

3 0 0
8 0 A S



Reference Centre
Water Supply

ASSAINISSEMENT ET PROPHYLAXIE
DANS LES PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT

par

E. JÄGER-FORGET, Chef de la Section "PROCEDES EAU" I.R.C.H.A.

en collaboration avec

A. GIRY, Ingénieur T.P.E.

300-00AS-1



LIBRARY 1345 - I
International Reference Centre
for Community Water Supply

300
80AS

ASSAINISSEMENT ET PROPHYLAXIE

DANS LES PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT

par

E. JÄGER-FORGET, Chef de la Section "PROCEDES EAU" I.R.CH.A.

en collaboration avec

A. GIRY, Ingénieur T.P.E.

S O M M A I R E

- Nous avons d'abord tenté de qualifier au niveau chimique, et de quantifier les excréta et les résidus de l'activité humaine ; ceci nous a parfois conduit à remonter aux sources mêmes de la physiologie et, dans certains cas, nous a permis de désigner la vraie nature des odeurs et contaminations dont l'idée est associée depuis des siècles à la notion de déjections.
- Nous avons ensuite rappelé quels sont les mécanismes régulateurs qui dans la nature font que ce "qui est poussière redevient poussière" et que "la terre retourne à la terre". Ce rôle est essentiellement dévolu aux microorganismes qui se succèdent en fonction des conditions de milieu et qui constituent le socle des chaînes trophiques (chaînes alimentaires).
- Dans un troisième chapitre, nous avons appliqué ces notions au cas particulier des excréments et des résidus de l'activité humaine.
Nous avons en particulier montré comment, en milieu humide anaérobie, naissent de la dégradation des excréments, des odeurs putrides et des émanations toxiques. Puis nous avons insisté sur la façon dont les excréments constituaient le réservoir azoté de la terre et sur la façon dont ils y retournaient en restituant en permanence au sol un rapport carbone/azote propice au maintien des qualités fertilisantes de l'humus. Dans ce chapitre, nous avons également montré comment l'eau en milieu aérobie manifestait un pouvoir autoépurateur vis-à-vis des germes fécaux et comment le sol, en milieu pseudo-anaérobie, résorbait _ mais seulement partiellement_ ces mêmes germes... Nous avons fait apparaître, qu'en aucun cas, la nature n'avait un pouvoir autoépurateur infini et que toutes les précautions devaient être prises pour éviter de saturer ce pouvoir.
- Aussi dans un quatrième chapitre, avons-nous fait apparaître les risques épidémiologiques que constituait la défécation sauvage et/ou incontrôlée. Nous avons mentionné les maladies les plus aisément transmissibles par les fèces en indiquant les principales voies de contamination des ressources. Nous avons particulièrement fait apparaître les risques que comportaient les eaux pluviales non contrôlées et ceux qui résultaient des ruptures brutales et non palliables du régime hydrique.

.../...

- Nous avons enfin énuméré les techniques d'assainissement, des plus rustiques au plus sophistiquées qui, en gérant les processus naturels de l'épuration permettent de faire obstacle à la propagation des maladies et accélèrent le retour à l'humidification des déjections, sans odeurs, ni contaminations. On a distingué ce qui était applicable au cas de la cellule familiale et ce qui était applicable au cas des collectivités.
- Enfin, nous avons insisté sur le fait que la prophylaxie ne peut résider en de simples solutions techniques d'assainissement, mais qu'elle passe par les choix faits au niveau du style de développement choisi.



INTRODUCTION

- SANTE ET DEVELOPPEMENT

Lorsqu'on considère l'état de santé au niveau mondial, on est frappé par l'importance, en nombre de cas et en gravité, des maladies dues au manque d'eau pure :

- . 2 milliards d'hommes vivent dans un milieu infesté,
- . il y a 250 millions de nouveaux cas de maladies transmises par l'eau chaque année,
- . 25 000 personnes en meurent chaque jour.

Or, en cherchant à cerner le problème, on s'aperçoit que la santé est une affaire "publique" et qu'elle est intimement liée au style de développement d'un pays, lequel est conditionné d'une part par le passé, d'autre part par le gouvernement du moment. Les deux choix fondamentaux explicites ou implicites sont :

- . le mode de répartition des ressources,
- . la technologie choisie,

les deux n'étant pas indépendants.

- LE MODE DE REPARTITION DES RESSOURCES POUR LA SANTE

Pour la santé, comme pour le reste (revenu, éducation, droits civiques ...), on assiste le plus souvent à un gaspillage des ressources rares en faveur d'une minorité et à une inexploitation de ressources abondantes qui pourraient améliorer le niveau de vie de l'ensemble de la population.

C'est flagrant dans le cas de la santé : les budgets nationaux de la santé sont consacrés pour leur plus grande part - la moitié (1) - à la formation de médecins très spécialisés, à des hôpitaux ultra-modernes et ... ultra-chers, qui sont réservés à une infime minorité urbaine.

Les moyens encore disponibles pour les plus simples mesures de prophylaxie des maladies : aménagement de latrines, éducation sanitaire, protection des ressources en eau, dispensaires rudimentaires, formation d'infirmiers, sont alors insuffisants et, de toutes façons, sont rarement considérés comme prioritaires.

Les techniques d'assainissement mises en oeuvre sont également les plus chères, utilisent des compétences et du matériel importé, ce qui, forcément, stérilise tout le capital disponible en faveur d'une minorité. Ceci est d'autant plus absurde que, même en dehors de toute considération éthique, la santé est un problème collectif, surtout en milieu urbain, puisqu'il est le plus souvent dû à la contamination du milieu et que, même pour cette minorité, le problème ne sera pas résolu tant que le milieu ne sera pas assaini. En particulier, pour les maladies transmises par l'eau, le milieu ne se restreint pas à un quartier au Centre Ville, mais aux ressources en eau de tout un bassin hydrographique, qui dépasse même parfois l'échelle du pays.

Notre but est ici d'explorer, parmi les ressources abondantes qui pourraient améliorer le niveau de vie de la population, les possibilités naturelles que l'on peut exploiter pour assainir le milieu et protéger les ressources en eau. Nous n'entrerons pas dans le domaine des ressources humaines : dynamique collective, formation-spécialisée, autogestion, bien que ce soit le revers de la même médaille, car le temps nous a malheureusement manqué pour mieux cerner cette question.

- LE CHOIX TECHNOLOGIQUE DE L'ASSAINISSEMENT

Est-ce-qu'on peut parler même de "choix" ?

La technique est en fait aux mains d'une caste fermée qui étend son réseau d'action d'un bout à l'autre de la planète, de la ville à la campagne, de bureaux d'étude aux entreprises de travaux publics, avec un certain nombre de recettes passe-partout, de normes sacrosaintes, qui sont supportées implicitement par une conception des problèmes et de leur solution qu'il serait sacrilège de remettre en question.

L'assainissement ne concerne ni les services médicaux, ni les services de l'eau, ... ou si peu ! Il concerne surtout les entreprises de canalisations,

de construction de stations d'épuration.

D'ailleurs ASSAINISSEMENT = TOUT A L'EGOUT, bien entendu ...

- LE TOUT A L'EGOUT :

Dans les pays industrialisés, les techniques modernes permettent de traiter les excréta par l'usage de moyens lourds, en général très chers en investissement, faisant appel à des ouvrages d'épuration physique, chimique et/ou biologique.

La base de départ, qui résulte en fait d'une situation historique, est en Occident l'utilisation extensive de l'eau comme moyen de transport et de dilution, c'est-à-dire comme agent de dispersion des matières gênantes. Les excréta, dont la composante liquide est faible (environ 1 à 1,5 l/personne.j) sont véhiculés par 20 à 30 fois leur volume en eau - le volume de nos chasse d'eau est de 12 à 15 l, et on peut considérer qu'on tire la chasse de 1,5 à 2 fois par jour et par personne -. En ville, le gâchis d'eau représente donc de 15 à 20 % de notre consommation d'eau (en France, 150 à 200 l/j. hab.).

Pour des pays où les ressources en eau sont plus limitées, jusqu'à des seuils critiques - par exemple les pays à forte saison sèche ou semi-désertiques - il représente jusqu'à plus de 100 % de leur consommation en eau ! dans les bidonvilles du Tiers Monde où l'eau courante n'est pas installée, la consommation journalière est de 15 à 20 l/j. personne -.

D'autre part, ce symbole de la modernité conduit en réalité à un fonctionnement lamentablement primaire : le volume à traiter devient énorme, la pollution une fois diluée est plus difficile à traiter ; ces deux éléments entraînent un coût prohibitif des stations, en sus du coût énorme du réseau et donc, le plus souvent l'effluent est rejeté dans les cours d'eau - exemple des villes de Liège, Strasbourg etc ...-. La pollution de toute la ville est mélangée dans le même réseau. Si un afflux de germes pathogènes se produit, il contamine tout le réseau et se déverse en un point unique massivement et non sans avoir avant abondamment souillé le sol, et parfois même le réseau d'eau potable, aux points faibles des canalisations.

Dans les pays chauds, où les sources de germes pathogènes sont plus nombreuses, le milieu aqueux est encore plus accueillant à leur prolifération et des régimes

hygrométriques extrêmes - saisons des pluies violentes, cyclones - provoquent la circulation entre le contenu des égouts et l'extérieur.

C'est un exemple parmi d'autres des conséquences du Transfert de Technologies passe-partout et de la préférence généralisée des "recettes" sur l'"étude de SOLUTIONS ADAPTEES" à chaque problème et aux ressources de l'Environnement.

- L'ASSAINISSEMENT POUR LES COMMUNAUTES PAUVRES

Notre but ici, est - après avoir analysé les possibilités qu'offrent les processus naturels de dépollution - de décrire et de classer des techniques - autres que celles qui font appel à une collecte gigantesque des effluents par voie d'égouts - selon leur appropriation aux conditions du milieu naturel (nature du sol, climat, ressources en eau ...) et du milieu humain (compétence technique, souci sanitaire, coutumes ...). Ces systèmes sont de niveaux divers en coût, matériel et compétence requis, mais nous nous sommes efforcés d'insister sur les systèmes simples, bon marché, permettant d'utiliser au maximum les possibilités locales tout en constituant une barrière sanitaire efficace contre les risques épidémiologiques.

Pour qu'ils soient répandus au plus vite, il faut en effet qu'il puisse être mis en oeuvre, géré le plus possible par la population elle-même avec le soutien éducationnel et technique continu des Pouvoirs Publics.

Il manque à la fin de ce travail, l'élaboration d'un plan de conduite auquel se référer lorsqu'on se trouve en face d'un milieu donné, qui pourrait être une sorte de clé pour le choix du système à adopter. Cela n'a pu être achevé par manque de temps, mais suivra peut être dans un temps ultérieur ; tous les éléments pour le faire ont déjà été réunis et synthétisés.

Notre priorité concerne en tous les cas les populations à faible revenu, surtout - notamment parce que c'est prioritaire d'un point de vue sanitaire et social - en milieu urbain concentré. Notre attitude est sous-tendue par les réflexions suivantes :

* Premièrement ; Dans l'opinion courante, bidonvilles et habitats pauvres surpeuplés sont synonymes. Or il faut bien faire la distinction :

- l'habitat est pauvre : matériaux de récupération, architecture sommaire

accompagnent une population pauvre, dont la pauvreté est conditionnée par la répartition des revenus, mais aussi par l'état de pauvreté du pays.

- l'habitat est surpeuplé : c'est la politique foncière et locative des pouvoirs locaux qui vendent l'espace aux plus hauts prix et forcent les plus pauvres à s'entasser plus que les autres, qui est en cause.

- * Deuxièmement : Il faut considérer que les populations des bidonvilles vivent au-dessous de leurs moyens, et cela est lié au premier. La politique foncière des pays où ils existent crée une insécurité et précarité de l'habitation qui fait que les gens ne s'investissent pas dans l'amélioration de leurs conditions de vie (habitat, assainissement, organisation sociale) comme ils voudraient et pourraient le faire.
- * Troisièmement : Il faut prendre la vraie mesure des problèmes et des ressources disponibles pour, non pas "résoudre le problème" mais atteindre partout le meilleur niveau possible dans l'état actuel des choses.

LA QUESTION N'EST PAS :

"EST-CE-QUE LA COMMUNAUTE A LES MOYENS D'ACCEDER A L'ASSAINISSEMENT ?"

MAIS :

"EST-CE-QUE LA COMMUNAUTE A LE MEILLEUR ASSAINISSEMENT POSSIBLE COMPTE-TENU

DES RESSOURCES QU'ELLE A"

A - EXCREMENTS ET RESIDUS DU VIVANT

Tous les mécanismes qui concourent à la vie reposent sur :

- un faisceau de réactions qui fournissent l'ENERGIE nécessaire à la maintenance des tissus, la mobilité, l'activité, le recours à des mécanismes de régulation, etc... Il s'agit du CATABOLISME.
- un faisceau de réactions qui permettent à l'organisme de MAINTENIR SA CONSTITUTION et éventuellement SON ORGANISATION : assimilation et synthèse de ses molécules constitutives, éventuellement croissance. C'est l'ANABOLISME.

L'ensemble de ces réactions ou METABOLISME s'accompagnent d'EXCRETIONS, qui sont :

- les PRODUITS DES COMBUSTIONS (échappement des voies respiratoires et fermentaires),
- les RESIDUS DE L'ASSIMILATION incomplète des molécules organiques ingérées.

1 - RESIDUS RESPIRATOIRES ET FERMENTAIRES : RESIDUS CATABOLIQUES

1-1 - Respiration :

Tous les organismes capables d'utiliser l'oxygène comme comburant dégradent les molécules organiques (internes ou externes) jusqu'au stade du gaz carbonique CO_2 et de l'eau H_2O . C'est l'hydrogène de ces molécules qui sert de combustible. Les molécules protéiques (molécules organiques azotées) sont dégradées jusqu'au stade ammoniacal (NH_3) ; seuls certains organismes inférieurs sont capables de provoquer la nitrification (NO_3).

1-2 - Fermentation :

De nombreux organismes inférieurs, ou des tissus chez les organismes supérieurs, sont capables en milieu privé d'oxygène (anaérobiose) de rechercher le comburant

.../...

à l'intérieur des molécules organiques. La dégradation n'est alors que partielle et aboutit à l'émission de molécules organiques de faibles poids moléculaires mais comportant encore, selon les cas, de 2 à 5 atomes de carbone.

Exemple :

- . Fermentation acétique du vinaigre → $\text{CH}_3 - \text{COOH}$
- . Fermentation éthylique des sucres
par des levures en anaérobiose → $\text{CH}_3 - \text{CH}_2\text{OH}$
- . Fermentation lactique de la con-
traction musculaire en anaérobiose → $\text{CH}_3 - \text{CHOH} - \text{COOH}$

2 - RESIDUS DE L'ASSIMILATION INCOMPLETE : RESIDUS ANABOLIQUES

Tous les organismes vivants HETEROTROPHES - à l'exclusion de ceux qui sont munis d'un pouvoir de synthèse organique à partir d'éléments purement minéraux (algues - végétaux verts vis à vis du carbone, certaines bactéries vis à vis de l'azote N) - réutilisent des molécules organiques préexistantes et les réincorporent dans leurs propres tissus via des mécanismes de diffusion membranaires impliquant des dimensions moléculaires réduites.

2-1 - Les organismes inférieurs, par exemple les champignons, se développent sur l'humus en réutilisant les molécules de faibles poids moléculaires préalablement libérées par le travail de bactéries munies d'un important potentiel enzymatique fermentaire (action de pré-digestion).

2-2 - Chez les organismes supérieurs, comme l'homme, l'assimilation passe par un processus complexe où plusieurs organes concourent à la DIGESTION.

Après ingestion buccale, les aliments entrent selon leur nature dans divers cycles de simplification - où interviennent des enzymes (ou diastases) digestives -, de stockage puis d'assimilation.

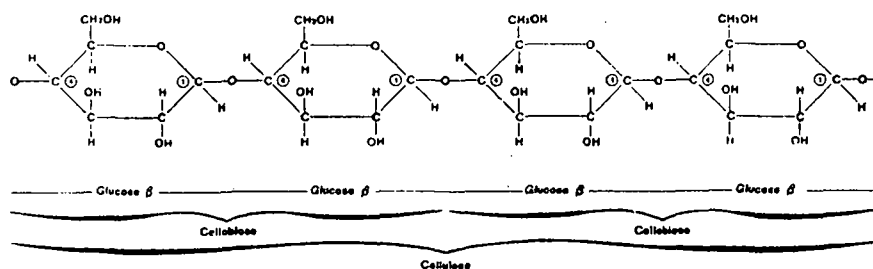
- RESIDUS DE L'ASSIMILATION DES GLUCIDES (sucres) :

• Les glucides simples (oses) aliments énergétiques, sont ou assimilables directement sous forme de glucose sans produire de résidus, ou ils sont stockés au niveau du foie.

• L'amidon que l'on rencontre dans tous les féculents (riz - pois - patate douce - etc...) où il constitue une réserve, est un polymère de sucres. Il ne peut être digéré qu'après une décondensation catalysée par des diastases amylasiques (chez l'homme : amylases salivaire et pancréatique).

• La cellulose est également un polymère de sucre et est essentiellement synthétisée dans le règne végétal où elle intervient dans la constitution des membranes des cellules végétales.

La molécule élémentaire de cellulose est une chaîne linéaire formée de chaînons de glucose β liés en 1-4.



Dans la molécule élémentaire, le nombre de restes de glucose est peu élevé : 200 environ.

Si le poids moléculaire calculé par les méthodes chimiques se révèle voisin de 32 000 (200 restes de glucose), les méthodes physiques indiquent un poids moléculaire beaucoup plus élevé : de 300 000 à 1 000 000 ou plus. Il y a polymérisation secondaire des molécules élémentaires de cellulose groupées par 10-30, ou plus, en un faisceau de molécules parallèles ou micelles, grâce à des ponts hydro-

.../...

gène jetés d'une chaîne à l'autre. Les micelles, à leur tour, s'accocient en microfibrilles de 300 angströms de diamètre environ, séparées par des interstices où s'accumule le ciment pectique (2).

La liaison glucose β ¹ — ⁴ glucose β est très difficilement hydrolysable dans les cellules. C'est une substance très résistante chimiquement et pratiquement insoluble (le seul solvant connu est la liqueur de SCHWEITZER, solution ammoniacale de cuivre). Seuls, comme nous le verrons plus loin, des Bactéries et des Champignons sont capables de sécréter des cellulases. Les animaux herbivores, dont l'alimentation implique la destruction de coques cellulosiques, vivent habituellement en symbiose avec des micro-organismes cellulolytiques habitant leur rumen.

