particulier lorsqu'on dispose les matières en silos. Le déchargement et les opérations préparatoires de tri et de broyage peuvent être effectués sur un terrain en pente, à condition de disposer d'un espace plat pour le compostage proprement dit. L'arrivage et le déchargement doivent avoir lieu au point le plus élevé, afin que le passage d'une opération à l'autre se fasse dans le sens de la descente ; la différence de niveau peut ainsi servir à réduire le coût des manipulations.

L'eau et la force motrice doivent pouvoir être amenées sans difficultés sur l'emplacement choisi pour l'usine.

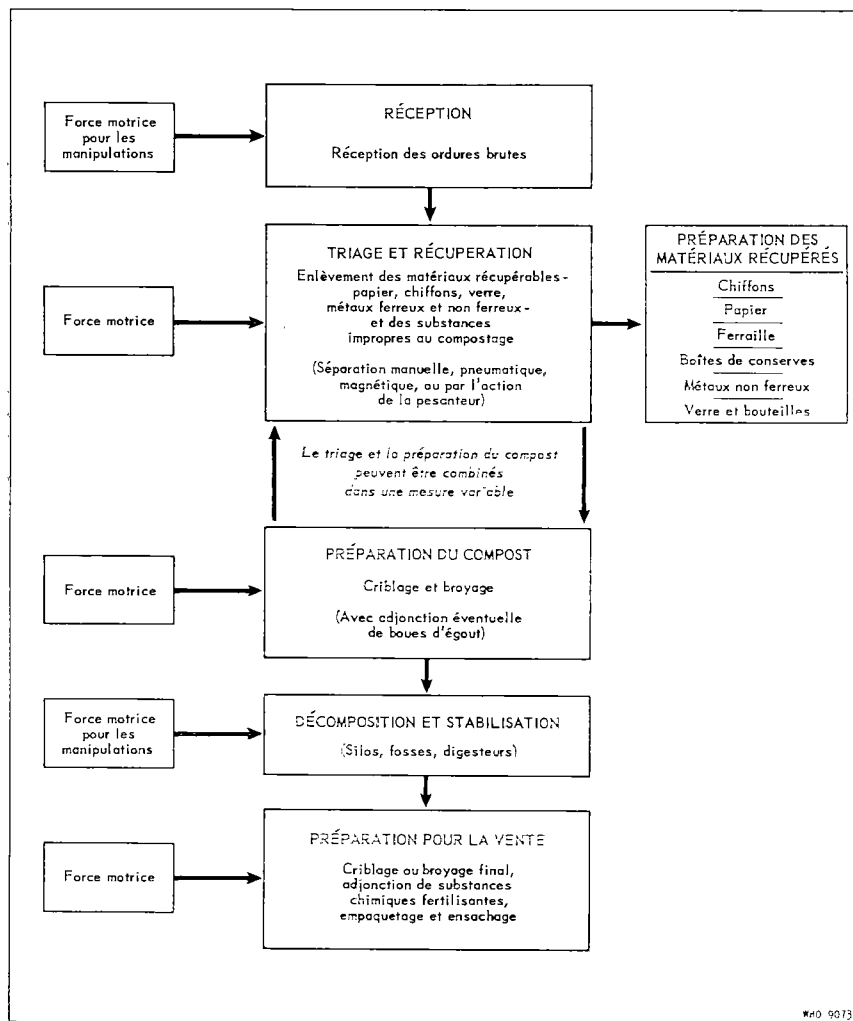
Les phases du traitement dans les usines

Les ordures mélangées contiennent jusqu'à 35 % de matériaux récupérables et impropres au compostage, tels que métaux ferreux et non ferreux, chiffons, débris de verre et de porcelaine, etc., qu'il est nécessaire d'enlever. Dans quelques villes, un certain tri s'effectue à la source par l'emploi de boîtes à ordures domestiques différentes pour les matières organiques et pour les objets métalliques, débris de verre, etc. Néanmoins, il est en général nécessaire de prévoir un triage à l'usine. En effet, il est difficile d'obtenir de particuliers qui n'y ont pas été habitués qu'ils séparent les deux catégories de rebuts. En outre, il est douteux que, même au prix d'un contrôle rigoureux, on arrive à éviter des infractions occasionnelles susceptibles d'endommager gravement certains types de machines qui, si ce risque n'existait pas, pourraient être employées avec d'excellents résultats pour le broyage d'ordures déjà triées.

Les ordures urbaines contiennent des substances organiques qui, par leur volume ou leur nature, se prêtent mal à la décomposition bactérienne. Le déchiquetage et le broyage remédient à cet inconvénient en déchirant les gaines ou les surfaces résistantes de certaines substances végétales et en augmentant la superficie exposée par le morcellement d'objets volumineux, tels que catalogues ou revues. Cette opération prépare donc les ordures pour un compostage plus rapide.

Les différentes opérations intervenant dans les grandes usines de préparation du compost sont : 1) la réception des ordures ; 2) le triage et la préparation des matériaux récupérables pour la vente ; 3) la préparation du compost (déchiquetage, pulvérisation ou criblage) pour faciliter la décomposition ; 4) la décomposition ou la stabilisation qui permettront de réduire le rapport C/N, de détruire les germes pathogènes, les parasites et les graines de mauvaises herbes et d'empêcher le pullulement des mouches ; 5) la préparation du produit fini pour la vente (broyage ou tamisage final

FIG. 16. DIAGRAMME MONTRANT LE CHEMINEMENT DES PRODUITS DANS UNE USINE DÉPENDANT D'UNE GRANDE VILLE



et mise en sac). Le traitement final, qui détermine la finesse du grain, les qualités fertilisantes et le conditionnement de l'humus stabilisé est d'une importance particulière dans les grandes exploitations dont le produit est vendu à différents usages.

La figure 16 montre les phases successives du travail, le cheminement des matériaux et les opérations comportant une consommation d'énergie. Les figures 17 et 18 schématisent divers agencements possibles des lieux et du matériel. Comme on le verra à propos de chaque opération distincte, plusieurs méthodes peuvent convenir à une usine donnée, et l'on peut imaginer encore d'autres dispositions qui permettent d'obtenir le produit souhaité de la manière la plus économique suivant les exigences de la situation (matières premières, coût de l'outillage et besoins en force motrice).

La réception des ordures

Les ordures sont généralement amenées à l'usine en lots de deux à six tonnes par véhicule. Les installations de réception doivent être telles qu'on puisse admettre et entreposer les matières au fur et à mesure de leur arrivée, en réduisant au minimum la durée du déchargement et avec un dégagement rapide des camions vides. La capacité de stockage à l'arrivée doit permettre de faire face aux périodes de pointes. Dans les usines qui traitent plus de trente à quarante tonnes par jour, les trémies recevant les ordures doivent avoir une contenance suffisante pour emmagasiner de 25 à 50 % de la quantité quotidienne en attendant le triage et le broyage. Lorsque le ramassage des ordures se fait une seule fois par jour, des dispositions doivent être prises pour entreposer une fraction importante de la collecte quotidienne, qui sera traitée pendant la partie de la journée où il n'y a pas d'arrivages.

Le nombre de places à prévoir pour le déchargement simultané des camions dépendra *a)* du nombre total de camions amenant les ordures ; *b)* de la possibilité d'organiser l'horaire des collectes de manière à échelonner les arrivages à l'usine sur une à trois heures ; *c)* du débit des installations de déchargement.

Entre autres agencements utilisables pour recevoir, décharger et entreposer les matières premières en attendant leur traitement, on peut adopter le dispositif suivant. Les ordures sont déversées dans une grande trémie aboutissant directement à un transporteur sans fin à lamelles d'acier dont on peut régler la vitesse. Le transporteur monte les ordures et après les avoir fait passer sous un pont de hauteur réglable les dépose sur un tapis roulant qui sert de plateforme de triage en même temps qu'il achemine les matières vers les cribles ou les broyeurs. Le pont réglable empêche l'arrivée jusqu'au tapis roulant des gros amas qui ne pourraient pas être facilement triés. La trémie doit être disposée dans une fosse ou sous une

FIG. 17. TRAITEMENT DES ORDURES D'UNE GRANDE VILLE

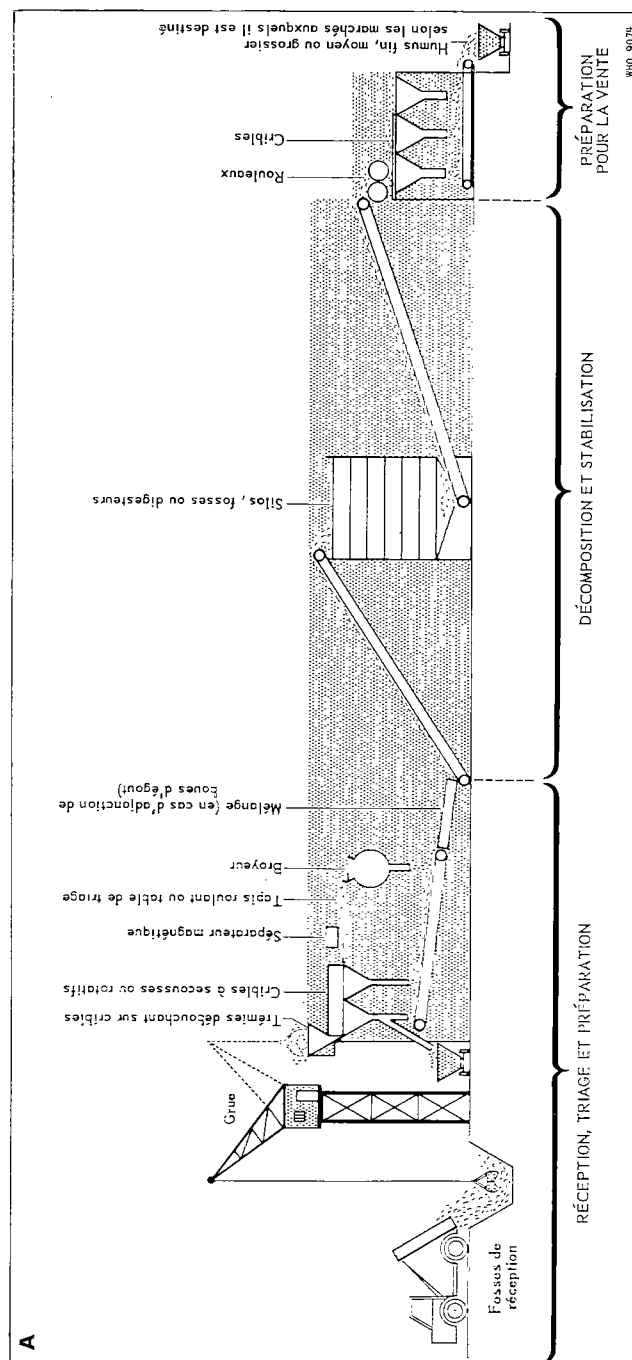
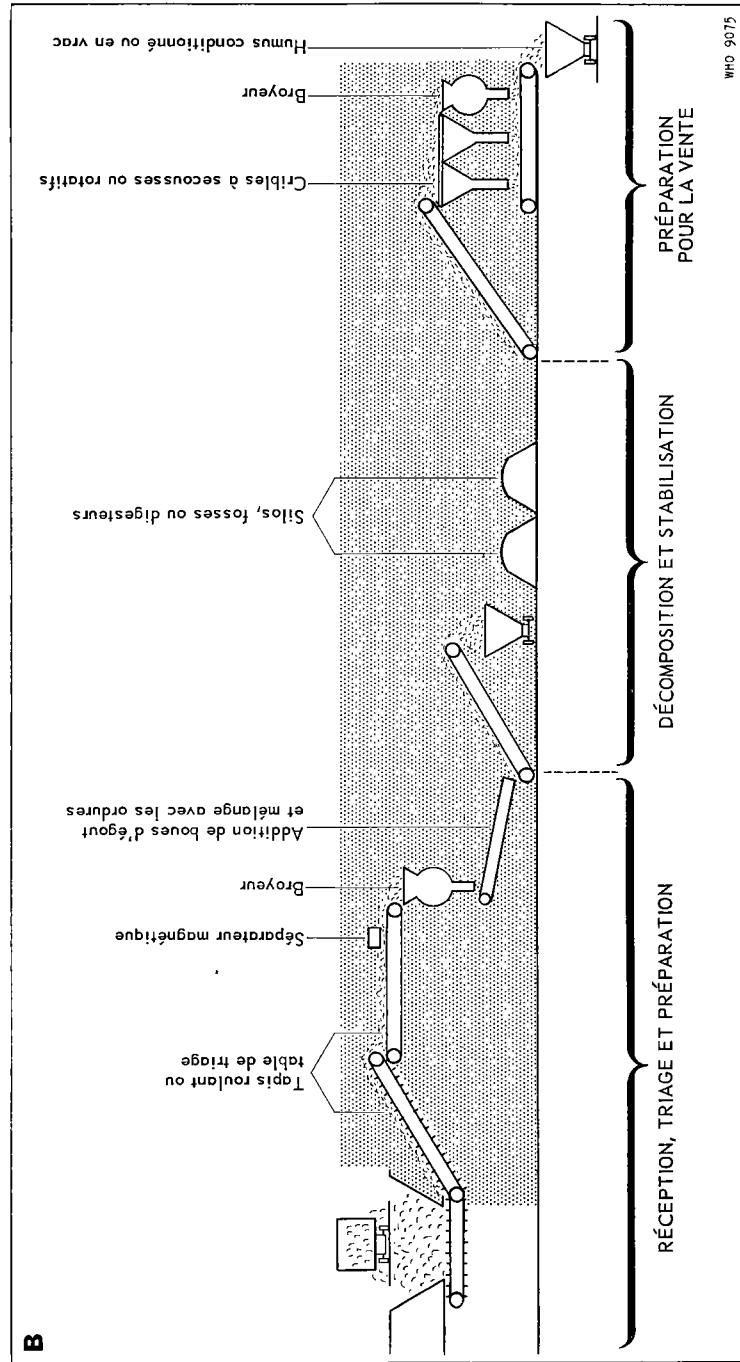


FIG. 18. TRAITEMENT DES ORDURES D'UNE GRANDE VILLE



rampe de façon que les camions puissent passer directement au-dessus pour y vider leur charge. Grâce à ce système, les bennes basculantes n'ont pas besoin de faire marche arrière pour le déchargement et le temps nécessaire pour cette opération est considérablement réduit. Cet avantage permet de réduire à 5 ou 10 % du parc de camions le nombre des emplacements utilisables simultanément pour le déchargement.

Une autre méthode consiste à décharger les camions dans une ou plusieurs cuves ou trémies. Les ordures sont ensuite enlevées par une grue à benne preneuse ou par une courroie transporteuse qui les dépose dans une trémie située à un niveau plus élevé, d'où elles passent sur des tables de triage puis dans les cribles ou les broyeurs. Avec un tel dispositif, surtout lorsqu'on utilise une grue à benne preneuse, les camions ne peuvent pas passer directement au-dessus des trémies pour y vider leur charge ; ils doivent donc se présenter en marche arrière et il faut prévoir un nombre de places qui permette de décharger simultanément 10 à 20 % du parc, selon le rythme de la collecte des ordures. Toutefois, comme la fosse de réception doit être très grande pour contenir les matières en attente, l'espace nécessaire peut être aménagé autour d'elle sans dépenses excessives.

Le procédé Dano pour le triage et le broyage utilise un tambour rotatif dans lequel on décharge les ordures — opération qui s'effectue dans les petites usines. Tournant lentement dans le tambour, les matières sont aérées et subissent par frottement une mouture assez fine. Ce tambour peut servir d'entrepôt pour 20 à 50 % des livraisons quotidiennes. L'appareil effectue deux tours par minute. Comme il serait onéreux d'y brasser de grandes masses d'ordures, la charge doit être limitée ; en conséquence, le rythme d'arrivée des camions devra se rapprocher davantage de la cadence des opérations de tri et de broyage. On peut aussi utiliser une cuve d'attente d'où les ordures seront acheminées vers le tambour par une courroie transporteuse, ce qui permet de réduire ce dernier au volume le plus économique. Dans certaines exploitations moins importantes, on a renoncé à ce premier broyage et les ordures sont directement versées dans un broyeur Egsetor qui ne sert en principe qu'à parfaire ce travail.

Étant donné que les ordures contiennent en général beaucoup de poussières ou de cendres, les trémies et la courroie transporteuse doivent être installées de préférence dans le même bâtiment que les appareils de triage et de broyage, pour réduire les quantités en suspension dans l'air. On peut les éliminer en faisant passer l'échappement d'air dans un séparateur cyclone. La teneur en poussières est susceptible de varier entre 45 et 90 kg pour 100 tonnes d'ordures. Les poussières récupérées peuvent être ensuite ajoutées aux matières compostables.

Les installations servant à la réception doivent pouvoir se vider entièrement et être facilement lavables en cas de besoin, afin d'assurer une plus grande propreté et d'empêcher que des fragments d'ordures demeurent au fond et attirent les mouches.

Tri et préparation des matériaux récupérables

Dans les petites installations, le tri des papiers, chiffons, métaux non ferreux et objets volumineux s'effectue généralement à la main avec l'aide de quelques dispositifs mécaniques. Dans les grandes usines, cette opération est entièrement mécanisée ; il suffit alors d'un ou de deux hommes pour surveiller et pour enlever à la main les objets insolites pour lesquels les installations n'ont pas été prévues. Les gros troncs d'arbres, les matelas, les sommiers métalliques, les pièces de carrosserie d'automobile, les gros rouleaux de fil de fer, les voitures d'enfant, etc... doivent être enlevés à la main. Ces objets hétéroclites sont en général mis à part dans les bennes collectrices et n'arrivent pas dans les trémies avec les ordures. Lorsque le reste du triage est manuel, il se fait sur une courroie transporteuse ou sur une table rotative, avant ou après le passage sous le séparateur magnétique qui enlève les métaux ferreux. Dans certaines usines, le séparateur magnétique est placé au début de la chaîne, afin que l'ouvrier trieur puisse enlever les débris métalliques recouverts qui auraient échappé à l'électro-aimant ; l'ouvrier peut alors faire un meilleur travail, car il n'est pas obligé de manipuler de grandes quantités de boîtes de conserves éparses. Dans d'autres usines, par contre, le séparateur magnétique est placé à la fin de la chaîne, afin que les ordures demeurées sur la courroie ou sur la table soient suffisamment étalées et que les petits fragments de métaux aient moins de chance d'échapper. Les différents matériaux récupérables sont poussés ou jetés dans des caisses ou des trémies distinctes ; ils sont ensuite retirés et préparés pour la vente : mise en balle des papiers et des chiffons, passage à la presse des métaux ferreux, lavage du verre, triage des métaux non ferreux. Dans la plupart des villes, la vente des matériaux récupérés à l'occasion du compostage peut amener des rentrées de fonds dépassant largement le coût du triage, et constituer ainsi un facteur économique important de l'opération.

Avec l'enlèvement magnétique des métaux ferreux, un seul ouvrier peut trier pour la récupération un volume d'ordures variant de 30 à 60 tonnes par jour, selon la nature de la matière première, la quantité de produits récupérables, l'efficacité et l'agencement des installations de triage.

Etant donné le coût de la main-d'œuvre, il est généralement préférable d'utiliser, dans les grandes exploitations, un outillage mécanique plus important. Après l'enlèvement des objets volumineux, les ordures passent sur des cribles rotatifs ou à secousses, qui éliminent les matières fines telles que les cendres et les débris d'ordures ménagères ou d'autres substances organiques. De cette manière, toutes les parcelles d'une dimension inférieure à 2,5-5 cm, et même de plus grandes, peuvent être enlevées avant la séparation des matières impropres au compostage ou récupérables. On peut prévoir une série de cribles ayant des ouvertures de deux ou trois

dimensions différentes, de telle sorte que les matières très fines — moins de 6 à 12 mm — soient éliminées d'abord ; elles pourront être, dans certains cas, vendues à des maraîchers pour servir de fumure de surface, au lieu d'être mises à composter avec le reste. Les matériaux récupérables sont pour la plupart retenus par les cribles aux mailles les plus larges ; les métaux ferreux peuvent en être extraits facilement par un électro-aimant et les papiers et chiffons par aspiration ; les débris de verre et les métaux non ferreux sont enlevés et déposés dans des trémies. Les matières compostables retenues par les cribles mais de dimensions trop grosses sont habituellement transportées dans un broyeur ; on peut aussi les rejeter et les faire enlever en même temps que les petites quantités de résidus non récupérables et impropres au compostage, tels que les débris de porcelaine ou les morceaux de béton, qui sont utilisés comme matériau de remblayage. Les différents lots de matières destinées au compostage sont alors rassemblés de nouveau et le tout est acheminé vers les fosses ou les tas où la stabilisation doit avoir lieu.

Si l'on désire éliminer les escarbilles, les éclats de verre et les cailloux qui n'ont pas été retenus par les cribles, on peut faire tomber les ordures sur une courte bande transporteuse à inclinaison transversale réglable. Les objets durs et lourds rebondissent et sont reçus dans une trémie tandis que les matières organiques restent sur la courroie et vont rejoindre la masse à composter. Les escarbilles, les cailloux et les débris de verre peuvent servir à la fabrication d'agglomérés pour l'industrie du bâtiment.

Pour éliminer ces mêmes particules denses, on peut aussi faire passer les matières retenues par le crible sur un cylindre rotatif muni de planchettes dépassant de 2 à 4 cm. Par suite de la différence de densité entre les fragments inorganiques et les débris organiques, ces derniers tomberont à faible distance du cylindre, tandis que les premiers seront projetés plus loin dans une trémie. On peut encore utiliser un violent courant d'air qui entraînera les matières organiques, tandis que les débris de verre et les cailloux seront retenus en raison de leur poids.

Dans les petites usines municipales, on peut effectuer le triage et le criblage en déchargeant les ordures amenées par les camions sur une plateforme faite de barreaux espacés de manière à laisser tomber les matières fines dans une trémie placée au-dessous. Le triage et la récupération se font à la main sur la plateforme et le résidu est chargé à la pelle dans le broyeur. Cette méthode ne serait pas économique pour des quantités d'ordures dépassant 20 à 25 tonnes par jour.

On voit que le triage et la préparation initiale en vue du compostage peuvent être groupés en une seule opération. Si l'on utilise les machines râpeuses VAM et la méthode de broyage Dano, un même dispositif assure le tri et le broyage et les matériaux subissent ainsi un premier morcellement avant la récupération de la ferraille.

Préparation pour le compostage (broyage)

Les matières organiques se décomposent plus rapidement et dans des conditions plus satisfaisantes lorsque les particules ne dépassent pas 5 cm environ. Certains producteurs éliminent les morceaux trop gros et procèdent ensuite au compostage sans broyer. La décomposition des masses volumineuses exige plus de temps car les bactéries ne peuvent pas les attaquer avec la même facilité. Seabrook,⁶⁹ à Tacoma (Etat de Washington), a obtenu du compost en 4 à 8 semaines à partir d'ordures mélangées non broyées. Une petite quantité de produit fini était retenue par un crible de 4 cm, mais la décomposition avait suffisamment modifié la structure des ordures pour que la plus grande partie puisse passer à travers un crible de 15 mm, et 90 % de cette fraction auraient même pu traverser un crible de 6 à 10 mm. Les matériaux retenus par le crible de 15 mm retournaient au compostage en mélange avec des ordures brutes.

On a constaté que le compost obtenu est meilleur lorsque les ordures sont préalablement broyées pour éliminer les parcelles les plus volumineuses. Pour obtenir les dimensions maximums voulues, on peut, soit mettre à part les matières plus fines pour ne broyer que les fragments trop grossiers, soit faire passer le tout dans un broyeur.

Si la préparation des fragments volumineux en vue du compostage ne vise qu'à obtenir un broyat grossier (morceaux de 5 cm), il convient d'utiliser des machines à dilacérer ou à hacher. Si les particules doivent avoir 2,5 cm ou moins, il est préférable d'utiliser un broyeur à marteau ou d'un autre type, ou encore une machine râpeuse. Les ordures brutes sont fortement abrasives ; elles le sont beaucoup moins après décomposition et peuvent alors être plus facilement pulvérisées pour obtenir un produit fin (13 mm ou moins). Les fragments grossiers mis à composter seront en grande partie morcelés par les retournements et autres manipulations, de sorte qu'une proportion considérable du compost passera à travers des cribles de 6 à 12 mm.

La finesse du grain à donner au départ dépend de la nature de l'appareillage utilisé pour le broyage final avant la mise en vente. Si c'est un broyeur à marteau, on peut se contenter à l'origine d'une mouture assez grossière. Au contraire, si le compost stabilisé doit passer d'abord entre des rouleaux servant à dissocier les mottes puis à travers des cribles, le broyage initial devra réduire les ordures en fragments ne dépassant pas 2 cm environ si l'on veut obtenir un produit fini suffisamment fin.

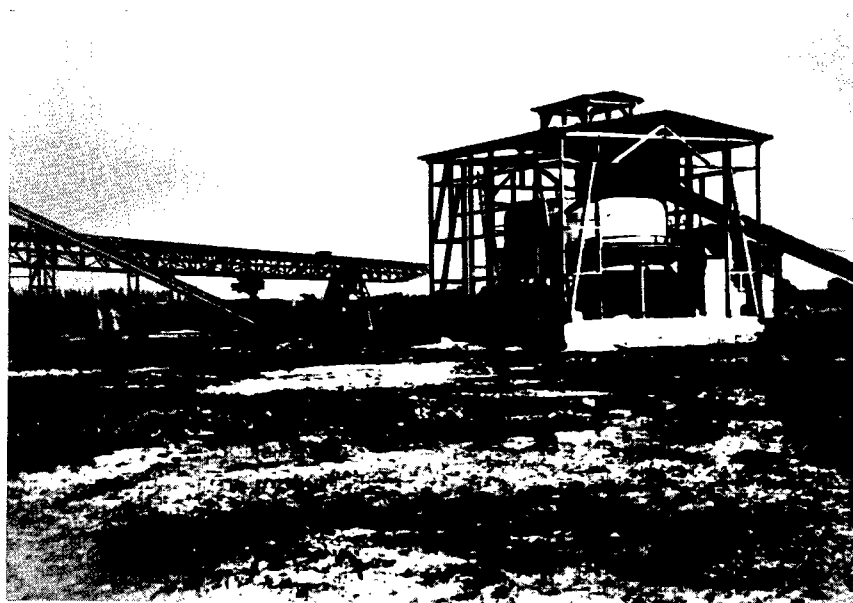
Un criblage préalable au broyage permet de réduire considérablement la quantité des matériaux à morceler.

Les installations de broyage des ordures brutes devront avoir une capacité suffisante pour traiter pendant l'horaire normal de travail une quantité égale aux plus fortes livraisons quotidiennes à l'usine. Les usines qui opèrent sur plus de 30 à 50 tonnes par jour doivent être pourvues

de plusieurs broyeurs ou de plusieurs jeux de cribles afin que la production ne soit pas interrompue en cas de panne ou pendant les travaux d'entretien. S'il s'agit d'une exploitation où le travail se fait en deux ou trois équipes avec stockage provisoire des ordures brutes, un matériel de secours doit être prévu pour que les travaux d'entretien et de réparation des machines puissent s'effectuer sans interrompre la suite des opérations. On peut aussi utiliser le même type de machine pour le broyage initial et la pulvérisation finale, de cette façon les pièces sont interchangeables ; en outre, le broyeur final peut servir au broyage initial et vice versa, lorsque l'un ou l'autre de ces appareils est en réparation. La charge maximum du broyeur final est essentiellement saisonnière, comme la demande de compost ; il est donc souhaitable de prévoir une certaine souplesse dans l'emploi des installations. Les petites usines peuvent être conçues de manière à utiliser la même machine pour les opérations initiales et finales de broyage.

Le broyage et le criblage peuvent dégager de la poussière ; ils doivent donc s'effectuer dans des emplacements bien aérés. Un séparateur cyclone pourra être utilisé pour éliminer les poussières contenues dans l'air expulsé par l'usine.

FIG. 19. MACHINE RÂPEUSE VAM A L'USINE DE COMPOSTAGE DE HEIDELBERG (ALLEMAGNE)



Reproduit avec l'aimable autorisation de
M. B. H. Dieterich, Institut für Gesund-
heitstechnik, Stuttgart

Il existe différents types de broyeurs. Le broyeur avec marteaux à chute libre donne des résultats satisfaisants ; il a l'avantage que ces marteaux se brisent moins facilement lorsqu'un boulon ou quelque autre objet résistant pénètre dans l'appareil, si bien que de telles pièces peuvent souvent traverser le broyeur sans causer de dégâts à l'intérieur.