L'homme lui-même ne dispose pas de cellulase et même en période d'inanition ne peut utiliser la cellulose pour sa nutrition ; LA CELLULOSE, NON DIGESTIBLE, CONSTITUE L'ELEMENT ESSENTIEL, quasi structurel des FECES.

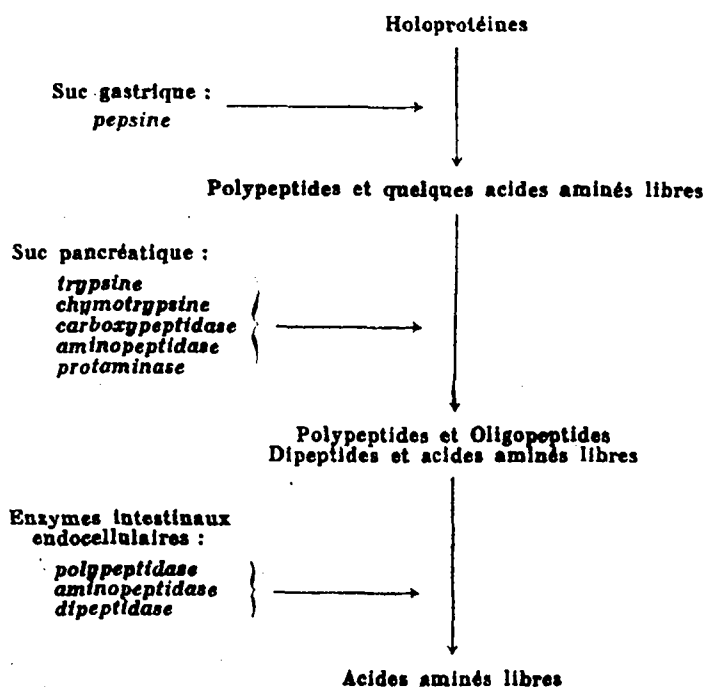
- RESIDUS DE METABOLISME PROTEIQUE

. Résidus de l'anabolisme protidique

En dehors du COLLAGENE, de la KERATINE et de l'ELASTINE qui, hors cuisson, sont inattaquables et constituent l'INDIGESTIBLE PROTEIQUE, toutes les protéines sont assimilables après dépolymérisation à l'état d'acides aminés par les sucs digestifs, sans qu'il y ait

intervention des microbes du tube digestif.

Exemple chez l'homme



Néanmoins, chez un adulte sain recevant une ration normale, tout excès de protides est détruit et toute augmentation de l'apport azoté alimentaire est immédiatement suivie d'un accroissement identique de l'élimination azotée urinaire. Une quantité équivalente de glucides ou de lipides est alors mise en réserve. C'est la loi de l'équilibre azoté.

On rencontrera donc dans l'urine des composés azotés ayant pu franchir la barrière rénale : acides aminés, urée, ammoniaque.

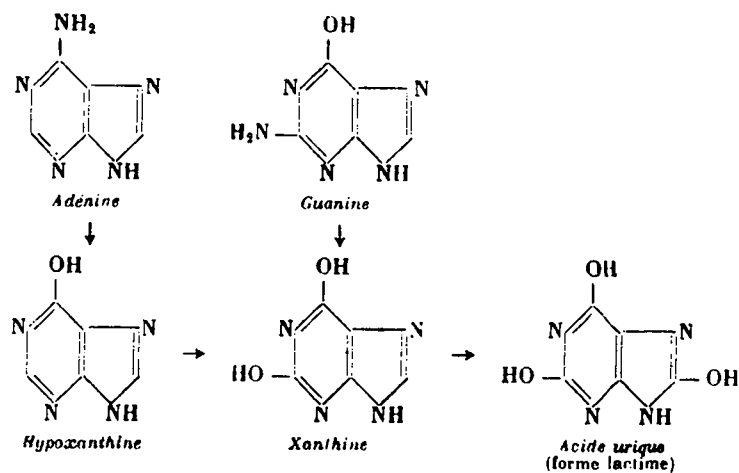
- L'ammoniaque

Elle se formerait essentiellement au niveau des reins, par désamination des acides aminés, directe ou indirecte et désamination de l'acide glutamique. De manière annexe, il y a formation d'ammoniaque dans le tube digestif, notamment dans le caecum, sous l'action des bactéries hydrolysant l'urée en provenance du courant circulatoire (3).

Enfin de l'ammoniaque se formerait accessoirement au cours de la dégradation des nucléoprotéines.

Catabolisme des bases puriques

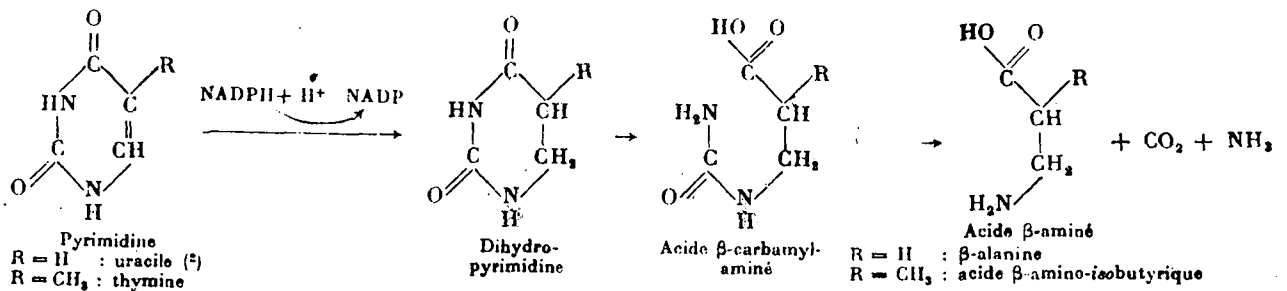
Chez l'homme :



dans l'urine

Catabolisme des bases pyrimidiques

Les pyrimidines sont dégradées surtout dans le foie selon le schéma général suivant :



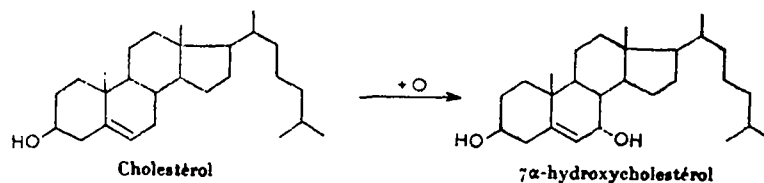
puant

Chez les Herbivores, la prédominance du métabolisme glucidique développe des fermentations acides qui s'opposent à la putréfaction.

Chez les Omnivores et surtout les Carnivores, la prédominance protidique a des effets inverses dans le gros intestin où les germes anaérobies trouvent un milieu favorable au contraire à leur pullulation.

- RESIDUS ANABOLIQUES DES LIPIDES

Chez les Carnivores et les Omnivores, les lipides alimentaires sont presque totalement absorbés, tandis que chez les Herbivores l'indigéré lipidique est important. On rencontre néanmoins dans les urines des acides gras, mono et di-acides, ainsi que des stérols.



3 - COMPOSITION DES EXCREMENTS

3-1 - Les fèces

3-1-1 - Quantité

.Chez l'homme

Arrivé semi-pâteux dans le gros intestin, le chyme s'épaissit par résorption d'eau au cours de sa progression vers le rectum et forme les fèces (de foex, foecis : lie). La consistance de ces matières dépend de leur teneur en eau, très variable, mais toujours importante, et de la nature des résidus alimentaires ; la nourriture carnée donne des fèces plus compactes que l'alimentation végétale.

D'après H.B. GOTAAS, dans un résumé mondial, on a les fourchettes suivantes (5) :

g/personne.jour	
Poids humide	Poids sec
135 - 270	35 - 70

-Dans les climats tempérés du monde occidental, un homme en régime alimentaire mixte expulse quotidiennement de l'ordre de 150 à 200 g de matières fécales à 25 % de siccité. Cette fourchette varie considérablement selon le sexe et l'âge (de la moitié au double).

-La quantité d'excréta humain est encore plus influencée par des facteurs d'ordre climatiques, locaux, culturels et religieux.

L'examen de données publiées (6) montre qu'en Asie la quantité de fèces éliminée par personne et par jour est d'environ 200 à 400 g en poids humide. Le "Manuel d'Hygiène pour les Forces Armées" des Indes prévoit 400 g/personne et par jour de fèces.

Selon O.J.S. MACDONALD (7), sous les tropiques le poids de fèces varie de 280 g à 530 g par personne.

Il est vraisemblable que l'importante variation des quantités unitaires de fèces enregistrées d'un point à l'autre du globe a pour cause non seulement les climats et les habitudes nutritionnelles différentes, mais également et peut-être surtout des C.U.D. (coefficient d'utilisation digestive) très différents, beaucoup plus faible dans les pays où sévit la malnutrition et la famine, et des pertes plus élevées en azote.

En effet dans l'inanition partielle, l'organisme se comporte exactement comme dans l'inanition totale, empruntant à ses réserves et à ses tissus le complément indispensable de la ration, les lipides fournissant ici la plus grosse part. Si l'inanition partielle se prolonge, il peut se produire dans certains cas une adaptation de l'organisme, qui réduit ses dépenses et rétablit son équilibre azoté. Mais il faut remarquer qu'une alimentation très insuffisante, même si elle contient beaucoup de protides, entraîne fatalement une perte d'azote, l'organisme sacrifiant ses protéines tissulaires pour combler le déficit énergétique de la ration.

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 ₂ O ₅)	3,0-5,4
Potassium (exprimé en K ₂ O)	1,0-2,5
Carbone	40-55
Calcium (exprimé en CaO)	4-5
Rapport C/N	5-10

(5)

.Chez le bétail

-Le porc de son côté élimine, sous nos climats, de l'ordre de 0,5 à 2,5 kg/j de matières fécales et le boeuf de l'ordre de 13 à 45 kg selon son régime.

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	3,08	4,0	3,6	7,6
Moutons	1,28	9,9	10,7	20,6
Volaille	0,88	—	20,0	20,0

(5)

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

3-1-2 - Constitution et caractéristiques

La constitution du bol fécal est d'origine exogène et endogène. On y trouve :

- 1°) les cellules desquamées du tube digestif, les sucs digestifs et le mucus épaissis par la résorption d'eau ;
- 2°) les substances excrétées par l'intestion (graisses neutres, produits azotés, substances minérales diverses dont le fer) ;
- 3°) les résidus alimentaires réfractaires à l'attaque des enzymes ou ayant échappé à leur action et à celle des fermentations (cellulose, lignine, chlorophylle, fibres végétales et musculaires, tissu élastique et corné, tendons, matières grasses émulsionnées ou non, éléments minéraux insolubles) ; chez l'Homme, ces résidus représentent environ 5 % de la ration journalière ;
- 4°) les micro-organismes vivants ou morts ; ils constituent une fraction importante de la masse fécale (25 %), le tiers et parfois davantage chez les Ruminants.

3-1-2-1 - La population microbienne des fèces

-Les matières fécales renferment, à l'état normal, un nombre considérable de germes appartenant à des espèces très variées. Le meconium est stérile mais, dans les premières heures, on pourrait dire les minutes qui suivent la naissance, le contenu intestinal se charge normalement de microbes saprophytes.

On trouve chez l'adulte des cocci, des bâtonnets, de gros bacilles sporulés, des spirochètes, parfois des levures ; d'une façon générale, l'espèce qui prédomine et qui est constante est *Bacterium coli* commune ou colibacille, qui existe, non

.../...

seulement dans l'intestin de l'homme, mais encore dans celui de tous les animaux, même les invertébrés. La flore du contenu intestinal varie beaucoup selon les individus, suivant l'alimentation, suivant le point considéré, la proportion étant différente dans le duodénum, les diverses parties du grêle et le gros intestin ; enfin, selon les âges. A ce point de vue, la flore du nourrisson est assez particulière ; beaucoup plus pauvre chez les nourrissons élevés au sein, elle renferme surtout, d'après Tissier, le colibacille et un bacille anaérobie, *Bacillus bifidus*, qui produit par fermentation de l'acide lactique en grande quantité, ce qui entrave le développement des autres germes, en particulier des germes de la putréfaction. Chez l'enfant nourri au biberon, *Bacillus bifidus* diminue ou disparaît et la flore se rapproche de celle de l'adulte. Chez celui-ci, outre le colibacille, qui est fondamental, et prédominant, il y a toujours une grosse proportion de bacilles anaérobies de la putréfaction (8).

Il est pratiquement impossible de décider, par l'analyse bactériologique, si ces germes saprophytes sont devenus pathogènes et peuvent jouer un rôle lors de troubles intestinaux ; cette question des entérites simples, aussi bien chez l'adulte que chez l'enfant, est encore loin d'être élucidée.

-A côté de ces saprophytes on trouve, venue du gros intestin toute une flore parasite cellulolytique anaérobie.

Ces germes ont une grande importance pour le devenir ultérieur des excréta.

Ils sont très spécifiques des milieux fécaux et ont un besoin impératif de l'azote apporté par les excréments.

Après la défécation, ils poursuivent un certain temps leur tâche de destruction de la cellulose (liquéfaction) au sein de l'excrément où sont satisfaites les conditions d'anaérobiose nécessaires aux bactéries cellulolytiques parasites de l'intestin.

Selon le devenir de l'excrément d'autres germes prendront ou non la relève.

-A côté de ces saprophytes, on peut trouver dans les matières fécales des microbes non saprophytes habituels, mais pathogènes, hôtes inhabituels qui ont provoqué effectivement une lésion de l'intestin (fièvre typhoïde, choléra, tuberculose, dysenterie amibienne) ou viennent d'un autre point de l'organisme, par exemple le poumon, par déglutition des crachats.

3-1-2-2 - La couleur des fèces

La couleur des fèces est due aux pigments biliaires partiellement transformés en stercobiline et aux matières colorantes diverses contenues dans les aliments (hématine, chlorophylle).

3-1-2-3 - L'odeur des fèces

L'odeur fécale est due à la présence de produits du métabolisme azotés aromatiques : indoles, scatole, de produits du métabolisme des acides aminés sulfurés : mercaptans, hydrogène sulfuré, de produits de la digestion des graisses : acides gras qui jusqu'en C₁₁ sont réputés pour leurs odeurs nauséabondes, enfin de résidus de la putréfaction et des fermentations du gros intestin plus ou moins volatils (cétones - aldéhydes).

3-2 - Les urines

Le produit de la fonction rénale, l'urine, est une excrétion plus qu'une sécrétion, en ce sens que les éléments constitutifs de l'urine sont, à quelques exceptions près, des éléments du plasma et non le résultat d'une élaboration métabolique spécifique des cellules rénales.

Il n'y a d'ailleurs pas une, mais des urines, et l'élimination urinaire présente des variations qualitatives et quantitatives parfois très importantes, variations liées aux conditions biologiques de l'individu (ingestion ou restriction de boissons, pertes d'eau par sudation, alimentation carnée ou exclusivement végétarienne, jeûne, etc...).

3-2-1 - Quantité

Chez l'homme adulte de 60 à 70 kg, au repos ou effectuant un travail modéré, vivant en climat tempéré et recevant la ration alimentaire dite ration d'entretien, le volume d'urine éliminé par 24 heures est de 1 200 à 1 400 ml (soit environ 20 ml/kg).

Mais le volume urinaire varie avec l'âge. Il est, par rapport au poids, supérieur chez l'enfant (50 à 60 ml/kg à 6 mois ; 40 ml/kg de 2 à 5 ans). Il est aussi fonc-

tion du volume liquidien ingéré (eau de boisson, potage, aliments très aqueux) et des pertes hydriques par des voies extrarénales (exhalation pulmonaire et sudation). Ces variations du volume urinaire sont physiologiques et s'opposent à celles qui sont pathologiques.

Les facteurs culturels et religieux jouent également un rôle important dans les variations de volume liquide enregistrées.

On peut citer comme exemple l'usage de l'eau pour les ablutions ou d'autres produits pour les soins de propreté individuelle.

Aux Indes on compte, dans le "Manuel d'Hygiène pour les Forces Armées" 2,3 l d'urine et d'eau de nettoyage par jour et par personne.

O.J.S. MACDONALD (7) indique que sous les tropiques -selon la température et l'humidité- on enregistre une émission de 0,6 l à 1,1 l par personne et par jour.

En Amérique du Nord, le dimensionnement des cabinets à fosse est basé sur les valeurs suivantes :

- 42 l /personne.an pour les fosses non étanches,

-550 l /personne.an pour les fosses étanches (tels les cabinets à voûte).

Selon une enquête mondiale (6), la fourchette se situe comme suit :

g/personne.jour	
Poids humide	Poids sec
1.000 - 1.300	50 - 70

3-2-2 - Composition et Caractéristiques de l'urine

3-2-2-1 - Caractères chimiques

L'urine est essentiellement constituée par de l'eau contenant en solution des éléments très variés et provenant pratiquement tous du plasma. Mais cette excrétion rénale est sélective en ce sens que si presque tous les éléments de l'urine sont
.../...

des éléments du plasma, tous les éléments du plasma ne se retrouvent pas dans l'urine. Tels sont les protéines, le glucose, l'ion bicarbonate. D'autre part, la valeur du rapport $\frac{\text{concentration dans l'urine U}}{\text{concentration dans le plasma P}}$ est en général nettement supérieur à l'unité.

TABLEAU 1

Eléments	Concentration dans le Plasma P g/l ou mg/ml	Concentration dans l'Urine U g/l ou mg/ml	Valeur du rapport $\frac{U}{P}$
Protéines totales	70	0	0
Urée	0,20 à 0,40	15 à 30	60 à 70
Acide urique	0,045	0,090 à 1,60	2 à 40
Créatinine	0,010	0,8 à 1,20	80 à 120
A. aminés (total)	0,5	0,8 à 1	1 à 2
Bilirubine	0,005	0	0
Glucose	1	0	0
Cholestérol	1,50 à 2,30	traces	0
Na ⁺	3,3	3 à 6	1 à 2
K ⁺	0,18 à 0,19	2 à 3	10 à 15
Mg ⁺⁺	0,018 à 0,020	0,10	5
Ca ⁺⁺	0,1	0,1 à 0,3	1 à 3
Cl ⁻	3,65	5 à 7	1 à 2
CO ₃ H ⁻	1,650	0	0
SO ₄ ⁼	0,045	1,4 à 3,5	30 à 80
PO ₄ ⁼	0,100	1 à 1,5	10 à 15
(NH ₄) ⁺	0,001 à 0,002	1 à 3	1000 à 2000

Le pH urinaire est franchement acide (pH compris entre 4,5 et 6) ce qui objective une importante fonction rénale : l'élimination des protons H⁺.