FIG. 20. INTÉRIEUR DE LA MACHINE RÂPEUSE VAM



Reproduit avec l'aimable autorisation de
M. W. A. G. Weststrate, N. V. Vuilafvoer
Maatschappij, Amsterdam

La machine râpeuse mise au point par la VAM⁸⁹ aux Pays-Bas est utilisée dans certaines usines de compostage de ce pays et d'Allemagne (fig. 19 et 20). Elle existe en plusieurs modèles d'une capacité allant de 5 à 15 tonnes par heure. Elle se compose d'une base horizontale formée de plaques râpeuses alternant avec des cribles dont les trous laissent passer des fragments de 2,5 cm au maximum. Des bras rotatifs frottent les ordures brutes sur ce fond. Les morceaux volumineux sont réduits par râpage en petites parcelles qui passent à travers les cribles. Les râpes sont constituées par des dents rectangulaires d'acier au manganèse soudées en quinconce sur une tôle, séparées par des intervalles d'environ 5 cm et dépassant de 4 cm. Elles doivent être remplacées environ tous les ans. Les déchets

métalliques ayant échappé au triage manuel se rassemblent progressivement à la périphérie, où ils peuvent être enlevés. Les débris de verre sont broyés ou écartés lorsqu'ils sont trop volumineux. Cette machine, de construction robuste et n'utilisant que des mécanismes à mouvement lent, exige peu d'entretien.

FIG. 21. BROYEUR DANO DIT «EGSETOR»



Reproduit avec l'aimable autorisation de la
Compagnie Dano, Copenhague

Le broyeur Dano, dit « Egsetor », est une sorte de tambour qui effectue 12 tours par minute autour de son axe (fig. 21). Des barres d'acier trempé à surface rugueuse sont disposées à environ 0,7 m à l'intérieur de l'enveloppe extérieure du tambour, et un crible ou un tamis est disposé entre les barres et cette enveloppe. Les fragments tournant dans le tambour frottent les uns contre les autres et contre les barres rugueuses, ce qui réduit leurs dimensions par râpage. Lorsque leur volume est devenu suffisamment faible, ils tombent entre les barres et traversent le crible. L'enveloppe extérieure porte une ouverture par laquelle les ordures broyées tombent

sur un transporteur qui les amène aux tas de compost. La consommation d'énergie de l'appareil serait d'environ 6 kilowatts-heure par tonne d'ordures. Les objets métalliques sont enlevés à la main avant le broyage. Les matériaux ayant échappé au triage initial et retenus par les cribles peuvent être facilement extraits du broyeur. Le nouveau *Bio-stabilizer* Dano, dont on trouvera une description plus loin (voir page 139), utilise à la fois la décomposition biologique et l'abrasion pour réduire la dimension des fragments au cours même de la stabilisation.

Certains autres types d'appareils de broyage ont été adaptés aux besoins des usines de compostage. La Compost Corporation of America a mis au point une installation qui permet d'effectuer cette opération en même temps que le triage ; il semble qu'elle exige peu d'entretien et que sa consommation d'énergie soit faible.

Lorsqu'on mélange aux ordures des boues d'égouts digérées ou non, on les ajoute en quantité voulue après le criblage et le broyage, au moment où les matières déjà préparées sont rassemblées et transportées vers l'emplacement de compostage. Le mélange des boues d'égouts et des ordures s'effectue dans un tambour rotatif ou dans un cylindre fixe traversé par une vis sans fin. Les boues peuvent se présenter sous forme de gâteau déshydraté ou de liquide. La quantité ajoutée dépend de l'humidité des boues et de celle des ordures. L'humidité du mélange ne doit pas dépasser 70 % environ, car une masse très mouillée exige une aération plus fréquente. Habituellement, 5 à 15 litres de boues liquides brutes ou d'eaux usées domestiques contenant approximativement 10 % d'éléments solides, peuvent être mélangées avec 30 dm³ environ d'ordures assez sèches, sans que la masse ainsi obtenue devienne détrempée. Les gâteaux de boues peuvent être ajoutés en très grande quantités et ils peuvent même être mis en compostage aérobique sans addition d'ordures, lorsque leur degré d'humidité est inférieur à 70 %.

A Kirkconnel (Dumfries, Ecosse), on laisse des boues liquides s'écouler à travers les ordures, et l'on ajoute jusqu'à 3,3 parties de boues liquides à une partie d'ordures compostables.⁹⁴ On obtient de la sorte un mélange détrempé qui est mis en compostage dans des cuves parcourues par un courant d'air pulsé. Lorsque l'humidité des matières est trop faible pour assurer le compostage dans les conditions les plus satisfaisantes (c'est-à-dire lorsqu'elle est inférieure à 40 %), on peut ajouter de l'eau aux matières criblées et broyées au moment où elles sont rassemblées pour être acheminées vers l'emplacement de compostage.

Décomposition et stabilisation

Le rythme de l'acheminement des matières préparées vers l'emplacement où s'opéreront la stabilisation et le compostage doit être réglé en fonction de la méthode de compostage adoptée. Le transport peut se faire dans des

bennes basculantes tractées ou automotrices, sur des courroies transporteuses ou par des ponts roulants. Dans la pratique, ce sont les bennes tractées et les courroies transporteuses qui se sont révélées les plus économiques.

Pour le compostage des ordures urbaines, toutes les méthodes connues de compostage ont été préconisées et utilisées : fosses ou cuves ; silos ou meules ; cylindres digesteurs verticaux ou horizontaux avec aération mécanique.

Compartiments ou fosses. Les fosses ou cuves usuelles, généralement pourvues d'un fond poreux pour permettre le drainage et l'aération, n'admettent pas assez d'air et se prêtent mal au retournement mécanisé. C'est pourquoi l'emploi des fosses pour le compostage des grandes quantités d'ordures urbaines est assez rare. On peut néanmoins les aménager de façon à augmenter l'efficacité du retournement mécanique. Ainsi, on pourrait construire un long compartiment large de 2 à 3,5 m et profond de 1,2 m et l'équiper de fourches mécaniques montées sur les parois et le traversant dans toute sa largeur. On déverserait les ordures brutes à une extrémité et elles seraient poussées vers l'autre par le mouvement des fourches mécaniques, mises en marche à des intervalles appropriés. Les ordures se trouveraient ainsi transformées en compost au moment où elles parviendraient à la sortie de la fosse. On peut encore utiliser pour le retournement mécanique une benne à fourche tirée par une dragline : une grue auto-propulsée se déplaçant perpendiculairement à une rangée de fosses du côté de la sortie pourrait retourner le compost en le ramenant vers elle. Le principal avantage des fosses est que les ordures risquent moins de s'éparpiller que quand elles sont en tas ; d'autre part, quand la masse est rendue très humide par l'addition d'une quantité excessive de boues d'égouts, le drainage est plus facile. A l'heure actuelle, les fosses sont surtout utilisées par les petites exploitations et le retournement se fait en général à la main. Il est assez douteux que le compostage en fosses puisse être rendu aussi économique que la méthode des silos.

Le système des compartiments ou des fosses est utilisé dans une usine mécanisée de Dumfries,⁹⁴ dans le procédé Beccari⁷ en Italie et dans le procédé Verdier⁷⁷ en France ; il sert également au compostage rural dans l'Inde.¹

Silos. La méthode la plus fréquemment employée pour obtenir la décomposition et la stabilisation des ordures consiste à les disposer en silos relativement peu compacts, sur un terrain assez uni et bien drainé, de manière à pouvoir les retourner facilement pour les aérer et exposer toute la masse à des températures élevées. La largeur et la hauteur des tas sont très variables suivant la nature des matières utilisées (voir page 58).

Pour les opérations mécaniques de retournement, on peut adapter à cette tâche particulière les divers types d'appareils décrits aux pages 70-71.

Etant donné que la décomposition amène une diminution de volume de 40 à 60 % et plus suivant la nature des ordures brutes, les appareils auto-propulsés fonctionnant sur le principe de l'« over-cab loader » ou de la pelle rotative devront être munis d'un dispositif permettant de rétablir le profil au fur et à mesure. Quant aux bulldozers, draglines ou ameulonneuses, ils reconstituent eux-mêmes les tas.

Bien qu'il soit généralement nécessaire de retourner 2 à 4 fois, selon le degré d'humidité et la composition des ordures, certaines usines obtiennent un résultat relativement satisfaisant avec une ou deux manutentions. Toutefois, la durée du compostage s'en trouve accrue et l'on n'arrive pas à entretenir aussi bien une température uniforme d'environ 60°C. Le dégagement d'odeurs ou la baisse de la température avant l'achèvement du processus indiquent qu'une aération est nécessaire (voir page 68).

La pluie ne risque pas de pénétrer profondément dans les silos ; cependant, si les matières ne sont pas disposées sur un socle mais sur un sol insuffisamment drainé, la viscosité du terrain et la boue pourront gêner l'action des machines utilisées pour le retournement. Cette opération ne doit jamais s'effectuer sous la pluie.

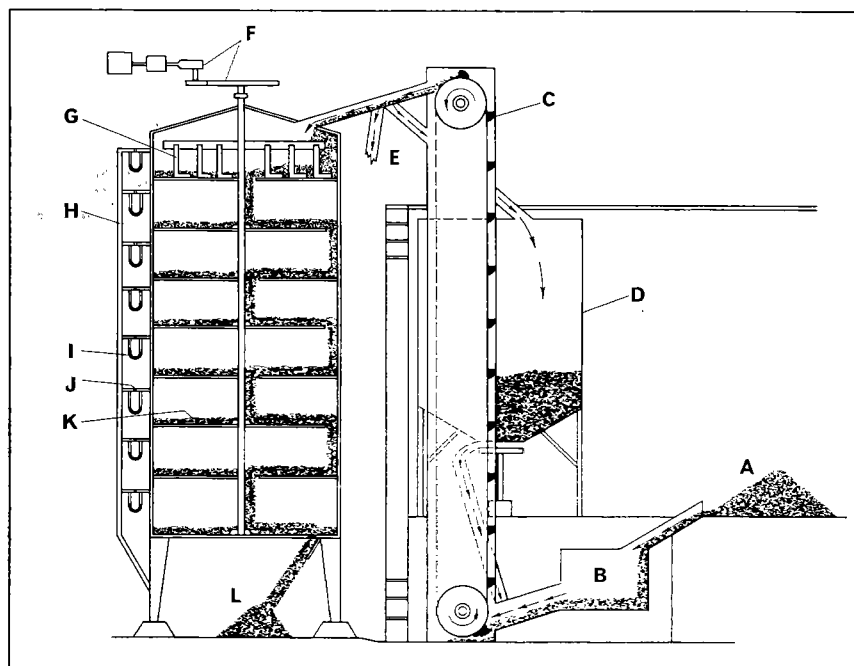
Grâce aux propriétés isolantes des ordures, il n'y a pas lieu de craindre une déperdition rapide de chaleur dans les silos, dont les dimensions peuvent d'ailleurs être adaptées aux conditions de climat (voir pages 59 et 72).

Lorsque les matières entassées sont relativement stabilisées, elles peuvent être rassemblées en grandes meules sur l'emplacement de compostage à proximité des installations de broyage final ; elles y demeureront en attente de conditionnement pour la vente. Les rangées de silos d'ordures en compostage peuvent être disposées de telle façon que le retournement les rapproche de l'emplacement où aura lieu leur traitement final, ce qui permet de réduire le coût de la manutention.

La surface à réserver au compostage proprement dit n'est pas considérable, mais les rangées de silos doivent être suffisamment espacées pour que les appareils de retournement puissent se déplacer soit entre elles, soit à cheval sur elles. La dernière manutention peut être organisée de manière à amener le compost sur une grande meule où une certaine stabilisation complémentaire se poursuivra jusqu'au moment du conditionnement final. On estime qu'une usine traitant en silos des ordures diverses ou un mélange d'ordures et de boue d'égouts aura besoin de 0,8 à 2,4 ha, pour 100 000 habitants, selon la quantité de déchets par habitant, la nature de ces ordures, les conditions de climat, le type de machines utilisées pour le retournement et la capacité de stockage nécessaire. Pour de plus grandes exploitations, la surface requise par habitant serait moindre. En calculant sur la base du tonnage traité par jour, les 50 premières tonnes demanderaient une surface minimum d'environ 0,6 ha, pour les bâtiments, les installations et les voies d'accès, plus 0,4 ha pour l'aire de compostage proprement dite. Pour chaque tranche supplémentaire de 50 tonnes, il faut

ajouter 0,1 ha pour les bâtiments et les voies d'accès, et environ 0,4 ha pour l'aire de compostage. Si l'usine travaille en deux ou trois équipes par jour, la superficie requise pour les bâtiments serait moindre. Avec des machines se déplaçant à cheval sur les rangées pour les retourner, l'aire de compostage pourra être un peu plus petite que les chiffres ci-dessus ; elle devra être un peu plus grande si les machines se déplacent entre les rangées. Ainsi donc, pour une exploitation traitant 300 tonnes d'ordures par jour et observant un horaire de travail normal, la surface nécessaire serait d'environ 3,5 ha. Au moment de la création d'une usine, il conviendra d'acquiescer les terrains qui pourraient être nécessaires au développement et à l'extension ultérieurs de l'entreprise.

FIG. 22. DIAGRAMME D'UN DIGESTEUR DE GRANDE CAPACITÉ UTILISÉ A LANSING (MICHIGAN) *



* D'après Snell,⁷² avec l'autorisation des éditeurs du *Consulting Engineer*

- | | |
|------------------------------------|------------------------|
| A = Triage des ordures | G = Socs |
| B = Broyeur | H = Canalisation d'air |
| C = Transporteur à godets | I = Manomètre |
| D = Réservoir de stockage | J = Plateau perforé |
| E = Couloir de dérivation | K = Etages |
| F = Mécanisme assurant la rotation | L = Compost |

Les ordures brutes sont portées par un transporteur à godets vers le réservoir de stockage et de séchage et de là au sommet du digesteur d'où elles glissent lentement sur les étages successifs de l'appareil.

Le système des rangées de silos donne une certaine souplesse d'exploitation, car il permet de modifier les méthodes de travail sans apporter de coûteuses transformations de structure. Le retournement peut se faire pendant 8, 16 ou 24 heures par jour. La surface nécessaire n'est pas considérable et l'équipement est relativement peu onéreux. Combinée avec l'aération par retournement, cette méthode semble être la plus économique pour le compostage de grandes quantités d'ordures.

FIG. 23. USINE D'ESSAI EMPLOYANT UN SILO MÉCANISÉ
AU MICHIGAN STATE COLLEGE

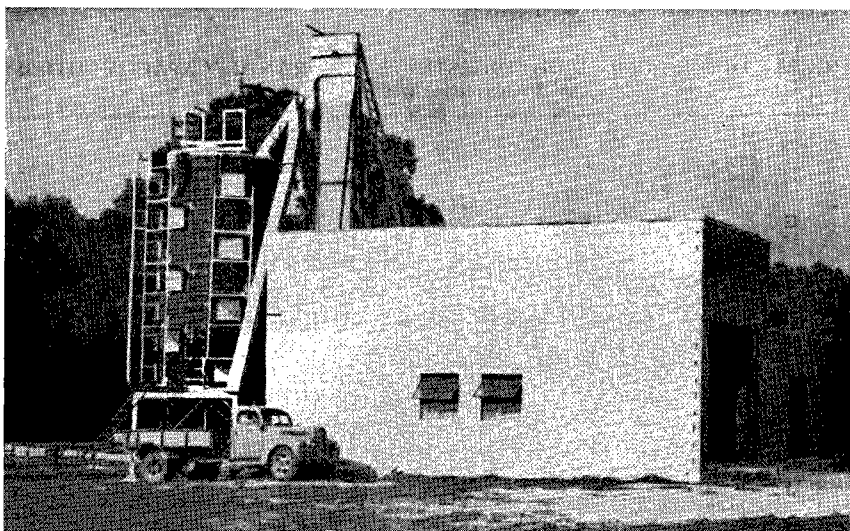


Photo obligeamment communiquée par le
Professeur J. R. Snell, Michigan State
College, Lansing, Mich.

Digesteurs mécanisés, verticaux ou horizontaux. Diverses organisations se sont vivement intéressées à la mise au point de machines qui évitent de retourner et de brasser le compost pendant la période de décomposition, et permettent d'introduire les ordures pulvérisées par l'une des extrémités et d'extraire le compost fini à l'autre extrémité. Divers modèles brevetés de digesteurs mécaniques ont été construits et mis à l'essai. Dans les digesteurs mécanisés conçus par Earp-Thomas, Frazer & Eweson, Snell, Hardy, etc., les ordures broyées sont introduites par le haut (voir fig. 22 et 23) puis, à mesure qu'elles descendent d'étage en étage jusqu'à la sortie de la machine, elles sont aérées par ventilation forcée, par agitation au moyen de bras rotatifs ou encore par les deux procédés à la fois. Le digesteur est à fonctionnement continu ; les ordures brutes y sont introduites et l'humus stabilisé en est extrait quotidiennement.

Le *Bio-stabilizer* Dano (fig. 24, 25 et 26), qui semble être un digesteur efficace, consiste en un long tambour rotatif en acier rappelant un four à ciment et incliné de 5° sur l'horizontale. Les ordures sont déversées par les camions dans une trémie dont on retire les objets tels que ressorts de sommiers, tuyaux et troncs d'arbres, qui sont trop volumineux pour passer

FIG. 24. USINE UTILISANT LE « BIO-STABILIZER » DANO
A RÜSCHLIKON (ZÜRICH, SUISSE)

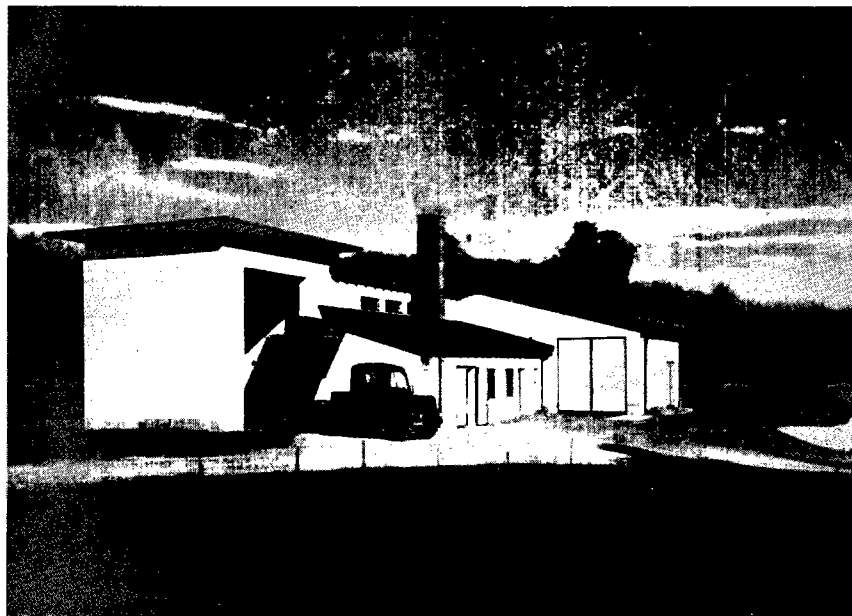


Photo obligeamment communiquée par la
Dano Corporation, Copenhague, Danemark

dans l'appareil. Si l'on désire récupérer les papiers et les chiffons, il faut également les extraire de la trémie. Les ordures qui y demeurent — y compris les boîtes de conserves, le verre, les os et les objets de caoutchouc comme les snow-boots — sont ensuite introduites dans le *Bio-stabilizer* par une vis d'Archimède après avoir été additionnées de boues d'égouts le cas échéant et d'eau si elles sont trop sèches.

Le tambour dont la capacité permet une rétention de 3 à 5 jours, tourne à raison de 1,5 à 5 tours par minute. Ce mouvement fait progresser les ordures, qui sont aérées par deux rangées d'injecteurs d'air disposées le long du tambour ; l'anhydride carbonique et l'air vicié s'échappent par des événements. Les matières décomposables sont en majeure partie désintégrées à la fois par l'effet abrasif des frottements entre particules tournant

FIG. 25. « BIO-STABILIZER » DANO

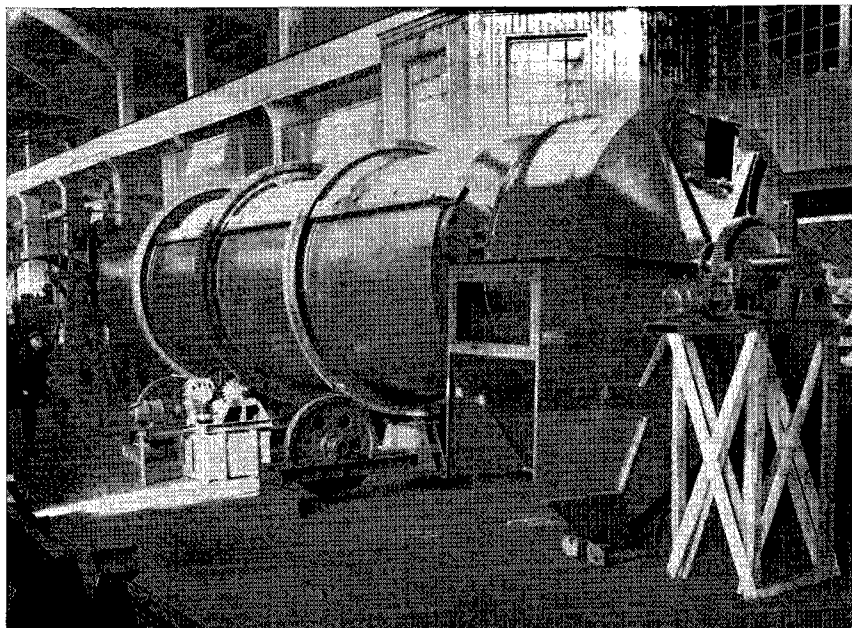


Photo obligeamment communiquée par la
Dano Corporation, Copenhague, Danemark

dans le tambour et par l'action biologique des bactéries qui entretient une température élevée pendant toute l'opération. Les branches d'arbres, les catalogues épais et autres objets volumineux doivent être broyés avant leur introduction dans le stabilisateur car ils ne seraient pas suffisamment désintégrés par l'action biologique et par l'abrasion pour passer à travers le crible de sortie. Du tambour, le compost passe sur un crible à secousses ou cylindrique ayant des trous de 1 cm. Les boîtes de conserves, morceaux de métal, bouteilles et autres éléments volumineux sont retenus par le crible pour être enlevés et récupérés et le compost friable passe à travers les trous. Les gros fragments de matières organiques peuvent être remis dans le stabilisateur pour y subir une nouvelle décomposition. Les petits débris de métaux sont extraits du compost par un électro-aimant et les matériaux denses tels que les débris de verre sont séparés par gravité. D'après les renseignements fournis, la consommation serait de l'ordre de 12 à 16 kilowatts-heures par tonne d'ordures. Lorsque les ordures contiennent de grandes quantités de cellulose ou d'autres substances à décomposition lente, la rétention dans l'appareil, qui est relativement courte, risque de ne pas suffire à réduire le rapport C/N, mais on peut compléter la stabilisa-

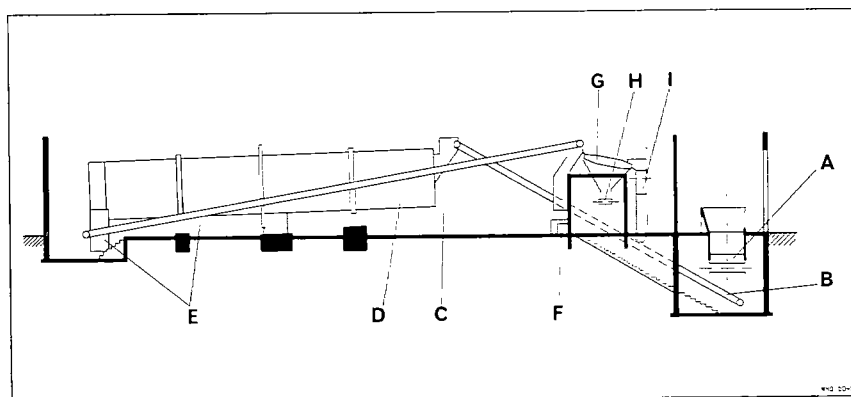
tion en disposant le compost criblé en tas pendant 6 à 10 jours. Aucune nouvelle aération n'est nécessaire.

D'après des indications fournies par Gordon Ludwig (communication personnelle, 1954) on a mis à l'essai à Toronto (Canada) un digesteur mécanique, comprenant un long tambour horizontal ouvert à l'air au sommet et traversé selon son axe par une vis sans fin. Les ordures introduites à l'une des extrémités du cylindre sont aérées au cours du brassage effectué par la vis sans fin, qui les repousse vers l'extrémité opposée.

Selon les indications fournies, la durée du compostage dans les digesteurs mécaniques est de 2 à 5 jours pour les ordures ménagères ou les matières à faible teneur en cellulose et à rapport C/N faible ; elle est de 7 à 9 jours pour les matières riches en cellulose ou qui ont un rapport C/N élevé. Etant donné qu'on entretient constamment les conditions de l'aérobiose et une haute température, la décomposition devrait s'opérer un peu plus rapidement dans ces appareils que dans le compost en tas.

On peut se demander, d'autre part, si la conservation de l'azote est aussi bonne que dans les tas lorsqu'on traite des matières dont le rapport C/N est bas.

FIG. 26. DIAGRAMME D'UNE USINE UTILISANT LE « BIO-STABILIZER »
DANO A ÉDIMBOURG *



* D'après un diagramme publié dans le
Dano Corporation Bulletin, reproduit avec
l'autorisation de la Dano Corporation

- A = Trémie d'admission
- B = Courroie transporteuse entraînant les ordures brutes
- C = Dispositif pour l'alimentation du « Bio-stabilizer »
- D = « Bio-stabilizer »
- E = Courroie transporteuse amenant le compost du « Bio-stabilizer » au crible
- F = Trémie et dispositif pour l'enlèvement des boîtes de conserves et de la ferraille
- G = Crible
- H = Courroie transporteuse emportant le compost passé au crible
- I = Goulotte d'évacuation des résidus de criblage

Cette usine traite quotidiennement 20 tonnes d'ordures additionnées de boues d'égout.

Le principe du digesteur mécanique à fonctionnement continu semble excellent, mais le prix de revient par unité traitée est apparemment plus élevé qu'avec la méthode plus simple des silos. Les dépenses de première installation, d'énergie et d'entretien paraissent assez considérables pour la production de grandes quantités de compost à un prix susceptible d'en assurer la vente sur le marché agricole. Les avantages principaux sont que les longues périodes de froid, de pluie ou de neige n'entravent pas sérieusement les opérations, que la lutte contre les mouches est plus facile, et que les usines de ce type peuvent être implantées dans des zones où il serait dangereux de composter en plein air. Le digesteur semble convenir surtout aux petites exploitations dont le compost, produit en quantités relativement faibles, peut être vendu à un prix élevé pour être utilisé dans les jardins, les pelouses et les pépinières d'une agglomération urbaine. On possède encore peu de renseignements sur le coût des opérations de compostage dans les grandes exploitations municipales ; il semble cependant qu'aucune de ces grandes usines n'utilise de digesteurs mécaniques, et certaines évaluations font apparaître comme peu probable que ces appareils puissent entrer économiquement en concurrence avec les méthodes de plein air lorsque les quantités à traiter par jour dépassent 200 tonnes. On pourrait peut-être compenser certains des inconvénients découlant du coût élevé du compostage dans les digesteurs mécaniques en construisant plusieurs petites installations en divers points de la ville convenablement choisis au lieu de concentrer toute la production dans une seule grande usine ; en effet, on réduit ainsi les frais de transport des ordures collectées et le coût global du ramassage et du traitement pourrait se trouver ramené à un niveau voisin de celui du compostage en plein air.

Conditionnement

Une fois stabilisé, le compost a encore besoin d'un traitement complémentaire en prévision de la vente : il doit être conditionné au fur et à mesure des commandes pour répondre aux besoins des utilisateurs. La nature de ces opérations dépend du degré de préparation initiale des matières en vue du compostage et de la destination du produit. Cependant, même si le broyage initial a été fin, une pulvérisation ou un criblage supplémentaires sont souvent indiqués. En effet, il est fréquent que des fragments s'agglutinent et forment en séchant des mottes de 5 à 7 cm de diamètre, et ces morceaux volumineux ne conviennent pas aux horticulteurs et autres acquéreurs, dont un bon nombre désirent au contraire un terreau extrêmement fin. A plus forte raison, quand les ordures n'ont subi qu'un broyage préparatoire grossier, il faut pulvériser le compost. Dans le premier cas, on pourra se contenter de faire passer le produit entre des rouleaux afin de briser les mottes. D'ailleurs, si les matières ont été bien décomposées, la plus grande partie se disloque en général pendant le criblage. Quand

le compost doit être vendu à plusieurs catégories d'utilisateurs : maraîchers, horticulteurs et fermiers, il est parfois plus indiqué de faire suivre l'écrasement entre les rouleaux d'un passage sur une série de cribles rotatifs ou à secousses ayant des trous de diamètres différents, afin d'obtenir des produits du grain voulu. L'humus le plus fin est alors mis en sacs et vendu au prix le plus élevé à des jardiniers qui l'utiliseront comme engrais en couverture ou pour les parterres de fleurs. Le maraîcher aura besoin d'un produit un peu plus grossier et l'agriculteur achètera le produit le moins fin et le meilleur marché. Les fragments trop volumineux pour être utilisés — il ne s'en présente d'ordinaire que si le broyage initial a été très rudimentaire — devront subir un second conditionnement ou être remis à composter après nouveau broyage. Lorsque la vente ne porte que sur une seule qualité, la totalité du compost peut être passée dans un seul crible et les parcelles trop volumineuses sont renvoyées au compostage ou morcelées dans un broyeur à marteaux.

Les installations destinées au broyage et au criblage des ordures brutes peuvent souvent être conçues de telle sorte que leur marge de capacité soit utilisable pour le conditionnement final quand on est contraint de préparer des quantités considérables en peu de temps. On peut ainsi réduire au minimum les coûteux emplacements de stockage.

Les débris de verre ou de porcelaine, qui sont plus lourds que l'humus, pourront être extraits mécaniquement, lors du conditionnement, soit par centrifugation, soit par projection d'un courant d'air qui entraîne les particules légères et laisse retomber les éléments plus lourds.

Dans certaines régions, la préparation pour la vente exigera un enrichissement supplémentaire par addition de substances chimiques nutritives, telles que l'azote et le phosphore, dont ont besoin certains sols sur lesquels l'humus sera utilisé. Les utilisateurs recevront ainsi un produit meilleur et l'élargissement du marché s'en trouvera facilité. Il faut prévoir également les moyens de charger l'humus en vrac sur des camions. En outre, la mise en sacs de l'humus fin de haute qualité destiné aux horticulteurs et aux pépiniéristes demande un appareillage spécial. La capacité à prévoir dépend de la quantité de produit qui doit être vendue sous cette forme. Le stockage prolongé du compost en sacs est coûteux et donne des mécomptes, car les sacs se détériorent. Les appareils d'ensachage doivent donc être capables de fonctionner vingt-quatre heures par jour pendant les périodes de pointe de la demande.

Résumé des points principaux à vérifier dans l'aménagement d'une usine de compostage

1. Le parc de bennes est-il capable de répondre sans retards excessifs aux besoins du transport, y compris les surcharges collectrices brusques et les périodes de pointe ?

2. L'acheminement des produits est-il assuré à un rythme suffisamment uniforme à travers toute la suite des opérations pour éviter les embouteillages ?
3. Des dispositions ont-elles été prises pour récupérer économiquement un maximum de matières inorganiques récupérables et non compostables et de matières organiques qu'il est plus avantageux de récupérer que de composter ?
4. A-t-on prévu le cas des matières impropres au compostage qui ne sont pas susceptibles d'être traitées en vue de la vente et qui doivent être acheminées vers une décharge ou évacuées par une autre méthode ?
5. L'équipement est-il spécialement conçu pour traiter le type d'ordures dont il s'agit ? La nature des ordures variant considérablement d'une région à l'autre, les installations doivent être adaptées dans chaque cas aux conditions locales.
6. L'exploitation est-elle suffisamment souple pour qu'il soit possible de faire face sans transformations inutilement coûteuses à des changements éventuels dans la quantité et la qualité des ordures ?
7. Des dispositions ont-elles été prises pour que l'usine puisse être facilement adaptée au traitement d'autres déchets organiques, tels que les boues d'égouts ou les résidus de l'industrie alimentaire, s'il y a lieu de prévoir qu'une telle adaptation peut devenir nécessaire et avantageuse ?
8. A-t-on prévu un contrôle de la décomposition qui assure la production d'un compost satisfaisant et salubre, exempt de germes pathogènes, de parasites et de graines de mauvaises herbes ?
9. Le mode de production permet-il d'éviter le pullulement des mouches et le dégagement d'odeurs ?
10. Les installations de conditionnement suffisent-elles à donner des produits finis susceptibles de trouver les plus larges débouchés ?
11. L'usine possède-t-elle une capacité suffisante de stockage et de conditionnement ? Ces précautions sont indispensables, car la vente du produit présente un caractère hautement saisonnier et l'emmagasinage prolongé après conditionnement est en général désavantageux.
12. Le chargement et l'expédition du produit fini sont-ils assurés par des moyens simples et économiques ?

Bâtiments et équipement

Bâtiments

Les bâtiments nécessaires à une usine municipale de compostage diffèrent selon le climat et la nature des opérations. Dans les régions où le froid, la pluie et la neige sont fréquents, la réception, le triage, le traitement des produits de récupération et le conditionnement doivent s'effectuer à

couvert, et le compost fini doit être emmagasiné sous toit. Par contre, bien des villes pourront faire l'économie de locaux de réception couverts, et lorsqu'ils sont nécessaires, on pourra souvent se contenter de simples hangars ouverts sur les côtés. Le triage, le traitement des produits de récupération et les autres opérations préliminaires au compostage doivent se faire dans un bâtiment fermé, qui sera de un ou deux étages selon la nature de l'équipement et les méthodes de triage. Deux étages sont nécessaires si l'acheminement des matières se fait par gravité. La préparation finale en vue de la vente peut s'effectuer soit dans le même bâtiment que les opérations préliminaires, soit dans un bâtiment distinct situé de l'autre côté de l'aire de compostage. Le bâtiment où se fait le conditionnement doit être relié à un entrepôt d'un étage, dans lequel le compost prêt à la vente, ensaché ou en vrac, sera emmagasiné, ainsi que les produits chimiques éventuellement utilisés. Les locaux servant à la production et à l'emmagasinage pourront être des constructions peu coûteuses analogues aux bâtiments d'usines. Il faut prévoir en outre un immeuble pour la direction, les services de contrôle technique et les bureaux ; il contiendra en outre les vestiaires, les douches, les toilettes, le réfectoire du personnel et, dans les grandes entreprises, un petit laboratoire pour les analyses courantes du compost. Un petit atelier pour les travaux d'entretien et de réparation sera installé, soit dans l'immeuble administratif, soit dans le bâtiment de triage.

Il n'est pas indispensable de construire un bâtiment pour abriter les digesteurs à aération mécanique, mais ils sont en général installés sous toit. Que le compostage se fasse en digesteur ou à l'air libre, les bâtiments et les installations sont d'un type très semblable dans les entreprises qui procèdent au triage et à la récupération.

Equipement

L'équipement et les machines nécessaires à la production du compost disposé en silos différeront considérablement selon la composition des ordures, leur traitement préparatoire et l'importance de la récupération. L'équipement pour les diverses opérations est le suivant :

Réception

1. Trémies d'admission
2. Courroie ou chaîne transporteuse ou grue munie d'une benne preneuse
3. Chargeur mécanique mobile

Triage

1. Transporteur
2. Séparateurs magnétiques pour l'enlèvement des métaux
3. Dispositif pneumatique pour l'enlèvement du papier

4. Cribles et séparateurs mécaniques
5. Dispositif pour le réglage du débit
6. Chariot automoteur à fourche pour transporter les lots de produits récupérés

Préparation du compost

1. Transporteur
2. Broyeur ou meule
3. Mélangeur, lorsque des boues d'égouts sont ajoutées aux ordures
4. Dispositif pour le réglage du débit
5. Tracteur et bennes basculantes tractées

Décomposition et stabilisation

1. Engin mobile pour le retournement et l'aération
2. Matériel de chargement et de manutention

Conditionnement

1. Transporteur
2. Poste de criblage, rouleaux ou broyeur
3. Dispositif pour le réglage du débit
4. Installation pour le mélange et l'ensachage du compost fini
5. Chariot automoteur à fourche
6. Engins pour la manutention et le chargement du compost en vrac.

Dans les usines employant des digesteurs, l'outillage et les machines dépendent du procédé de fabrication choisi. Exception faite du *Bio-stabilizer* Dano, tous ces appareils exigent un considérable travail initial de triage et de broyage ; l'usine devra donc posséder des trémies, des appareils de triage et des transporteurs. D'autre part, le digesteur Dano exige un certain broyage préliminaire. Enfin, toutes les opérations de compostage effectuées au moyen de digesteurs supposent l'existence de cribles, de séparateurs magnétiques ainsi que d'installations pour l'ensachage et le chargement.

Personnel

L'effectif de la main-d'œuvre et du personnel de direction varie avec l'ampleur et les caractéristiques de l'usine et avec le degré de mécanisation des opérations. Le travail manuel sera réservé aux tâches que les machines ne permettent pas d'effectuer plus économiquement. Dans une usine fortement mécanisée, la main-d'œuvre a pour rôle principal de surveiller les machines. Les besoins en personnel varient évidemment d'une usine à l'autre ; toutefois, les indications qui suivent peuvent donner une idée

des effectifs moyens requis pour la direction et la main-d'œuvre — à l'exclusion des services extérieurs de vente et de publicité — dans une entreprise traitant en plein air 300 tonnes d'ordures brutes par jour :

Direction

Un directeur
Un conducteur de travaux
Un contremaître
Un mécanicien
Un commis
Un technicien de laboratoire

Main-d'œuvre

<i>Opérations</i>	<i>Nature des travaux</i>	<i>Nombre d'ouvriers</i>	
Réception	Travaux manuels	2 à 3	
	Conduite de machines	1	
Triage et récupération	Triage	4 à 5	} selon l'ampleur des opérations de récupération
	Traitement des produits de récupération	2 à 5	
	Conduite de machines	2	
Préparation du compost	Travaux manuels	1 à 2	
	Conduite des machines	1	
Décomposition et stabilisation	Travaux manuels	1	
	Conduite de machines	1	
Conditionnement	Travaux manuels	2 à 4	Selon la demande sur le marché
	Conduite de machines	1	

Dans une usine de ce genre, certains des conducteurs de machines et des travailleurs manuels peuvent être transférés d'une affectation à une autre selon les besoins. Ainsi, lorsque la demande oblige à faire fonctionner les services de conditionnement à plein rendement pendant de longues heures, on peut les renforcer en leur détachant des ouvriers employés au traitement des produits de récupération. Réciproquement, lorsque la demande est faible, on peut faire un transfert en sens inverse.

Chaque usine pose un problème particulier de conception et d'organisation ; le choix du régime le plus avantageux doit donc faire l'objet d'une étude distincte dans chaque cas d'espèce.

Les chiffres estimatifs qui ont été indiqués plus haut ne sauraient être réduits proportionnellement pour les usines plus petites, en particulier pour celles qui traitent moins de 100 tonnes d'ordures par jour. Dans les usines plus grandes, l'effectif du personnel de direction n'augmentera pas en raison directe du tonnage traité, alors que les besoins en main-d'œuvre s'accroîtront de façon plus ou moins proportionnelle.

A Schiedam (Pays-Bas), trois hommes assurent le fonctionnement d'une usine qui traite 35 tonnes par jour en une seule équipe en utilisant une machine à râper VAM et la méthode des silos (fig. 27).

Selon les évaluations de la Dano Corporation, deux travailleurs seront nécessaires pour faire fonctionner une usine située à Los Angeles employant un *Bio-stabilizer* d'une capacité de 25 tonnes par jour (communication personnelle de M. E. Hall, 1955). Ces estimations ne comprennent pas le personnel de direction ni celui des services de vente.

FIG. 27. USINE DE COMPOSTAGE A SCHIEDAM (PAYS-BAS)

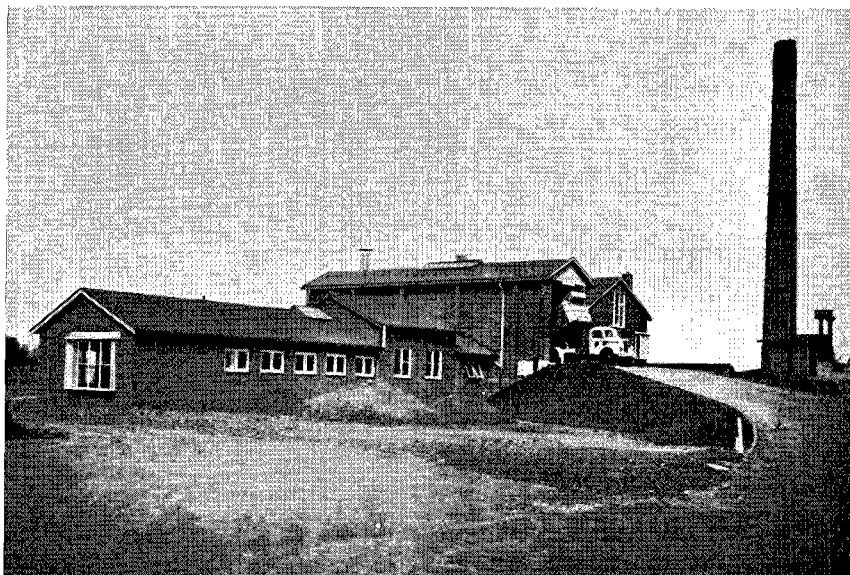


Photo obligeamment communiquée par
M. W. A. G. Weststrate, N. V. Vuilafvoer
Maatschappij, Amsterdam, Pays-Bas

Les besoins en main-d'œuvre dépendent dans une large mesure de l'ampleur des opérations de récupération et des méthodes de vente.

Prix de revient

Le prix de revient ne saurait faire l'objet d'évaluations valables pour tous les types d'installations, pour tous les emplacements et dans toutes les monnaies. L'analyse économique la plus rationnelle consiste sans doute à comparer, pour une localité déterminée, les éléments connus ou estimés du prix de revient du compostage avec le coût de l'incinération, ou à comparer le coût de production du compost avec la valeur marchande des

engrais qui, comme le fumier d'étable, sont d'une qualité analogue à celle d'un compost provenant d'ordures municipales. Dans de nombreuses régions du monde, on n'a pas encore déterminé exactement la valeur du compost en tant qu'engrais et reconstituant du sol.

Dans diverses localités des Pays-Bas, on pratique depuis de nombreuses années le compostage des ordures municipales organiques ; le prix de revient s'est révélé moins élevé que celui de l'incinération et, dans les régions où l'engrais trouve à proximité des débouchés avantageux, aussi bas que celui de la décharge. De même, on a obtenu des résultats économiquement intéressants au Danemark, en Allemagne, en Italie, dans l'Inde, dans l'Union Sud-Africaine, et dans divers autres pays. En Californie, la Compost Corporation of America, procédant à des études préparatoires à la création d'une usine, a constaté qu'il était possible de faire un bénéfice en vendant au-dessous du prix normal des fumiers d'étable un compost d'une valeur fertilisante égale et exempt de graines de mauvaises herbes. Se fondant sur l'expérience d'une usine-pilote exploitée à Tacoma (Etat de Washington), Seabrook ⁶⁹ a estimé que la transformation des ordures en compost serait rentable pour la municipalité, sans même tenir compte des économies qui résulteraient de l'abandon de la méthode actuelle d'évacuation dans des décharges ; il procède actuellement sur ces bases à l'installation d'une usine à l'échelle industrielle.

Dans l'usine de compostage de Rüslikon (Suisse), qui utilise un *Bio-stabilizer* d'une capacité de 5 tonnes par jour, les sommes retirées de la vente du compost et des matières récupérées s'élèvent à 50 % du coût des opérations de compostage, ce qui diminue les frais d'évacuation des ordures ; on estime que, dans une usine plus grande, le prix de revient par tonne serait nettement moins élevé.

On estime, aux Etats-Unis, que le coût du compostage en plein air des ordures amenées sur place ne dépasse pas 30 à 60 % du coût de l'incinération, à condition que les usines aient une capacité de plus de 100 tonnes par jour. En admettant que le transport des ordures jusqu'à l'usine ne revienne pas beaucoup plus cher que leur livraison au lieu d'incinération, le compostage serait donc moins onéreux, même si le produit était abandonné gratuitement à quiconque viendrait en prendre livraison. La différence des coûts entre le compostage selon la méthode des silos et l'incinération est due en majeure partie aux immobilisations. En comparant les coûts estimatifs, par tonne et par jour, et dans l'hypothèse d'une seule équipe, entre une usine de compostage travaillant selon la méthode des silos et une usine d'incinération, on constate que la première coûte 20 à 25 % moins cher que la seconde, pour des capacités de production dépassant 100 tonnes par jour.

Avec un *Bio-stabilizer* Dano d'une capacité de 25 à 50 tonnes par jour, le coût est sensiblement le même que celui de l'incinération. L'investissement initial par tonne d'ordures est nettement plus élevé pour les petites

usines employant un *Bio-stabilizer* que pour les grandes entreprises appliquant la méthode des silos. Toutefois, le *Bio-stabilizer*, de même que l'incinérateur, peut être installé à l'intérieur de la ville, afin de réduire les frais de transport. La principale inconnue dans l'évaluation du coût de l'élimination des ordures par le moyen du compostage est la réaction des agriculteurs et des horticulteurs vis-à-vis du terreau ainsi obtenu et la plus ou moins grande facilité de vente ou d'écoulement.

MÉTHODES APPLICABLES DANS LES VILLAGES ET LES PETITES VILLES

Les avantages économiques qui résultent de la transformation en compost du fumier, des détrit^{us} organiques, des excréments, des boues de fosses septiques et de tous autres rebuts organiques collectés dans les villages et petites villes, ont été démontrés dans de nombreux pays. En général — même dans les petites villes — ce procédé peut être appliqué dans de bonnes conditions d'hygiène et pratiquement à aussi bon compte que l'incinération ; il exige une mise de fonds beaucoup moins élevée et produit en outre un engrais prêt à être utilisé dans les fermes des environs immédiats de la ville ou du village. La vente de cet engrais sera d'un rapport suffisant pour que le coût net du compostage soit très sensiblement inférieur à celui de l'incinération. Sans doute, le capital investi et les frais d'exploitation dépassent-ils quelque peu ceux de deux autres procédés d'évacuation dont l'un, salubre, utilise les détrit^{us} pour des remblayages et l'autre, insalubre, se borne à les mettre en décharge non surveillée. Néanmoins, les recettes tirées de la vente du compost peuvent souvent ramener le coût net de l'opération à un niveau à peu près égal ou même inférieur à celui du remblayage. De plus, le compostage permettra d'évacuer de façon salubre des matières telles que les excréments qui, pour des raisons de santé publique, ne sauraient être mises en décharge ni épandues sur le sol sans avoir été traitées.

La région agricole avoisinante est ordinairement en mesure d'utiliser économiquement et sans frais de transport excessifs des quantités de compost supérieures à celles que produit une petite ville ; il conviendra donc d'étudier à fond le procédé du compostage pour l'évacuation des déchets urbains avant d'en choisir un autre. Peut-être faudra-t-il, dans certains cas, persuader les cultivateurs de la valeur du compost pour qu'ils en envisagent l'achat à un prix convenable. En général, le compost fabriqué avec les déchets organiques, les excréta et les ordures provenant des villages et des petites villes, présente approximativement le même pouvoir fertilisant que le fumier de ferme. Il peut même contenir davantage d'éléments nutritifs lorsque de grandes quantités de boues d'égouts ou d'excreta entrent dans sa composition ; il est légèrement inférieur lorsqu'il contient peu d'ordures ménagères, d'excreta ou de fumier et que la matière première consiste surtout en détrit^{us} organiques.

Dans la description des procédés de compostage utilisables par les villages et les petites villes, on ne fixera pas de façon rigide le nombre d'habitants ou le tonnage d'ordures au-dessus desquels une ville cesse de pouvoir être considérée comme petite. D'autre part, on a supposé que les travaux se feraient surtout à la main et que les quantités relativement faibles de déchets à manipuler exigeraient un équipement mécanique réduit, à la différence des villes plus importantes, où la mécanisation doit être poussée très loin.

En règle générale, le compostage des ordures n'est économique dans un village que lorsque les frais de main-d'œuvre sont peu élevés ou lorsque les cultivateurs procèdent eux-mêmes à l'opération, soit dans leur propre ferme, soit en coopérative.

Le broyage des ordures et l'extraction mécanique des métaux et autres éléments non compostables ne sont ni économiques, ni nécessaires dans les villages ou les petites villes. En outre, à moins d'utiliser un tracteur ou des animaux de trait pour déplacer les matériaux au dépôt et, parfois, pour retourner les tas, on peut en général se contenter du travail manuel pour entasser les ordures ou les mettre dans des fosses, pour retirer les objets non compostables et pour aérer les tas. Dans la description des techniques, il a été entendu que les ordures étaient délivrées à l'aire de compostage et que le système et les véhicules employés pour leur collecte, n'affectaient en rien le procédé de compostage.

Le présent chapitre est écrit essentiellement à l'intention des villes et villages de régions agricoles où le besoin d'engrais se fait sérieusement sentir, où le coût de la main-d'œuvre est faible et où il est possible d'améliorer l'hygiène, l'alimentation et l'économie générale par le compostage des ordures.

Méthodes

Les méthodes de compostage des déchets organiques qui, dans différentes parties du monde, se sont révélées les plus satisfaisantes pour les villages et petites villes, sont essentiellement des variantes du procédé d'Indore.^{32, 33, 35} Comme on l'a exposé précédemment, dans ce procédé, les matières à composter sont placées dans des fosses ou entassées sur le sol et, en général, la masse est aérée par retournement. Les diverses techniques largement utilisées à l'heure actuelle dans les petites villes empruntent, avec des modifications ou adaptations, certains éléments du procédé en question ; quant à l'aération et à la lutte contre les mouches, elles sont pratiquées à des degrés divers, allant de l'omission totale jusqu'à plusieurs retournements au cours d'une même période de compostage.

Dans le procédé de Bangalore,¹ très employé dans l'Inde, il est fait usage de fosses ou de tranchées et la masse n'est jamais retournée pendant toute la période de compostage, qui dure de quatre à six mois. Si la nappe phréa-

tique est trop près de la surface pour permettre l'emploi de fosses, les matériaux sont entassés sur le sol et brassés au bout d'un mois.

Van Vuren,⁸² en Afrique du Sud, et Watson,⁸⁸ à Calcutta (Inde), emploient des fosses revêtues de briques, dans le fond desquelles sont aménagés des canaux de drainage et d'aération (fig. 28). L'aération par retournement a lieu deux fois ou davantage pendant le mois que dure la période de compostage, selon l'état des ordures et l'abondance des mouches.

Scharff,⁶⁶ en Malaisie, et Wilson,⁹¹ en Afrique orientale, entassent les ordures sur le sol et les retournent au moins deux fois pour aération. D'autres,^{68, 75, 81, 90} mettent la masse à composter en tas ou en rangées et pratiquent le retournement dans la mesure nécessaire pour empêcher l'installation de l'anaérobiose, pour entraver le pullulement des mouches et pour entretenir les températures élevées qui assureront la destruction des micro-organismes pathogènes et l'accélération du compostage (fig. 29 et 30).

FIG. 28. FOSSES MUNICIPALES DE COMPOSTAGE ET HANGARS ABRITANT UN BROYEUR A MARTEAUX ET DES CRIBLES, A FICKSBURG (ÉTAT LIBRE D'ORANGE)



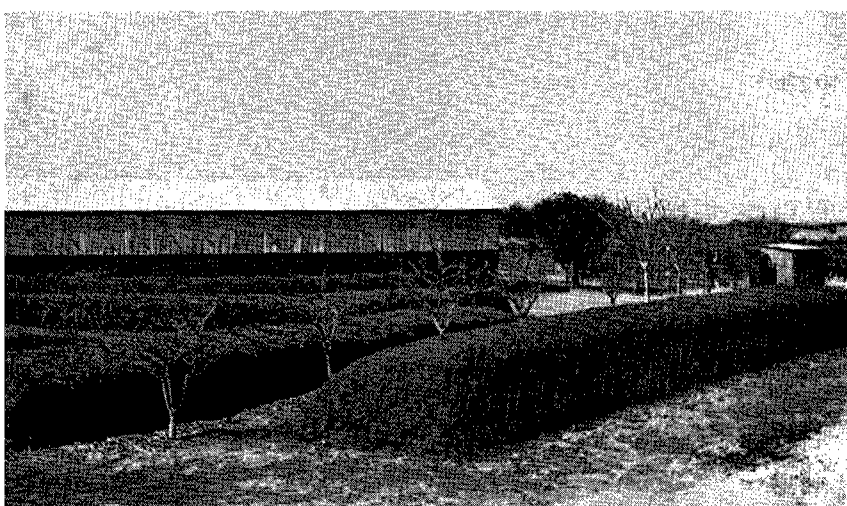
Cliché aimablement communiqué par M. J. P. J. van Vuren, Kroonstad (Union Sud-Africaine), et reproduit avec l'autorisation des éditeurs du *Farmer's Weekly*

FIG. 29. TAS DE COMPOST DANS LE MAWATTE ESTATE (CEYLAN)



Cliché aimablement communiqué par Lady Howard, Albert Howard Foundation of Organic Husbandry, Kent, Angleterre

FIG. 30. SILOS DE COMPOST DANS LA STATION DE RECHERCHES SUR LES PÂTURAGES, RUST-DER-WINTER (TRANSVAAL)



Cliché aimablement communiqué par M. J. P. J. van Vuren, Kroonstad (Union Sud-Africaine), et reproduit avec l'autorisation des éditeurs du *Farmer's Weekly*

Les fosses sont plus coûteuses à construire, mais les frais d'exploitation sont un peu moins élevés, car les manutentions nécessaires pour la mise en tas des ordures et leur retournement demandent plus de main-d'œuvre. Le retournement constitue un élément très important du prix de revient ; aussi un grand nombre de fabricants de compost s'efforcent-ils de le réduire autant que possible. Toutefois, c'est souvent aux dépens des résultats de la lutte contre les mouches, de la décomposition, de la destruction des micro-organismes pathogènes et des parasites, et de l'élimination des odeurs désagréables. L'aérobiose est un facteur très important du compostage, car les hautes températures qui l'accompagnent sont nécessaires pour la destruction des micro-organismes pathogènes, des parasites et des graines de mauvaises herbes et pour l'efficacité de la décomposition.

Le choix de la technique sera dicté par les principes fondamentaux du compostage et par les considérations économiques locales. On a déjà vu que le degré d'humidité des ordures, la proportion et la nature des matières organiques, l'inclusion d'excreta, la température de l'air, les conditions climatiques, le problème des mouches et des odeurs, sont autant de facteurs qui contribuent à déterminer la méthode à préférer.

Aire de compostage

L'emplacement et la disposition de l'aire de compostage ont un effet important sur l'efficacité et le coût de l'opération, ainsi que sur les possibilités de vente du produit final.

Choix de l'emplacement

Le dépôt doit être situé à quelque distance des faubourgs de la ville. Le compostage, lorsqu'il est mené dans de bonnes conditions, peut se faire dans la ville même, mais il peut arriver que des ouvriers ne se conforment pas aux techniques prescrites et qu'il en résulte des erreurs ou qu'un brassage insuffisant entraîne parfois des désagréments. Il est aussi souhaitable, pour des raisons d'esthétique, que le dépôt soit à un quart de mille ou un demi-mille environ de la ville. Si l'on choisit un emplacement plus éloigné, on devra tenir compte des frais supplémentaires de transport surtout si l'on emploie des chars à bœufs. Dans certaines villes plus importantes où l'on ne dispose pas de moyens de transport motorisé, on aurait peut-être intérêt à prévoir deux ou plusieurs aires de compostage situées de différents côtés de la ville, de façon que les tombereaux d'ordures n'aient pas un trop long trajet à parcourir ; on réduira du même coup les distances pour les fermiers qui transportent l'humus du dépôt de compostage dans leurs fermes. Ces considérations ont moins d'importance lorsque le transport se fait par camion ou tracteur. Quoi qu'il en soit, la capacité de pro-

duction d'un dépôt de compostage doit être d'au moins 1800 à 2400 tonnes par an, sinon les frais de contrôle et de main-d'œuvre seraient trop élevés pour justifier l'existence de plus d'une aire de compostage. Si possible, le dépôt sera situé de préférence du côté de la ville opposé à celui d'où viennent les vents dominants.

Lorsqu'on le pourra, on aura intérêt à entourer le dépôt d'une clôture de 1,5 à 2,5 m de haut, formée par une haie vive ou par des arbustes. Ce genre de clôture évite de mettre en évidence les opérations de compostage, sert d'écran contre les légères émanations d'odeurs, diminue les envols de papiers et autres détritiques et retient les débris que le vent pourrait entraîner. Toutefois, il est souvent souhaitable que la clôture ne soit pas assez haute pour dissimuler complètement l'aire de compostage ; les opérateurs auront tendance à travailler avec plus de soin et d'ordre s'ils savent que l'on peut regarder de l'extérieur.

L'emplacement devra présenter une surface assez plane, avec une pente suffisante pour permettre l'écoulement des eaux de ruissellement et empêcher qu'elles ne s'accumulent autour des fosses ou des tas de compost.