3-2-2-2 - Caractères physiques et bactériologiques des urines

. Couleur :

L'urine humaine est un liquide jaune ou jaune d'or, plus pâle après les repas, plus foncé le matin au réveil. Elle est jaune orange souvent foncé, après des pertes d'eau par sudation, à la suite d'une restriction des apports hydriques, chez les fébricitants. Cette coloration est due à des pigments comme l'urochrome et l'urobiline (groupement tétrapyrrolique azoté non ferrugineux, produit du métabolisme de l'hémoglobine).

L'urine humaine fraîchement émise est parfaitement limpide et transparente. Mais souvent, par le refroidissement, apparaît un fin précipité rougeâtre, ce sont des urates, ou blanchâtre, ce sont des phosphates.

. Odeur :

L'urine possède une odeur propre, notamment ammoniacale, difficile à définir, à laquelle peuvent s'ajouter des produits volatiles d'origine alimentaire (asperge, choux) ou métabolique (acétone dans le diabète), éliminés par voie rénale).

. Contenu bactériologique des urines :

-Les microbes pathogènes de l'urine peuvent provenir, soit d'une maladie infectieuse, aiguë ou chronique, des voies urinaires (pyélo-néphrite, cystite, prostatite, funiculite), soit d'une décharge dans l'urine de microbes ayant traversé la circulation (8).

Dans le premier cas, il s'agit de suppuration des voies urinaires, dans le second, de simple bactériurie. Il y a donc du pus dans le premier cas, absence du pus au sens clinique du mot, dans le second.

Enfin, si l'urine, émise au niveau des glomérules ou stagnant momentanément dans la vessie est normalement stérile, il ne faut pas oublier qu'elle est presque toujours souillée au moment de son émission, par la présence des microbes saprophytes, très abondants dans les voies génito-urinaires inférieures.

-Une fois émise dans le milieu l'urine constitue un milieu de culture très favorable aux développements de nombreux germes responsables notamment des fermentations ammoniacales de l'urine (*Micrococcus ureæ*).

.../...

3-3 - Charge polluante représentée par les excréta

Si on considère l'ensemble des excréta, on peut -en première analyse- adopter la valeur de :

1 kg d'EXCRETA HUMIDES TOTAUX PAR PERSONNE ET PAR JOUR

La fourchette se situe entre 1.135 et 1.570 g/jour et par personne en poids humides et 85 et 140 g/jour et par personne en poids sec.

u Les excréta sont biodégradables et la DBO est de 72 g DBO₅ à 115 g DBO₅ per capita et par jour.

La DCO correspondante est pratiquement égale à la DBO, et leur rapport avoisine l'unité.

• Les effluents municipaux en pays développés à prédominance domestique s'écartent assez sensiblement de ces valeurs, on constate d'une part une dilution de la DBO₅ émise par habitant équivalent (DBO₅ comprise dans le volume d'effluent moyen per capita) et l'apparition de matières minérales et de matières organiques non dégradables. Le rapport DCO/DBO₅ augmente et s'établit à une valeur moyenne située entre 1,5 et 2. Dans une grande ville où les activités industrielles et commerciales sont dispersées au sein de l'agglomération des valeurs plus élevées encore sont observées, par exemple à Paris, 2,7 et plus (des valeurs exceptionnelles de 5 et même 8 ont été relevées) (9).

Néanmoins, il est utile de disposer, à défaut d'autres renseignements et en première approximation de données spécifiques permettant d'effectuer une première approche d'un problème d'assainissement. Pour nos pays on multipliera alors le nombre d'habitants recensés par les valeurs spécifiques données dans le tableau dans le cas où il n'existe pas d'activité économique fortement polluante (9).

QUANTITES PAR HABITANT

	Petite ville	Ville moyenne	Ville importante
Matières en suspension			
• décantables	60	70	80
• non décantables ...	30	35	40
Matières dissoutes ...	100	110	110
DBO ₅	54	60	80
DCO	60	90	180

Les sources localisées importantes de pollution (industrie, etc.), doivent faire l'objet d'une enquête et d'une campagne d'analyse et leur flux doit être transformé en habitants équivalents.

- En pays en voie de développement, les effluents des zones urbaines ou péri-urbaines ont des valeurs polluantes spécifiques qui s'écartent sensiblement de celles ci-dessus.

Selon une publication américaine (10) il faut par exemple retenir pour la charge en DBO :

	g DBO ₅ /hab. jour
Zambie	36
Kenya (Nairobi)	23
Sud Est Asiatique	43
Inde	30 - 45
Brésil (São-Paulo)	50
France rurale	24 - 34

En dehors des hommes, l'activité physiologique du bétail produit des quantités de déjections animales considérables, polluantes mais valorisables.

Aux Indes les 126.10^6 de têtes de bétail représentent au moins 2.10^9 t de déjections annuelles.

Ces déjections pourraient être source d'énergie et d'engrais.

Nous rappelons la teneur en éléments fertilisants de quelques déjections animales :

Elevage Eléments fertilisants en kg par m ³ de déjections fraîches non diluées	Azote	Phosphates	Potasse
. Bovin	7,4	1,00	2,1
. Porc	4,2	2,1	2,1
. Volaille	17,8	14,7	7,4

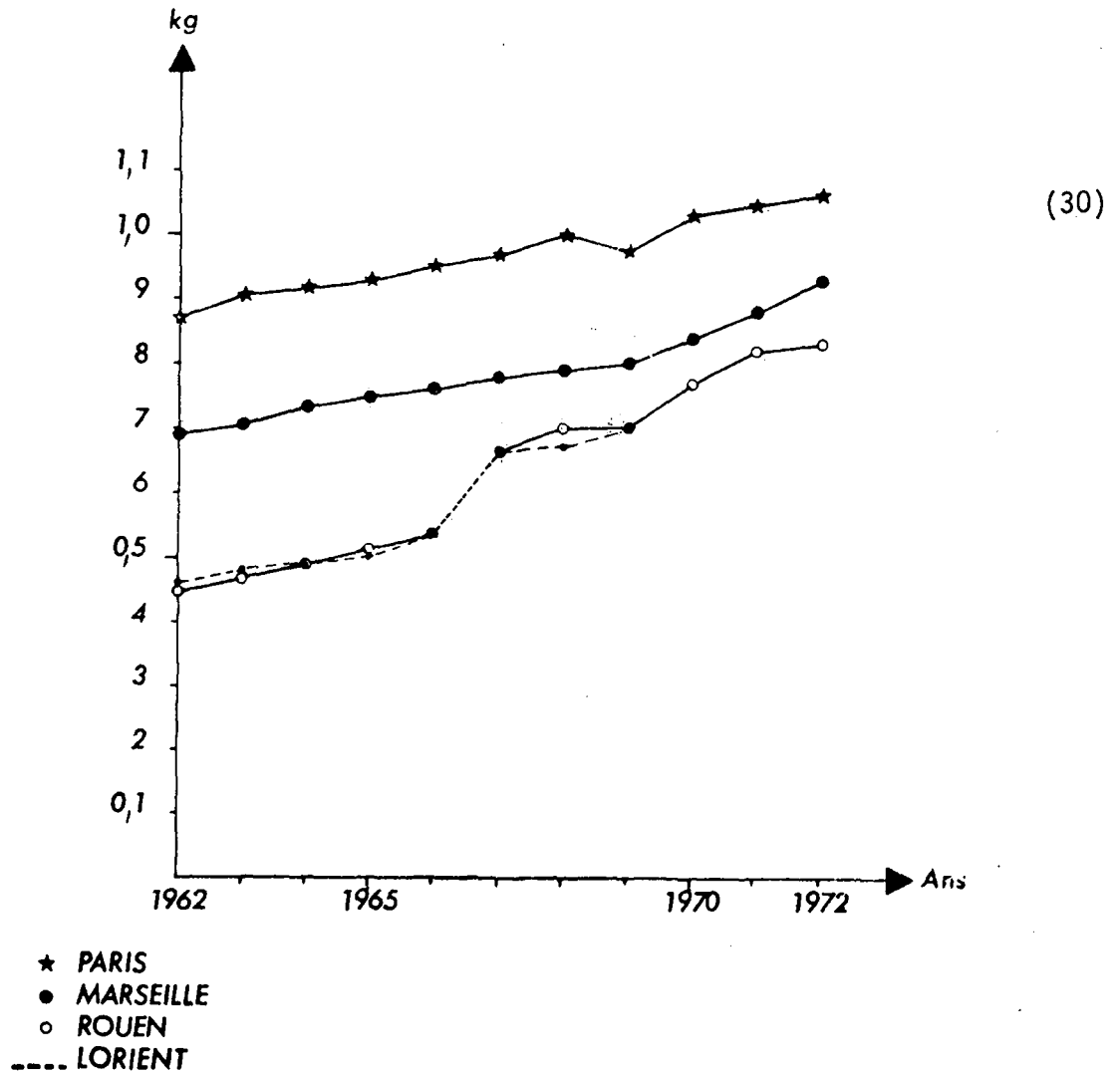
Eléments fertilisants contenus
dans les déjections des élevages

3-4 - Autres résidus de l'activité humaine

3-4-1 - Ordures ménagères

En dehors des déchets industriels que nous n'aborderons pas ici, la quantité d'ORDURES MENAGERES produite par habitant dans les pays industrialisés croît de jour en jour au rythme de la civilisation de consommation.

PRODUCTION MOYENNE D'ORDURES MENAGERES PAR HABITANT
ET PAR JOUR DANS QUELQUES VILLES DE FRANCE.



La composition de ces ordures varie sensiblement d'un pays développé à l'autre selon ses ressources propres (par ex. 30% de papier dans les O.M. en France contre 65% en Finlande).

Elle est beaucoup plus organique dans les pays en voie de développement.

3-4-2 - Déchets végétaux

Non polluants ces déchets, notamment conjugués aux autres déchets polluants, peuvent permettre des valorisations intéressantes.

En France, la production annuelle de paille est par exemple de l'ordre de 30.10^6 t.

Aux Indes 15.10^6 t de balles de riz sont récupérables chaque année.

B - EQUILIBRES NATURELS -
Cycles des déchets du vivant

Face à la charge polluante que représentent les excréta et les résidus de l'activité humaine, quels sont les moyens de lutte disponibles naturellement ?

Nous allons essayer de dégager les principes fondamentaux des mécanismes naturels de régulation. Puis, nous détaillerons dans un autre chapitre ceux qui s'exercent spécifiquement sur les excréta et résidus.

1 - PRINCIPES REGULANT LES EQUILIBRES NATURELS

Ceux qui s'intéressent aux sciences physiques ou aux sciences naturelles savent bien, et c'est d'ailleurs également quelque chose d'intuitivement perçu, que la nature n'admet pas les situations extrêmes, les excès, et qu'elle suscite toujours un mécanisme compensateur. Chaque phénomène possède son inverse symétrique, avec lequel il est en équilibre dynamique. On pourrait penser à un ressort qui, quand il est dilaté, tend à se contracter et veut se dilater quand on le contracte. En examinant de façon plus précise cette dualité rythmée, on remarque qu'elle se traduit par un va et vient continu entre une accumulation et une dispersion. Ce peut être une accumulation d'énergie sous une forme quelconque, en général une énergie potentielle ; ce peut être aussi une accumulation de matière.

Pour reprendre notre exemple du ressort, quand on le comprime, on a création d'un potentiel, qui se transforme, à la dilatation, en travail et chaleur, c'est à dire une dispersion d'énergie. Le ressort est un exemple très primaire parce, une fois que le mouvement s'est amorti, il se stabilise car il n'y a plus d'intervention extérieure : il est isolé. Dans la nature, à l'échelle de la planète, ou même à l'échelle d'un écosystème réduit, les mécanismes sont imbriqués les uns dans les autres et s'entretiennent mutuellement. C'est un peu comme un ensemble de ressorts liés soumis à des pulsations sans fin, avec un apport d'énergie constant : celui du soleil.

Si on essaie de voir clair dans cet enchevêtrement de ressorts, on arrive à les séparer en plusieurs cycles fondamentaux ; il y a par exemple le cycle de la matière

.../...

vivante, le cycle de l'eau, le cycle du carbone, etc... En fait, on s'intéresse à un élément en particulier, la vie, l'eau, le carbone, etc..., et on le suit à travers ses états successifs de concentration et dispersion, en liaison avec les autres, bien entendu. C'est pour le biologiste, le physicien, un moyen d'isoler parmi les phénomènes naturels, ceux qui concernent le problème qui le préoccupe.

Le problème des excreta est à la fois affaire de biologiste, puisque c'est une sécrétion de l'activité vivante, et affaire de physicien, puisque c'est une concentration de matières encombrantes qu'il faut disperser. Nous allons donc nous intéresser aux cycles biologiques et aux cycles purement physiques.

1-1 - La matière vivante

Lorsque la matière vivante est en jeu, la concentration - dispersion se traduit par une alternance : organisation - désorganisation. Le stade ultime de la désorganisation est la minéralisation. Les organismes vivants ont la capacité de dégrader des molécules complexes, en particulier les molécules organiques, pour en tirer de l'énergie (par rupture des liaisons) et des composants structurels. Ils ont d'autre part la capacité de synthétiser des éléments simples en molécules complexes, c'est à dire de concentrer un certain potentiel, qu'on pourrait appeler potentiel de nutrition. Rappelons que la matière vivante est composée d'un nombre restreint d'éléments : C, O, H, N (Bendit) en majorité, plus quelques autres : P, K, Fe, Mg, S, et donc, le potentiel énergétique vivant est uniquement situé dans les liaisons ordonnées (d'où la notion d'"organisation") entre ces éléments, liaisons qui se font et se défont lorsque les organismes sont créés, se développent, meurent. L'ensemble des vivants est ventilé en chaînes trophiques dans lesquelles la population de chaque étage consomme celle de l'étage précédent, c'est à dire *utilise à son profit le potentiel que celle-ci a accumulé, et constitue à son tour un potentiel qui sera utilisé par la population de l'étage supérieur*. Le passage de l'un à l'autre se fait au prix d'une dissipation d'énergie (par exemple par la respiration) qui est compensée par un degré d'organisation supérieur.

Les excreta sont de la matière organique morte additionnée de bactéries : ils servent de nourriture à une flore (bactéries, champignons) et une faune (protozoaires, vers...), qui auront des prédateurs : autres bactéries, plancton, oiseaux (pour les vers), etc..., seront donc le début d'une chaîne trophique. Les produits de cette faune et de cette flore, minéralisés, ou du moins bien dégradés serviront à d'autres organismes et ainsi de suite.

.../...

1-2 - La matière inerte

Lorsque les mécanismes vitaux ne sont pas en cause, alors l'équilibre concentration - dispersion d'énergie est suppléé par celui plus physique de concentration - dispersion de matière. Citons pour exemple l'évaporation, qui est une dispersion, et la condensation. Le potentiel mis alors en jeu est la pression saturante. Dans le cas de la concentration et la dilution d'un sel dans un liquide, le potentiel est la pression osmotique.

Les excréta, qui sont de la matière semi liquide concentrée, seront soumis surtout à des mécanismes de dispersion : dilution, évaporation...

1-3 - Effets contradictoires pour la survie et le confort de l'homme

Lorsqu'interviennent le "fait humain" dans ces mécanismes naturels, apparaît une contradiction ; cette régulation produit à la fois :

-des effets qui nous intéressent et que l'on recherche : dégradation des matières, ...,

-des effets indésirables : dispersion des pathogènes, diffusion d'odeurs.

C'est pourtant la dégradation qui suscite les odeurs, c'est pourtant la dispersion des volumes d'eau qui éparpille les germes. Ces effets désagréables pourraient conduire à rejeter les processus naturels : c'est ainsi qu'on a cherché à stériliser des boues non stabilisées, ce qui coûte très cher, tue les microorganismes de la digestion et donc laisse entier le problème de la charge organique.

C'est au contraire une connaissance plus fine des performances naturelles et de leurs limites qui peut mener à en faire une heureuse utilisation, à bien moindre coût technique et matériel que par les techniques classiques. Des systèmes simples bien adaptés, d'assainissement peuvent ainsi faire partie des outils permettant la prise en charge par les populations de leur propre développement, autonome et maîtrisé.

2 - ORGANISATION ≠ MINÉRALISATION

Les acteurs en sont les microorganismes : bactéries et champignons surtout, et aussi protozoaires, algues, vers...

Ils agissent notamment sur le cycle du carbone, le cycle de l'azote, du soufre...

.../...

2-1 - Les microorganismes

Ils sont nombreux, variés, et surtout ils sont contenus en germes dans le milieu naturel et se disséminent facilement. Cela signifie que les facteurs limitants de l'activité microbienne sont les conditions extérieures (température, pH, taux en éléments nutritifs) qui favorisent le développement de telle ou telle espèce, et non l'ensemencement initial. Lorsque le milieu évolue, par exemple par l'action d'une certaine population, les organismes jusqu'alors inhibés et qui, souvent, possèdent de grandes facultés de latence (kystes, spores, oeufs, calcification...) se développent à leur tour, avec des fonctions différentes.

- Ainsi, on observe que les excréta humains contiennent 25 % de leur poids en matière sèche de bactéries fécales dont une forte proportion est spécialement adaptée à la dégradation du bol alimentaire et ne peut se développer qu'en présence de tissus ou sécrétions intestinaux.
Ces bactéries sont excrétées avec la matière morte et continuent la dégradation jusqu'à ce qu'elles soient remplacées par des microorganismes plus adaptés à l'environnement, et donc variant suivant les conditions de défécation : milieu sec ou liquide, aéré ou non, etc...
- De la même façon, comme l'écrit Gootas (5), à propos de l'ensemencement des tas de compost : les bactéries sont toujours présentes en grand nombre dans les détritiques organiques compostables (ordures ménagères, déchets, fumier, eaux usées, excréta, débris végétaux), et de plus, élaborent de façon efficace et rapide tous les enzymes nécessaires à la dégradation.
- Enfin, le sol contient également des germes : Germon (11) donne, en matière sèche 1 à 2 tonnes de microorganismes par ha de sol.

Ces microorganismes couvrent un spectre de conditions de milieu très large : pH de 3 à 11, température de l'ordre de 0°C à plus de 60°C, milieu aqueux jusqu'à humidité très faible ($pF = 5,6$: au delà du point de flétrissement de la plupart des végétaux).