Presque tous les types de sol, même rocheux ou pierreaux, se prêtent à l'établissement d'une aire de compostage. Toutefois, le granit ou les gros blocs de roches rendent onéreux l'ouverture de tranchées et le nivellement de la surface. Les sols très meubles conviennent mal à la construction de fosses ou de tranchées sans revêtement. Le dépôt de compostage devra être pourvu d'une source d'eau.

Disposition

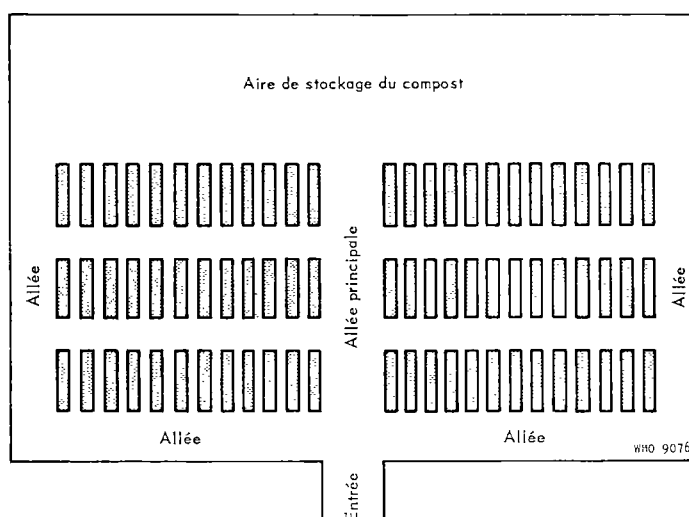
Les fosses doivent être parallèles par leur côté le plus long et peuvent être remplies par les deux extrémités. La figure 31 schématise un plan de ce genre, semblable à celui qui est souvent adopté dans l'Inde pour l'application du procédé de Bangalore, sans retournement du contenu des fosses. On peut économiser un peu de terrain en rapprochant deux rangées de telle sorte que chaque fosse ne soit accessible que par une seule extrémité, c'est-à-dire en prévoyant une allée d'accès toutes les deux rangées. Toutefois, ce plan n'est en général pas satisfaisant si les fosses sont de trop grandes dimensions, car il faut alors transporter les matériaux sur toute la longueur de la fosse et les décharger contre le vent. En outre, lorsqu'on mélange des excréta aux ordures, il faut qu'ils puissent s'écouler ou être étalés d'une extrémité de la fosse à l'autre.

Le compost fini est souvent extrait directement des fosses et chargé sur les tombereaux des fermiers. Néanmoins, étant donné que les besoins de compost sont saisonniers, on doit prévoir un espace pour stocker le produit fini jusqu'au moment où les fermiers sont prêts à l'utiliser. Il est plus économique de le conserver en grands tas que dans les fosses de compostage. Au lieu d'aménager l'aire de stockage à une extrémité et sur

toute la largeur du terrain comme sur la figure 31, on peut la situer sur le côté des rangées de fosses ou entre les extrémités de deux rangées. L'essentiel est de réduire au minimum les manipulations et les transports.

Les allées ménagées entre les rangées doivent mesurer au moins 6 m de large. Lorsqu'on prévoit une aire de stockage dans ce même emplacement l'écart total entre les rangées doit être au moins de 10 m, ce qui laisse au moins 3 m pour l'aire de stockage. L'allée centrale doit avoir de 7,5 à 9 m de large.

FIG. 31. PLAN D'UN DÉPÔT DE COMPOST APPLIQUANT LE PROCÉDÉ DE BANGALORE



Les fosses, dont les dimensions varieront suivant le tonnage à traiter, auront de 5 à 9 m de long, de 1,5 à 2,5 m de large et environ 1 m de profondeur. Les fosses qui dépassent 9 m \times 2,5 m deviennent trop difficiles à remplir et à vider et des profondeurs de plus d'un mètre ralentissent la décomposition si la masse n'est pas aérée par retournement. Les dimensions optimums varient selon la quantité d'ordures traitées par jour et selon le climat. Lorsque l'apport d'ordures est suffisant, comme c'est le cas dans les villes d'une certaine importance, les dimensions doivent être calculées de façon que l'on puisse remplir une ou deux fosses par jour, afin de réduire au minimum le nombre de fosses partiellement pleines à la fin des opérations d'une journée et de combattre le pullulement des mouches et les odeurs. Dans les petits villages, où la quantité d'ordures ne suffit pas pour remplir une fosse par jour, les dimensions doivent être telles que le remplissage puisse se faire en deux ou au maximum en trois jours. Après le dernier apport d'ordures de la journée, la partie non remplie doit être recouverte de gros détritiques qui n'attirent pas les mouches.

La quantité minimum d'ordures à prévoir exigera environ 0,7 m³ de fosse par jour et par 1000 habitants, dans les régions à climat sec où les matières à composter consistent surtout en déchets organiques et en excréments humains et ne contiennent pratiquement pas de fumier de ferme. Dans les régions sujettes à de considérables chutes de pluies qui accroissent la quantité de détritus végétaux ou lorsqu'on ajoute du fumier aux ordures, le volume requis peut dépasser 1,7 m³ par jour et par 1000 habitants.

Les fosses doivent être revêtues de béton, de briques ou de maçonnerie. Elles peuvent ainsi être placées les unes contre les autres, séparées seulement par une paroi. Si elles ne comportent pas de revêtement, elles doivent être creusées à une distance de 1,5 à 2,5 m les unes des autres. Les fosses sans revêtement ne donnent pas de très bons résultats car, la terre s'effondrant, il est difficile de conserver des parois rectilignes et nettes. Si l'on creuse des fosses dans des sols sablonneux ou meubles sans les munir de revêtement, il y a avantage à les border de briques ou de béton sur une profondeur de 30 cm. Les parois des fosses avec revêtement doivent être verticales et celles des autres aussi verticales que la consistance du sol le permet. On aménagera une rigole dans l'axe de la fosse pour assurer une certaine aération et le drainage de tout liquide qui pourrait y avoir pénétré.

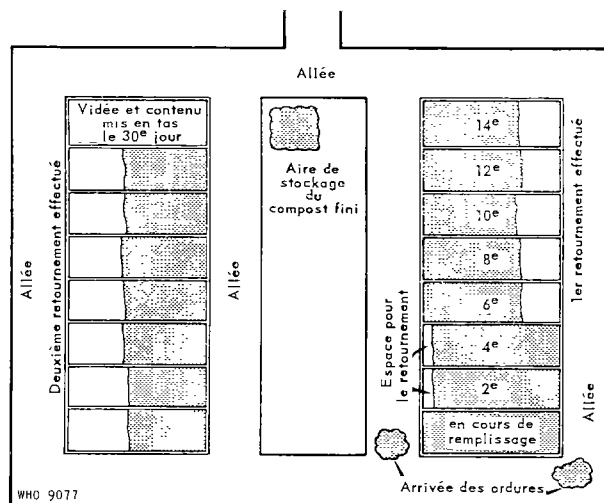
En creusant les fosses, il est économique d'arrêter l'excavation 15 à 30 cm avant la profondeur requise et d'utiliser les déblais pour construire une murette ou une levée de 20 à 40 cm de haut autour des fosses. Cette précaution a le double avantage de réduire le travail de terrassement et de protéger contre les eaux de ruissellement. Si les fosses doivent être revêtues de maçonnerie, il est douteux qu'on ait intérêt à creuser jusqu'à la profondeur recherchée car on peut tout aussi bien l'obtenir en construisant les murs au-dessus du sol. Toutefois, pour faciliter les déchargements et les manutentions à la main, les parois ne doivent pas dépasser la surface de plus de 50 cm.

Si les excréta ne doivent être ajoutés à la masse d'ordures qu'à une extrémité de la fosse, celle-ci doit présenter une inclinaison d'environ 22 à 30 cm sur une longueur de 9 m pour permettre un écoulement satisfaisant sur les ordures. Lorsque les excréta peuvent être ajoutés aux deux extrémités d'une fosse pourvue d'un revêtement, le fond de la fosse peut présenter une légère déclivité allant de chaque extrémité vers le centre, mais on constatera, en général, que cette pente n'est pas nécessaire pour assurer l'écoulement des excréta sur cette courte distance. On peut obtenir l'inclinaison qui assurera leur écoulement sur la masse en veillant à ce que la couche initiale d'ordures placée dans la fosse soit de 8 à 10 cm plus épaisse aux extrémités qu'au centre.

La figure 32 montre le plan d'un dépôt de compostage en fosses du type utilisé par Howard³⁵ et par Watson.⁸⁸ Les fosses sont revêtues de briques et sont pourvues de rigoles de drainage et d'aération sur la longueur et en travers à environ 1,2 m de chaque extrémité. Elles sont entourées

d'un rebord en briques et les passages aménagés autour des fosses sont généralement pavés de briques. Ces fosses sont entièrement enfoncées dans le sol, ou dépassent légèrement la surface, le rebord étant un peu plus élevé et la fosse creusée un peu moins profond. Dans le dépôt de la figure 32, les fosses sont remplies tous les deux jours et le contenu de chaque fosse est retourné au moins deux fois au cours de la période de compostage. Ainsi le compostage s'effectue en 30 jours au lieu de 4 mois, et le nombre de fosses nécessaires est moins élevé. Le produit obtenu peut être stocké dans l'espace aménagé au centre du dépôt afin que sa maturation se poursuive jusqu'au moment où les fermiers sont prêts à l'utiliser sur leurs terres.

FIG. 32. PLAN D'UN DÉPÔT DE COMPOSTAGE
APPLIQUANT LE PROCÉDÉ D'INDORE



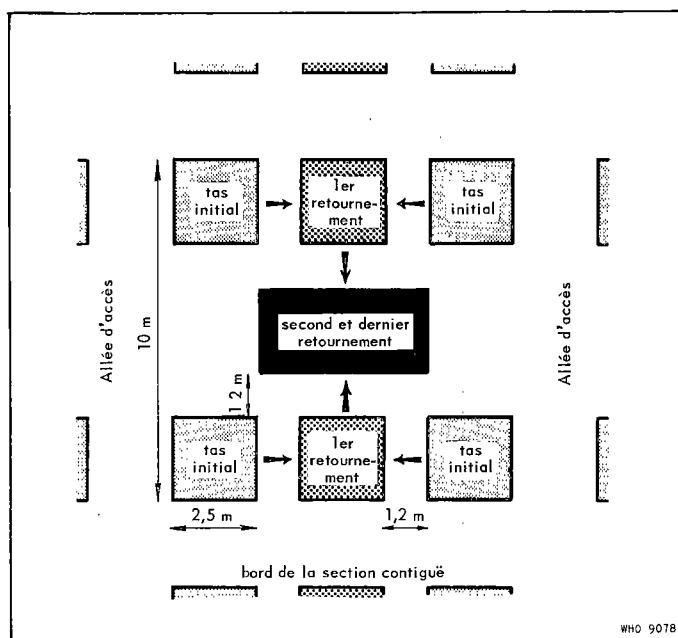
Comparées aux tas ou aux silos en surface, les fosses ont l'inconvénient d'être plus coûteuses à installer, de permettre moins de souplesse dans l'adaptation des méthodes aux variations saisonnières du temps et de la qualité des ordures et d'être plus difficiles à protéger de la pluie. En revanche, le compostage peut être réalisé avec moins de manutentions et sans causer de désagréments aussi manifestes. La terre et les parois de la fosse assurent un isolement considérable contre les changements de température et les vents violents ; en outre, les pertes d'ammoniac, lorsque les matières compostées présentent un faible rapport initial C/N, sont peut-être moins importantes.

Disposition des tas

Lorsque les ordures sont disposées en tas ou en silos, le terrain choisi doit être relativement plat, bien drainé, de manière à empêcher la formation

de flaques d'eau stagnante autour des tas ou de boues et de fondrières autour du dépôt. Les tas ou silos peuvent être disposés suivant plusieurs plans. L'essentiel est de réduire autant que possible le coût du retournement, des manutentions, du stockage et des opérations de déchargement et de chargement des matériaux.

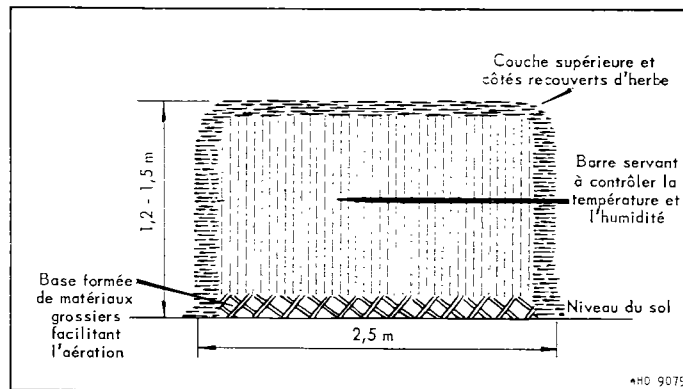
FIG. 33. PLAN D'UNE SECTION DE COMPOSTAGE DANS UN DÉPÔT OÙ LES ORDURES SONT MISES EN TAS



La figure 33 illustre la disposition d'une section de compostage en cours de fonctionnement utilisée par Wilson⁹¹ en Afrique orientale. Le dépôt comprend autant de sections de ce genre qu'il est nécessaire ; elles mesurent chacune environ 10 m × 10 m et sont accessibles de chaque côté par une allée de 5 à 6 mètres de large. A leur arrivée, les ordures sont mises en tas dans les angles du carré. La figure 34 montre, en coupe, un de ces tas qui ont 2,5 m de côté et 1,2 à 1,5 m de hauteur. Au cours du compostage, le volume de la masse diminue considérablement et, lors du premier retournement, deux tas peuvent être réunis en un seul, comme le montre la figure. Au deuxième retournement, la masse provenant des quatre tas initiaux, précédemment réunis en deux tas est alors mise en un seul tas au centre de la section et peut s'étendre sur toute la longueur de l'espace prévu. De nouveaux tas peuvent être formés dans les angles après le premier retournement. Après le second, la décomposition sera moins

active et la réunion en un tas de plus grandes dimensions ne présentera pas d'inconvénients. Il sera donc possible, s'il y a lieu, d'accumuler en un seul tas central le compost provenant d'au moins huit tas initiaux. Si l'on ne peut assurer un drainage satisfaisant des eaux de ruissellement, on installera le long des côtés de chaque section et le long des allées d'accès des rigoles peu profondes pour recueillir l'excédent d'eau de pluie qui risquerait de former des flaques stagnantes.

FIG. 34. COUPE D'UN TAS DE COMPOST



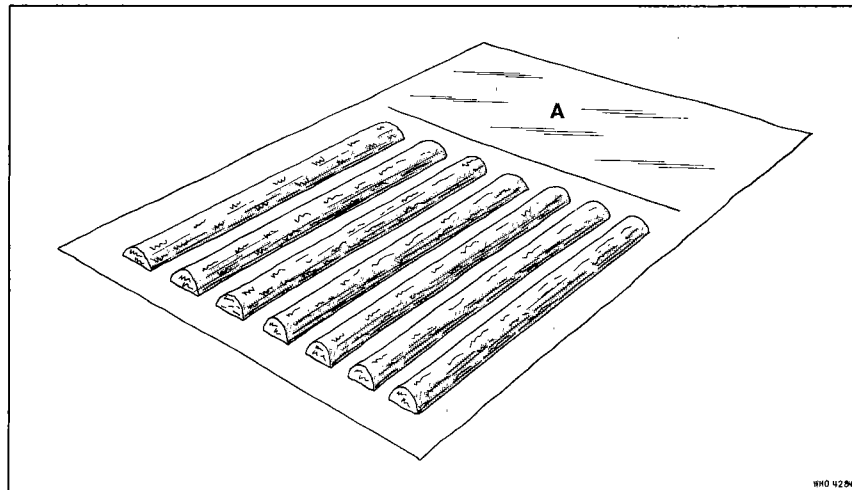
On creusera près des stations de compostage, des fosses où les boîtes en fer blanc, débris de verre et de porcelaine, et toutes autres matières non compostables pourront être jetées en attendant leur récupération ou leur enlèvement. Chaque dépôt sera pourvu d'un petit incinérateur pour brûler les matières combustibles qui ne peuvent être ni compostées ni récupérées.

Si le retournement se fait à la main, on aura avantage à former des tas ayant plus ou moins la forme de meules de foin ou de dômes avec une base arrondie ou carrée. Les tas seront disposés de façon à faciliter au maximum le retournement, à assurer l'utilisation la plus efficace du terrain et à ménager un espace commode pour le stockage du produit fini pendant les saisons où les fermiers n'en ont pas besoin.

Les dimensions à donner aux tas varieront avec la teneur en humidité des matières et avec la température de l'air. Les très grands tas risquent d'atteindre des températures trop élevées pendant l'été ; une réduction des dimensions entraînera de plus grandes pertes de chaleur. En hiver, les tas trop petits peuvent ne pas conserver suffisamment la chaleur pour que la température demeure élevée ; il faut donc prévoir un volume plus important. Les dimensions minimums pour assurer une rétention de chaleur suffisante pendant l'été s'établissent autour de 630-820 kg (2,3-3,8 m³) selon la nature des matières et le tassement de la masse ; pour l'hiver,

ces dimensions minimums sont de 1500-1800 kg (5,5-8,5 m³). Les tas très épais ayant tendance à s'affaisser, la quantité d'air présente dans les interstices entre les particules se trouve réduite.

FIG. 35. PLAN D'UN DÉPÔT DE COMPOSTAGE EN SILOS



A = Aire de stockage

Les silos de compost, disposés comme l'indique la figure 35, sont commodes pour le retournement à la main et présentent des avantages particuliers lorsqu'on utilise un tracteur à l'avant duquel est montée une lame de bulldozer ou une benne à fourche. Les silos peuvent être retournés transversalement ou dans le sens de la longueur. L'aire de stockage peut être placée soit à l'extrémité des rangées, soit d'un côté, de telle sorte que le retournement fasse progressivement avancer la masse vers elle pour y être, finalement, rassemblée en un grand tas en attendant l'enlèvement. Les silos doivent avoir une largeur à la base de 2,5 à 3 m. Les côtés peuvent être verticaux ou inclinés d'environ 30° sur la verticale, selon la nature des matières et la facilité d'entassement. La hauteur peut varier de 1 à 2 m environ. Si les parois sont verticales, leur hauteur ne devra guère dépasser 1,2 m en été, et 1,8 m en hiver. Si les côtés sont à un angle de 30° avec la verticale, la hauteur pourra aller jusqu'à 1,8 m en été et 2,1 m en hiver.

Dans les climats pluvieux, le sommet du tas ou du silo devra être arrondi afin de permettre l'écoulement de l'eau et d'éviter une trop grande infiltration à l'intérieur du tas. Les éléments qui constituent habituellement les ordures de village assureront un excellent écoulement si le sommet du tas est suffisamment en pente pour empêcher que l'eau ne s'y accumule.

Mode opératoire

Généralités

Lorsqu'on ajoute aux ordures des excréta et du fumier de ferme, la masse doit contenir suffisamment de matières relativement sèches et grossières, telles que paille, herbe, papier, feuilles, détritiques et autres immonduces pour absorber la forte humidité des excréta. Si l'on veut réduire au minimum la nécessité d'aérer par retournement, la teneur en humidité du mélange doit être inférieure à 50 % : on obtient de bons résultats avec un chiffre légèrement supérieur à 40 %. Les matières dont la teneur en humidité est de 50 à 60 % ou davantage se décomposent parfaitement bien, et, en général, plus rapidement, mais des retournements plus fréquents sont nécessaires pour entretenir des températures élevées et des conditions d'aérobiose.

Les ordures de village contiennent généralement de 30 à 45 % d'humidité et pèsent de 270 à 370 kg par m³ suivant le tassement. Trente décimètres cubes environ d'excréments pèsent approximativement 30 kg et contiennent de 75 à 85 % d'humidité. La proportion d'excreta que l'on peut ajouter aux ordures variera avec le procédé employé et avec la nature des ordures. Un poids d'excreta égal à celui des ordures représente à peu près le maximum compatible avec un compostage satisfaisant. Le rapport volumétrique correspondant est d'environ 1 à 3. La teneur en humidité du mélange sera de 50 à 60 % ou davantage suivant le degré d'humidité des ordures. On obtient de meilleurs résultats lorsque la quantité d'excreta ajoutée aux ordures est dans le rapport de 1 à environ 5 à 8 en volume. Une proportion courante est de 150 à 300 litres d'excreta par m³ d'ordures relativement sèches. Si le mélange mis en fosse ou en tas contient une proportion convenable d'excreta par rapport aux ordures, un homme doit pouvoir marcher sur la masse sans que ses pieds s'y enfoncent.

On doit calculer les opérations d'une journée de telle manière que la totalité de l'arrivage d'excreta puisse être mise dans les fosses ou sur les tas et convenablement recouverte à la fin de la journée, afin d'éviter d'en stocker jusqu'au lendemain.

La quantité de boue d'égout qui peut être ajoutée aux ordures pour le compostage dépend de la teneur en humidité de la boue et des ordures. L'humidité finale du mélange ne doit pas dépasser environ 70 %. On peut en général ajouter 150 litres de boue contenant de 10 à 12 % de matières solides par m³ d'ordures. Si la boue contient peu de matières solides ou si les ordures sont très humides, on ajoutera moins de boue. On peut ajouter de grandes quantités de briquettes de boue déshydratées. En fait, si sa teneur en humidité est inférieure à environ 70 %, la boue en briquettes peut être compostée sans être mélangée à des ordures.

Pour éviter les pertes d'azote par dégagement d'ammoniac, il faut que le rapport C/N initial de la masse à composter dépasse 30. Le rapport

exact ne peut être déterminé que par des analyses de laboratoire qui sont délicates et exigent une grande compétence technique, mais on peut faire sur place une estimation suffisamment juste pour les besoins de la pratique. Les matières telles que les excreta, boues et ordures ménagères ont un rapport C/N faible, alors que pour la paille, le foin, le papier, les débris végétaux, les tiges de canne, etc., le rapport est élevé. Pour le maintenir à un niveau qui ne favorise pas l'échappement d'ammoniac libre, on devra ajouter des excreta à des matières présentant un rapport C/N élevé. Si les tas ou fosses de compost dégagent une odeur d'ammoniac, c'est qu'il s'échappe de l'azote et qu'il faut ajouter une plus grande quantité de matières cellulosiques.

On peut mélanger de la terre au compost pour réduire la teneur en humidité et absorber une certaine partie de l'ammoniac volatil. Cette adjonction peut se faire dans la proportion de 5 à 10 %, mais à moins qu'il ne soit nécessaire d'obtenir une masse compostable, la méthode n'est pas à recommander : les frais de transport de la terre jusqu'à l'aire de compostage la rendent anti-économique.

Les boîtes de conserve, la ferraille, les morceaux de brique, de verre, de porcelaine, etc., peuvent être retirés à la main au moment où les matières sont déposées dans la tranchée ou mises en tas ; ils peuvent également être extraits par triage ou criblage après le compostage. En général, c'est le triage préalable qu'on pratique, mais certains producteurs préfèrent le triage final. En effet, la décomposition désagrège certaines matières organiques comme le papier, dont il est ensuite plus facile d'extraire les débris plus volumineux qui ne sont pas compostables. Si le compost final est passé au crible, les gros débris sont retenus et aisément enlevés ; ils peuvent ensuite être broyés ou replacés dans les tas pour subir un nouveau compostage.

L'outillage nécessaire pour les manipulations comprend des fourches à dents de 30 à 40 cm, des râteliers à long manche et à dents de 20 cm, des pelles et des balais grossiers. Une binette à long manche et à large lame est indispensable pour étaler les excreta liquides sur la couche d'ordures.

Quelques jours après la mise en tas des matières ou leur déversement dans les fosses, la température intérieure doit s'élever régulièrement jusqu'à plus de 60°C. On peut aisément vérifier cette température en insérant un thermomètre de métal à longue tige dans le tas ou dans la fosse jusqu'à la profondeur désirée. Si l'on ne dispose pas d'un tel thermomètre, une tige ou perche en fer ou en bois peut être introduite dans la masse et y être laissée pendant 5 à 10 minutes. Lorsqu'on la retire, la perche doit être très chaude au toucher ; en pratique, elle doit être trop chaude pour être tenue très longtemps dans la main. Si la température n'atteint pas ce niveau, c'est que la masse est trop humide et fermente en anaérobiose, ou que les proportions du mélange ne sont pas de nature à favoriser une bonne décomposition aérobie.

On peut aussi se servir de la tige pour vérifier le degré approximatif d'humidité, comme l'indique la figure 34 (page 161). Si le tas est trop sec, la tige, une fois retirée, ne présentera aucun signe d'humidité. S'il est trop humide, la tige sortira très mouillée. On est dans les limites convenables lorsque la tige est juste humide.

Le moyen le plus facile d'examiner le compost en fosse ou en tas, est de creuser dans la masse. La température, l'odeur, la couleur et l'aspect général sont autant d'indications qui montrent si le processus se déroule dans des conditions satisfaisantes. L'expérience apprend vite à juger d'un coup d'œil l'état approximatif du compost et à décider s'il faut mouiller, retourner, etc. Si le compost se dessèche, il doit être arrosé d'eau, opération qui se fait le plus commodément au moment du retournement.

Pour empêcher le pullulement des mouches, le meilleur moyen est de ramener les couches extérieures plus froides, dans lesquelles des larves peuvent avoir émigré, vers le centre où ces larves seront détruites par la haute température. On peut aussi recouvrir les tas de compost d'une couche d'herbe de 30 cm d'épaisseur, qui ne contient aucune nourriture pour les larves. Les poules ou autres volailles aident également à détruire les larves.

Fosses ou tranchées

Les différences entre les différents procédés qui utilisent les fosses ou les tranchées portent principalement sur le retournement et la durée du compostage. Dans le procédé de Bangalore, la masse n'est pas retournée et demeure dans les fosses pendant environ quatre mois ou davantage. Le procédé est le suivant :

1. En se servant de râtaux à long manche, on étend sans tasser sur le fond de la fosse une couche d'ordures (contenant de préférence des matériaux grossiers qui permettent une meilleure aération) d'une épaisseur variant de 15 à 20 cm, suivant les proportions d'excreta et d'ordures à utiliser. Cette couche doit être d'environ 7 à 8 cm plus épaisse le long des parois de la fosse afin que l'écoulement des excreta soit arrêté à 20 cm des bords. Le nombre de chargements d'ordures nécessaire pour chaque couche peut être déterminé approximativement d'après la superficie et la profondeur de la fosse.

2. On étale sur les ordures une couche d'excreta d'environ 5 cm d'épaisseur. Normalement, ils s'écoulent aisément d'eux-mêmes, mais on peut se servir, s'il y a lieu, d'une binette à long manche et à large lame pour les étaler. Le nombre de récipients d'excreta nécessaire pour chaque couche peut être calculé d'après la superficie de la fosse et le volume des récipients. Avant le déversement, il est bon d'étaler des ordures sur le rebord de la fosse et sur le sol où reposeront les récipients, de telle sorte que, si des excreta se répandent, ils puissent être aisément ramassés avec les ordures et rejetés dans la fosse.

3. On ajoute de la même manière des couches successives d'ordures et d'excreta jusqu'à ce que la masse dépasse le niveau du sol ou du rebord d'environ 30 cm.

4. Les couches d'excreta doivent être immédiatement recouvertes d'ordures et la couche supérieure d'ordures doit avoir une épaisseur d'au moins 20 cm.

5. Au bout de quelques jours, la température de la masse doit s'établir autour de 60°C et s'y maintenir pendant très longtemps.

6. Après plusieurs jours de décomposition la masse perd de son volume et s'affaisse jusqu'à la moitié ou aux deux tiers de sa profondeur initiale. On peut alors rajouter des couches d'excreta et d'ordures jusqu'à ce que la masse dépasse de nouveau le niveau du rebord. Par temps de pluie, il conviendra d'arrondir le sommet afin que l'eau puisse s'écouler et qu'il n'y ait pas d'infiltration.

7. Les tranchées sont parfois couvertes d'une couche de terre de 5 cm pour prévenir l'éclosion des mouches. Cette couche de terre contribue aussi à empêcher le dégagement d'ammoniac, lorsque le rapport C/N initial est trop bas, ainsi que les émanations d'odeurs désagréables.

8. Dans les 10 à 15 cm qui se trouvent à la partie supérieure de la masse, la décomposition est incomplète du fait de la température plus basse qui règne dans les surfaces exposées. Cette couche peut être enlevée à la fourche au moment où l'on retire le compost et peut servir à nouveau pour recouvrir une autre fosse.

9. On peut également obtenir de meilleurs résultats dans la lutte contre les mouches en recouvrant la fosse à compost d'une toile goudronnée, adhérent étroitement à la masse et fixée au rebord de la fosse au moyen d'un enduit de terre.