2-1-1 - Les bactéries :

Ce sont les principaux agents de décomposition de la matière organique et elles interviennent à tous les stades, surtout au début (elles existent déjà dans l'in-
.../...

testin). Elles se différencient par leur équipement enzymatique (catalyseurs), c'est à dire par leur capacité (12).

- à synthétiser des molécules de complexité variable ; cela conditionne leurs exigences nutritionnelles :
 - .quand elles n'acceptent que les matières organiques, on les dit hétérotrophes ;
 - .quand elles acceptent les matières minérales (C, N), on les dit autotrophes ;
- à dégrader des molécules de nature variable, avec un pouvoir oxydant variable ; cela conditionne leurs exigences vis à vis de l'oxygène : elles utilisent comme sources d'énergie :
 - .soit la combustion : $C + O_2 \rightarrow CO_2$, en milieu aérobie.
 - .soit l'oxydation d'éléments minéraux : Fe, S, NH_3 , en milieu anaérobie.
 - .soit la fermentation d'une molécule organique, en milieu anaérobie (avec production de NH_3 , CH_4 ...).
 - .soit plusieurs de ces sources : ce sont les bactéries facultatives.
 - .soit les rayons ultraviolets : ce sont les bactéries phototrophes, rares. (exemple : les thiobactéries qui oxydent $H_2S \rightarrow S \rightarrow H_2SO_4$).

Elles réalisent quantité de réactions, notamment :

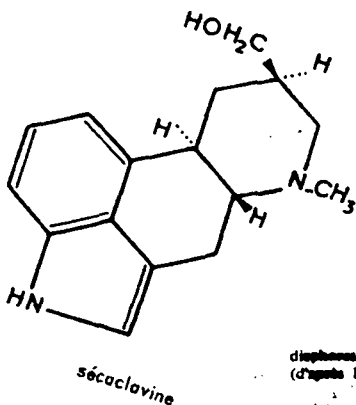
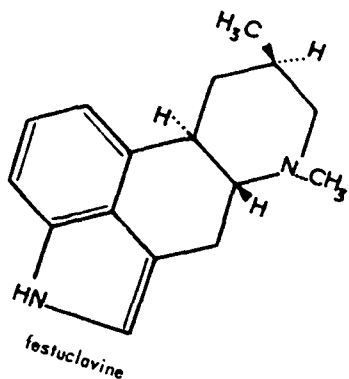
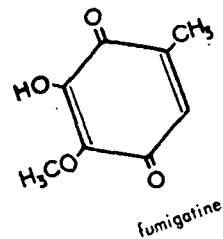
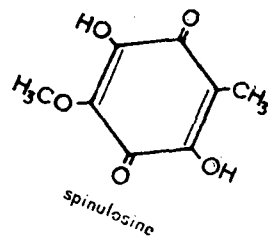
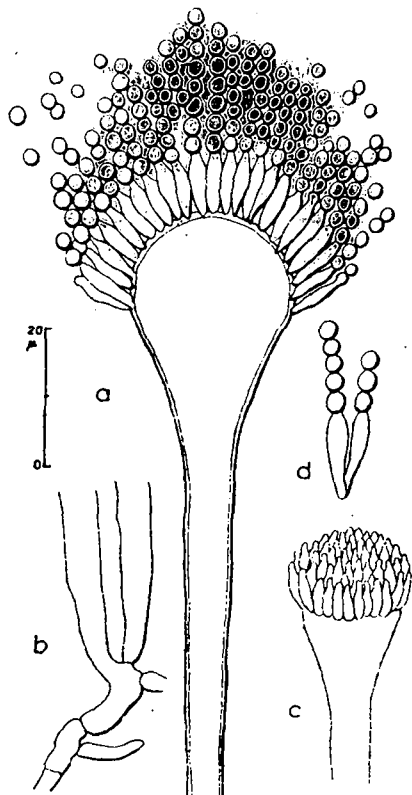
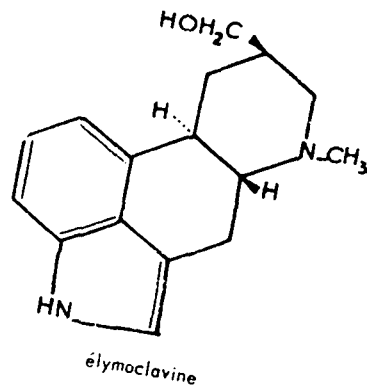
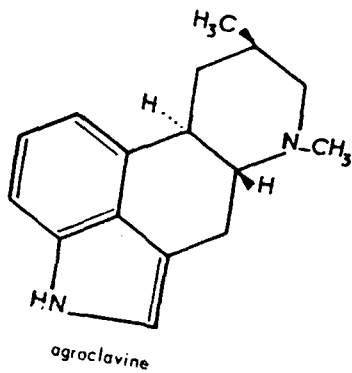
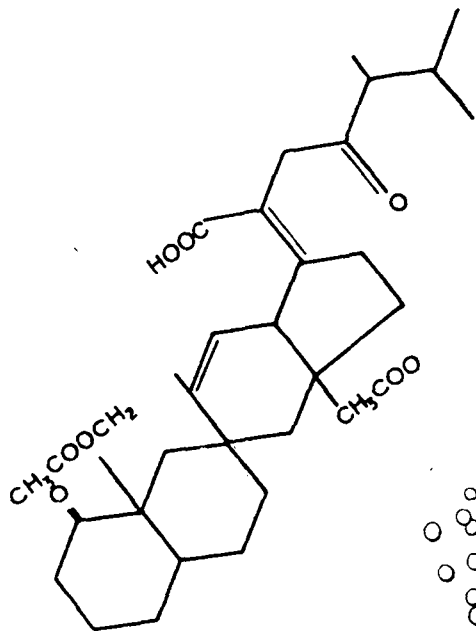
- .la fixation d'azotes gazeux : $N_2 \rightarrow R-NH_2$ légumineuses en symbiose avec Rhizobium
- .l'ammonification : $N \rightarrow NH_3$
- .la nitrification : $NH_3, N \rightarrow NO_3^-$ en milieu aérobie
 $NH_3, N \rightarrow NO_2^-$
- .la réduction du soufre : $S \rightarrow H_2S$ (en milieu anaérobie)
- .l'oxydation du soufre : $H_2S, S \rightarrow H_2SO_4$
- .la dégradation de la cellulose, des graisses, protéines, etc..., en alcools, acides organiques et divers produits...

2-1-2 - Les champignons :

Ils sont en majorité aérobies, ce qui signifie qu'ils se développent surtout en sols aérés, en surface dans les tas de compost. (Dans ce dernier cas, on observe surtout les champignons thermophiles et des actinomycètes, intermédiaires entre les bactéries et les champignons), ou à la surface des liquides.

.../...

Spergillus fumigatus et quelques unes de ces toxines.



Spergillus fumigatus. — a) Tête conidienne. — b) Bases de conidiphores. — c) Ornamentation apicale des phialides. — d) Phialides et spores (d'après Peckham (1967)).

Les champignons préfèrent les milieux acides (sols acides) alors que les actinomycètes préfèrent les milieux alcalins.

En général, ils supportent mal la chaleur, mais il existe des champignons thermophiles qui prolifèrent dans les composts ; ils se développent entre 45 et 60°C. Ils semblent particulièrement s'attaquer à la cellulose et la lignine qui résistent bien aux bactéries, à condition de disposer d'azote assimilable en quantité suffisante.

Une certaine espèce, "Aspergillus fumigatus", se développant sur les fumiers, est toxique pour l'homme ; elle cause des troubles pulmonaires, asthmes, surtout aux personnes autrefois tuberculeuses ou prédisposées. Comme tous les champignons, il produit des spores très volatils, qui sont transportés vite et loin au moindre coup de vent, sont inhalés et peuvent envahir les tissus de façon grave. De tels incidents ont été signalés dans les installations de compostages urbains et un tel risque ne doit pas être pris à la légère.

2-1-3 - Les protozoaires :

Ils se nourrissent souvent d'éléments solubles et on les trouve donc en milieu aqueux ; mais ils sont également prédateurs de bactéries, en particulier les protozoaires cités.

Ils sont reconnus être responsables de l'élimination de 90 à 99 % des bactéries dans une boue activée. Ils réduisent également le taux bactérien dans les estuaires.

Ils exigent de l'oxygène dissous, on ne les trouvera donc pas dans les bassins ou fosses fortement anaérobie.

Ils sont très sensibles aux toxiques mis sont persistants, car en cas de conditions extérieures défavorables, ils s'enkystent.

2-1-4 - Les algues :

Elles vivent en milieu aqueux. Leur principale caractéristique est de produire de l'oxygène dissous dans l'eau, par photosynthèse du gaz carbonique. Cette production d'oxygène dans le milieu contribue largement à son épuration : oxydation des matières, respiration des organismes aérobie responsables de la dégradation,...

.../...

C'est un des éléments principaux du pouvoir épurateur des lacs, mers, cours d'eau.

Remarquons toutefois qu'elles mêmes sont constituées de matière organique, synthétisées à partir d'éléments exogènes au système, qui retourne à l'eau quand elles meurent. Donc, au niveau du bilan global, on n'est pas plus avancé, si on n'élimine pas ces algues. Si on veut accroître le pouvoir épurateur des bassins; cours d'eau..., il faut les récolter ; pour celà, plusieurs formules sont possibles :

- récolte à la surface de l'eau, puis compostage, ou fermentation, épandage, fertilisant.
- consommation par les poissons : c'est le principe de l'aquaculture, pratiquée en Indonésie, à Taiwan, en Chine.

Le poisson doit être bien cuit.

- consommation humaine : à condition que le milieu soit relativement sain (en germes pathogènes) ; ex. : Lac Tchad.

Leur activité est fortement liée au degré d'ensoleillement, donc est favorisée aux basses latitudes.

Remarquons que quelques végétaux supérieurs, comme la jacinthe d'eau, jouent le même rôle et sont exploités dans divers pays. Ex. : projet d'épuration du lac de Manille, aux Philippines par les jacinthes d'eau.

2-2 - Le cycle du carbone

Le carbone est le principal constituant des molécules organiques :

La composition de la matière vivante est

environ : - 80 % d'eau
 - 20 % de matière sèche, sur laquelle :

{	53 % C
	21,5 % O
	9 % H
	7 % N
	9,5 % autres

Il intervient tour à tour dans des réactions de dégradation et de synthèse.

.../...

2-2-1 - Dégradation des molécules hydrocarbonées

A la mort des organismes, les molécules, en général volumineuses, sont décomposées par les microorganismes, surtout les bactéries hétérotrophes et les champignons. Les produits obtenus sont : des gaz, des molécules intermédiaires et des molécules minérales :

- les gaz sont produits par la combustion et la fermentation : CO_2 , CH_4 .
La dégradation aérobie du compost, où la respiration se fait par la combustion du carbone est fortement exothermique. Dans le cas du compost 2/3 du carbone est ainsi utilisé.
- les molécules intermédiaires sont :
 - soit réutilisées telles quelles ou resynthétisées sous des formes variées pour la constitution cellulaire,
 - soit dégradées jusqu'au stade minéral avec récupération d'énergie.

Les constituants cellulaires sont, hormis l'eau, les glucides, les protides, les lipides ;

- + les glucides produisent des acides et aldéhydes ; ceux-ci peuvent être :
 - .oxydés en CO_2 , H_2O , en milieu aérobie
 - .transformés en alcools, éventuellement en méthane, en milieu aérobie.
- + les protides sont décomposés en acides aminés recomposant d'autres protides, ou dégradés en ammoniac et céto-acides.
- + les lipides se décomposent en glycérine et acides gras, puis en aldéhydes et acides. La dégradation ultime est la même que celle des glucides.
- les molécules minérales comportent notamment les composés azotés : NH_3 , NO_2 , NO_3 , obtenus à partir des protéines (acides aminés).

2-2-2 - Synthèse des molécules hydrocarbonées

D'autres organismes, comme les bactéries autotrophes et les végétaux poursuivent le cycle.

- les gaz : grâce à la photosynthèse, les végétaux chlorophylliens fixent le gaz carbonique de l'air, et l'incorpore à des molécules organiques.

.../...

Ils rejettent de l'oxygène dans le milieu.

- les molécules minérales sont utilisées par les végétaux ($\text{NH}_3\dots$) et les bactéries autotrophes (C , CO_2 , NH_3 , $\text{NO}_3\dots$) pour leur énergie et/ou la synthèse de leurs cellules.
- les molécules intermédiaires sont resynthétisées par de multiples organismes.

2-2-3 - Prédation

Les végétaux sont consommés par les animaux, eux mêmes consommés par la stade suivant ; on obtient des synthèses de plus en plus complexes, jusqu'à la mort des organismes qui boucle le cycle.

2-2-4 - Cas particulier de la cellulose

La cellulose est un hydrate de carbone (glucide) très stable. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle elle n'est pas digérée par l'homme et constitue une part importante des fèces. Elle traverse souvent le cycle sans être décomposée ; elle constitue une réserve sous le sol qui ne sera libérée qu'au cours de périodes très longues. Les organismes capables de la décomposer sont peu nombreux et très spécifiques.

La décomposition anaérobie (*Clostridium Plectidrium*) produit des acides, des alcools, CH_4 , CO_2 , H_2 . Les bactéries aérobie (*Cytophoga*, *Cellvibrio\dots*) et des champignons la transforment en oxycellulose, plus facilement attaquable.

On trouve souvent avec la cellulose, la lignine, encore plus résistante à la décomposition. Elle sert de réserve lentement biodégradable dans les sols et contribue à donner une certaine texture aux humus. Elle entre dans le cycle des composés azotés qui se complexent avec elle.



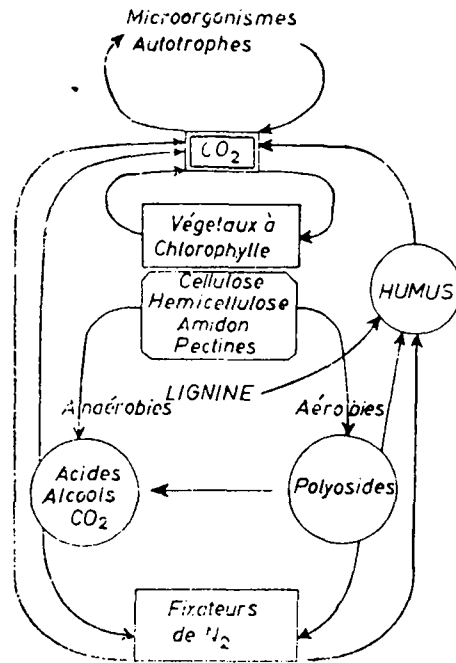
CYTOPHAGA
sur fibre de cellulose



PLECTRIDIDIUM CELLULOLYTICUM
sur fibre de cellulose

-D'après POCHON-(14)

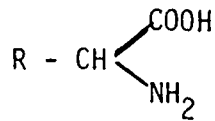
- Cycle du carbone -
d'après POCHON et TARDIEU
(15)



2-3 - Le cycle de l'azote

2-3-1 - Ammonification

De la même façon que le carbone, l'azote, constituant cellulaire essentiel, passe par divers stades d'organisation et minéralisation. Dans la matière vivante, il provient surtout des protides qui sont composés d'acides aminés, de formule :



Or les protides sont les composants structurels de la matière, par opposition aux lipides et glucides qui sont des éléments et des réserves énergétiques. Cela signifie, en clair, que le développement des organismes et des populations d'organismes, est conditionné par la présence d'azote assimilable : L'azote sera souvent le facteur limitant de la dégradation des composés carbonés, même si le carbone est en excès. Cela signifie également que si les protides sont assez facilement décomposés en acides aminés, les acides aminés eux, traverseront souvent le cycle sans être désorganisés, réutilisés tels quels dans la synthèse des protéines. La troisième conséquence est que la forme minérale de l'azote dérivant de la décomposition de l'azote organique, sera l'ammoniac : NH₃ dérivant directement de NH₂.

Cet ammoniac peut :

- se dégager : en milieu basique et ventilé ...
- être utilisé par les bactéries (autotrophes) pour la formation d'acides aminés.
- être capté par les végétaux supérieurs : ceux ci préfèrent néanmoins la forme nitrates.
- être oxydé, c'est la nitrification.

.../...

2-3-2 - Nitrification

En milieu aérobie, certaines bactéries autotrophes, tirent leur énergie de l'oxydation de l'ammoniac en nitrite, peu stable tout de suite oxydé en nitrates.

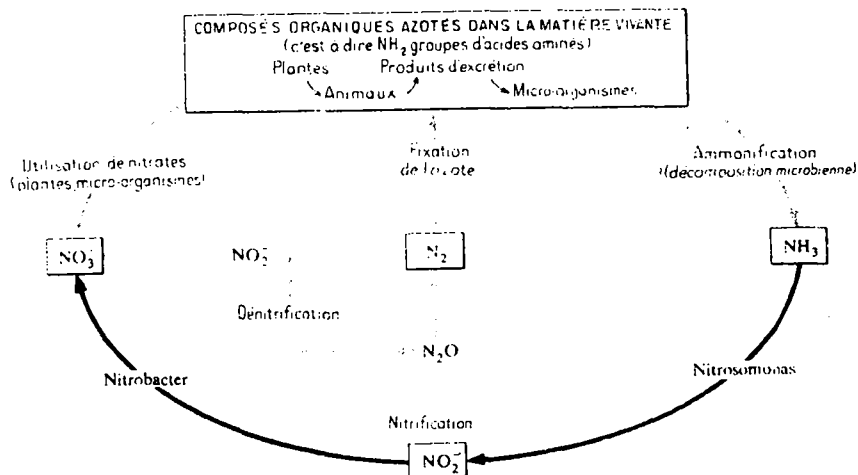
Les nitrates sont :

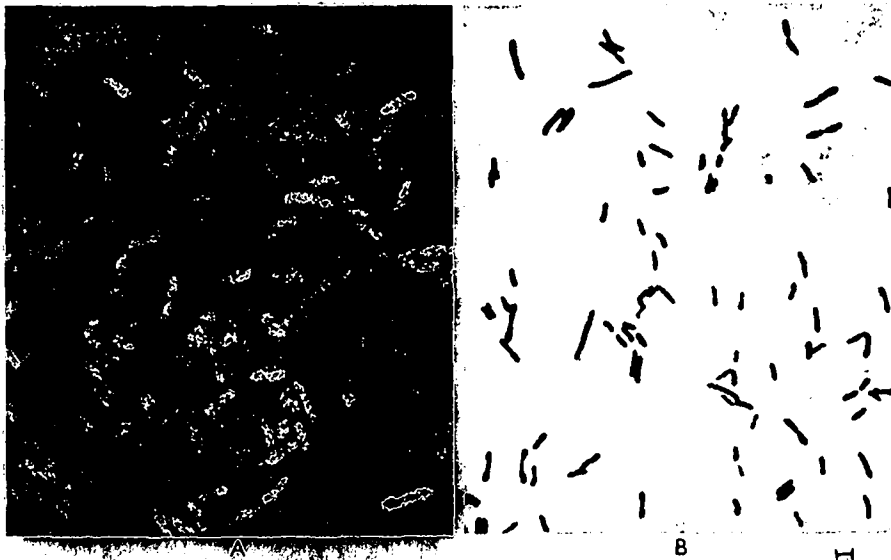
- soit consommés : c'est la principale source d'azote des végétaux supérieurs qui le retransforme en protides. Les végétaux, les animaux herbivores, et toutes les chaînes vivantes se transmettant les acides aminés ; une fois mort ils bouchent le cycle.
- soit réduit à l'état gazeux : c'est la dénitrification (en milieu anaérobie). C'est là que se greffe un deuxième cyclé de l'azote.