10. Au bout de quatre à six mois, la masse s'est transformée en un humus qui peut être retiré de la fosse et déposé directement sur le sol ou passé au crible pour obtenir un produit de la finesse désirée par les usagers. Les gros débris compostables peuvent être ou bien broyés ou remis dans une fosse pour que leur décomposition se poursuive jusqu'à ce qu'ils se désagrègent en plus petits morceaux.

Le procédé d'Indore, qui utilise également des fosses ou des tranchées, est semblable à celui que l'on vient de décrire, à cette exception près que la masse est retournée dans la mesure nécessaire pour entretenir l'aérobiose, éviter le dégagement d'odeurs désagréables, maintenir des températures élevées, obtenir une décomposition plus rapide et plus uniforme et lutter plus efficacement contre les mouches. La méthode employée est la suivante :

1. Le remplissage des fosses s'effectue pratiquement de la même manière que dans le procédé de Bangalore, mais on laisse vide, à l'extrémité de

chaque fosse, un petit espace d'environ 0,6 m de longueur, qui permet de commencer le retournement (voir fig. 32, page 159). La couche d'ordures du fond et les couches intermédiaires peuvent être légèrement moins épaisses, ce qui assurera une teneur en humidité un peu supérieure. Comme la masse est retournée, elle se trouve exposée tout entière aux températures élevées et l'humidité plus forte n'empêche pas le maintien des conditions de l'aérobiose. En pratique, ces caractéristiques permettent d'ajouter aux ordures une proportion légèrement plus grande d'excreta. Le dégagement d'odeurs désagréables dénote des défauts dans le mode opératoire et doit servir de moyen de contrôle pratique. Il indique soit que la masse n'a pas été convenablement retournée, soit que le remplissage de la fosse a été mal fait et qu'il s'est formé des poches d'excreta.

2. De 4 à 7 jours après le remplissage, le contenu de la fosse doit être retourné afin : a) d'assurer un mélange parfait ; b) de repousser vers le centre, où règnent les hautes températures, la partie extérieure de la masse qui n'a pas été exposée à cette chaleur et dans laquelle les larves de mouches ont émigré ; et c) d'aérer la masse. Ainsi se trouveront détruits les larves de mouches, les micro-organismes pathogènes et les parasites. Pour procéder au retournement dans les meilleures conditions, les ouvriers doivent se tenir sur le rebord de la fosse ou sur une planche posée en travers et utiliser des râteaux à long manche et à longues dents. Etant donné que la masse perd de son volume au cours du compostage et qu'il convient d'en maintenir intégralement l'épaisseur, une grande partie de la fosse se trouvera vide après le retournement. Si la fabrique reçoit un excédent d'excreta par rapport à la quantité d'ordures, on pourra en ajouter une couche supplémentaire au moment du premier retournement ; toutefois, on augmentera ainsi le travail à fournir.

3. Le deuxième retournement a lieu de 5 à 10 jours après le premier ; à ce moment, toutes traces d'excreta auront disparu ; en général, il n'est plus nécessaire de retourner ensuite, sauf si on en a ajouté lors du premier retournement, si de grandes quantités d'excreta et de fumier de ferme sont compostées avec les ordures et que le degré d'humidité de la masse initiale est élevé ou si la pullulation des mouches est excessive. Si la situation oblige à retourner souvent, le compostage peut être achevé plus rapidement et le produit peut être retiré des fosses pour être stocké en tas au bout d'une vingtaine de jours. Trois retournements espacés de trois ou quatre jours donneront généralement un compost en une quinzaine de jours.

4. Si la fabrique reçoit des quantités d'ordures plus grandes que la capacité des fosses calculée sur un cycle de 30 jours, le processus peut être accéléré par des retournements plus fréquents. La production peut ainsi s'adapter aux fluctuations saisonnières de la quantité d'ordures livrées.

Tas ou silos

Les tas séparés donnent de meilleurs résultats que les silos lorsqu'on mélange des excreta aux ordures. Les tas ont généralement de 1,8 à 2,4 m de côté à la base ; leurs faces sont soit verticales, soit légèrement en pente et, dans ce dernier cas, la section au sommet est plus étroite d'environ 0,6 m. On peut constituer les tas de deux manières qui conviennent aussi bien l'une que l'autre. Le premier procédé est le suivant :

1. On étend à la base du tas une couche de 15 à 22 cm de matières grossières, telles que : tiges de cannes ou de pois, fanes de pommes de terre, tiges de bananiers et paille, et l'on recouvre sans tasser d'une épaisseur d'ordures de 15 cm. Les matières grossières de la couche initiale assurent une plus grande porosité et, de ce fait, une meilleure aération par le bas. Les ordures sont mises en couches plus épaisses le long des bords du tas, de façon à former une dépression au centre. Il y a intérêt, si possible, à placer à l'extérieur des matières qui n'attirent pas les mouches.

2. Les excreta sont versés dans la dépression sur une profondeur d'environ 5 cm. La proportion peut atteindre de 150 à 230 litres par m³ d'ordures, mais elle ne doit pas être telle que les excreta tendent à s'infiltrer dans le tas ou à s'étaler jusqu'aux bords. On veillera à ce que la couche qu'ils forment ne se répande pas à moins de 30 cm des bords.

3. Cette couche d'excreta est immédiatement recouverte d'une couche d'ordures de 22 à 30 cm. On en dispose ainsi des couches successives alternées avec des couches d'ordures jusqu'à ce que la hauteur du tas atteigne de 1,2 à 1,5 m environ. Pour vérifier si la quantité d'excreta n'est pas excessive, il suffit d'appuyer le pied sur le tas : si l'on n'enfonce pas dans la masse les proportions sont justes. La couche supérieure d'ordures doit avoir une épaisseur d'au moins 30 cm. Le sommet du tas doit être légèrement en pente afin de permettre l'écoulement de la pluie et d'empêcher les infiltrations d'eau. Un peu de paille ou de foin grossier placé sur le sommet du tas facilite grandement cet écoulement et contribue à la lutte contre les mouches.

4. Le moment où le premier retournement doit avoir lieu dépend du degré d'humidité, de la nature des matières, et du danger d'invasion par les mouches. On attend parfois de deux à trois semaines, ou davantage. Toutefois, lorsqu'on ajoute des quantités considérables d'excreta, il est préférable de retourner les tas 5 à 7 jours après leur construction. Si la masse à composter n'est pas trop humide et si les ordures ont une forte teneur en carbone, on peut ajouter de 80 à 150 litres d'excreta par m³ d'ordures, à l'occasion du premier retournement. Le tas doit être complété par de nouvelles couches d'ordures et d'excreta. Les matières qui se trouvaient initialement à l'extérieur seront placées à l'intérieur du nouveau tas.

5. Le deuxième retournement doit avoir lieu au bout d'un nouvel intervalle de 5 à 10 jours ; à ce moment, la masse aura pris l'aspect d'un humus et l'on ne pourra probablement plus reconnaître les excréta. Il n'est généralement pas nécessaire de procéder à un troisième retournement, sauf si l'on a ajouté des excréta lors du premier, si la teneur initiale en humidité était élevée ou si l'on constate une éclosion de mouches. Un dégagement d'odeurs indique que le tas doit être retourné. Le transport au tas de stockage peut parfois remplacer un troisième retournement. Il convient d'observer que dans certaines exploitations qui utilisent des quantités considérables de déchets végétaux, on ne retourne que deux fois à un mois d'intervalle lorsque la proportion d'excréta ajoutée n'est pas élevée. Toutefois, il n'est pas certain que cette méthode donne de bons résultats pour le compostage d'excréta et de fumier d'étable.

6. La température intérieure des tas doit atteindre de 55 à 60°C au cours de la première période de 2 à 4 jours. Cette température peut être vérifiée au moyen d'une tige, comme l'indique la figure 34 (voir page 161).

7. Si la masse devient trop sèche sous l'effet de vents chauds et de fortes chaleurs, on peut l'arroser au cours du retournement.

Le deuxième procédé qui donne d'excellents résultats pour le compostage en tas d'ordures et d'excréta est le suivant :

1. On forme avec les ordures des tas peu compacts mesurant à la base 1,8 à 2,4 m de côté, ou de 1,8 à 2,4 m de long sur 1,5 à 2,1 m de large, et d'une hauteur de 1,2 à 1,5 m.

2. On creuse au centre du tas, à une distance minimum de 30 à 45 cm des bords, une excavation de 60 à 75 cm de profondeur. On verse les excréta dans cette excavation. La quantité ainsi ajoutée ne doit pas dépasser un sixième à un huitième environ du volume du tas, soit approximativement 150 litres par mètre cube d'ordures. Si l'on dispose d'un excédent de matières sèches à forte teneur en cellulose, on peut les déposer dans l'excavation où sont versés les excréta : elles réduiront les risques de pertes d'azote. L'excavation est ensuite recouverte avec les ordures enlevées en creusant, auxquelles peuvent être ajoutées d'autres ordures, si un apport supplémentaire est nécessaire. La couche d'ordures recouvrant les excréta doit avoir une épaisseur d'au moins 30 à 45 cm. Le sommet du tas doit être légèrement arrondi pour permettre l'écoulement de l'eau de pluie. On calculera soigneusement la proportion d'excréta à ajouter ; en effet, si elle est excessive, la masse n'atteindra pas les hautes températures nécessaires pour un compostage satisfaisant.

3. Au bout de 5 à 7 jours, on retourne le tas de manière que les couches extérieures passent en surface et que la masse intérieure qui a été soumise à de hautes températures se retrouve à l'extérieur. A ce moment, le volume du tas aura diminué d'environ 20 à 25 %. Si une partie des excréta n'a pas

été attaquée ou soumise aux températures élevées, on veillera à la laisser à l'intérieur du tas ; si leur quantité à composter est élevée par rapport aux ordures, on peut en rajouter dans une excavation creusée dans le tas qui a été retourné. Cette seconde addition ne doit pas dépasser 1/10 à 1/12 du volume initial du tas. L'excavation est ensuite recouverte de nouveau.

4. Au bout d'un nouvel intervalle de 5 à 7 jours, la masse est retournée une seconde fois et l'on peut encore rajouter une petite quantité d'excreta (environ $\frac{1}{20}$ du volume initial du tas). Toutefois, à moins que le rapport C/N initial des ordures n'ait été très élevé, sa valeur risque de tomber si bas après ces nouvelles additions qu'une quantité considérable d'azote se perd par dégagement d'ammoniac.

5. On ne doit pas ajouter d'excreta plus de trois fois, et le tas doit être retourné deux fois après la dernière adjonction. On peut ajouter de l'eau suivant les besoins.

6. La durée du compostage est de 1 à 2 mois selon que la quantité initiale d'excreta a été ou non augmentée par la suite. Le tas final n'aura plus qu'un volume allant du tiers à la moitié du volume initial.

7. Les larves de mouches que l'on observe parfois au sommet du tas sont détruites lors du retournement et, en général, ne reparaissent plus. Le dégagement d'odeurs désagréables, sauf au moment où l'on introduit les excreta, indique que les opérations ne se déroulent pas dans de bonnes conditions.

Les longs silos ne donnent pas d'aussi bons résultats que les tas pour le compostage de mélanges d'excreta et d'ordures, mais ils peuvent cependant être utilisés. En fait, ces silos ne sont que des séries continues de tas et, étant donné que les excreta doivent être ajoutés en couches ou dans des excavations à l'intérieur des tas, cette continuité ne présente aucun intérêt. Cependant, les silos présentent un avantage : ils permettent d'opérer le retournement à meilleur compte lorsqu'on ne composte que des ordures diverses ou lorsqu'on ajoute des boues d'égouts avant la mise en tas.

Compostage d'ordures mélangées sans addition d'excreta

Le compostage d'ordures de village sans addition d'excreta ou de boues d'égouts nécessite moins de précautions que le traitement de matières humides contenant de nombreux micro-organismes pathogènes et parasites. Les ordures amenées par les véhicules qui en ont fait la collecte peuvent être déversées directement dans les fosses ou sur les tas, et n'exigent qu'un minimum de manutention.

Les fosses ou les tas sont construits de la même manière que pour les ordures additionnées d'excreta ; toutefois, il n'est pas nécessaire de disposer les matières par couches successives distinctes. Les ordures mélangées ne contiennent que de 35 à 50 % d'humidité et n'ont donc pas besoin d'être

retournées aussi fréquemment pour l'aération que les matières humides. Lorsque les ordures ménagères et les déchets sont bien mélangés, l'ensemble n'attire pas beaucoup les mouches. En général, les larves qui auraient pu éclore des œufs existant à l'origine dans les ordures ménagères sont détruites après un seul retournement. Si l'on ajoute du fumier d'étable, le problème de la reproduction des mouches devient plus difficile, mais le retournement suffit à le résoudre ; l'opération n'exige pas de précautions d'hygiène aussi strictes que lorsqu'il s'agit d'excreta humains. On peut utiliser pour le retournement des engins mécanisés ou bien encore des lames ou socs tirés par des chevaux ou des bœufs, sans se heurter aux mêmes difficultés sanitaires qu'avec des substances contenant des excreta.

Choix d'une méthode de compostage

Le choix d'une méthode de compostage dans un village ou une petite ville dépendra de la nature des ordures, des caractéristiques de l'aire de compostage, du climat et de la destination du produit fini : jardins maraîchers, pépinières, pelouses ou fermes. Les facteurs essentiels à prendre en considération dans le choix et l'application d'une méthode sont ceux qui concernent l'hygiène, les inconvénients pour le public et les frais entraînés.

Le compostage en fosses présente l'avantage d'enfermer les matières dans un espace relativement clos, et de réduire ainsi les risques qui peuvent résulter de négligences des ouvriers chargés d'ajouter des excreta au moment de la mise en tas et du retournement. Les frais de premier établissement d'un dépôt de compostage avec fosses pourvues d'un revêtement sont considérables, alors que le coût initial d'un dépôt où les ordures sont simplement mises en tas est très restreint. Si le compost en fosses n'est pas retourné, les frais d'exploitation sont peu élevés, mais il faut alors un plus grand nombre de fosses, donc une plus forte mise de fonds, qui risque d'annuler presque complètement les économies de main-d'œuvre. En outre, cette méthode augmente les risques de pullulement des mouches et de dégagement d'odeurs nauséabondes et elle ne garantit pas la destruction des germes pathogènes et des parasites. Sans doute, les fosses permettent-elles de mieux conserver la chaleur dans la masse en compostage — ce qui est utile dans les climats froids — mais pour cette même raison, elles sont moins propices à la ventilation ou à l'aération naturelles, ce qui est un inconvénient dans les climats chauds. En général, il y a intérêt à retourner la masse pour l'aérer. Lorsque ce travail se fait à la main, l'aération et la destruction des mouches sont probablement un peu moins onéreuses dans les fosses à revêtement que dans les tas.

La méthode des tas est plus souple et permet mieux d'adapter et de modifier les opérations au gré des circonstances. La faible mise de fonds initiale constitue un facteur important dans la mise sur pied d'un programme

de compostage. Les tas permettent une meilleure aération naturelle et donnent souvent des températures plus élevées à l'intérieur de la masse, de sorte que le compostage est plus rapide. Lorsqu'on les retourne, ils exigent un peu plus d'espace que les fosses. Si les déchets à composter ne contiennent pas d'excreta, la mise en tas est préférable aux fosses. A mesure que les progrès de la santé publique amèneront une généralisation du tout-à-l'égout dans les villes, et que l'on traitera les eaux d'égout, éventuellement avec séparation et récupération des boues, la quantité d'excreta à composter se trouvera réduite. Il est probable que le compostage des ordures en tas et sans addition d'excreta est appelé à prendre plus d'importance dans l'avenir.

Besoin en main-d'œuvre

Des chiffres exprimés en unités monétaires d'un pays n'ont guère de signification pour les autres pays. Le nombre d'hommes-heures requis pour différentes opérations de compostage fournit une base de comparaison plus utile ; or, sur ce point, on dispose de certaines données. Acharya¹ indique, pour les besoins en main-d'œuvre, un homme pour 3,5 m³ d'ordures et 900 litres d'excreta par jour, lorsque le compostage est opéré en fosses, sans retournement. Cette quantité de matière première donne environ 1,5 m³, soit à peu près une tonne d'humus. Il faut donc un homme-jour par tonne de produit fini. Van Vuren,⁸² appliquant le procédé des fosses avec retournement, a calculé que les besoins en main-d'œuvre étaient de un homme-jour pour 2 m³ environ d'ordures brutes additionnées d'excreta. Les chiffres fournis par Howard³⁴ sont de un homme-jour pour 0,8 m³ de compost fini, pour le compostage en fosse d'un mélange d'excreta et d'ordures retourné manuellement. Pour le compostage en tas d'ordures mélangées à des excreta, on donne le chiffre de 1 1/4 à 1 1/2 homme-jour par tonne, toutes les opérations étant faites à la main. Si l'on utilise des engins mécanisés ou des racloirs tirés par des chevaux ou des bœufs pour retourner les tas après que les excreta se sont stabilisés, on peut réduire considérablement les frais.

Lorsqu'on envisage de composter les ordures d'une ville, il est recommandé de faire tout d'abord un essai avec la méthode des tas. On pourra ainsi recueillir des renseignements sur la nature des matières et sur les problèmes d'exploitation, avant d'entreprendre la construction d'une installation plus ou moins fixe. On peut choisir l'emplacement du dépôt sans tenir compte de la technique qui sera employée et l'aménager pour le compostage en tas moyennant un minimum de frais. Si l'on décide par la suite, d'après les données de l'expérience initiale, que les fosses ou d'autres installations fixes seraient plus économiques, on peut les construire en fonction des besoins à aussi bon compte que si elles avaient été mises en place dès le début, et les chances d'obtenir un rendement maximum sont meilleures.

Le compostage offre aux petites villes et aux villages, notamment dans les régions où le sol a besoin d'être enrichi, un moyen d'utiliser et de récupérer les déchets qui, non seulement offre toutes garanties au point de vue de l'hygiène, mais qui présente aussi des avantages économiques pour la ville et pour la région agricole avoisinante.

MÉTHODES APPLICABLES DANS LES FERMES ISOLÉES

La plupart des agriculteurs savent que le fumier animal est un bon engrais, et beaucoup ont constaté que la préparation de compost à partir de matières organiques telles qu'excréments, paille, herbe, feuilles, sciure de bois et autres types de litière, est un procédé économique qui contribue de façon importante à donner à leurs terres une grande fertilité. Très souvent cependant ils se préoccupent peu d'employer les méthodes les plus efficaces qui permettent de respecter les règles de l'hygiène, tout en récupérant au maximum les substances nutritives et en produisant un compost de bonne qualité.

L'emploi de méthodes correctes permet : *a)* d'obtenir un humus dont le rapport C/N convienne au sol ; *b)* de conserver au maximum l'azote, le phosphore, la potasse et autres substances nutritives ; *c)* de détruire les graines de mauvaises herbes contenues dans les débris organiques, ainsi que les germes pathogènes et les parasites éventuellement présents dans les excréments ; *d)* de réduire le pullulement des mouches ; *e)* d'évacuer les matières usées dans de bonnes conditions de salubrité. La préparation du compost, en tas et dans des fosses, est le meilleur moyen de recueillir, de traiter et de conserver le fumier et les déchets de la ferme.

Construction des tas de fumier et des fosses

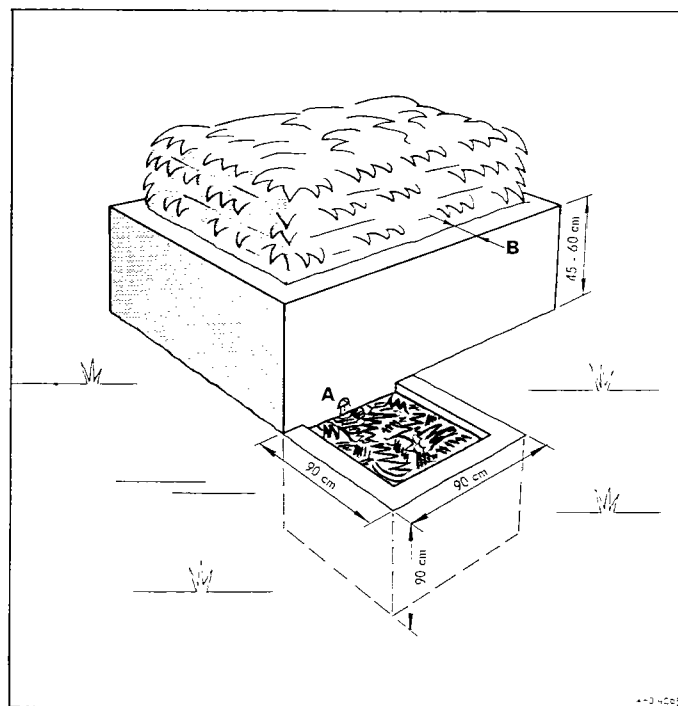
La stabilisation du fumier et des déchets organiques peut s'effectuer dans des fosses ou sur une dalle à la surface du sol. Il est rare qu'une ferme produise suffisamment de fumier et de matières usées pour permettre de constituer, au moins une fois par semaine, un nouveau tas de compost assez grand pour entretenir des températures élevées. C'est pourquoi il faut généralement construire des tas auxquels on ajoute les matières usées au fur et à mesure de leur production pendant plusieurs semaines. La manipulation et l'accumulation du fumier et des déchets se fait généralement à la fourche. Toutefois, il peut être économique dans les grandes fermes d'élevage et les laiteries d'employer des machines pour transporter les matières jusqu'au tas et charger l'humus sur des chariots ou des camions.

Les dimensions et le nombre des fosses ou des tas dépendent de la quantité de fumier et de matières usées à traiter. Les fermes qui possèdent de

un à quatre animaux n'auront qu'une seule fosse ou un seul tas de fumier, de dimensions suffisantes pour recevoir le fumier produit pendant cinq à six mois environ dans les pays froids et trois à quatre mois dans les climats chauds. Pour les fermes qui possèdent un plus grand nombre d'animaux, il est plus commode d'avoir deux ou plusieurs fosses ou tas afin que l'un finisse de se stabiliser pendant que l'autre se constitue. Un cheval ou une vache, établié, produit de 10 à 16 tonnes de fumier par an.

La figure 36 représente une fosse à compost, qui peut être construite en ciment ou en maçonnerie. Il faut calculer la surface de façon à obtenir le volume désiré lorsque la pile de matières déposées pour former le compost atteint 1,2-1,5 m de haut. Les murs doivent avoir environ 0,6 m de haut et le fond peut être soit en excavation soit à la surface du sol. Les murs empêchent les eaux de ruissellement de pénétrer dans le tas de fumier et d'entraîner de précieuses substances nutritives ; ils retiennent l'effluent liquide du fumier, qui contient des quantités importantes de substances nutritives dissoutes. On peut aménager à l'angle de la fosse un orifice permettant l'écoulement de purin dans une fosse en béton ou en maçonnerie.

FIG. 36. FUMIER EN FOSSE AVEC PUISARD D'ÉCOULEMENT



A = *Écoulement*
B = *Mur de 15 cm d'épaisseur*

Les murs de la fosse permettent également de lutter contre la reproduction des mouches et empêchent les volailles d'éparpiller le contenu sur le sol.

Les côtés du tas de fumier peuvent être à peu près verticaux lorsqu'il contient suffisamment de paille et de litière. Le sommet doit être légèrement arrondi pour permettre à l'eau de pluie de s'écouler au dehors et l'empêcher de s'infiltrer dans le tas.

Le puisard destiné à recueillir le purin doit avoir une capacité de 0,8 m³ et doit être de préférence revêtu intérieurement de béton ou de maçonnerie. On le remplit de paille ou de débris végétaux riches en cellulose, qui absorbent le liquide et constituent un milieu favorable pour l'utilisation bactérienne de l'azote, empêchant ainsi les pertes sous forme d'ammoniac. On peut également séparer les couches de paille, de 20 cm environ, par des couches de terre de 5 à 8 cm qui contribuent à absorber le purin et à empêcher la déperdition d'azote. Quand les déchets organiques qui remplissent le puisard sont saturés de liquide, on les enlève pour les déposer sur le tas de compost.

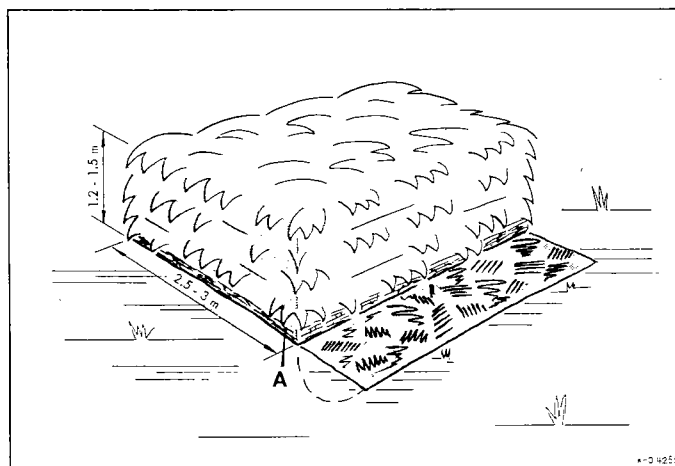
Le purin provenant de l'étable doit être amené soit dans le puisard adjacent à la fosse à compost, soit dans une fosse distincte construite de la même façon que la première et située dans un endroit approprié. Si l'on n'a pas assez de paille ou de débris organiques pour assurer une absorption et une rétention suffisantes de l'effluent du tas de fumier et du purin provenant de l'étable, il faut recueillir tout ce liquide dans une vaste fosse étanche d'une capacité de 900 litres ou davantage, selon le nombre d'animaux et l'importance des pluies. On pourra ainsi le prélever et le répandre sur les terres au fur et à mesure des besoins. Etant donné qu'il est très riche en substances chimiques nutritives, il faut éviter de le laisser perdre. L'absorption du purin dans une matière organique est généralement plus satisfaisante du point de vue de la conservation des éléments nutritifs et de la formation de l'humus ; toutefois, l'épandage direct sur la terre permet de récupérer la majeure partie de la valeur nutritive.

La figure 37 représente un tas de fumier destiné au compostage. Les dimensions du tas dépendent de la quantité de matières usées organiques à traiter et du temps pendant lequel celles-ci resteront accumulées, comme on l'a expliqué ci-dessus pour la fosse à compost. Il est bon de disposer le tas sur une dalle de béton ou de maçonnerie et de lui adjoindre une fosse à purin. Si le prix de revient de la dalle est trop élevé, une solution satisfaisante consiste à préparer la base du tas de fumier en damant la terre et si possible en la recouvrant d'une couche d'argile tassée qui la rend relativement imperméable. Le sol doit être en pente de façon à ce que tout l'effluent soit collecté dans une petite fosse remplie de paille ou autres déchets destinés à absorber les substances nutritives.

Si le fumier est disposé sur une dalle de béton ou de maçonnerie, il est bon de creuser dans la dalle une rigole de 15 cm de profondeur aux

bords du tas de fumier, afin de capturer les larves de mouches et les pupes qui émigrent vers les côtés pour fuir les hautes températures de l'intérieur. Le bord intérieur de cette rigole doit être surélevé de 2 à 3 cm de façon que le purin provenant du tas s'écoule vers la fosse et ne pénètre pas dans la rigole. Celle-ci doit être toujours remplie d'eau, dans laquelle les larves se noient. Toutefois, elle ne constitue une protection efficace que si elle est nettoyée et remplie d'eau fréquemment ; comme l'agriculteur néglige en général cette précaution, ce dispositif est d'une utilité douteuse.

FIG. 37. TAS DE FUMIER A MÊME LE SOL



A = Débris grossiers.

Addition de débris végétaux et d'excreta aux tas de fumier

Il est très important de placer à la base du tas de compost une couche de paille, de tiges de canne ou autre matière cellulosique grossière qui facilite la rétention des substances nutritives et la formation de l'humus. Cette couche doit avoir une épaisseur initiale d'au moins 30 à 45 cm, de façon à ne pas descendre en-dessous de 7 à 10 cm lorsqu'elle supportera le poids du tas. Ce lit poreux de cellulose assurera l'aération nécessaire à la préparation du compost et absorbera une quantité considérable de purin. Comme sa teneur en azote et autres substances nutritives est peu élevée, au contraire du fumier et du purin, il absorbera l'excédent et se décomposera en un humus riche. Cette couche est particulièrement importante lorsque le tas de compost est disposé à même le sol.

Etant donné que la plupart des fumiers et tous les excreta contiennent une grande quantité d'azote, dont une partie risque de se perdre pendant

le compostage, on peut utilement déposer sur le tas de fumier et faire composter toutes sortes de déchets organiques. L'humus qui en résulte fournira un engrais de qualité très satisfaisante, il sera plus abondant et la perte d'azote sera réduite. Un tas de fumier peut très bien recevoir les mauvaises herbes, les débris provenant de la taille des haies et les matières usées organiques, qui sans cela auraient été brûlées, avec pour résultat une perte de substances nutritives et d'humus.