2-3-3 - Fixation de l'azote atmosphérique et dénitrification

Il relie l'état gazeux de l'azote, contenu dans l'atmosphère à l'état organique.

- Certaines bactéries notamment les Rhizobium, en symbiose avec les légumineuses, fixent l'azote gazeux de l'air, qu'elles assimilent dans leurs cellules, c'est à dire sous forme de protides.
- A leur mort, ces bactéries remettent dans le cycle, l'azote organique, qui peut être oxydé, puis en anaérobiose, réduit et dégagé à l'état gazeux, comme nous le disions plus haut.





— A, *Azotobacter chroococcum*; B, *Rhizobium leguminosarum*.

En fait, les rôles des glucides, lipides et protides étant étroitement imbriqués, les cycles de l'azote et du carbone sont très liés ; c'est pourquoi il nous paraît important de les représenter dans un schéma global centré sur un facteur essentiel = la présence ou non du comburant exogène = l'oxygène - Voir p. 32 -.

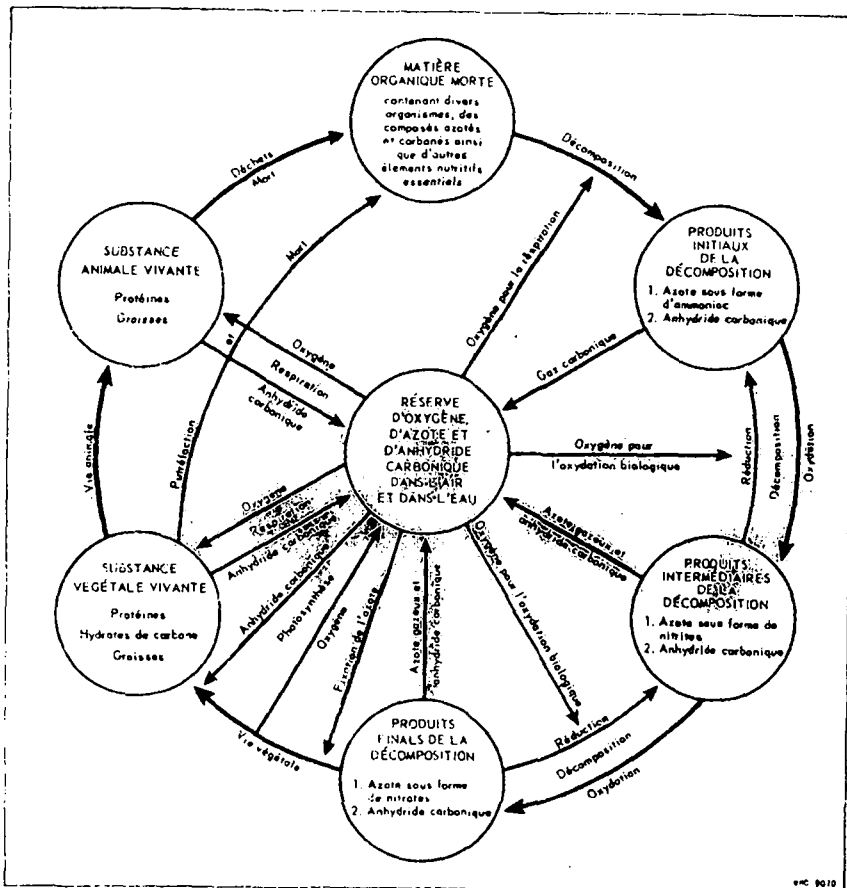
2-4 - Cycles des autres éléments

- le phosphore : il joue un rôle important dans la dégradation des composés carbonés (surtout sous forme de phosphates). Il est également le facteur limitant à la croissance des végétaux et algues.

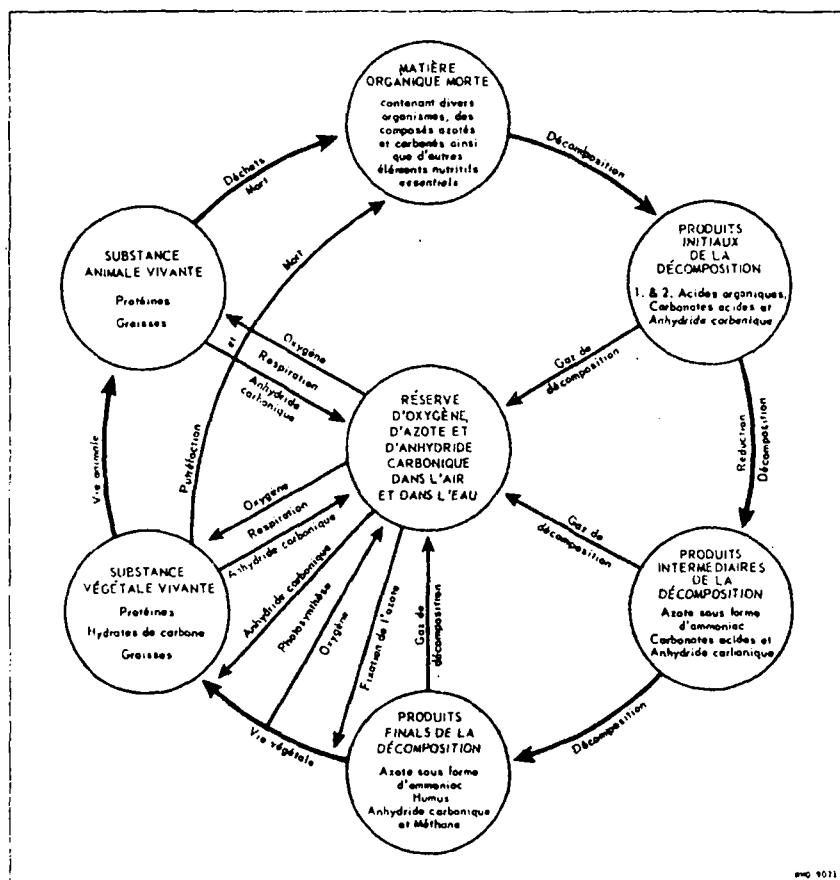
- le soufre : son cycle est essentiellement oxydation - réduction :
 - en milieu anaérobie, il est réduit en H_2S , mercaptans, etc... produits pestilentiels s'il en est.
 - en milieu aérobie, les sulfures sont oxydés en sulfate.

- les métaux sont également soumis à des oxydoréductions, complexation, etc...

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



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



* D'après Imhoff & Fair, 1^{er} avec l'autorisation de John Wiley & Sons, Inc., New York

3 - DISPERSION ≠ CONCENTRATION

Les fonctions dispersion-concentration s'appliquent sur l'eau, les matières, les éléments vivants. Les principaux mécanismes sont avant tout de nature physique :

- + le cycle de l'eau,
- + le transport des éléments inanimés, par l'eau ou l'air,
- + le transport des germes - nous nous intéresserons plus précisément aux mécanismes de contamination par les germes pathogènes.

3-1 - Le cycle de l'eau

Un dessin vaut mieux qu'un long discours et rappellera ces mécanismes bien connus :

Etudions plus attentivement les divers phénomènes.

3-1-1 - La rétention et l'infiltration de l'eau (11)

Comment se comporte l'eau dans le sol ? En fait, il vaudrait mieux se demander : comment se comporte le sol vis à vis de l'eau qui lui arrive ? Qu'est ce qu'un sol ?

a) porosité et perméabilité

Un sol est un ensemble de grains laissant entre eux un des vides appelés pores. La porosité du sol est la proportion de pores. La perméabilité ne dépend pas de sa porosité, mais de la taille, la continuité et la tortuosité des pores. Un sol argileux est plus poreux qu'un sol sableux mais ce dernier conduit mieux l'eau car ses pores sont plus larges et plus continus.

Les alternances de sécheresse, d'humidification et de refroidissement influent, de même que les racines et les animaux, et contribuent largement à la formation de cheminements, alors que les compactages et additions de sels solubles ont un effet inverse.

b) zone saturée - zone non saturée

Le sol se divise en général en trois parties : la couche végétale, la zone non saturée, la zone saturée limitée par une couche imperméable.

La réserve d'eau de la zone saturée est ce qu'on appelle la nappe phréatique. Il peut ne pas y avoir de couche imperméable ou rocheuse : sous-sol karstique. (ex. massif du Vercors).

L'eau de la zone non saturée est soumise à 2 forces principales : la force gravitaire et la force de capillarité qui est une force de succion provoquée par les vides entre les grains : l'eau remonte jusqu'à ce que le poids de l'eau soit égal à la force d'attraction entre l'eau et les grains. Cette force est d'autant plus grande que les pores sont petits (les sols limoneux retiennent mieux l'eau) et que l'humidité est faible.

Il arrive même un point pF, point de flétrissement, où l'humidité est très faible, donc la force très grande, plus grande que l'aspiration des racines : il existe à ce moment là un stock d'eau dans le sol non utilisable par les plantes.

.../...

L'eau de la zone saturée est libre au contraire ; c'est pourquoi elle est soumise à des courants, (à une vitesse mesurable), est "pompable", communique avec le lit des cours d'eau. Rappelons que l'utilisation de puits dans la nappe influence son écoulement dans un rayon assez large, créant une dépression et donc une zone d'attraction.

Nous retiendrons que :

- LA ZONE NON SATURÉE A UN FORT POUVOIR DE RETENTION
- L'EAU DE LA ZONE SATURÉE EST LIBRE

Ces deux points nous serviront pour évaluer le transport des solides par l'eau.

Remarquons par ailleurs que nous avons décrit un état à l'équilibre. Pendant et après une forte pluie, on a un état transitoire où la zone habituellement non saturée accuse un surplus d'eau qui s'écoule gravitairement. Notons que du point de vue agricole, un sol saturé est mauvais, favorisant les conditions anaérobies, asphyxiant les plantes, sauf en quelques cas particuliers (riz).

3-1-2 - Le ruissellement

Il disperse très rapidement et loin, des éléments bruts et de toutes tailles, ce qui a pour conséquences :

- les matières organiques sont arrachées du sol, qui s'appauvrit, et vont polluer les cours d'eau en leur apportant des éléments nutritifs qui diminuent leur pouvoir épurateur et peuvent transformer leur équilibre écologique jusqu'à un point irréversible : c'est l'eutrophisation.
- les éléments toxiques, produits chimiques, s'accumulent aux exutoires des circuits de ruissellement : points bas, marais, cours d'eau, failles ou fissures.
- les organismes pathogènes contaminent les ressources en eau, les végétaux, le sol.

3-1-3 - L'évapotranspiration

La couverture végétale, quand elle est haute (forêts) permet la rétention de l'eau, la lutte contre le ruissellement et l'évaporation : lutte contre la désertification. Inversement, basse, elle favorise l'évapotranspiration (prairies...).

Les bilans en quantité d'eau à l'échelle d'un bassin ou d'une région, sont mal connus et varient probablement d'une région à l'autre.

Toujours est-il qu'à l'échelle locale de quelques m^2 , le bilan est nettement négatif (élimination de l'eau) dans certaines conditions.

On exploite cette capacité par les plateaux absorbants.

3-2 - Le transport des matières

Il s'agit ici tant du transport des molécules, des particules que des organismes microscopiques.

Les différentes possibilités sont :

- + la diffusion de gaz : CO_2 , NH_3 , N_2 , H_2 , H_2S , CH_4 ...
qui correspondent à des exportations par les végétaux ou lors des réactions biochimiques.
- + la dilution dans les milieux aqueux, rivières, lacs, mers. Elle se fait par les courants, les changements thermiques (par exemple : inversion des couches chaudes et froides dans un lac).
- + le ruissellement : transport indifférencié et aléatoire déjà décrit.
- + la filtration dans le sol : certaines particules sont retenues, d'autres non.

La filtration dans le sol mérite qu'on s'y attarde : c'est le principe essentiel de l'épuration par le sol.

3-2-1 - La filtration mécanique

Elle est régie par la taille des éléments et la taille des pores du sol. Elle est conjuguée à l'adsorption physico-chimique(16).

.../...

3-2-2 - L'adsorption physico-chimique

Elle dépend de la nature des éléments en présence et de leur affinités.

Les ions, surtout les cations, s'adsorbent facilement sur les colloïdes du sol : argiles, hydroxydes, composés humiques, en général électronégatifs. En particulier, Ca^{++} , K^+ , NH_4^+ , Mg^+ sont bien retenus, alors que Na^+ et NO_3^- migrent facilement.

On peut aussi obtenir des complexes organominéraux.

Les molécules organiques sont arrêtées par leur taille encore augmentée de l'agglomérat de microorganismes qui s'y fixent.

- Le schéma ci-dessus montre clairement que la filtration réelle, physique et biochimique, se fait dans la couche végétale, surtout pour les matières organiques ou minérales susceptibles d'être captées par les microorganismes.
- Dans la zone non saturée, seuls les ions adsorbés sont filtrés. Encore ceci est-il à nuancer puisque une désorption peut se produire brutalement à la moindre variation de pH, de salinité...
- Dans la zone saturée (nappe phréatique) les matériaux sont véhiculés relativement librement puisque l'eau y est libre.

Cette stratification amène à penser que

CE QUI TRAVERSE LA COUCHE VEGETALE FINIRA TOUJOURS PAR SE RETROUVER DANS LA NAPPE.

Cette conclusion, qui demanderait à être étudiée cas par cas, a déjà été confirmée dans le cas des nitrites.

3-2-3 - Cas particulier des nitrates

Un travail de fin d'études sur le transfert des nitrates à travers la zone non saturée (17), basé sur des expériences de percolation en laboratoire dans des sables de 2 régions normandes, et l'étude de la diffusion d'un soluté dans l'eau, établit les phénomènes suivants :

- les nitrates qui proviennent en grandes quantités des activités humaines : engrais, effluents industriels.... sont très peu adsorbés chimiquement dans la Z.N.S.
- tous les nitrates entrés dans la Z.N.S. en ressortent.
- la pollution annuelle transite lentement vers le bas comme un front de pollution.
- la Z.N.S. contient en stockage environ 12 ans de précipitations, ce qui signifie, que les nitrates percolés ces 12 dernières années sont déjà en route vers la nappe, et que, du moins pour cela, on ne pourra rien.
- la Z.N.S. agit comme un tampon envers les pollutions ponctuelles et amortit leurs impacts dans la nappe.

Ce cas particulier est important à deux titres :

- les nitrates à fort degré (+ 44 mg/l) dans l'eau de boisson des nourrissons causent une maladie grave : la méthémoglobinémie qui provoque l'anémie par fixation irréversible des nitrates sur l'hémoglobine.
- particulièrement dans nos pays, où divers produits sont envoyés dans le sol à la légère.

En sus de tels cas particuliers, la filtration peut être empêchée dans trois cas : le colmatage, les fissures ou failles, les actions extérieures sur l'eau dans le sol.

.../...!

3-2-4 - Le colmatage

Le colmatage peut être :

- physique : par l'excès de matières en suspension.
- biologique : lorsque la matière organique forme des floccs où la population bactérienne s'agglomère.
- chimique : lorsque les réactions chimiques entraînent la déstructuration du sol, par exemple, le sodium défloculant les argiles.(11).

Le décolmatage peut être :

- . spontané : lorsque les microbes éliminent les matières obstruantes, lorsque les vers aèrent le sol.
- . favorisé : aération du sol, régimes alternés : sécheresse - humidité, meilleure épuration préliminaire de l'effluent, alternance des systèmes d'évacuation.

Notons bien que le colmatage peut parfois améliorer la filtration ; tout est affaire de mesure : après un premier stade transitoire, un certain colmatage s'établit, le temps d'écoulement est ralenti. Si le débit de l'effluent s'accommode de cette vitesse, l'effluent est mieux filtré, puisque retenu plus longtemps. Si le débit est trop important, on a des débordement, stagnation, etc... Parfois même ce colmatage est recherché : dans certaines tranchées proches de la nappe, on favorise le colmatage du fond pour privilégier la filtration par les parois, écoulement latéral, plus sûr pour la nappe. On remarque que les performances des sols limoneux, argileux, sont moins influencées par le colmatage que les sols sableux.

3-2-5 - Les fissures et les failles

Elles permettent le transit des matières sans purification : c'est un risque important parfois.

Les failles peuvent être :

- permanentes : terrains calcaires
- accidentelles, donc imprévisibles : retrait de l'argile séchée.

.../...

Citons pour exemple, le refuge "Félix Faure" en Vanoise à 2.500 m, où les déjections des 1.000 promeneurs par jour sont déversés dans une faille et dont la pollution se retrouve en 36 h, à 1.000 m plus bas, dans la vallée de Pralognan en Vanoise.

3-2-6 - Les actions soudaines

Les changements de régime brusques de l'état de l'eau dans le sol :

- pluies torrentielles,
- crues et décrues des cours d'eau voisins,
- pompage excessif,

modifient le niveau de la nappe, augmentent la force d'entraînement de l'eau, et peuvent lessiver les éléments solides.

En résumé, on peut dire que

l'infiltration des eaux chargées de matières dans le sol,

si elle est un moyen de dispersion de l'eau,

est en même temps un moyen de stockage et concentration des matières dans la couche végétale,

et qu'elle est conditionnée par l'état de l'eau dans le sol qui dépend en particulier des interventions humaines.