On peut ajouter au tas de fumier en compostage des excréta et des mauvaises herbes mais à condition qu'ils se trouvent au moins à 30 cm des murs de la fosse et à 30 cm de profondeur, de telle sorte qu'ils subissent les températures élevées qui détruisent les germes pathogènes, les parasites et les graines et afin que les mouches ne se reproduisent pas dans les excréta. Etant donné la teneur élevée de ces derniers en azote et en eau, il est préférable d'y ajouter des matières cellulosiques sèches, qui serviront en outre à assurer l'aération, facilitant ainsi la décomposition aérobie et la production de températures élevées.

Afin de réduire au minimum la reproduction des mouches, il faut recueillir immédiatement et remettre sur la pile les débris qui peuvent tomber sur les côtés du tas ou de la fosse. Les matières fécales et les ordures attirent beaucoup les mouches, ce qui n'est pas le cas des déchets organiques. C'est pourquoi il y a lieu de déposer le fumier qui contient de grandes quantités de matières fécales à l'intérieur de la fosse et celui qui contient surtout de la paille et de la litière, au sommet et sur les côtés.

DIGESTEURS DE FUMIER ET D'EXCRETA POUR LA RÉCUPÉRATION DU MÉTHANE A LA FERME ET AU VILLAGE

Historique et intérêt du procédé

La présence de méthane (CH_4) dans le gaz des marais a été constatée pour la première fois vers la fin du XVIII^e siècle et c'est au cours du XIX^e que l'on a observé la production de cet hydrocarbure à partir de matières organiques en décomposition anaérobie. Le premier essai d'une installation produisant le méthane par la décomposition biologique de fumier semble avoir été fait à Bombay (Inde) en 1900.⁵⁴ Depuis lors, les détails du procédé ont été mis au point et, à l'heure actuelle, la digestion anaérobie des matières solides contenues dans les eaux d'égout ainsi que la récupération du gaz sont pratiquées en grand dans les villes de nombreux pays. A partir de 1930, des recherches ont été entreprises en Algérie,^{16, 41} en France,^{6, 54} en Allemagne,^{37a} dans l'Inde,² en Angleterre^{20, 52} et aux Etats-Unis d'Amérique⁵⁴ pour appliquer le procédé à la ferme. Depuis 1945, il existe en Algérie, en France, en Allemagne, en Italie, dans l'Inde et dans d'autres régions de nombreuses installations qui permettent la digestion des fumiers et déchets de ferme et la récupération de méthane et d'humus. Ces installations ont donné de bons résultats, notamment dans les pays à climat chaud ou tempéré.

L'utilisation pratique de la fermentation anaérobie des déchets organiques, tels que fumiers de ferme, détritiques, ordures ménagères et excréta, avec récupération du méthane pour servir de combustible, est une étape importante dans l'histoire de l'assainissement rural au cours des dix ou quinze dernières années. Dans son principe, ce procédé est une variante de la digestion anaérobie pratiquée dans les usines municipales de traitement des eaux usées ; la méthode a été adaptée aux petites installations utilisables à la ferme. Ces installations comprennent un ou plusieurs digesteurs et un gazomètre. On place le fumier et les autres déchets dans une cuve fermée, où la fermentation anaérobie peut se dérouler à l'abri de l'oxygène de l'air. Le méthane qui se dégage au cours de la décomposition des matières carbonées est recueilli dans le gazomètre afin d'être utilisé

^a Voir article paru dans *La Potasse* (novembre 1941) sous le titre « Le gaz de fumier en Allemagne » et résumé par Hisserich dans *Land, Wald und Garten* (mai 1947).

comme combustible pour la cuisine, l'éclairage, la réfrigération et le chauffage, ainsi que pour d'autres usages domestiques ou agricoles, tels que l'alimentation de petits moteurs.

Ce procédé permet de traiter de façon salubre les déchets organiques, de lutter avec succès contre le pullulement des mouches, de récupérer de façon efficace et économique, sous forme de méthane combustible, une partie du carbone perdu et de conserver l'humus et les éléments fertilisants des détritits pour les utiliser comme engrais.

La plupart des installations de ferme ne traitent que les fumiers et détritits organiques ; cependant, on peut aussi bien ajouter des excréta à condition de prévoir une durée de fermentation suffisante pour que les microorganismes pathogènes et les parasites soient détruits. Ce procédé présente de nombreux avantages dans le cas des fermes et villages où l'évacuation des immondices dans les effluents-vannes n'est pas possible. Il permet également de supprimer la pratique dangereusement insalubre qui consiste à déposer dans les champs et dans le voisinage immédiat des habitations des excréta non traités. De la paille, des mauvaises herbes et toutes autres matières cellulosiques peuvent être ajoutées au fumier et aux excréta pour la production de méthane.

Les digesteurs permettant la récupération du gaz sont particulièrement avantageux dans les régions où le combustible est rare et où l'on brûle des excréments d'animaux pour la cuisine, gaspillant ainsi de précieuses réserves d'azote et d'autres éléments fertilisant nécessaires au sol. Dans les digesteurs en question, l'azote, le phosphore, la potasse et les autres éléments nutritifs demeurent dans la cuve sous forme d'humus et de liquide, cependant qu'une grande partie du carbone et de l'hydrogène se transforme en méthane combustible. La qualité de l'humus est voisine de celle du compost obtenu par décomposition aérobie et lorsqu'on utilise comme engrais le liquide en même temps que les matières solides, on récupère la presque totalité des éléments fertilisants.

Le gaz ainsi produit, qui se compose d'environ deux tiers de méthane et d'un tiers de gaz carbonique, peut atteindre un pouvoir calorifique de 4500 à 6000 calories par mètre cube et fournit à peu de frais une source intéressante de chaleur. Un mètre cube de ce gaz à 6000 calories équivaut aux quantités suivantes d'autres combustibles : 1,1 litre d'alcool ; 0,8 litre d'essence ; 0,6 litre de pétrole brut ; 1,5 m³ de gaz de ville ordinaire ; 1,4 kg de charbon de bois ; et 2,2 kilowatts/heure d'électricité.

Le gaz peut être stocké dans le gazomètre et amené par une tuyauterie dans l'habitation, à laquelle il fournit un combustible propre pour la cuisine et l'éclairage. Il dégage une légère odeur d'étable qui permet de déceler immédiatement les fuites ; sa toxicité est très faible car il ne contient qu'une quantité minime d'oxyde de carbone — élément toxique de la plupart des gaz de ville. Il brûle avec une flamme violette, sans fumée. Comme le méthane s'y trouve mélangé à une forte quantité de CO₂, le

risque d'incendie ou d'explosion est un peu moins grand qu'avec le gaz de ville. Il faut toutefois prendre les plus grandes précautions pour éviter que l'air se mélange au méthane, sauf lorsque le gaz brûle à l'air libre : en effet un mélange contenant 5 à 14 % de méthane est explosif quand de grandes quantités sont enflammées.

Données essentielles dont dépendront le choix et le fonctionnement d'une installation

Plusieurs facteurs essentiels doivent être pris en considération pour la construction ou l'achat d'une installation. Ce sont : 1) le climat ; 2) le nombre de familles à desservir ; 3) la quantité de déchets utilisables ; 4) la production de gaz ; 5) le nombre et la capacité des digesteurs ; 6) l'emplacement des digesteurs ; 7) les besoins en gaz et le stockage ; 8) les matériaux et le coût.

Le climat

Les petites installations donnent les meilleurs résultats dans les climats tempérés où les périodes de gel sont rares et de courte durée. La décomposition et la production de gaz atteignent leur vitesse maximum à environ 35°C, mais s'effectuent également dans des conditions satisfaisantes à des températures au-dessus de 15 à 20°C. La production de gaz cesse pratiquement au-dessous de 10°C. Le digesteur fonctionne bien dans des climats froids, à condition que la cuve soit convenablement isolée et chauffée. On peut obtenir l'appoint de chaleur nécessaire en brûlant une partie du gaz produit, en entourant la cuve de fumier et de paille (voir page 197) ou en la plaçant au-dessus de la surface du sol afin de l'exposer au soleil. Lorsqu'on chauffe les cuves avec le gaz produit par le digesteur ou avec un tas de compost en décomposition aérobie, il faut que le volume de matières organiques utilisables soit suffisant pour fournir à la fois le surcroît de chaleur et le gaz destiné aux autres usages.

Installations destinées à une ou plusieurs familles

L'installation peut être conçue pour une seule ou pour plusieurs familles. Pour choisir, il faut savoir si une famille donnée peut réunir assez de fumier et d'autres déchets pour alimenter le groupe générateur. Une installation minimum destinée à une seule famille comprendrait normalement une cuve d'environ 4 à 5 m³ de capacité et un gazomètre d'au moins 2 m³. Il est bon de prévoir deux ou plusieurs digesteurs, pour assurer la continuité de la production de gaz et permettre de charger une des cuves pendant que la fermentation se poursuit dans l'autre. Plusieurs digesteurs peuvent aboutir à un gazomètre unique. Si deux ou plusieurs familles voisines ne

possèdent pas plus d'une seule tête de bétail chacune, elles auraient avantage à traiter ensemble leurs déchets dans une seule installation, à partir de laquelle le gaz serait distribué à chaque habitation. L'emplacement sera choisi de manière à réduire au minimum les transports de matières et à comprendre en même temps des latrines pour les familles participantes. Cet arrangement permettrait d'utiliser plus d'une cuve de digestion et d'assurer ainsi une production de gaz plus uniforme. Le coût de l'installation initiale, par tonne de fumier traité, serait moins élevé pour plusieurs familles que pour une seule. Toutefois, il peut arriver qu'une installation créée pour plus de deux familles habitant sur des terrains contigus nécessite un réseau de canalisations si compliqué et des transports de matières si excessifs que les installations individuelles deviennent alors plus économiques dans l'ensemble.

Quantité de déchets utilisables

Comme on l'a déjà indiqué, les chevaux et les vaches produisent de dix à seize tonnes métriques de fumier par an, selon les conditions de stabulation et les quantités de détritiques organiques qui entrent dans la composition des litières. A cela, peuvent s'ajouter les ordures ménagères, la paille, les tiges de canne et tous autres déchets organiques. Si l'on utilise les excréta comme engrais, ils doivent être digérés avec les autres matières organiques avant d'être épandus sur le sol, pour éviter la propagation des maladies transmises par les matières fécales. Sans doute, les excréments humains n'augmentent-ils pas sensiblement le poids des matières introduites dans le digesteur — de 15 à 30 kg par personne et par an — mais ils fournissent une proportion appréciable de l'azote et du phosphore nécessaires à la digestion biologique et à la production de méthane à partir de la cellulose et des autres matières riches en carbone. Traiter de façon salubre les excréta pour la récupération des éléments fertilisants qu'ils contiennent est de la plus haute importance. En outre, lorsqu'on met en digestion des excréta et des fumiers à forte teneur en azote et en phosphore, on peut leur ajouter de grandes quantités de déchets tels que paille, tiges de canne, sciure, etc., pour augmenter la production de gaz. Lorsque des excréta sont digérés avec d'autres déchets, il faut prévoir une durée de fermentation de trois mois ou davantage, afin d'assurer une destruction complète des micro-organismes pathogènes et des parasites.

Le poids du fumier de ferme et des déchets organiques mixtes varie de moins de 500 kg à une tonne par mètre cube, selon le degré d'humidité et le tassement.

Production de gaz

Dans la pratique, 50 % environ de carbone théoriquement disponible est transformé en gaz. Une tonne de déchets donnera normalement environ

50 à 70 m³ de gaz par cycle de fermentation, selon la proportion de matières organiques et la teneur en carbone des déchets.

A de hautes températures, le cycle de fermentation sera plus court et le rendement quotidien par tonne de matière sera par conséquent plus élevé. Pour produire une quantité fixe de gaz, la capacité des digesteurs devra être sensiblement plus grande à environ 20°C qu'à 30-35°C. Mignotte ⁵⁴ évalue comme suit la production de gaz par tonne de fumier pour différents cycles de fermentation et différentes températures :

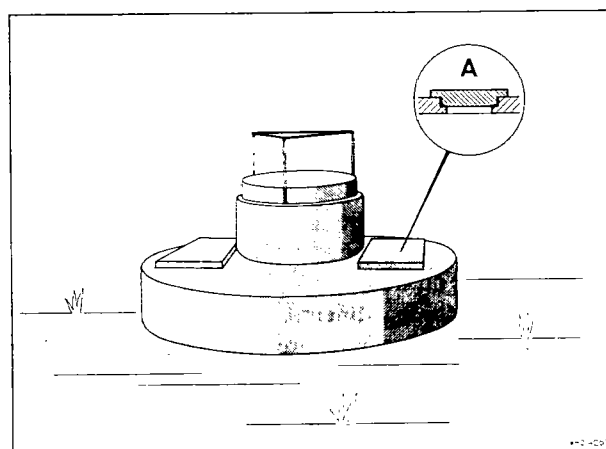
Température (°C)	Production de gaz (m ³ par jour)	Cycle de fermentation (mois)
15	0,15	12
20	0,3	6
25	0,6	3
30	1	2
35	2	1

On trouve dans les ouvrages sur le traitement des eaux usées des données analogues concernant la production de gaz et le cycle de fermentation des boues d'égout. La production de gaz peut être évaluée d'après la quantité de matières organiques contenues dans le fumier. Ce chiffre et la vitesse de fermentation à des températures différentes constituent d'importants facteurs lorsqu'il s'agit de déterminer la capacité des cuves à utiliser.

Nombre et capacité des digesteurs

Le nombre et la capacité des cuves de digestion qui forment les éléments de l'installation varieront suivant la quantité de matières décomposables

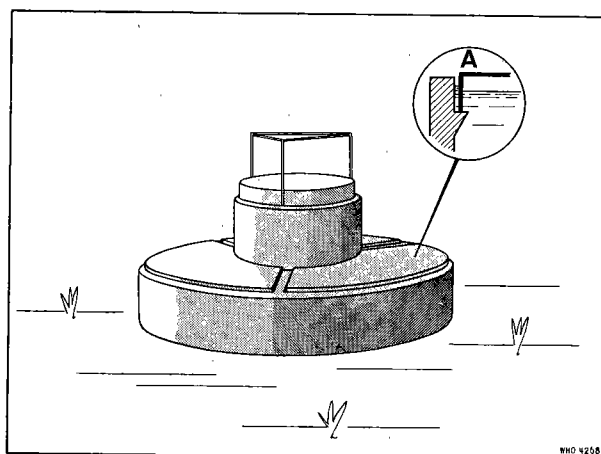
FIG. 38. DIGESTEUR CIRCULAIRE A DEUX COMPARTIMENTS AVEC GAZOMÈTRE



A = Mastic d'argile

à traiter et la quantité de gaz désirée. Afin d'assurer une production de gaz plus uniforme, il est recommandé de prévoir deux cuves au minimum et, de préférence, trois. L'expérience indique que 8 m^3 ($2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$) pour chaque compartiment de digestion est un chiffre commode. Dans les petites installations, où le volume de déchets est insuffisant pour alimenter deux digesteurs de cette capacité, on pourrait utiliser des cuves plus petites mais l'économie réalisée dans le coût de construction serait minime. Pour les installations plus importantes, on peut prévoir jusqu'à six compartiments d'environ 8 à 12 m^3 chacun, mais il ne semble pas économique d'en employer plus de 6 ou éventuellement de 8 ; pour les très grandes installations, on augmentera la capacité de chaque compartiment.

FIG. 39. DIGESTEUR CIRCULAIRE A TROIS COMPARTIMENTS
AVEC COUVERCLES FLOTTANTS ET GAZOMÈTRE



A = Coupe d'un couvercle flottant

Dans les petites installations, les cuves peuvent être circulaires, carrées ou rectangulaires. Les figures 38 et 39 représentent des unités circulaires comprenant deux ou trois compartiments de fermentation ainsi que le gazomètre.

La cuve de digestion peut être munie d'un couvercle en ciment avec mastic d'argile et de bouse de vache (voir fig. 38), d'un couvercle en métal avec joints et serre-joints ou d'un couvercle flottant en métal (voir fig. 39). Dans le digesteur à trois compartiments, chacun de ceux-ci occupe approximativement un tiers de la couronne circulaire et l'on peut placer au centre un gazomètre circulaire ou triangulaire. Si les cuves de digestion sont circulaires, chacune constituera une installation distincte, sans parois communes et en cas d'agrandissement il faudra construire une nouvelle cuve. Les cuves carrées ou rectangulaires peuvent avoir des parois communes

et l'installation peut être agrandie par simple adjonction de compartiments supplémentaires aux extrémités. On choisira le type de construction le plus économique, compte tenu des conditions locales.

Emplacement des digesteurs

Les digesteurs doivent être placés à proximité de la source de fumier et de déchets afin d'éviter un excès de manutentions et de transports. Il y a également intérêt à choisir l'emplacement de manière à réduire au minimum les canalisations nécessaires pour la distribution du gaz. Il importe de donner aux digesteurs l'orientation qui leur assure le maximum d'ensoleillement pour contribuer à maintenir des températures élevées pendant la fermentation. On peut obtenir plus de chaleur solaire en plaçant la cuve au-dessus de la surface du sol, mais cette disposition augmente la hauteur à laquelle doivent être élevées les matières au moment du chargement. Si l'on ne remplit les cuves qu'avec du fumier et des détritux, la pratique courante est de les placer en partie au-dessous et en partie au-dessus du sol. On peut ainsi les entourer de compost pour en assurer le chauffage. Si des latrines sont combinées avec le digesteur, le sommet de la cuve peut dépasser la surface du sol d'une hauteur allant jusqu'à 0,70 m sans qu'il soit nécessaire d'aménager un trop grand nombre de marches.

Dans les régions à climat plus ou moins tropical où l'on n'utilise qu'une seule installation pour deux familles établies sur des terrains contigus, le digesteur peut être construit sous le mur mitoyen de telle sorte qu'une moitié se trouve sur l'une des propriétés et l'autre moitié sur la deuxième, le mur partageant l'installation. Il y a lieu, dans ce cas, de prévoir deux compartiments, tous deux accessibles de chaque propriété. Un seul gazomètre suffira : il peut être combiné avec les digesteurs ou construit séparément.

Besoins en gaz et stockage

Le gaz peut être employé à divers usages domestiques : cuisine, chauffage de l'eau, réfrigération et éclairage. Les quantités approximatives de gaz nécessaires sont les suivantes : cuisine, 2 m³ par jour pour une famille de 5 à 6 personnes ; chauffage de l'eau, 3 m³ par jour pour un réservoir de 100 litres, 0,6 m³ pour une baignoire et 0,35 m³ pour une douche ; réfrigération domestique des aliments 2,5-3 m³ par jour pour une famille de 5 à 6 personnes ; éclairage 0,1-0,15 m³ par heure et par brûleur.

Le gaz peut être également utilisé comme source d'énergie pour des machines, pour la réfrigération du lait et pour la production d'électricité. Un moteur fixe de 2 CV consomme environ 0,9 m³ par heure. Pour la réfrigération du lait dans une laiterie, les quantités nécessaires sont approximativement les suivantes : 0,8 m³ pour 55 litres, 1 m³ pour 90 litres et 1,25 m³ pour 150 litres.

Le gaz étant produit sans interruption, nuit et jour, et n'étant utilisé, pour l'essentiel, que pendant la journée, il y a lieu de prévoir un stockage pour éviter tout gaspillage et entretenir la pression à tout moment. On calculera la capacité de l'installation de stockage en fonction des besoins aux heures de pointe. Pour les petites installations, on devra prévoir une capacité égale à la consommation d'une journée. Ce cubage correspondra en général à la moitié environ, ou moins, du volume total de fumier en cours de décomposition. Dans les climats tropicaux ou chauds, on peut réduire la capacité de stockage à la moitié de la consommation journalière, mais il arrivera probablement qu'une partie du gaz contenu dans le digesteur soit perdue parce que le gazomètre sera plein. A d'autres moments, en cas de très forte consommation, le gazomètre pourra se vider entièrement. En tout cas, le volume du gazomètre ne devra pas être inférieur à 2 m³, même pour les très petites installations.

Le gazomètre sera indifféremment de forme circulaire ou carrée et sera pourvu d'un siphon hydraulique pour empêcher les fuites de gaz ou l'admission d'air. Le poids de la cloche flottante assure la pression du gaz. La pression nécessaire au fonctionnement des brûleurs à gaz courants est de 5 à 20 cm d'eau. Le fond et les parois du gazomètre, qui doivent être étanches, peuvent être en béton, mais la cloche doit en général être en métal afin que la pression ne soit pas excessive. On peut la lester en son centre pour obtenir la pression requise.

Le gaz peut être emmagasiné dans la cuve de digestion si celle-ci est munie d'une cloche flottante, comme l'indique la figure 48 (voir page 195). On peut prévoir dans ce cas un gazomètre supplémentaire, qui pourra être branché sur plusieurs cuves à la fois.

Pour la distribution du gaz, ce sont les canalisations en cuivre qui donnent les meilleurs résultats, car elles réduisent au minimum la corrosion ; toutefois on peut également utiliser des tuyaux en fer galvanisé ou en fer noir. Des vannes seront disposées à la sortie des digesteurs et du gazomètre. Les canalisations seront disposées de façon que le gaz provenant du digesteur arrive directement aux appareils d'utilisation et que la cloche du gazomètre serve simplement à donner la pression, à retenir le gaz lorsqu'il est produit plus rapidement qu'il n'est consommé et à le refouler dans le cas contraire. On placera un purgeur au point le plus bas de la conduite de gaz afin de permettre l'échappement de l'eau de condensation. Le purgeur peut être installé dans un trou à proximité de la cuve ou en tout autre endroit où il sera commode de situer le point le plus bas de la conduite de gaz.

Si l'on utilise le gaz dans un moteur, il y a parfois intérêt à le débarrasser de l'acide sulfhydrique qu'il contient pour empêcher la corrosion. A cet effet, on le fait passer à travers une cuve d'absorption renfermant de l'oxyde de fer qui retiendra les très faibles concentrations d'acide sulfhydrique. L'oxyde peut être reconstitué par exposition à l'air.

Matériaux et coût

Dans plusieurs pays, on peut se procurer une installation complète, soit préfabriquée, soit construite en béton sur l'emplacement même qui lui est destiné. Les installations préfabriquées comportent des cuves de digestion en acier ou en béton avec couvercles métalliques et gazomètres. Si l'utilisateur construit la majeure partie de l'installation lui-même, il peut réduire les frais. Les cuves de digestion et la base du gazomètre peuvent être soit en béton soit en maçonnerie. Dans ce dernier cas, les cuves devront être revêtues de plâtre pour éviter les fuites de gaz ou de liquide.

En général, la cloche du gazomètre s'achète toute faite car elle doit être en métal pour donner les meilleurs résultats. Il faut qu'elle soit étanche au gaz, suffisamment rigide et construite avec assez de précision pour ne pas se coincer dans les montants de guidage lorsqu'elle s'élève ou s'abaisse avec les variations du volume de gaz. Les vannes et les brûleurs doivent également être achetés. A moins qu'il ne connaisse lui-même la plomberie, l'utilisateur aura intérêt à s'adresser à un spécialiste pour la pose des canalisations.

Le coût initial semblera peut-être élevé, notamment si l'utilisateur ne fait pas lui-même une grande partie du travail. Néanmoins, si l'on répartit l'amortissement de cette dépense sur plusieurs années, on constate que l'installation constitue une source de combustible peu onéreuse en même temps qu'un moyen salubre de traiter les déchets. Dans les pays où il était d'usage de se servir du fumier comme combustible, un digesteur se révélera particulièrement économique, car non seulement il fournira du combustible, mais il permettra une intéressante récupération d'azote. Dans les cas où une installation unique dessert deux familles voisines on peut réduire la dépense initiale en ne construisant qu'un seul groupe de digesteurs avec un seul gazomètre.

Les frais d'exploitation et d'entretien sont relativement négligeables. Le chargement et l'enlèvement des matières sont une question de main-d'œuvre, dont une partie aurait de toute manière été utilisée pour les manutentions normales entre l'étable et le tas de fumier. L'entretien du matériel se réduit à l'application de peinture sur les parties métalliques pour empêcher la corrosion. Une telle installation, si elle est bien construite et protégée contre la corrosion, doit durer plus de 25 ans.

Construction de l'installation

Choix des matériaux de construction

On trouve en général sur place la plupart des matériaux nécessaires à la construction, à savoir : sable et gravier pour le béton et pierres ou briques pour la maçonnerie. Les structures en béton sont préférables parce qu'on peut les rendre imperméables à l'eau et au gaz et qu'il est

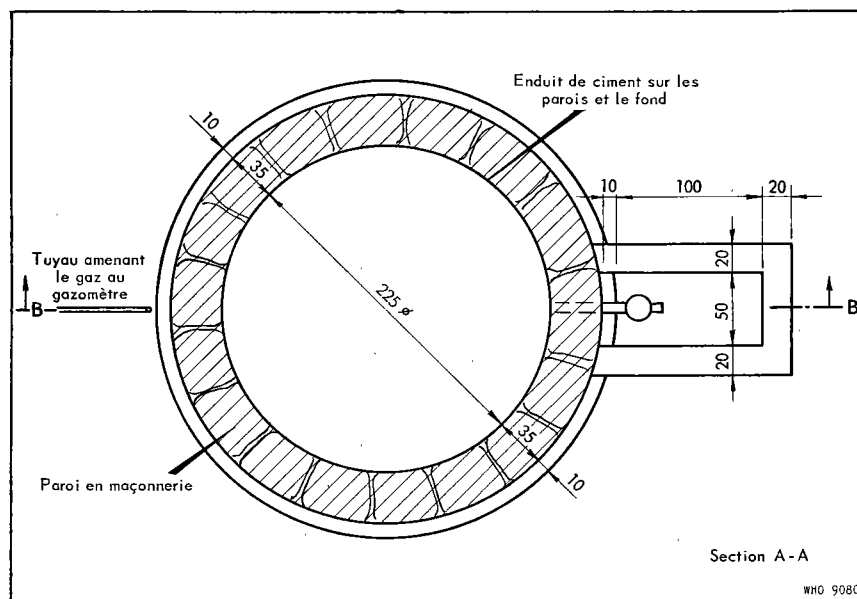
facile de les renforcer pour accroître leur résistance à la pression intérieure de l'eau, lorsque l'installation est construite au-dessus du niveau du sol. Toutefois, les coffrages de béton exigent une armature d'acier et une plus grande quantité de ciment que la maçonnerie. Dans certaines régions, cet inconvénient peut être sérieux si le ciment et l'acier sont difficiles à obtenir ou trop onéreux.

Les pierres ou les briques se prêtent également à la construction des cuves, à condition d'utiliser un bon mortier de ciment pour les joints. Les parois en maçonnerie doivent être conçues de manière à supporter la pression de l'eau et les surfaces intérieures doivent être revêtues d'une couche épaisse d'un enduit compact de sable, ciment et chaux, pour assurer l'étanchéité à l'eau et au gaz.

Cuves de digestion

Les cuves rectangulaires sont plus faciles à construire que les cuves circulaires, mais en cours de fonctionnement dans les climats froids, elles perdent relativement plus de chaleur en raison de leur rapport surface/volume plus élevé. Les constructions circulaires sont plus résistantes aussi bien à la pression intérieure de l'eau qu'à une éventuelle pression extérieure de la terre ; les parois peuvent donc être moins épaisses.

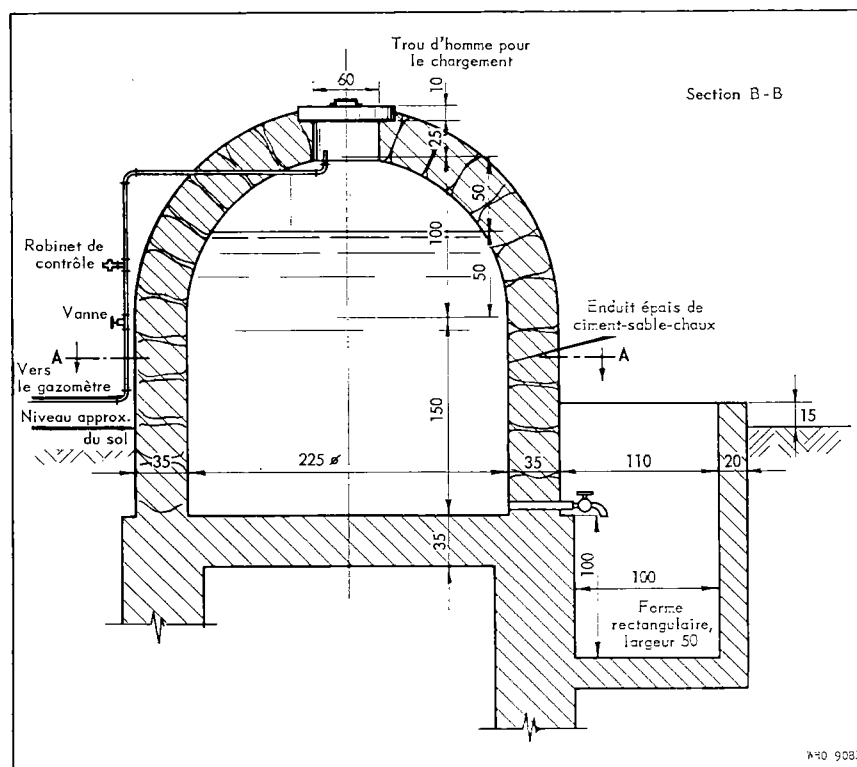
FIG. 40. PLAN D'UN DIGESTEUR INDIVIDUEL



Toutes les mesures sont indiquées en centimètres.

Chaque cuve doit comporter un trou d'homme pour le chargement, le déchargement et le nettoyage. Lorsque la cuve est prête à fonctionner, cette ouverture doit être hermétiquement fermée, afin d'empêcher les fuites de gaz. A cet effet, on insérera entre le bord du couvercle et la cuve un joint en caoutchouc ou un mastic d'argile humide et de bouse de vache.

FIG. 41. COUPE D'UN DIGESTEUR



Capacité maximum de stockage du fumier : 7,86 m³
Toutes les mesures sont données en centimètres.

Les figures 40 et 41 représentent une cuve de digestion circulaire en maçonnerie revêtue d'un enduit. Dans cette installation, le gazomètre est séparé (voir fig. 47, page 194). On peut utiliser une batterie de plusieurs cuves dont le gaz est amené à un gazomètre unique.

La figure 48 (voir page 195) représente un autre type de digesteur qui est pourvu d'un couvercle flottant permettant le stockage du gaz. Ce couvercle est enlevé pour le chargement. On donnera à la cuve la forme — circulaire, carrée ou rectangulaire — la plus facile et la moins onéreuse à construire. Les couvercles circulaires se coincent moins facilement en se soulevant et en s'abaissant.

FIG. 42. CROQUIS D'UNE INSTALLATION POUR LA PRODUCTION DE GAZ DE FUMIER AVEC LATRINES

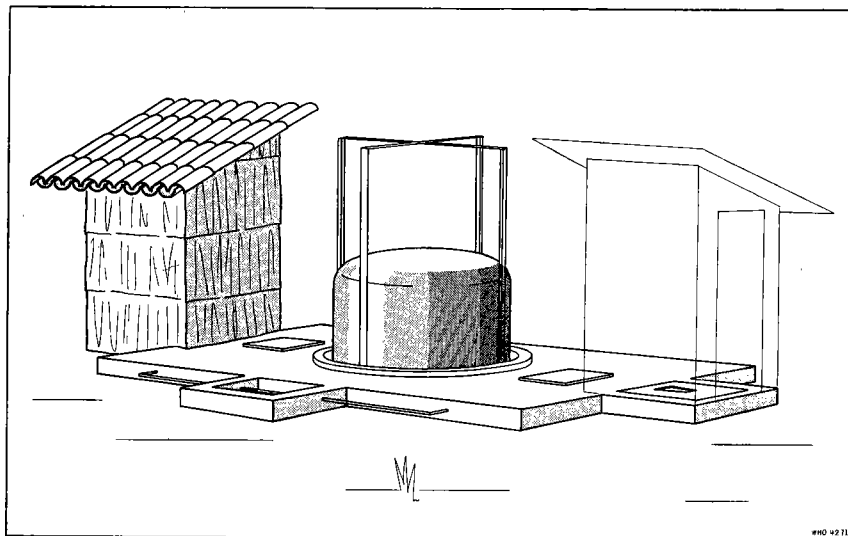
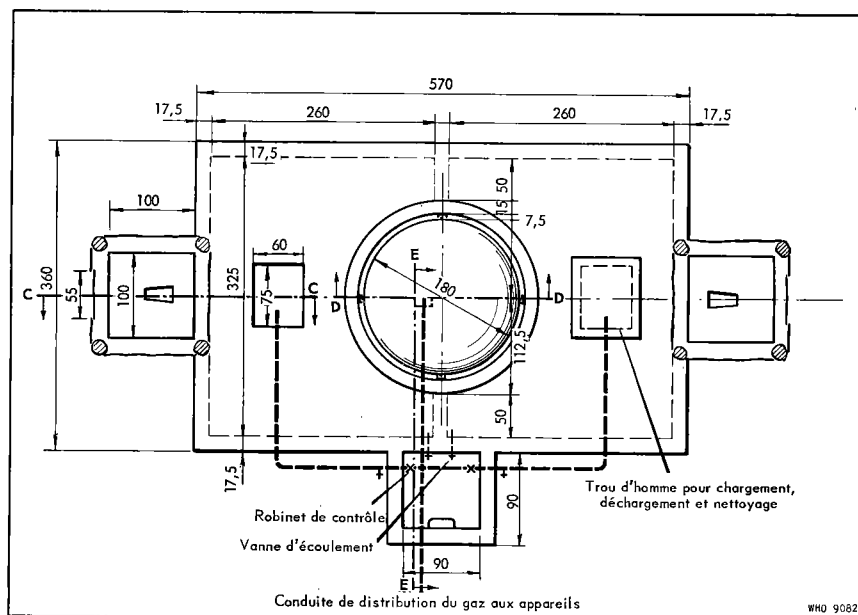


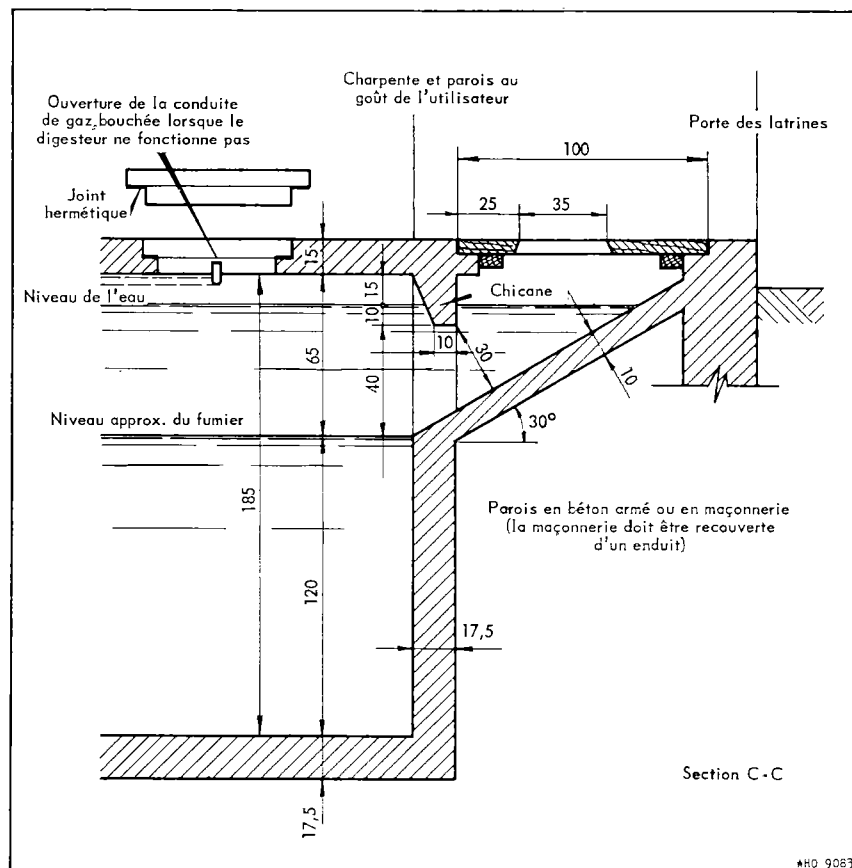
FIG. 43. PLAN DE L'INSTALLATION POUR LA PRODUCTION DE GAZ DE FUMIER AVEC LATRINES



Toutes les mesures sont données en centimètres.

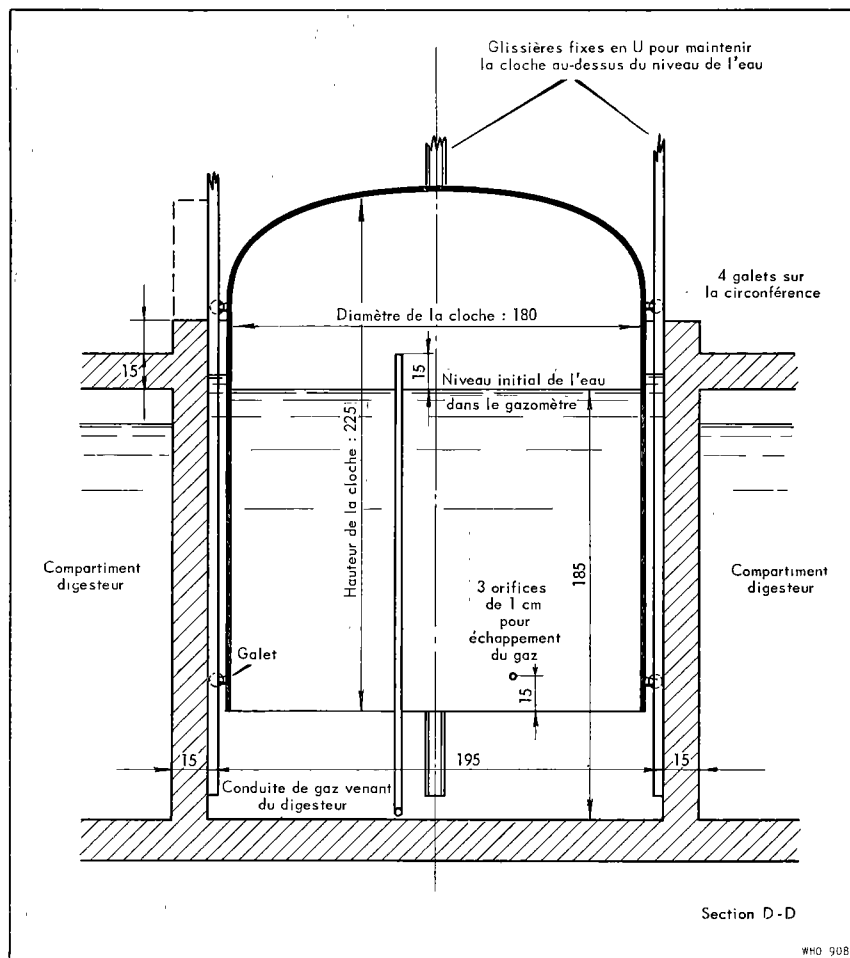
Dans les régions où l'on utilise couramment les excréments comme engrais, on aura avantage à combiner des latrines avec les cuves de digestion, comme le montrent les figures 42-46. La figure 42 représente l'ensemble de l'installation avec les abris construits pour les latrines. Ces abris sont en bois plein, en bambous fendus et imbriqués, en chaume de palmes ou d'herbe posé sur des lattes ou en toute autre matière appropriée trouvée sur place. La porte doit être disposée de manière à permettre de soulever aisément le couvercle des latrines pour ajouter du fumier, de la paille ou d'autres déchets dans la cuve de digestion. Les figures 43 et 44 montrent, l'une, le plan de l'installation et l'autre, le détail de la même installation vue en coupe. Les figures 44 et 45 donnent le détail du gazomètre et des canalisations.

FIG. 44. COUPE DU DIGESTEUR ET DES LATRINES



Toutes les mesures sont données en centimètres.

FIG. 45. COUPE DU GAZOMÈTRE D'UNE INSTALLATION
POUR LA PRODUCTION DE GAZ DE FUMIER

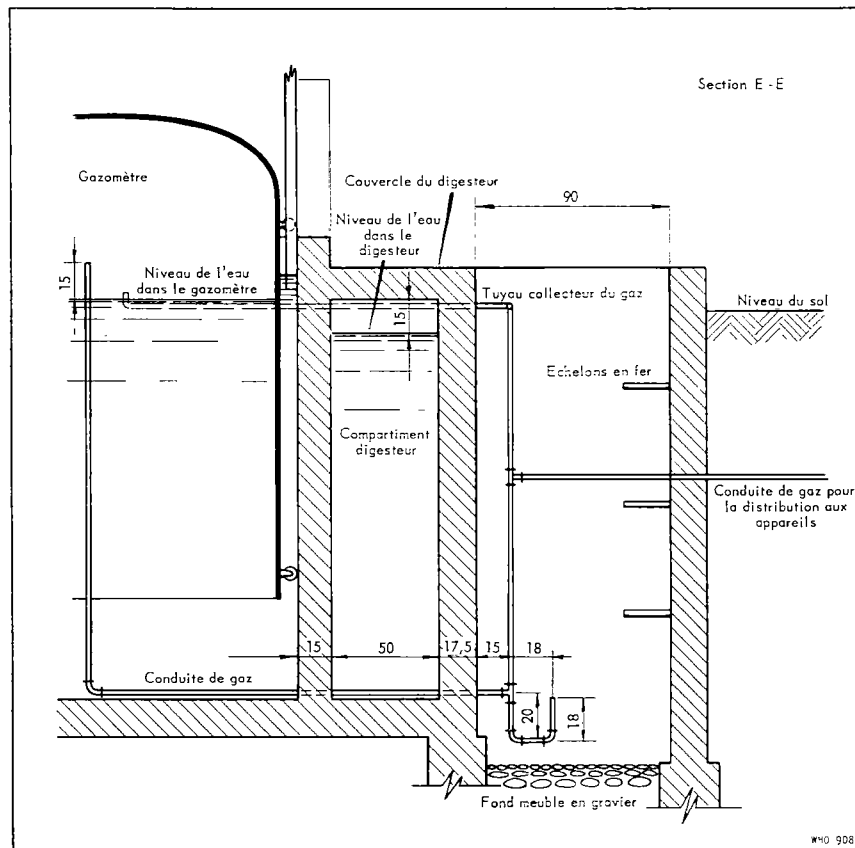


Toutes les mesures sont données en centimètres.

On peut modifier le rapport entre la hauteur et le diamètre de la cloche, à condition de conserver un volume équivalent.

On devra prévoir une chicane appropriée entre la cuve de digestion et la fosse des latrines pour empêcher les fuites de gaz. On veillera à maintenir cette séparation pendant toute la marche de l'installation. Il faut également que le niveau d'eau dans les latrines soit suffisant pour que l'installation fonctionne dans les conditions de propreté et d'hygiène requises. Dans le plan représenté sur les figures, les digesteurs se trouvent en partie au-dessous du niveau du sol, de façon que le plancher des latrines ne

FIG. 46. COUPE DE L'INSTALLATION POUR LA PRODUCTION DE GAZ DE FUMIER, AVEC LES CANALISATIONS



Toutes les mesures sont données en centimètres.

s'élève pas par trop au-dessus de ce niveau. Toutefois, si l'on désire que la cuve soit moins enfoncée dans le sol, on peut construire des marches d'accès.

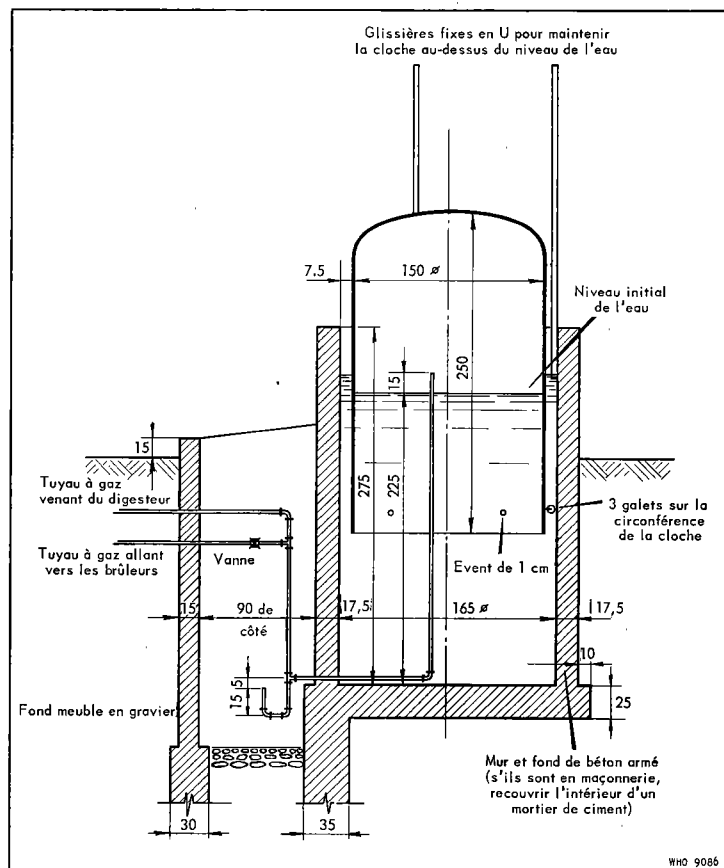
Les conduites de distribution du gaz provenant du digesteur sont très simples ; la seule condition à remplir est de placer l'ouverture du tuyau collecteur suffisamment au-dessus du niveau de l'eau (12-18 cm) pour qu'elle ne puisse pas être obstruée par de l'écume flottante. Dans certaines cuves, une partie du couvercle est construite en forme de cloche pour permettre de recueillir plus facilement le gaz. Au-dehors de la cuve, il convient d'installer un robinet de contrôle suivi d'une vanne d'obturation, le robinet devant servir à vérifier de temps à autre la qualité du gaz et la vanne à fermer et à isoler le compartiment digesteur lorsqu'on le désire.

Le digesteur doit également être muni d'un court tuyau de décharge aboutissant extérieurement à un robinet ou à une soupape, pour permettre l'écoulement de l'effluent de la cuve dans une fosse pourvue d'un revêtement. Comme on l'a déjà expliqué, ce liquide est riche en éléments fertilisants et il estensemencé de micro-organismes adaptés au milieu. Il doit donc être réutilisé avec le nouveau lot de fumier chargé dans le digesteur, l'excédent étant répandu sur les champs. Il suffit de donner à la fosse en question une capacité de $\frac{1}{2}$ -1 m³ par 10 m³ de volume du digesteur.

Gazomètre

Le gazomètre se compose essentiellement d'un réservoir en béton armé ou en maçonnerie, rempli d'eau et muni d'une cloche flottante qui monte

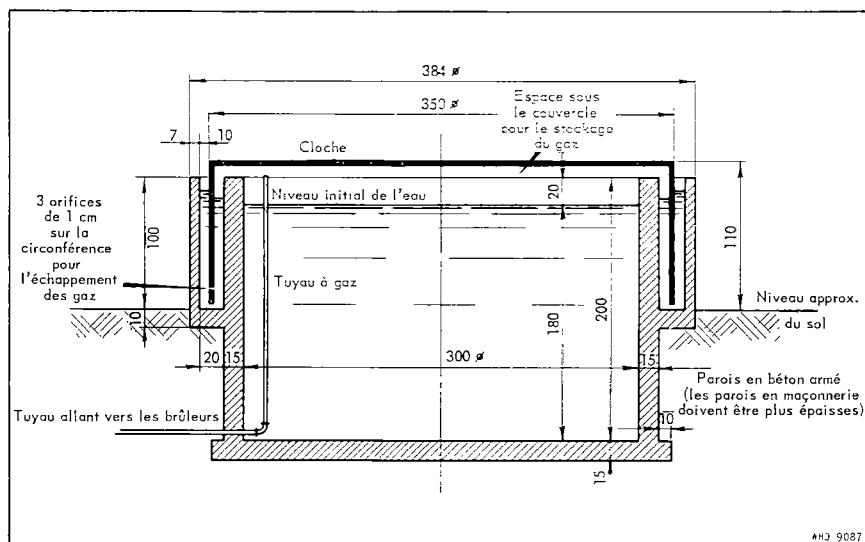
FIG. 47. COUPE D'UN GAZOMÈTRE AVEC CANALISATION ET PURGEUR



Toutes les mesures sont données en centimètres.

et descend dans l'eau selon la quantité de gaz reçue du ou des digesteurs (fig. 47). L'eau qui se trouve dans l'espace annulaire compris entre le couvercle et les parois du réservoir constitue une fermeture permanente empêchant toute fuite de gaz. On peut donner n'importe quelle forme au gazomètre, mais c'est la forme circulaire qui convient habituellement le mieux.

FIG. 48. COUPE D'UN DIGESTEUR DE FUMIER A COUVERCLE FLOTTANT FAISANT FONCTION DE GAZOMÈTRE



Toutes les mesures sont données en centimètres.

Sous la pression du gaz arrivant du digesteur, la cloche monte, l'eau qui se trouve à l'intérieur est repoussée vers le bas et, en même temps, le niveau de l'eau dans l'espace annulaire compris entre la cloche et les parois du réservoir s'élève, la différence de niveau correspondant à la pression effective du gaz stocké dans la cloche. En établissant les plans de l'installation, on devra calculer le franc bord de la cuve en tenant compte de la différence entre les niveaux de l'eau à l'intérieur et à l'extérieur de la cloche (fig. 48).

Pour des raisons tenant à la résistance des matériaux et pour contribuer à empêcher la congélation de l'eau dans les climats froids, il est préférable qu'une partie de la cuve soit enfoncée dans le sol. Il y a intérêt à ce que ses parois soient légèrement plus hautes que la cloche. Celle-ci est généralement en tôle de 2 à 3 mm d'épaisseur et doit être renforcée par une carcasse de cornières ou d'entretoises ; faute de quoi la tôle mince risquerait de se déformer et de se coincer contre les parois de la cuve.

Il faut aussi guider la cloche dans ses mouvements verticaux ; pour cela on utilise un système de galets et de glissières en fer à U, fixés à la cloche par soudure ou par tout autre moyen. Si la cloche est cylindrique, il faut trois glissières, et un minimum de quatre si elle est rectangulaire. Il est également utile de prévoir un ou plusieurs évents à 5-8 cm du bas de la cloche, afin que l'excédent de gaz puisse s'échapper lorsque le gazomètre est plein et a atteint le sommet de sa course.

C'est le poids de la cloche qui imprime la pression au gaz. Si elle est trop lourde, on sera peut-être obligé d'installer un système de contrepoids pour réduire la pression excessive du gaz aux postes d'utilisation. Si, au contraire, elle est trop légère, on devra la lester pour obtenir la pression recommandée — 10 à 20 g par cm^2 — à la sortie du gazomètre, étant entendu que ce dernier sera situé à une distance raisonnable de l'habitation et des appareils qu'il dessert. On pourrait utiliser une lourde cloche de béton, à condition d'aménager un système de contrepoids sur poulies pour réduire la pression. On pourrait utiliser une mince coque de béton, renforcée par un clayonnage de bambou tressé ; toutefois, un tel appareil serait assez lourd à placer dans le gazomètre et les manutentions pourraient entraîner des craquelures par lesquelles le gaz risquerait de s'échapper.

On trouvera ci-après, à titre d'exemple, le calcul de la pression du gaz dans le gazomètre circulaire représenté par la fig. 45. On a supposé une cloche en tôle d'une épaisseur de 2 mm et pesant 16 kg par mètre carré.

Superficie du sommet de la cloche = $2,54 \text{ m}^2$
 Superficie des parois de la cloche = $12,72 \text{ m}^2$
 Superficie totale de la cloche = $15,26 \text{ m}^2$
 Poids de la coque = $15,26 \times 16 = 244 \text{ kg}$
 Poids de l'armature de la coque et des glissières en fer = 56 kg
 (approximativement)
 Poids total de la cloche = 300 kg
 Pression du gaz = poids total divisé par la superficie du sommet de la cloche
 = $300/2,54 = 118 \text{ kg/m}^2 = 11,8 \text{ g/cm}^2$

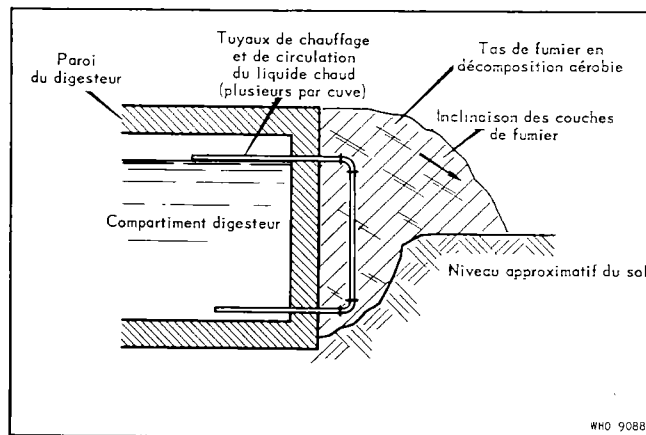
Les figures 46 et 47 indiquent un moyen commode de disposer les canalisations du gazomètre. Un seul tuyau à gaz pénètre au fond et sert à la fois à amener le gaz du digesteur et à le distribuer aux postes d'utilisation. Le purgeur monté au point le plus bas de la conduite, dans la fosse contiguë, recueille et évacue l'eau de condensation des canalisations.

Chauffage des digesteurs et des gazomètres

Divers systèmes ont été conçus pour isoler ou chauffer les digesteurs et les gazomètres dans les climats froids. Pour l'isolement, on construit parfois des doubles parois, en remplissant le vide de paille, de sciure ou de laine de verre. Le moyen le plus simple et le plus économique de chauffer les cuves consiste à les entourer d'un tas de fumier d'un mètre ou plus

d'épaisseur comme l'indique la figure 49. Le tas, formé de couches successives, s'appuie d'un côté contre les parois extérieures de la cuve et descend en pente vers le sol, de l'autre côté.

FIG. 49. COUPE D'UN DIGESTEUR CHAUFFÉ PAR UN TAS DE FUMIER



On notera que les tuyaux sont encastrés dans le tas de fumier.

Ainsi, la chaleur dégagée dans le tas de fumier est déviée vers le haut et le côté dans la direction des parois de la cuve. On peut également recouvrir le sommet de la cuve avec un tas de fumier analogue. Celui-ci devra être renouvelé tous les deux à trois mois afin de profiter de son pouvoir calorifique maximum.

Un perfectionnement consiste à chauffer le liquide du digesteur en utilisant la chaleur créée à l'intérieur du tas de fumier qui entoure la cuve et à le faire circuler à l'intérieur au moyen de tuyaux installés comme l'indique la figure 49. Les liquides chauffés pénètrent par le haut, en même temps que les couches froides sont aspirées dans les branches inférieures du tuyau. On assure ainsi une circulation constante.

Dans les grandes installations, on peut utiliser une partie du gaz pour chauffer de l'eau dans une chaudière ; l'eau chaude est ensuite envoyée à l'intérieur du digesteur dans des serpentins au niveau desquels s'effectuent les échanges thermiques.

Fonctionnement des digesteurs

Matières et chargement initial

La mise en fonctionnement d'une installation exige le plus grand soin. Jusqu'à ce que les conditions deviennent favorables au développement de l'abondante flore microbienne nécessaire pour une bonne décomposition.

anaérobie et pour la production de méthane, on peut craindre la formation d'acides qui retardent la digestion et empêchent le dégagement de gaz. Lorsqu'on met un digesteur en exploitation pour la première fois, on doit y introduire des matières qui ont déjà subi la fermentation aérobie, pendant une à deux semaines et sont en parties décomposées. Cette première fermentation aérobie éliminera certains des éléments susceptibles d'entraîner la production d'acides. Après avoir chargé, on laissera la fermentation aérobie se poursuivre pendant trois jours environ, afin d'obtenir à l'intérieur une température élevée. Il est indiqué d'ajouter, si possible, une certaine quantité d'humus digéré et de liquide provenant d'une autre installation qui fonctionne et produit du gaz depuis quelque temps déjà. Le reste du digesteur est alors rempli d'eau.