C - VOIES NATURELLES DE DEGRADATION
DES EXCRETA ET RESIDUS DE L'ACTIVITE HUMAINE

Lorsqu'elles ont quitté le milieu intérieur, les déjections subissent une dégradation, très lente si elle s'effectue en anaérobiose et à sec, plus rapide si elle s'effectue en milieu aérobie et/ou à l'humidité.

Selon que les excréments sont abandonnés librement dans la nature ou stockés, les processus d'attaque seront différents.

1 - DEGRADATION DES EXCREMENTS PAR VOIE SECHE A L'AIR LIBRE

1-1- Création des conditions d'aérobiose

Abandonnés dans de telles conditions, les excréments seront soustraits pendant un temps plus ou moins long, à l'action des microorganismes bioréducteurs du sol, notamment du fait de leur masse et du faible développement des surfaces disponibles pour l'attaque. Leur richesse en matières organiques, notamment en cellulose et en acides aminés, et les conditions microclimatiques qui y règnent, en font un milieu favorable à l'installation d'une biocénose riche, variée et particulièrement dynamique.(18).

Les données concernant les excréments des carnivores sont, à notre connaissance quasiment inexistantes. Les données qui suivent ont été acquises sur les bouses de ruminants qui représentent un cas extrême : masse particulièrement importante, cellulolyse particulièrement abondante, et phénomènes de putréfaction-liquéfaction réduits (18) fournissent néanmoins de précieuses indications, particulièrement extrapolables en pays chauds.

"A peine déposés, les excréments sont envahis par une faune très diversifiée constituée principalement d'Artropodes : les Insectes et en particulier les Diptères et les Coléoptères comptent parmi les représentants les plus typiques et les plus abondants des bouses.

Les Coléoptères coprophiles groupent deux catégories d'individus :

1 - Les coprophages, souvent spécifiques des excréments (HAMMER, 1941 ; PAULIAN, 1943, SACHS, 1950 ; LANDIN, 1961 ; SCHÖNBRON, 1963).

2 - Les zoophages, qui fréquentent avec autant d'assiduité n'importe quel milieu organique en décomposition (les cadavres par exemple) où ils trouvent toujours une abondante pâture (HAMMER, 1941 ; LAURENCE, 1954 ; SCHONBORN, 1963).

L'attraction de ces coléoptères, quel que soit leur régime alimentaire, est liée à des particularités biochimiques propres aux excréments (DETHIER, 1947).

Les substances attractives sont des exocoactones (substances attractives ou répulsives agissant à distance) qui assurent le continuum biochimique entre l'excrément et les coprophiles. Ces exocoactones dérivent vraisemblablement des produits de décomposition partielle ou totale des protéines et des graisses, produits très nauséabonds tels que l'indole, le scatole, les mercaptans, certaines amines, H_2S , CO_2 , NH_3 (ROUBOUD et VEILLON, 1922 ; RICHARDSON, 1925 ; WARNKE, 1931, KRIJGSMAN et WINFRED, 1933 ; WIETING et HOSKINS, 1939).

Le mécanisme de l'attraction des coprophiles peut s'interpréter comme suit : le stimulus que constituent les substances odorantes est perçu grâce aux organes olfactifs. La distance à partir de laquelle cette odeur n'est plus perçue dépend d'une part du seuil olfactif du coprophile envisagé (0,5 à 6 m pour les bousiers selon HEYMONS, 1927 ; WARNKE, 1931 ; SCHMIDT, 1935) et d'autre part, de la force du vent qui transporte ces exocoactones. Lorsque le vent est suffisamment fort, ces odeurs pourraient être perçues jusqu'à 10 km (LANDIN, 1961).

Une fois stimulé, le coprophile repère la source odorante grâce au courant de l'air qui charrie ces molécules ; il se dirigera d'abord par des mouvements clino-cinétiques (essais et erreurs), puis, dès que le gradient de concentration devient suffisamment élevé, il ira droit à la source (DETHIER, 1947 ; WARNKE, 1931).

La bouse exerce donc une attraction immédiate et intense sur les Coléoptères coprophiles. Ceux-ci trouvent dans ce milieu à la fois une source d'approvisionnement particulièrement riche et pour certains un site favorable pour l'oviposition et le développement de leur progéniture. En revanche, leur inter-

vention rapide et massive modifie les caractéristiques physico-chimiques du milieu, de manière bénéfique au point de vue de l'installation d'une biocénose.

En effet, la bouse telle qu'elle est déposée est impropre à la vie aérobie. D'une part, sa masse compacte empêche toute oxygénation spontanée. D'autre part, certaines des substances qu'elle renferme (H_2S , sels biliaires, etc ...) en font fermenter très rapidement : du méthane, du CO_2 s'accumulent sous la croûte dès la première heure. Les Coléoptères coprophiles, en raison de la densité très élevée de leurs populations, assurent l'oxygénation des bouses peu après leur dépôt, de manière rapide et efficace. Attirés en masse par les substances odorantes qu'elles contiennent, ces Coléoptères volent jusqu'aux bouses fraîches dans lesquelles ils pénètrent aussitôt. Ils creusent ainsi un réseau dense de tunnels débouchant à l'air libre aux faces supérieure et inférieure des bouses. Ces tunnels sont particulièrement nombreux sous la croûte où ils fusionnent en poches à air.

C'est donc à ce niveau que l'oxygénation de la boue sera le mieux assurée. Le renouvellement de l'air peut s'expliquer de la façon suivante : lorsque la température de la bouse s'élève au cours de la journée, l'air chaud des tunnels monte et s'échappe par les orifices parsemant la croûte, ce qui entraîne une aspiration de l'air frais par les trous creusés sous les côtés et la face inférieure de la bouse. On voit donc que les Coléoptères coprophiles, qui constituent avec les Diptères les premières escouade de colonisation des bouses, jouent un rôle fondamental dans l'installation de la biocénose caractéristique de ces écosystèmes'.

Ils jouent également un rôle notable dans la dissémination des germes pathogènes.

1-2- Humification

Ainsi succède à la faune autochtone issue de l'intestin une nouvelle faune aérobie ou partiellement aérobie qui s'installera au gré desensemencements naturels, particulièrement à l'interface humide sol-excrément (où la forte densité de Coléoptères - 75 % de la population totale - notamment des scarabés) assurent une bonne oxygénation. Le cellulolyse se poursuivra dès que les autres matières plus facilement dégradables auront disparues, notamment les résidus aminés. Les odeurs disparaîtront rapidement.

On atteindra les processus d'HUMIFICATION : cellulose et hémi-cellulose seront

doucement oxydées, les composés à noyau benzéniques seront ramenés à l'état d'acide benzoïque lui-même ultérieurement dégradé en un composé noirâtre caractéristique de l'humus. En fin de dégradation, après plusieurs saisons, le rapport C/N sera ramené aux environs de 8 à 12, rapport sensiblement voisin à celui du protoplasme des microorganismes du sol, en particulier des champignons. La matière aura été partiellement remplacée par une moindre masse d'organismes saprophytes qui constitueront aux-mêmes une réserve de nutriments organiques disponibles pour le déroulement des cycles du vivant. (18, 19, 20).

2 - DEGRADATION DES EXCREMENTS EN MILIEU HUMIDE ANAEROBIE : METHANOGENESE

2-1- Conditions de milieu

Il s'agit ici d'un milieu non aqueux mais où règne une humidité suffisante pour que puissent se développer à des vitesses suffisantes les réactions biologiques de dégradation.

Un bon exemple est fourni par les fosses sèches d'aisance après qu'elles soient rebouchées ; c'est l'humidité même du sol qui y règne.

Un autre exemple peut être fourni par l'enfouissement des cadavres (feux folets des cimetières).

2-2- Réactions de la méthanogénèse :

Ce sont les réactions qui se produisent lors de la formation du fumier. Elles sont assurées par l'action de 3 populations successives sur les matières organiques (21) :

a) Les bactéries fermentatives

Elles ne font pas partie des bactéries méthanogènes. Elles hydrolysent la matière organique (protéines, lipides, polysaccharites) et la dégradent en acides gras, alcools, H_2 et CO_2 . C'est la phase de "putréfaction" ou de "liquéfaction".

b) Les bactéries acidogènes "produisent H_2 "

Ce groupe de bactéries utilise les métabolites du groupe précédent pour leur énergie et produit des acétates, de l'hydrogène et quelques fois du CO_2 . C'est la phase "acide"

c) Les bactéries méthanogènes

Elles nécessitent l'action préalable des deux premiers groupes car elles transforment H_2 , CO_2 et acétate pour produire les composés gazeux NH_3 , H_2S , CO_2 et CH_4 . C'est la phase alcaline ou "méthanogène".

Les méthanogènes sont des micro-organismes strictement anaérobies et sont les seuls capables d'utiliser les électrons sous forme d' H_2 pour dégrader l'acétate en absence de lumière ou d'accepter des électrons en provenance des nitrates ou des sulfates.

Leur temps de régénération est dix fois supérieur à celui des acidogènes.

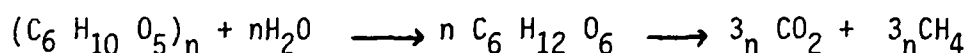
Ces réactions s'accompagnent donc d'abord d'une acidification (libération d'acides organiques) puis d'une alcalinisation du milieu (libération d'amines et d'ammoniac). Au cours de cette dernière phase est également libéré, par dégradation des molécules soufrées, des sulfures et de l'hydrogène sulfuré ; la quantité d' H_2S libérée dépend de la nature des matières organiques attaquées :

par exemple : 1,9 g/m³ sur les déjections de vaches laitières ;
4 à 12 g/m³ sur les fientes de volaille.

L'élévation de température qui résulte de la première phase permet aux bactéries thermophiles du 3^{ème} étage de venir fermenter les résidus organiques en les scindant à l'état de méthane CH_4 .

2-2-1- Dégradation de la cellulose contenue dans les fèces

La production théorique de biogaz à partir de la cellulose est donnée par l'équation suivante :



D'après cette équation, on peut espérer une production de 0,41 l de méthane par gramme de cellulose détruit.

Cette équation stoechiométrique n'est jamais atteinte avec une matière organique mixte car certains composés sont plus ou moins rapidement hydrolysés. Notamment

La lignine qui est souvent associée à la cellulose n'est jamais dégradée par cette voie.

La transformation en composés gazeux $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$ d'une quantité définie d'un matériau fermentescible, au cours de la fermentation anaérobie se produit de la façon suivante, sur une durée de 40 à 45 jours : 50 % de volume total de gaz est produit en 10 jours, avec un maximum au 5^{ème} jour de fermentation, 30 % du 10^{ème} au 20^{ème} jour et les derniers 20 % se dégagent très lentement après le 20^{ème} jour.

2-2-2- Conditions de milieu favorables à la méthanisation de la cellulose

La croissance des méthanogènes suppose un milieu particulier présentant un potentiel d'oxydo-réduction compris entre -520 et -530 mV (en tout cas inférieur à -330 mV) avec une pression partielle en hydrogène faible. La présence d'oxygène peut être inhibitrice? Plusieurs paramètres influent sur la méthanogénèse, soit comme facteur de stimulation, soit comme facteur d'inhibition, voire les deux selon la concentration en substrat.

. La température

Il existe deux types de méthanogènes dont les températures optimales d'activité sont respectivement de 37°C (30 - 45°) pour les mésophiles et 55°C (50 - 60°C) pour les thermophiles (les psychrophiles ayant leur optimum en-dessous de 20°C). La variation de température influe sur la vitesse de dégradation de la matière organique et sur la production de gaz : la fermentation thermophile permet des charges plus élevées en matières organiques et un temps de rétention plus court ; cependant, si l'effet de l'augmentation progressive de la température est positif dans les plages de température définies, il n'est pas suffisant d'augmenter la température pour passer du mésophile au thermophile car ce ne sont pas les mêmes souches de micro-organismes qui sont alors sollicitées. Par ailleurs, la fermentation thermophile est beaucoup plus sensible à la concentration en ammoniac et en acides gras volatils, que la mésophile.

. Le pH

Les méthanogènes sont sensibles au pH de la liqueur de fermentation : le pH optimum doit être compris entre 7,0 et 7,2. Au-delà de ces valeurs, l'activité méthanogénique décroît jusqu'à 6,6 ou 7,6 qui sont les valeurs d'inhibition. Ces valeurs seuils sont à considérer avec les concentrations respectives en acides

gras volatils et en ammoniac dissocié.

+ alcalinité

Les milieux en fermentation et surtout les effluents animaux présentent un pouvoir tampon élevé. Ce pouvoir tampon est assuré par la concentration en divers composés dissociés tels que les bicarbonates, carbonate, ammoniac, acides organiques ...

Suivant Mac CARTY, la concentration de CaCO_3 , 2,5 à 5,0 g/l assure un bon tampon pour la fermentation anaérobie avec une teneur en acides gras volatils de 2,0 g/l d'acétate.

+ ammoniac

La teneur en azote ammoniacal est un élément déterminant pour la méthanogénèse. A faible concentration, il est un facteur de stimulation de l'activité biochimique mais à concentration élevée, il devient toxique voire inhibiteur de la méthanogénèse.

De 200 à 1500 mg/l, l'azote ammoniacal n'a pas d'effet défavorable ; entre 1500 et 3000 mg/l à pH 7,4, il devient inhibiteur.

Il semble que ce soit la forme non ionisée qui soit toxique. Les expériences rapportées par Van VELSEN et LETTINGA semblent mettre en évidence une adaptation des micro-organismes au milieu ... de 40 jours minimum de latence.

+ acides gras volatils

Les acides gras volatils formés au cours de la 2ème phase par les bactéries acidogènes peuvent être inhibiteurs à pH acide. L'inhibition due aux acides gras volatils est attribuée d'une part, aux molécules non dissociées (perméabilité des membranes cellulaires), d'autre part à l'abaissement du pH.

Cependant comme pour l'ammoniac, de fortes teneurs peuvent ne pas être inhibitrices suivant le pH. NYNS (1979) a rapporté qu'il n'avait pas observé de toxicité avec 5000 mg/l d'acide acétique et un pH de 7,5 - 8.

Les autres inhibiteurs

Les éléments minéraux tels que le sodium, potassium, calcium, magnésium et fer jouent un rôle d'activation dans la méthanogénèse, lorsqu'ils sont en faible quantité, mais deviennent toxiques à forte concentration.

Les ions sulfates, à forte concentration inhibent ou retardent la méthanogénèse. ZEIKUS (1977) a mis en évidence le rôle des sulfates en tant qu'inhibiteurs et l'a relié à sa compétition vis à vis de H_2 : les bactéries sulfato-réductrices piègent H_2 plus vite que les méthanogènes.

3 - DEGRADATION DES EXCREMENTS EN MILIEU LIQUIDE

Les excréments déposés dans un cours d'eau, ou simplement entraînés dans un réservoir par une charge d'eau y subissent une première putréfaction par les germes autochtones des fèces. Il s'agit de la liquéfaction. Ils sont ensuite plus complètement dégradés au cours du temps dans l'eau ou le sol.

3-1- Liquéfaction des excréments en phase liquide aérobie

- Si le milieu liquide est ouvert et circulant, la dégradation sera rapide et des dégradations aérobies prendront place dès que les excréta seront suffisamment dispersés et dilués dans le milieu. On n'observera pas d'odeurs nauséabondes. C'est ce qui encourage malheureusement les populations des pays non développés et qui possèdent des cours d'eau à y déféquer.

3-2- Liquéfaction des excréments en phase liquide anaérobie

- Si le milieu est clos et stagnant, la dégradation sera lente, les mécanismes de putréfaction se mettront doucement en place et il faudra au moins un mois pour atteindre la liquéfaction totale des excréments.

Dans l'enceinte sous l'action de certaines bactéries de la putréfaction se développeront des odeurs nauséabondes et toxiques : les gaz délétères des fosses à merde qui valurent tant de morts aux vidangeurs des derniers siècles

3-2-1- Odeurs des excréments en phase liquide anaérobie

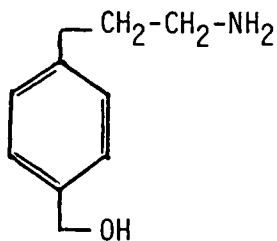
3-2-1-1- Odeurs provenant de la dégradation des acides aminés aliphatiques

Par décarboxylation de tels acides aminés, de bactéries provoquent la formation d'amines douées de propriétés pharmacodynamiques et d'une toxicité importantes. On les appellaient autrefois les PTOMAÏNES (15).

La cadavérine, $H_2N-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-NH_2$ produite aux dépens et la lysine, faible parasymphomimétique, mais doué de propriétés anémiantes.

La putrescine, $H_2N-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-NH_2$ formée aux dépens de l'ornithine par *E. coli*, *Cl. septicum*, *Proteus vulgaris*, faiblement parasymphomimétique.

La tyramine, issue de la tyrosine, hypertensive et sympathomimétique, douée de propriétés anémiantes.



3-2-1-2- Odeurs provenant de la méthylation des amines

La méthylation des amines par voie bactérienne peut conduire à l'élaboration de substances douées de propriétés hémolytiques ou "curarisantes", toxiques pour l'organisme les BETAÏNES.

3-2-1-3- Odeurs provenant de la décarboxylation des acides aminés soufrés

L'oeuvre des bactéries intestinales se poursuit après défécation ; elles décarboxylent les acides aminés soufrés en formant des MERCAPTANS R-SH et de l'HYDROGENE SULFURE toxique SH₂.

Exemple de l'éthylmercaptan : CH₃-CH₂-SH

Ces produits se forment déjà dans l'intestin ; ils peuvent également se produire au niveau de plaies infectées. Formés dans l'organisme ou inhalés ils ont une action anémiantes grave par précipitation du fer de l'hémoglobine.

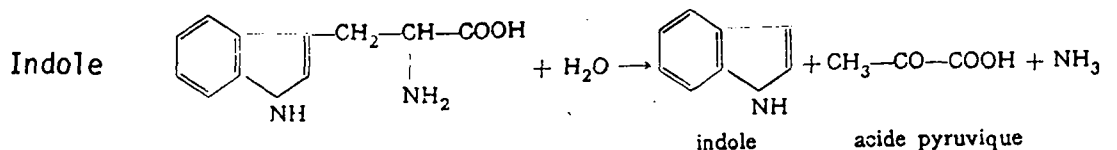
3-2-1-4- Odeurs provenant de la désamination des acides aminés

Certaines bactéries fécales (*Clostridium*) peuvent réaliser cette désamination qui conduit à la libération d'acides gras à odeurs fétides ; acides butyrique, acide propionique etc ...