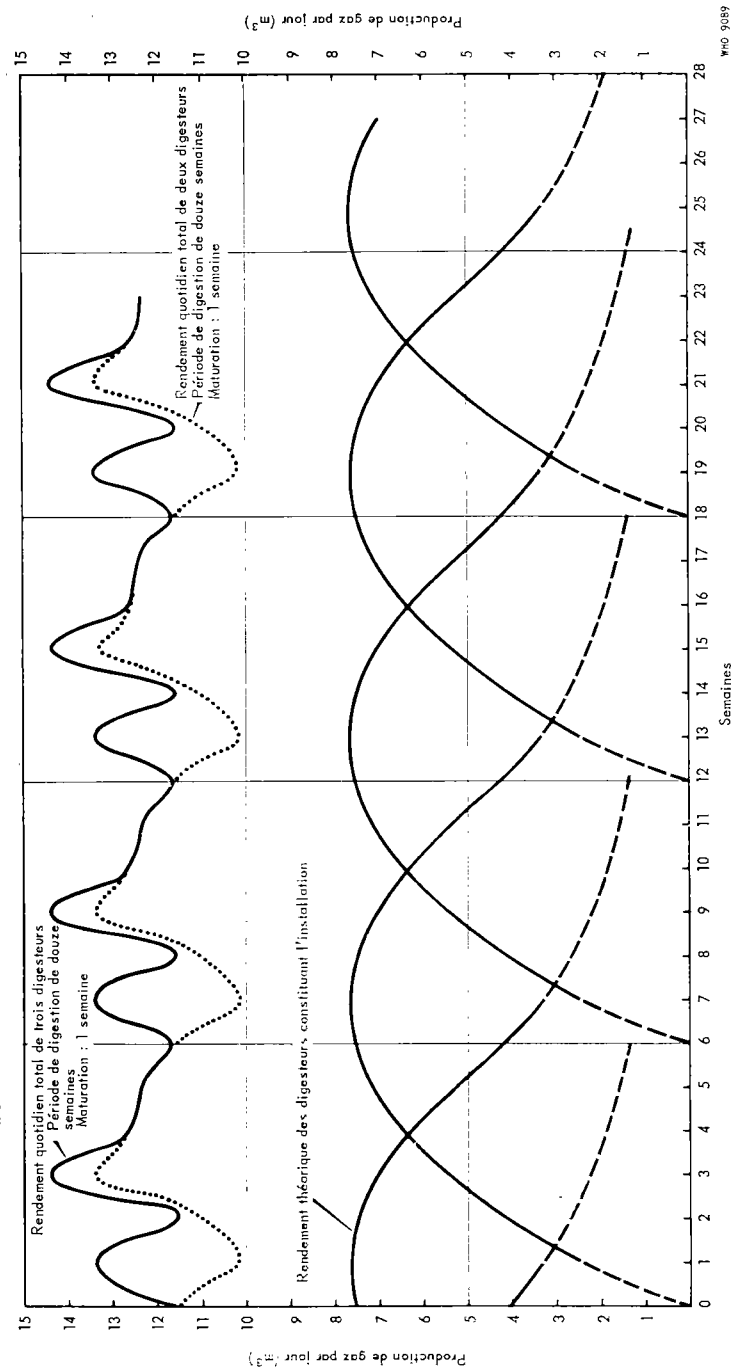
Une fois que la cuve aura été fermée pour créer les conditions de l'anaérobiose, le contenu subira une maturation de plusieurs jours avant que la production de gaz ne commence. Si la décomposition des matières introduites au départ ne s'est pas accomplie dans les conditions voulues et si l'on ne peut pas les ensemençer par prélèvement dans une autre cuve, le milieu risque de s'acidifier et de ne devenir favorable à la production de gaz qu'au bout d'un mois ou plus. L'adjonction de chaux ou d'un alcali ou de phosphate d'ammonium contribuera à neutraliser les acides et à accélérer le début de la production. Le fumier de cheval et de vache est plus alcalin et l'on rencontrera, en général, moins de difficultés si l'on introduit ces matières en premier dans le digesteur, après qu'elles aient subi une décomposition aérobie partielle.

Le pH doit s'établir aux environs de 6,8 à 7,5, le chiffre optimum étant supérieur à 7. Si, par exception, les matières introduites au départ sont très alcalines, c'est-à-dire si leur pH atteint jusqu'à 9,5, celui-ci sera rapidement abaissé par le gaz carbonique issu de la décomposition. C'est pourquoi il est extrêmement rare d'avoir à rectifier le pH initial par une adjonction d'acide. En aucun cas il ne faut ajouter d'acide sulfurique, qui contribuerait à former de l'acide sulfhydrique.

Les conditions d'une décomposition et d'une production de gaz normales s'établiront plus rapidement si la température peut être maintenue aux environs de 35°C. Cette haute température n'est évidemment pas indispensable pour que les matières entrent en fermentation, mais il est très souhaitable de rester au-dessus de 20°C au cours des phases initiales.

Lorsque la fermentation va commencer, la vanne du tuyau à gaz qui communique avec le gazomètre doit être fermée. Le robinet de contrôle qui la précède sera ouvert pour que la décomposition chasse l'air qui aurait pu rester dans la cuve. Au bout de deux à trois jours, les gaz de décomposition, contenant surtout de l'anhydride carbonique, commenceront à se dégager. On essaiera alors de les enflammer. Le robinet de contrôle pourra ensuite être fermé. On vérifiera à nouveau chaque jour si la production de méthane a commencé en essayant d'enflammer le gaz qui

FIG. 50. PRODUCTION DE GAZ D'UNE INSTALLATION A DIGESTEURS MULTIPLES



s'échappe lorsqu'on ouvre le robinet de contrôle. Il faudra une à deux semaines et souvent davantage pour qu'un gaz de bonne qualité soit produit ; la durée exacte dépend de la température et de la mesure dans laquelle on a pu éviter la formation d'un milieu initial très acide dans le digesteur. Lorsque le gaz qui se dégage donne une flamme continue, il est prêt à l'usage. A ce moment, la vanne qui met en communication avec le gazomètre et avec les tuyauteries de distribution doit être ouverte et le robinet de contrôle fermé.

On peut, si on le désire, calculer le taux de production en dirigeant la totalité du gaz vers le gazomètre pendant un temps déterminé et en notant le changement de volume. Ainsi, lorsqu'on recueille 1 m³ dans le gazomètre en l'espace de six heures, la production de gaz serait de 4 m³ par jour.

Durée de la digestion pour une production de gaz maximum

Au cours de la période de digestion, quelle que soit la température, le taux de production du gaz, pour un lot de matières, augmentera progressivement au début, puis atteindra un maximum auquel il se maintiendra pendant un certain temps et, finalement, diminuera lorsqu'une grande partie des matières auront été décomposées. Aux températures plus élevées, le taux de production sera supérieur et le cycle de fermentation plus court. La quantité totale de gaz produite par tonne de matières, au cours d'un cycle, sera toutefois approximativement la même pour les températures allant de 15 à 35°C. A 15°C, le cycle de fermentation serait d'environ douze mois, alors qu'à 35°C il serait d'environ un mois.

La production d'un digesteur atteignant le taux le plus élevé vers le milieu du cycle de fermentation, il est conseillé, lorsqu'on utilise deux cuves ou davantage, d'échelonner les cycles de fermentation de façon que toutes les cuves n'arrivent pas ensemble à leur maximum de production. Dans les installations à trois digesteurs ou davantage, la production de gaz peut être maintenue à un taux très uniforme, comme l'indique la figure 50. Les digesteurs du type représenté dans les figures 42-44 (pages 190 et 191) peuvent fonctionner suivant un rythme plus ou moins continu si l'on charge et décharge les matières de façon intermittente par l'ouverture submergée sous les latrines ; on obtient ainsi une production de gaz continue.

Dans les climats relativement chauds ou lorsqu'on a recours à une source extérieure de chaleur, le cycle de fermentation sera de deux à trois mois pour une utilisation optimum de la capacité de l'installation. Dans les régions plus fraîches où la température du digesteur s'établit en moyenne aux environs de 20°C, un cycle de quatre à six mois donnera probablement le meilleur rendement. A la fin de ces périodes, on aura obtenu environ 70 à 80 % du gaz que pouvaient fournir les matières utilisées.

Vidange et rechargement

Avant de vider un digesteur, on fermera la vanne de communication avec les canalisations de gaz et l'on ouvrira le robinet de contrôle pour laisser s'échapper le gaz restant. On vide les digesteurs en enlevant le couvercle et en retirant à la fouche les matières décomposées. On veillera particulièrement à ne pas fumer, à ne pas enflammer d'allumette et à ne pas produire d'étincelles afin de ne pas risquer de mettre le feu au gaz au moment où l'on ouvre le digesteur pour la première fois. Lorsque le gaz s'est complètement dilué dans l'air, il n'y a plus de danger d'inflammation ou d'explosion. Cependant, lorsque la cuve a été vidée et qu'il n'y reste que très peu de matières, on prendra soin de laisser s'échapper le gaz produit par ce reliquat et de l'empêcher de s'accumuler à l'intérieur. On laissera la cuve découverte et on l'aérera en agitant l'air contenu avant d'y pénétrer ou de la recharger.

On doit laisser dans le digesteur une couche d'humus digéré d'environ 5 à 10 cm et la moitié à peu près du liquide pour ensemercer le nouveau lot de matières. Lorsque l'installation compte trois digesteurs ou davantage, le liquide d'une cuve qui est prête à être vidée peut être transféré dans une cuve en cours de chargement et prête à entrer en fermentation, afin de faciliter l'établissement de conditions favorables à la production du gaz.

En général, on remplit les cuves de digestion en y introduisant à la fourche le fumier et d'autres matières mises en tas ou provenant d'étables. Si les digesteurs sont au nombre de trois ou plus, on peut en laisser un ouvert pour être rempli à mesure que les matières s'accumulent, la digestion recommençant lorsque la cuve est pleine. Dans les grandes installations, il sera économique de transporter le fumier et les déchets directement des étables et de les déverser dans un digesteur vide au moyen d'une benne mobile circulant sur un câble tendu ou sur un rail aérien. Pour enlever les matières du digesteur, on peut utiliser un dispositif en forme de grue et une benne preneuse.

Une fois le couvercle remplacé sur la cuve pour empêcher l'entrée ou l'échappement d'air, l'opération est semblable à celle qui a été décrite pour la mise en marche initiale d'une cuve de digestion. On ferme la vanne de communication avec le gazomètre et l'on essaie chaque jour le gaz qui se dégage du robinet de contrôle pour vérifier si la production a recommencé. Dans une cuve rechargée, la production de gaz commencera très tôt grâce à l'humus digéré et au liquide laissés dans la cuve.

Lorsqu'on enlève de l'humus d'un digesteur comme celui qui est représenté dans les figures 43 et 44 (pages 190 et 191) et qui fonctionne de façon plus ou moins continue, on doit avoir soin de prélever les matières sur les couches qui se trouvent au fond de la cuve où elles ont subi une décomposition suffisante et d'éviter d'abaisser le niveau de l'eau au-dessous de la fermeture à chicane. Lorsqu'on ajoute des excréta à ce genre d'installation

et que l'on utilise deux compartiments de fermentation, les adjonctions faites dans un des compartiments doivent cesser au moins un mois avant qu'il ne soit vidé. Pour obtenir ce même résultat lorsque des latrines sont combinées avec l'installation de digestion, il faut en construire une sur chacune des deux cuves afin de pouvoir les utiliser alternativement.

Dans les régions où la température peut tomber parfois au-dessous de 0 on aura avantage à répandre à la surface de l'eau du gazomètre une pellicule d'huile d'un centimètre ; on contribuera ainsi à éviter la formation d'une couche de glace, qui arrêterait le fonctionnement du gazomètre. L'huile protégera également la cloche contre la corrosion. Un autre moyen efficace de protéger le gazomètre contre le gel est de l'isoler par une couche de paille ou de fumier.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Acharya, C. N. (1950) *Preparation of compost manure from town wastes*, Calcutta (Indian Council of Agricultural Research, Ministry of Agriculture, Bulletin No. 60)
2. Acharya, C. N. (1953) Cow-dung gas plants. *Indian Farming* (December)
3. Acharya, C. N. & Subrahmanyam, V. (1939) Hot fermentation process for composting town refuse and other waste material. I. Introductory. *Indian J. agric. Sci.* 9, 741
4. Arango, E. (1948) A campaign which reached as far as the Republic of El Salvador. *Soil & Hlth*
5. Ayyar, K. S. V. (1933) Symposium on the utilization of waste products: utilization of farm wastes. *Madras agric. J.* 21, 335
6. Ballu, T. (1946) Le gaz de fumier. *Machinis. agric.* (juillet)
7. Beccari, G. (1920) *Apparatus for fermenting garbage*, US Pat. No. 1,329,105, 27 January 1920. Reissue No. 15,417, 25 July 1922
8. Belding, D. L. (1936) *Textbook of clinical parasitology*, New York
9. Bird, H. D. (1951) *A study of "Biohumus B" as an aid to the natural decomposition of various composting materials* (Rapport non publié établi pour la section de Bactériologie de l'Ontario Agricultural College)
10. Blair, M. R. (1951) The public health importance of compost production in the Cape. *Publ. Hlth (Johannesburg)*, 15, 70
11. Boniface, A. (1929) The Beccari plant at Scarsdale, N.Y. *Munic. News*, 76, 75
12. Brunt, L. P. (1949) *Municipal composting*, London (Albert Howard Foundation of Organic Husbandry, Publication No. 2a)
13. Carlyle, R. E. & Norman, A. G. (1941) Microbial thermogenesis in decomposition of plant materials. Part II. Factors involved. *J. Bact.* 41, 699
14. Cram, E. B. (1943) The effect of various treatment processes on the survival of helminth ova and protozoan cysts in sewage. *Sewage Wks J.* 15, 1119
15. Dano Corporation (1955) *The Dano-method Dano Bio-stabilizer*, Copenhagen
16. Ducellier, I. (1950) Les enseignements des années de travaux sur la production du gaz de fumier. *Elevage et Culture*, N° 20 (septembre)
17. Duthie, R. W. (1937) Studies in tropical soils: IV. Organic transformations in soils, composts and peat. *J. agric. Sci.* 27, 162
18. *Engineer (Lond.)*, 1930, 150, 6 (Refuse disposal in France and the Beccari process)
19. Eweson, E. (1953) *Profitable garbage disposal by composting* (University of Kansas Bulletin of Engineering and Architecture, No. 29)
20. *Fm Impl. Rev.* 1951 (March)
21. Forsyth, W. G. C. & Webby, D. M. (1948) Microbiology: II. A study of the aerobic thermophilic bacteria flora developing in grass composts. *Proc. Soc. appl. Biol.* p. 34
22. Golueke, C. G. (1954) *Investigations of manure composting at San Quentin, made by the Sanitary Engineering Laboratory, University of California, and the Division of sanitation, California State Board of Health* (Rapport non publié)
23. Golueke, C. G., Card, B. & McGauhey, P. H. (1954) A critical evaluation of inoculums in composting. *Appl. Microbiol.* 2, 45

24. Golueke, C. G. & Gotaas, H. B. (1954) Public health aspects of waste disposal by composting. *Amer. J. publ. Hlth*, **44**, 339
25. Gothard, S. A. & Brunt, L. P. (1954) The Zuckerman report on towns' wastes : some comments. *Surveyor (Lond.)*, **113**, Part 2, p. 701
26. Great Britain, Agricultural Research Council (1948) *The agricultural use of sewage sludge and composts*, London (Technical Communication No. 7)
27. Great Britain, Natural Resources (Technical) Committee (1954) *The use of towns' wastes in agriculture*, London
28. Guttridge, H. (1952) Refuse-sewage composting-engineering aspects. *Trans. Soc. Engrs (Lond.)*, **43**, 135
29. Hawk, P. B., Oser, B. L. & Summerson, W. H. (1947) *Practical physiological chemistry: Appendix II*, York, Pa.
30. Hegdekatti, R. M. (1931) The present and the improved methods of making farm manure in Kanara. *Poona agric. Coll. Mag.* **21**, 222
31. Heukelekian, H. & Berger, M. (1953) Value of culture and enzyme additions in promoting digestion. *Sewage & industr. Wastes*, **25**, 1259
32. Howard, A. (1933) The waste products of agriculture : their utilization as humus. *J. roy. Soc. Arts*, **82**, 84
33. Howard, A. (1935) The manufacture of humus by the Indore process. *J. roy. Soc. Arts*, **84**, 25
34. Howard, A. (1938) The manufacture of humus from the wastes of the town and village. *J. roy. sanit. Inst.* **59**, 279
35. Howard, A. & Wad, Y. D. (1931) *The waste products of agriculture : their utilization as humus*, London
36. Hyde, C. G. (1932) The thermophilic digestion of municipal garbage and sewage sludge, with analogies. *Sewage Wks J.* **4**, 993
37. Imhoff, K. (1946) Digester gas for automobiles. *Sewage Wks J.* **18**, 17
38. Imhoff, K. & Fair, G. M. (1940) *Sewage treatment*, New York
39. India, Ministry of Agriculture (1949) *Proceedings of the second All-India Compost Conference and second meeting of the Central Manure (compost) Development Committee held at Jaipur, 16-17 December, 1948*, Calcutta
40. India, Ministry of Agriculture (1952) *Compost & Sewage Bull.* **5**, No. 1
41. Isman, M. (1950) Une étude sur les modes d'utilisation pratique des appareils à "gaz de fumier". *Elevage et culture*, N° 21 (octobre)
42. Jackson, F. K. & Wad, Y. D. (1934) The sanitary disposal and agricultural utilization of habitation wastes by the Indore process. *Indian med. Gaz.* **69**, 93
43. Jackson, F. K., Wad, Y. D. & Panse, V. G. (1934) *The supply of humus to soils* (Bureau of Plant Industry, Central India, Bulletin No. 2)
44. Jenkins, S. H. (1935) *Organic manures*, Harpenden, England
45. Jordon, E. & Burrows, W. (1946) *Textbook of bacteriology*, 14th ed., Philadelphia
46. Keller, P. (1951) Sterilization of sewage sludges : I. A Review of the literature ; II. The influence of heat treatment on the ova of *Ascaris lumbricoides* in sewage. *J. Inst. Sewage Purif.* Part I, p. 82
47. Lambert, E. B. (1931) Synthetic composts for growing mushrooms devised by B.P.I., U.S.D.A. *J. agric. Res.* **48**, 971
48. Loots, J. N. (1943) Diseases liable to be spread by present methods of disposal of municipal night soil, refuse and abattoir wastes. *Publ. Hlth (Johannesburg)*, (April)
49. McGauhey, P. H. & Gotaas, H. B. (1955) Stabilization of municipal wastes by composting. *Trans. Amer. Soc. civ. Engrs*, **120**, 897

50. McKinney, R. E. & Poliakoff, L. (1953) Biocatalysts and waste disposal : II. Effect on activated sludge. *Sewage industr. Wastes*, **25**, 1269
51. Martin-Leake, H. (1949) *How can we use our sewage and our refuse?*, London (Albert Howard Foundation of Organic Husbandry, Publication No. 2)
52. Martin-Leake, H. & Howard, L. E. (1952) *Methane gas from farm manure*, London (Albert Howard Foundation of Organic Husbandry, Publication No. 9)
53. Maxcy, K. F. (1951) *Rosenau's preventive medicine and hygiene*, 7th ed., New York
54. Mignotte, F. (1952) *Gaz de fumier à la ferme, la maison rustique, agricole horticole*, Paris
55. Millar, C. E. & Turk, L. M. (1951) *Fundamentals of soil science*, 2nd ed., New York
56. New Zealand, Inter-Departmental Committee on Utilization of Organic Wastes (1951) Second interim report of the *N.Z. Engng*, **6**, No. 11 & 12
57. *N.Z. Engng*, 1948, **3**, 563 (The utilization of organic wastes in New Zealand)
58. Newton, W. L., Figgay, W. B. & Weibel, S. R. (1948) The effects of sewage treatment processes upon ova and miracidia of *Schistosoma japonicum*. *Sewage Wks J.* **20**, 657
59. Pearson, E. A., Haskell, B. P. & Jones, N. B. (1952) Municipal refuse collection practice analyzed. *Civ. Engng (New York)*, **22**, 711
60. Perold, I. S. (1951) Compost's value overrated. *Publ. Hlth (Johannesburg)*, **15**, 70
61. *Publ. Wks (N.Y.)*, 1929, **60**, 273 (Garbage digestion at Dunedin)
62. Quastel, J. H. (1952) Influence of organic matter on aeration and structure of soil. *Soil Sci.* **73**, 419
63. Quastel, J. H. & Scholefield, P. G. (1951) Biochemistry of nitrification in soil. *Bact. Rev.* **15**, 1
64. Ruchhoft, C. C. (1934) Studies on the longevity of *B. typhosus* in sewage sludge. *Sewage Wks J.* **6**, 1054
65. Schade, A. L. & Thimann, K. V. (1940) The metabolism of the water mold, *Septomitus lacteus*. *Amer. J. Bot.* **27**, 659
66. Scharff, J. W. (1940) Composting : the safe conversion of village refuse and night soil into valuable manure. *J. Malaya Br. Brit. med. Ass.* **4**, 126
67. Scheffer, F. & Karapurkar, Y. M. (1934) Die Abhängigkeit der Nitrifikation von der Zusammensetzung und der Abbaugeschwindigkeit der Organischen Substanz. *KühnArchiv*, **37**, 143
68. Scott, J. C. (1952) *Health and agriculture in China*, London
69. Seabrook, C. S. (1954) *Composting of organic municipal wastes*. In : *Proceedings of the 6th Pacific N.W. Industrial Waste Conference, University of Washington, Seattle, Wash.*
70. Sinden, J. W. (1938) Synthetic composting for mushroom growing. *Bull. Pa. agric. Exp. Sta.* No. 365
71. Snell, J. R. (1954) High-rate composting. *Consult. Engr*, **4**, No. 2, p. 49
72. Stokes, E. J. et al. (1945) Effect of drying and digestion of sewage sludge on certain pathogenic organisms. *J. Inst. Sewage Purif.* Part I, p. 36
73. Stoughton, R. H. (1946) *The uses of habitation wastes in agriculture and horticulture* (Exposé lu à la 4^e Conférence annuelle de l'Institute of Public Cleansing, Grande Bretagne, 3 juin)
74. Stovroff, R. P. (1954) Capitalizing on municipal wastes by composting. *Proc. Amer. Soc. civ. Engrs*, **80** (Separate No. 545)
75. Stovroff, R. P. (1954) *Composting : a new look at municipal refuse disposal*. In : *Proceedings of the 1953 Congress of the American Public Works Association, Chicago, Ill.*

76. United States Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service (1954) *Laboratory studies on high-rate composting processes : summary of investigations* (Technology Branch, Report No. 6)
77. University of California, Sanitary Engineering Laboratory (1950) *Composting for disposal of organic refuse*, Berkeley, Calif. (Technical Bulletin No. 1)
78. University of California, Sanitary Engineering Laboratory (1950) *Bibliography on the disposal of organic wastes by composting*, Berkeley, Calif. (Technical Bulletin No. 2)
79. University of California, Sanitary Engineering Laboratory (1951) *Municipal incineration*, Berkeley, Calif. (Technical Bulletin, No. 5)
80. University of California, Sanitary Engineering Laboratory (1952) *An analysis of refuse collection and sanitary land fill disposal*, Berkeley, Calif. (Technical Bulletin No. 8)
81. University of California, Sanitary Engineering Laboratory (1953) *Reclamation of municipal refuse by composting*, Berkeley, Calif. (Technical Bulletin No. 9)
82. Vuren, J. P. J. van (1949) *Soil fertility and sewage*, London
83. Waksman, S. A. (1938) *Humus*, 2nd ed., Baltimore
84. Waksman, S. A. (1952) *Soil microbiology*, New York
85. Waksman, S. A. & Cordon, T. C. (1939) Thermophilic decomposition of plant residues in composts by pure and mixed cultures of micro-organisms. *Soil Sci.* **47**, 217
86. Waksman, S. A., Cordon, T. C. & Hulpoi, N. (1939) Influence of temperature upon the microbiological population and decomposition processes in composts of stable manures. *Soil Sci.* **47**, 83
87. Waksman, S. A., Umbreit, W. W. & Cordon, T. C. (1939) Thermophilic actinomycetes and fungi in soils and in composts. *Soil Sci.* **47**, 1
88. Watson, E. F. (1936) A boon to smaller municipalities : the disposal of house refuse and night-soil by the Indore method. *Comm. techn. J. (Calcutta)*, (October)
89. Weststrate, W. A. G. (1951) The new Dutch scheme for refuse disposal. *Publ. Cleansing*, **41**, 491
90. Weststrate, W. A. G. (1953) *The processing of city wastes into composts in the Netherlands*, Amsterdam
91. Wilson, F. B. (1948) A system of composting farm and village waste. *E. Afr. agric. J.* **14**, 2
92. Wright, W. H., Cram, E. B. & Nolon, M. O. (1942) Preliminary observations on the effect of sewage treatment processes on the ova and cysts of intestinal parasites. *Sewage Wks J.* **14**, 1274
93. Wylie, J. C. (1952) The value of sewage and refuse in promoting food production. *J. roy. Soc. Arts*, **100**, 489
94. Wylie, J. C. (1953) Kirkconnel composting, refuse and sewage treatment plant. *Publ. Cleansing*, **42**, 547

INDEX

INDEX

- Aération
 - et humidité, 74
 - et température, 74-75
 - et récupération de l'azote, 97, 107-108
 - importance dans le compostage, **68-76**
- Aérobic, décomposition, 13-15
- Anaérobic, fermentation, 15-18
 - et récupération de méthane, 181
- Ascaris, destruction des œufs au cours du compostage, 17, **20-22**, 56, 63, **85-86**
- Azote
 - cycle dans la décomposition en aéro-biose, 14
 - cycle dans la décomposition en anaéro-biose, 16
 - rapport carbone/azote, 52-56
 - récupération, 94-101
 - teneur de certaines matières, 45, 47
- Bangalore, procédé de, 25, 73, 152, **165-166**
- Beccari, procédé de, 27, 31
- Bio-Stabilizer Dano, 27, 51, 57, 115, 134, **139-141**, 148-150
- Boues d'égouts, 41, 134, 163
- Broyeurs, 29-30, 51-52, 132-133
- Carbone
 - calcul du pourcentage, 109
 - cycle dans la décomposition en aéro-biose, 14
 - cycle dans la décomposition en anaéro-biose, 16
 - rapport carbone/azote, 52-56
- Compostage
 - aire de —, 159-163
 - aspects économiques, revue générale, 110-116
 - choix d'une méthode de —, 171-172
 - coût du —, 149
- Compost Corporation of America, 30, 43, 51-52, 70, 117, 134, 149
- Dano, procédé, 27, 31, 51, 115, 127, 133, **139-140**
- Digesteurs mécaniques, 138, 141-142
 - Dano, 29, 31, 51, 115, **139-140**
 - Earp-Thomas, 27-28, 138
 - Frazer, 27, 138
 - Hardy, 27, 138
 - Ralph W. Kiker Company, 28
- Digesteurs pour récupération du méthane
 - Construction, 189-199
 - Emplacement, 187
 - Fonctionnement, 199-204
 - Nombre et capacité, 185-187
- Earp Thomas, digesteur à grilles multiples, 27-28, 138
- Egsetor, broyeur, 29, 133-134
- Ensemencement d'enzymes et d'inoculums au cours du compostage, 79-81
- Excreta
 - addition aux tas de fumier, 178-179
 - composition, 36
 - compostage des —, **165-170**
 - définition, 13
 - digestion anaérobic des —, 184
- Flore microbienne, rôle au cours du com-postage, 76-78
- Fosses de compostage, 62-63, 135, 153, **155-159**, 165, 175-178
- Frazer, procédé par digesteur clos, 28, 138
- Fumier animal
 - composition, 37-38
 - construction de tas et de fosse pour le —, 175-178
 - quantité, 36
- Germes pathogènes, destruction au cours du compostage, 84
- Hardy, digesteur, 28, 138
- Humidité
 - au cours du compostage, 56-57, 107-108
 - et aération, 74
 - et récupération de l'azote, 17
 - mesure, 165
- Indore, procédé d', 25, 31, 73, 152, **166-167**
- Main-d'œuvre
 - pour le compostage dans les grandes villes, 146-148
 - pour le compostage dans les villages, 172-173
- Maladies d'origine fécale, 20

- Méthane**
 besoins et stockage, 187-188
 dégagement dans la fermentation anaé-
 robie, 15-17
 influence du climat sur la récupération,
 183
 production, 184-185
 récupération, 181-183
Meules de compostage, 58-60
Mouches, lutte contre les, 87-94
- Ordures municipales**, compostage des,
 38-39, 42-44, 46-47, 119, 124-130,
 134-140, 142-143
- pH**
 et récupération de l'azote, 97
 et récupération du méthane, 200
 influence sur le compostage, 81
- Pluie**, effet sur le compostage, 83
- Procédés de compostage**
 Bangalore, 25, 73, 152, **165-166**
 Beccari, 27, 31
 Dano, 27, 31, 51, 115, 127, 133, **133-140**
 Indore, 25, 31, 73, 152, **166-167**
 VAM, 29-30, 32, 132-133
 Verdier, 27, 31
- Ralph W. Kiker Company**, digesteur
 mécanique, 28
- Rapport carbone/azote**
 et récupération de l'azote, 95-97
 et temps de compostage, 101-102
 influence sur le compostage, 52-56
- Silos de compostage**, 59-61, 135-138, 162,
 168-170
- Tas**
 de compostage, 159-162, **168-170**
 de fumier, 175-178
- Température**
 et récupération de l'azote, 98
 et récupération du méthane, 185, 202
 évolution au cours du compostage,
 106-107
 importance dans le compostage, 64, 268
 influence des retournements, 75-76
 mesure, 164
- Usines municipales de compostage**
 aménagement, 143-144
 bâtiments et équipements, 144-146
 personnel, 147-148
 phases du traitement, 124-143
 plans, 118-122
 prix de revient, 148-150
- VAM**, méthode, 29-30, 32, 132-133
Vent, effet sur le compostage, 82
Verdier, procédé, 27, 31