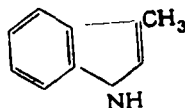
3-2-1-5- Odeurs provenant de la dégradation des acides aminés aromatiques

Certaines bactéries, comme la bactéries pathogène *Bacillus paratyphi* dégradent le tryptophane en acide indolacétique ou indole - carboxylique. Des bactéries, dites indologènes - banales ou pathogènes - (*Eschérichia coli*, *Vibrio cholerae*, *Welchia perfringens*, ou *Bacillus Proteus vulgaris*

poursuivent cette dégradation jusqu'à la production de produits nauséabonds :



Scatole



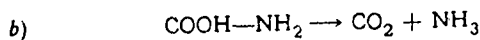
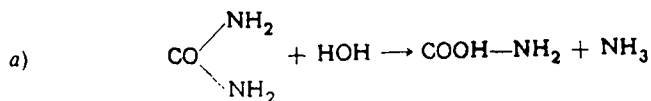
C'est lui le plus malodorant et qui prédomine en conditions anaérobies.

A partir d'autres acides aminés cycliques, les bactéries fécales produisent des composés phénoliques dès l'intérieur de l'intestin. Ils sont partiellement absorbés au niveau de la paroi intestinale et subissent dans l'organisme, notamment au niveau du foie, des transformations visant à en abolir la toxicité. Les produits résultant détoxiqués sont excrétés dans l'urine. Ces mécanismes régulateurs ne peuvent néanmoins excéder une certaine capacité et dans des conditions d'agression massive par des pathogènes la surproduction de ces produits que l'organisme ne parvient plus à détoxiquer peut engendrer de graves désordres.

3-2-2- Odeurs des produits de l'urine

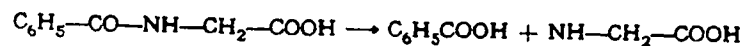
3-2-2-1- Fermentation ammoniacale de l'urée en aérobiose

En milieu fortement alcalins des Urobacillus sont capables de décomposer l'urée à l'état d'ammoniac et de gaz carbonique si le milieu est aérobie ou simplement de l'hydrolyser avec libération d'ammoniac en milieu anaérobie.



3-2-2-2- Dégradation de l'acide hippurique en anaérobiose

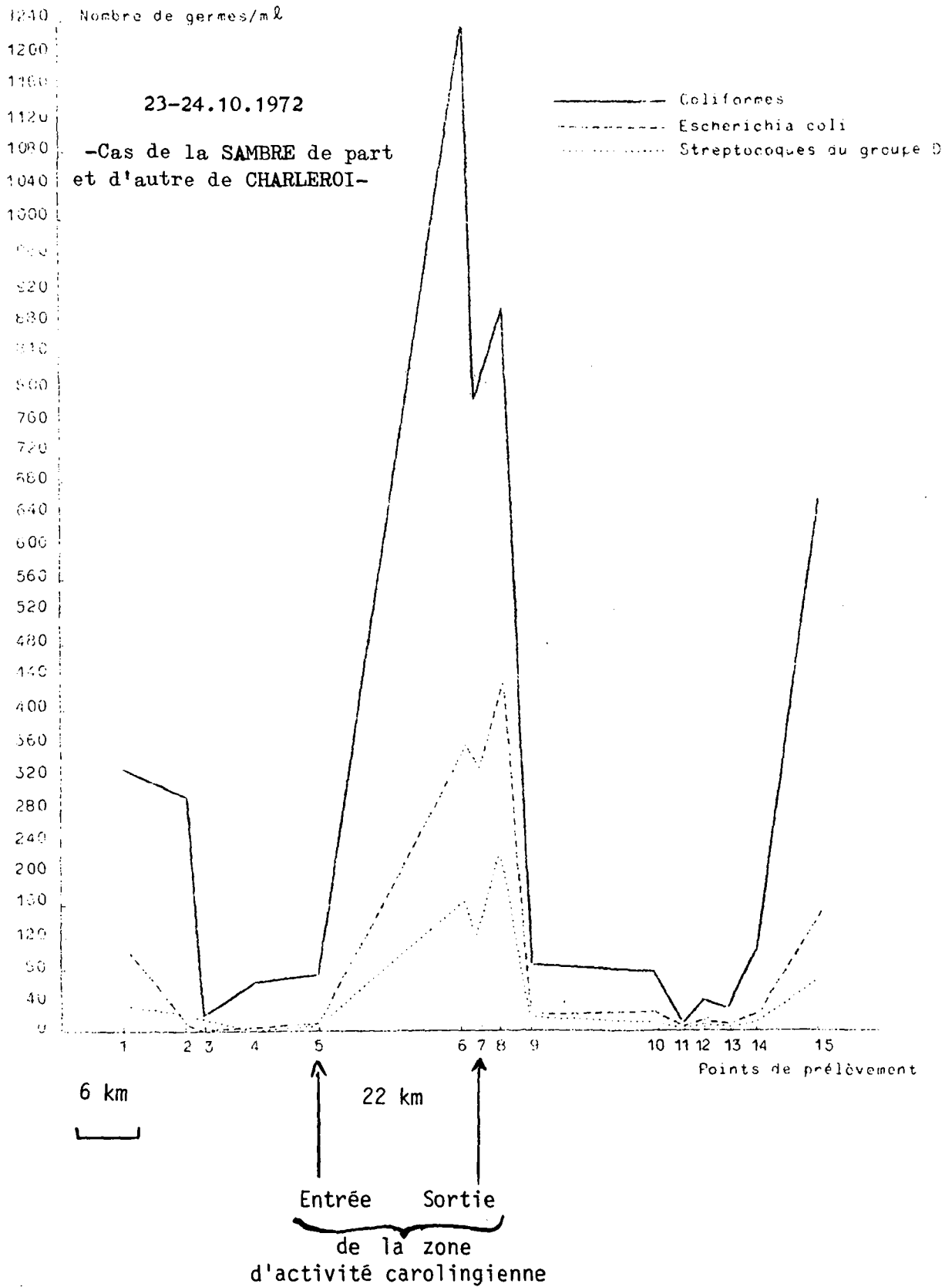
L'acide hippurique est décomposé par certaines bactéries en acide benzoïque et glycolle, lequel sera ensuite désaminé avec libération d'ammoniac.



3-3- Dégradation ultime des excréments liquéfiés

* En milieu aérobie, au sein d'un fluide en mouvement la dispersion sera telle que les résidus s'oxyderont au cours du temps sans qu'il n'ait atteinte au milieu et sans contaminer les vases pour autant que le cours d'eau ne soit pas surchargé. Si la capacité autoépuratrice du cours d'eau est excédée - cas de la Sambre - qui est un véritable égoût à ciel ouvert dans la région industrielle de Charleroi, alors les fermentations deviennent anaérobies et on constate d'énormes pointes de pollution ammoniacale que le fleuve ne peut plus résorber ainsi que des contaminations en germes fécaux.

EXEMPLE DU POUVOIR EPURATEUR
D'UN COURS D'EAU VIS A VIS
DES MICROBES FECAUX



* En milieu anaérobie, qu'il s'agisse de l'eau polluée qui a perdu son pouvoir oxydant ou du sol, les matières liquéfiées subiront un processus anaérobie d'HUMIFICATION, très lent qui consommera de l'oxygène à très faible vitesse. C'est encore un exemple d'un de ces mécanismes naturels de régulation qui permettra d'absorber à long terme le surcroît de pollution pour autant que la surcharge ne dure pas trop longtemps.

Le pouvoir épurateur du sol est néanmoins puissant, si on tient compte des temps de séjour qu'il autorise et permet de ce fait d'utiliser l'infiltration contrôlée comme moyen d'épurer et éventuellement d'évacuer des eaux sans dommage pour l'environnement et les ressources en eau.

Ce pouvoir épurateur se mesure en termes relatifs. La littérature indique souvent des taux d'élimination des bactéries et des virus de l'ordre de 80 % à 99 %. Les virus par contre résistent mieux. On a trouvé des *Ascaris* survivant jusqu'à 7 ans le sol. Néanmoins leurs dimensions évitent une trop importante propagation ; ils restent plutôt en surface du sol et sur les végétaux, d'où ils sont transportés par les herbivores ou peut-être le ruissellement.

On trouvera dans le tableau ci-après diverses données sur les performances qui ont pu être observées dans l'élimination des germes par le sol.

Dans l'analyse du phénomène on se heurte aux mêmes difficultés que lorsque l'on veut étudier expérimentalement les problèmes liés à la persistance des germes :

- . difficultés d'extrapoler les résultats obtenus au laboratoire ;
- . impossibilité éthique d'ensemencer un milieu naturel en germe pathogène ;
- . difficulté d'isoler des germes qui sont en faibles proportions dans une population globale importante.

On tourne la difficulté en prenant comme guides des "indicateurs de contamination fécales, c'est à dire des organismes spécifiques des excréta mais non pathogènes : ce sont notamment les coliformes et *Eschérichia Coli* pour les bactéries.

Il est évident que les informations ainsi obtenues ne sont qu'un lointain reflet de la réalité, d'autant plus que le milieu récepteur joue un rôle sélectif important qu'on ne peut appréhender par ce biais.

- INFILTRATION -

POUVOIR EPURATEUR DU SOL POUR DIFFERENTS GERMES ()

Germe	Conditions expérimentales = vitesse du front d'eau en profondeur	Type de sol	Distance parcourue Dispersion des germes
BACTERIES			
COLIFORMES FECAUX 10 ⁶ /100 ml	1 m/j	Lit de rivière = couches alternées de sables et graviers surmontées de sable fin limoneux	<ul style="list-style-type: none"> - La plupart sont éliminés dans les 60 premiers cm de profondeur. - On trouve des traces (<100/100 ml) encore à 6,7 m de profondeur et dans un rayon de 45 m en surface. - L'élimination est totale à 91 m de profondeur.
EAU D'EGOUT COMPORTANT DES COLIFORMES FECAUX	Aspersion	Sol peu structuré	- Elimination totale à 1,3 m de profondeur.
COLIFORMES		Sable grossier et gravier	- Transfert horizontal à 850 m de là.
VIRUS			
POLIOVIRUS ATTENUÉ		Sable et graviers sur un substrat imperméable	- Elimination totale 67 m en aval.
ENTEROVIRUS 158 à 7500/l	28 cm/j	Couche de 60 à 90 cm de sable fin limoneux sur 75 cm de lit de gros sable et graviers. Le tout sur argile.	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de germes récupérés en aval - Réduction de 99,99 % à 3 et 9 m de profondeur
ENTEROVIRUS dans une eau d'égout	28 cm/semaine en aspersion	Couche de 1,7 m de sol sableux	- On retrouve peu de germes
VIRUS F2 BACTERIOPHAGE	9 m/j	Sables et graviers	- On en trouve encore 200 m en aval

- 88 bis -

4 - LE POUVOIR ASEPTISANT DU MILIEU NATUREL

Le milieu naturel exerce un certain pouvoir régulateur sur la prolifération des germes, pouvoir différents selon qu'il s'agit de bactéries, de virus ou de vers.

4-1 - Le pouvoir régulateur vis à vis des bactéries

Elles sont attaquées spécialement par les bactériophages (virus) et dans les eaux par une bactérie : Bdellovibrio bactériovorans.

- 1 - Les bactériophages sont des virus, ou dans un cas particulier une autre bactérie parasite (Bdellovibrio) qui se fixent sur la bactérie hôte, la pénètrent, lui injectent leur acide ribonucléique de façon à pouvoir utiliser son aptitude à se reproduire. La bactérie se détruit en libérant plusieurs milliers de phages.

Les phages sont en général spécifiques d'un type de bactérie et peuvent servir d'indicateurs, étant plus facilement identifiables. C'est un élément épurateur essentiel des cours d'eau.

- 2 - L'acidité du milieu en fermentation inhibe les bactéries de manière inégale suivant l'espèce et de façon secondaire. Elles sont généralement seulement inhibées ; une fois le milieu redevenu propice elles peuvent à nouveau se manifester, et ce d'autant plus rapidement que le milieu est chaud. Leur capacité de régénérescence dépend en bonne part du temps de contact avec le milieu acide.
- 3 - Les nitrites peuvent également attaquer certaines cellules bactériennes (toxique).
- 4 - Les protozoaires, en milieu aérobie, sont également des prédateurs de bactéries.

4-2 - Le pouvoir régulateur vis à vis des virus

Il se manifeste surtout via les phénomènes d'adsorption.

- 1 - Les argiles et les colloïdes du sol adsorbent les virus du fait de leur charge électronégative.

.../...

• 2 - La dessiccation et les ultra-violets font des ravages chez les virus.

En épandant des eaux et des boues au soleil sur une faible épaisseur (1 cm) et à une température extérieure de 21°C, on a observé (11) :

-une diminution linéaire jusqu'à 65 % MS

-un abattement d'au moins 3 puissances entre 65 % et 83 % de siccité.

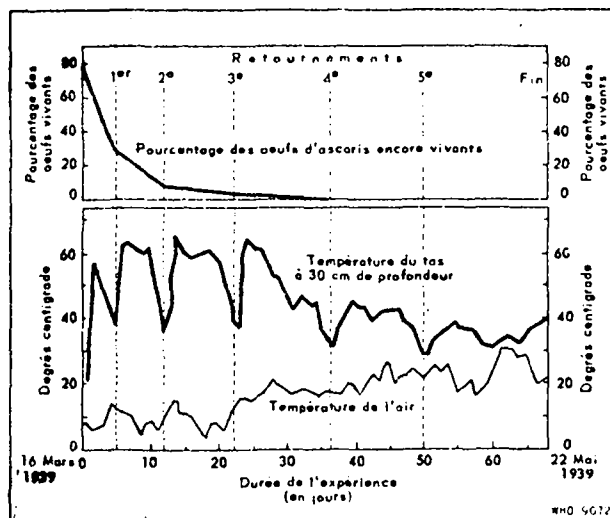
	Teneur en MS finale	Teneur	
		Initiale	Finale
poliovirus	83 %	$2,4 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^3$
coxavirus	93 %	$1,7 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^3$
réovirus	94 %	$2,3 \cdot 10^6$	$2,0 \cdot 10^3$

• 3 - Le milieu acide ou basique peut les inactiver en proportions variables.

4-3 - Le pouvoir régulateur vis à vis des vers

Le pouvoir de reproduction des vers est bien moindre que celui des bactéries et virus. En contrepartie les mécanismes antagonistes naturels sont également de moindre ampleur, les vers sachant se protéger pendant de longues périodes sous des formes latentes.

TEMPÉRATURE ET DESTRUCTION DES ŒUFS D'ASCARIS *



* D'après Scott, ¹⁰ avec l'aimable autorisation de Faber and Faber Ltd, Londres

D - SANTE ET ASSAINISSEMENT

Dans l'opinion courante, du moins dans nos pays, il y a un lien entre les matières fécales, odeurs nauséabondes et état malsain.

Examinons ce qu'il en est pour savoir quel résultat on peut espérer -ou ne pas espérer- obtenir par le traitement des excréments.

Le "péril fécal" a deux volets :

- la source d'infection -c'est à dire les excréta eux-mêmes-.

Ce sera le sujet de la première partie. Nous distinguerons en particulier les maladies sur lesquelles on peut, ou on ne peut pas avoir d'action par l'assainissement ;

-les chaînes de contamination passant par les excréta et les moyens appropriés pour les rompre.

1 - MALADIES ET POLLUTION FECALE

1-1 - Généralités

● La pollution fécale est d'une part une pollution organique, c'est à dire qu'elle constitue un apport nutritif qui favorise la prolifération des microbes, des insectes et d'une manière générale des "vecteurs" ; elle intervient donc dans la transmission des maladies.

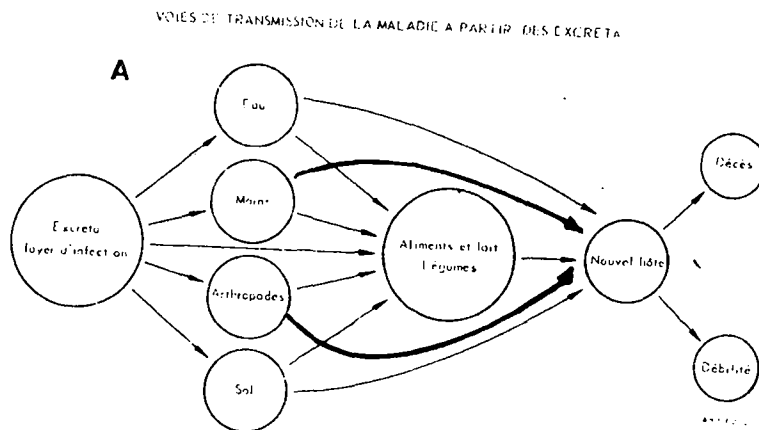
● Son action sur la santé est surtout le fait de la réserve en germes pathogènes que constituent les matières excrétées. Cette source d'infection peut constituer le début d'une chaîne de transmission qui contamine les individus non atteints à partir des individus contaminés -qu'ils soient malades ou porteurs sains-.

Cette chaîne de transmission comprend (23) :

.../...

- un agent causal ou étiologique,
- un réservoir ou une source d'infection de l'agent causal,
- un moyen d'évasion du réservoir,
- un moyen de transmission entre le réservoir et le nouvel hôte en puissance,
- un moyen de pénétrer dans le nouvel hôte,
- un hôte réceptif.

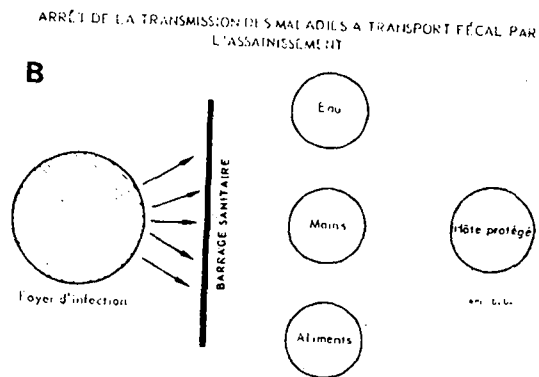
Les schémas les plus couramment rencontrés sont représentés ci-dessous (24) :



Les mesures d'assainissement interviennent entre les stades 2 et 3 :

- . soit par l'isolement des germes, donc leur stockage ;
- . soit par leur destruction, leur inactivation ou autres mesures de rétorsion...

.../...



Ce schéma appelle plusieurs commentaires qui délimitent plus précisément l'efficacité qu'il est réaliste d'attendre de la mise en oeuvre des systèmes d'évacuation et/ou traitement des excréta.

1-2 - Les maladies non d'origine fécale :

. Les maladies utilisant les mêmes agents de transmission : eau, arthropodes, aliments, contacts, mais dont le réservoir principal de germes n'est pas fécal, ne seront que peu, ou pas, affectés par des mesures d'assainissement.

En particulier, on assimile facilement et à tort, maladies transmises par l'eau et maladies fécales, ou bien maladies intestinales et maladies fécales ou encore maladies tropicales et eaux polluées.

Il faut toujours prévoir une infection des excréments, mais la contamination principale se faisant par une autre voie, les mesures d'assainissement n'auront que peu d'incidence sur la maladie. Les maladies particulièrement graves en pays tropicaux et que l'on ne peut enrayer par l'assainissement sont ;

.../...

- la tuberculose :

Les réservoirs principaux sont les voies respiratoires et la transmission se fait par expectoration, donc également par l'eau, les aliments, les récipients, etc... Les selles peuvent être contaminées également par l'injection des expectorations.

- le paludisme :

La maladie est produite par un protozoaire véhiculé par un moustique "l'ANOPHELE", qui prolifère dans les eaux stagnantes. Le réservoir est le sang des individus malades et porteurs.

- le tétanos :

C'est l'une des principales maladies bactériennes (*B. tétani*) des pays défavorisés ; il est 50 à 100 fois plus répandu que dans les pays nantis (29). L'ABSENCE D'HYGIENE, associée aux PRATIQUES TRADITIONNELLES (circoncision, excision, percée d'oreilles, scarification...) en sont, avec le tétanos ombilical, les causes principales. 8% des tétanos n'ont aucune porte d'entrée décelable.

- La méningite cérébro-spinale :

Produite par un méningocoque (*Neisseria intracellularis*) habituellement saprophyte du rhinopharynx de l'homme. Elle est transmise par l'intermédiaire des aérosols de salive. Cosmopolite, la méningite cérébro-spinale est particulièrement fréquente en zone intertropicale, en Afrique sahélienne (ceinture de la méningite). Le traitement est à base de sulfamides.

- la rougeole : Virose cosmopolite quasi-obligatoire de l'homme.

Devenue bénigne dans les pays riches du fait de l'amélioration du traitement des complications de surinfection, sa solution dans les pays du Tiers-Monde passe avant tout par la lutte contre le Sous-Développement.

En 1960, la mortalité due à la rougeole en Europe était de 0,02%, elle variait entre 3,3% et 24% en Afrique de l'Ouest.

- la diphtérie :

Les réservoirs sont les voies respiratoires ; la transmission se fait par contact et souillure des aliments.

- la lèpre :

On n'est pas très au fait du mode de transmission. Elle se fait peut-être par contact prolongé combiné avec d'autres causes. La réserve pourrait être la plaie.

- la filariose à Loa-Loa (ou loase) :

Le réservoir est le sang. Elle est provoquée par une filaire (ver de 2 à 7 cm) transmis par une mouche hématophage. La mouche, donc la maladie, sont strictement Centre-Africaines ; elles y sont à l'état endémique.

- La filariose de Médine (ou draconculose) :

Le réservoir est la peau. Elle est provoquée par une filaire (de 30 cm à 1 cm de long) dont les petits sortent par la peau des pieds et des jambes de l'individu dans l'eau ; ces derniers sont gobés par des crustacés microscopiques et les crustacés sont à nouveau ingérés par l'homme avec l'eau. Le crustacé, comme la maladie, est pécifique de l'Afrique intertropicale, du Moyen-Orient et de l'Inde.

- l'onchocercose :

C'est également une filariose spécifique de l'Afrique Noire, du Nord de l'Amérique du Sud et de l'Amérique Centrale.

La filaire responsable est longue de 50 à 70 cm, vit de 10 à 15 ans et est transmise par un moucheron, provoquant ainsi hystes et lésions, et surtout la cécité.

D'une manière générale, les filaires sont pathogènes par les toxines qu'elles secrètent. Elles provoquent des lésions de divers organes et des allergies. Elles peuvent favoriser les infections bactériennes.

- la maladie du sommeil :

Elle est spécifiquement africaine. Le responsable est un protozoaire transmis par la mouche Tsé-Tsé. C'est une maladie mortelle.

- les leishmanioses :

Elles sont provoquées par les leishmanies, protozoaires flagellés, transmis par les phlébotomes (insecte piqueur). Ce sont des maladies graves donnant soit des ulcères, soit la mort si elle n'est pas traitée à temps.

1-3 - Les maladies d'origine fécale

1-3-1 - Nature :

Les fléaux fécaux sont grossièrement de 3 types :

- les infections gastro-intestinales, de type diarrhéiques, souvent d'origine bactérienne. Elles sont véhiculées directement par l'eau ou les aliments souillés par l'eau contaminée : légumes et mollusques crus.
- les infestations parasitaires par les vers (type helminthes) qui peuvent toucher des populations entières. Presque tous les habitants des pays tropicaux ont des vers parasites. Les vers provoquent en général un affaiblissement qui peut aller de la simple fatigue à l'anémie mortelle.

Leurs cycles passent souvent par un hôte intermédiaire : mollusque, insecte. Ils peuvent vivre très longtemps.

- il y a aussi des infections ayant comme agents des protozoaires et des virus.

1-3-2 - Longévité et persistance des germes pathogènes :

Si la pathologie et le cycle de ces germes sont bien connus, par contre les données concernant leur longévité et leur persistance sont rares, éparses et souvent contradictoires... C'est que la persistance des organismes, microbiens ou non, varient beaucoup selon les conditions d'ambiance : eau propre ou eau souillée, nature du sol, de l'hôte, température, pH, conditions d'aération. Les résultats obtenus en laboratoire ne donnent qu'une idée lointaine de la réalité ; ils sont inutilisables pour prévoir les performances prophylactiques d'un dispositif sanitaire.

Les essais in situ sont rares -cf. ci-dessus- les données acquises sur la persistance des oeufs d'*Ascaris* en fonction de la température- et sont obligatoirement limités aux espèces et aux conditions expérimentales qui ne font courir aucun risque sanitaire à l'environnement.

Par ailleurs il faut être conscient que la notion de contamination est en fait une question de probabilité, de niveau de risque en rapport avec le taux d'organismes virulents et de réceptivité de l'hôte potentiel.

.../...

ETIOLOGIE BACTERIENNE

Maladie	Agent étiologique	Site de contamination du réservoir	Sources de contaminations dont le cycle passe par les fèces	Pathologie	Persistance Jours - (Référence)
SHIGELLOSE ou dysenterie bacillaire	shigella	Selles	Aliments aqueux = légumes - lait poisson	Diarrhées avec sang - fièvres, prostration, déshydratation	M = 42 L = 2-10 U = 160
AUTRES GASTRO-ENTERITES	Nombreux et pas toujours identifié	Divers et mal connus	Eau, aliments, lait	Diarrhées, nausée, vomissements	
FIEVRES TYPHOIDES et PARATYPHOIDES	Samonella typhi Samonella paratyphi	Selles	Eau et aliments souillés : salades, coquillages, aliments manipulés	Vomissements Constipation Diarrhée avec sang	S = 1-120 (a) L = <1-58 (a)
AUTRES SALMONELLOSES	Salmonelles courantes	Excréments	Aliments infectés : viandes, produits laitiers	Diarrhée fièvre, nausée	S = 15- > 280 (a) L = 3-49 (a) H = 12- > 42 (a)
CHOLERA	Vibrion cholérique	Selles et vomissures	Ingestion d'eau et aliments souillés par l'eau ou les mouches	Diarrhée Deshydradation Coma Mort rapide	L = <1-29 (a) E,U = 5-32 (a) S,U = > 50 (b)

(a) - J. Env. Quality 7-1-pp. 1-6

(b) - Le Péril fécal en milieu rural tropical ORSTOM-1952-

HELMINTHIASES

Maladie	Agent étiologique	Cycle Hôtes intermédiaires	Pathologie	Persistance - en années - (Référence)
BILHARZIOSES ou shistosomiases	Bilharzie (shistosome)	1 - oeufs évacués avec les selles ou l'urine 2 - larves parasitant un escargot d'eau douce 3 - cercaires quittant l'escargot 4 - cercaires pénétrant par la peau 5 - voyage dans le sang, les poumons, la vessie ou l'intestin	Lésion de la vessie, des voies urogénitales ou intestinales - Peut être complications cancéreuses possibles. 200 millions de malades (OMS - 1962) - Maladie en pleine extension	
ANKYLOSTOMOSE	Ankylostome : ver de 2 cm habitant l'intestin grêle	1 - oeufs excrétés 2 - développement des larves dans la nature (sol). 3 - pénétration des larves par la peau des pieds	Diarrhée ensanglantée Anémie parfois mortelle ("anémie des mineurs")	Grande persistance (?)
ASCARIDIASE	Ascaris : vers de 20 à 25 cm (♀).	1 - oeufs excrétés 2 - oeufs ingérés dans l'eau ou des végétaux pollués 3 - développement de l'embryon qui migre dans le foie, le poumon, la trachée, le tube digestif. 4 - il pond dans l'intestin	- Diarrhées - Troubles allergiques - Complications chirurgicales	S > 7 (a) L 27-35
TENIASE	Tenia : ver très long 6 à 12 m !	1 - excrétion des anneaux 2 - ingestion par les animaux 3 - ingestion par l'homme de la viande crue contaminée	- Troubles intestinaux bénins (nausées) entraînant une moindre résistance physique	
DISTOMATOSSES	Douves : ver de 2 à 6 cm	1 - oeufs pondus dans l'intestin et excrétés 2 - Dans l'eau, l'oeuf devient larve qui parasite un mollusque d'eau douce 3 - Les cercaires quittent le mollusque et s'implantent dans les végétaux aquatiques, les crustacés, les poissons. 4 - eau, végétaux, châtaigne d'eau, poisson cru (Extrême Orient) ingérés, les cercaires se logent dans les voies biliaires, le foie	- Troubles hépato-biliaires Cancérisation possible	> 10

MALADIES A PROTOZOAIRES

Maladie	Agent étiologique	Site de contamination du réservoir	Transmission de la contamination	Pathogène
AMIBIASE	Amibe	Excéments	Ingestion d'eau, fruits et légumes souillés crus	Diarrhées parfois avec sang Absès hépatiques
FLAGELLOSES	Protozoaire flagellé	Excréments	Légumes et fruits souillés crus	Troubles intestinaux bénins

MALADIE A VIRUS

Maladie	Agent étiologique	Site de contamination du réservoir	Transmission de la contamination	Pathogène
HEPATITE VIRALE	Virus A de l'hépatite	Excréments	Légumes et coquillages crus, lait	Fièvre, anorexie, jaunisse
POLIOMYELITE	Poliovirus	Excréments	Eau souillée	Paralysie

Les notions de persistances, de longévités, de potentiel de contamination sont à considérer d'un point de vue statistique.

Même si cette notion mérite d'être nuancée, elle reste vraie en ce qui concerne les vers. Par exemple, un individu parasité par 2 ou 3 *Ascaris* n'en subira aucune conséquence et sera un porteur sain. Par contre, la pullulation au niveau de plusieurs centaines du même parasite dans l'intestin de l'homme le rendra gravement malade.

C'est à la lumière de ces considérations et dans un esprit de nuance qu'il faudra consulter les tableaux ci-dessus, où les chiffres n'ont qu'une valeur indicative.

1-3-3 - Infections d'origine fécale :

Les tableaux ci-dessus recensent : les maladies avec leur niveau de gravité et les critères susceptibles de guider le choix du mode d'assainissement.

2 - PROCESSUS DE CONTAMINATION PAR LES PATHOGENES FECAUX

2-1 - Les processus de contamination

Les germes ne peuvent se déplacer par eux-mêmes, ou dans une très faible mesure selon les cas (vers) ; ils utilisent donc :

- les moyens de transport individuel, par contact direct avec les hôtes ;
- les transports en commun (l'eau) qui sont plus rapides et mieux organisés :
et couvrent une partie importante du territoire.

Les ruptures de charge, d'autre part, sont bien moins importantes et les correspondances entre les différents réseaux (eaux souterraines, eaux de surface, nappe...) plus directes.

2-1-1 - Dans le transport individuel intervient :

2-1-1-1 - Le contact des individus et des vecteurs avec les excréta :

La fonction de l'assainissement est de proposer des réceptacles pour isoler les excréta. Pour ce faire, il faudrait, dans bien des cas, convaincre les gens de la nécessité de regrouper les excréta et dans tous les cas les persuader du danger de la défécation sauvage en plein champs et plus particulièrement, dans les cours d'eau.

A titre d'exemple, on peut citer la bilharziose où l'hôte intermédiaire est un mollusque d'eau douce. Malheureusement, dans l'état actuel la défécation dans les cours d'eau est courante en zone rurale et quasi-systématique dans les villes traversées par des cours d'eau qui sont devenus dans ces conditions des véritables égoûts à ciel ouvert (San Salvador, Jakarta...).

2-1-1-2 - Le contact des individus entre eux :

Là les actions sont du ressort de l'éducation sanitaire, de la disponibilité et de la mise à disposition d'eau en quantité suffisante, de la politique foncière urbaine pour ce qui concerne les zones surpeuplées.

2-1-2 - Dans le transport en commun :

Il y a l'air : expectorations, aspersion, aérosols, même les bulles à la surface des réservoirs où se produisent des fermentations anaérobies et qui sont capables de concentrer dans leurs parois bullaires jusqu'à plus de mille fois les germes contenus dans l'eau.

Il y a surtout la contamination des eaux par contact direct avec les excréments. Le niveau de la contamination dépend de l'état de la dispersion plus ou moins grand des matières fécales, du cycle même de l'eau -Voir chapitre B-

Les éléments de ce cycle qui prépondèrent ici sont :

- l'infiltration dans le sol, en particulier les écarts de pression et leurs variations influant sur les mouvements de l'eau dans le sol ;
- le ruissellement ;
- les rejets dans les cours d'eau.

2-1-2-1 - L'infiltration

Le pouvoir de contamination par infiltration est variable suivant le terrain, la nature de l'effluent, la proximité des sources d'eau exploitées.

Le sol, lui, a une capacité épuratrice, dans la mesure où il favorise une rétention suffisante des germes qui meurent par défaut de substrat auquel ils sont accoutumés et où il exerce une action destructrice par ses conditions physiques, chimiques et les microorganismes prédateurs ou toxigènes qu'il contient.

Une étude de l'incidence de l'épandage des eaux usées et des boues, faite aux U.S.A. (25) fait apparaître qu'il n'est apparu d'épidémie que lorsqu'il était fait usage pour l'aspersion d'eaux brutes non traitées. Il apparaît donc que pour que le sol remplisse correctement son rôle épurateur vis à vis des germes pathogènes, il est nécessaire de ne pas excéder sa capacité destructrice.

Par ailleurs, il importe que des temps de rétention suffisants soient respectés.

La pollution se produit dans le cas de cheminements préférentiels dus :

- . soit à des fissures dans le sol,
- . soit à la création d'une dépression, c'est à dire une attraction qui vainc l'attraction du sol en zone non saturée.

Dans la pratique, cette dépression est créée :

- soit par les pompages dans les puits ;
- soit par les dysfonctionnements du pompage dans les canalisations d'eau potable (variations dans la répartition des pressions). Dans ces réseaux, les fissures ne manquent pas, à tel point qu'on note parfois jusqu'à plus de 50 % de pertes d'eau au niveau du réseau de distribution et qu'on dimensionne les réseaux neufs en prenant en compte 10 à 20 % de pertes.

C'est ainsi qu'une étude consacrée aux épidémies dues à l'eau d'alimentation (26) dans divers pays a établi que la plupart sont dues à la contamination du réseau par les égouts.

On voit donc que l'on peut réduire la contamination par filtration insuffisante par le sol en utilisant des mesures simples : connues et préconisées d'ailleurs depuis longtemps :

- Les fosses non étanches doivent être au moins à 1 m au dessus de la côte la plus haute de la nappe phréatique ;
- Les latrines devraient être à au moins 30 m de tout puits ;
- Les rejets bruts et concentrés (eaux usées, boues) ne devraient pas être rejetées avant d'avoir subies un traitement de stabilisation.

2-1-2-2 - Le ruissellement

Le ruissellement est le pire agent de contamination parce qu'il transporte tout, sans distinction de taille, d'espèces..., parce qu'il est impossible de repérer ses trajets, la distance du transport, donc de repérer la source de pollution. Ainsi il pollue les cours d'eau, les prises d'eau "potable". Le but est d'empêcher les eaux de ruissellement d'entrer en contact avec les excreta.

Il faut donc :

- . lutter contre les défécations disséminées ;
- . isoler la partie supérieure des fosses et des puits avec des joints d'étanchéité sommaires ;
- . drainer les eaux de pluie aux points de stockages en hauteur, par exemple autour des tas de compost, autour des cabinets surélevés...
- . drainer les eaux de pluie au niveau du quartier.

De simples fossés et rigoles, bien évidemment non imperméables, suffisent et ont l'avantage d'éviter des habitacles pour les moustiques.

Il est très important de montrer que ce n'est pas qu'une simple mesure de confort, mais que cela va de pair avec l'installation de systèmes sanitaires.

- . enterrer correctement les canalisations lorsqu'il y en a : ainsi dans les bidonvilles, les canalisations d'eau, d'eaux usées et d'eaux vannes (par exemple, les exutoires des fosses à eau des blocs collectifs) quand cela existe, sont souvent posées à même le sol.

.../...

On voit le rôle catastrophique d'insémination que peut alors avoir la moindre pluie.

2-1-2-3 - Les rejets et les exutoires

Les eaux naturelles ont un certain pouvoir bactéricide, mais le taux de dilution acceptable n'est en général pas respecté parce que les rejets sont concentrés (charge élevée et débit insuffisant). Du point de vue des épidémies, la quantité des ressources en eau est très importante.

Ainsi le choléra est endémique dans les pays du Sud-Est Asiatique, mais d'une manière larvée : les eaux sont en permanence contaminées, mais la dilution est importante. Par contre en Afrique, le choléra est apparu très récemment et s'y est répandu comme une trainée de poudre meurtrière et violente, le long des grands cours d'eau des régions arides (Niger notamment).

On voit donc que le choix des techniques d'assainissement ne relève pas seulement d'un aménagement local de l'Environnement, mais il est un élément capital de la gestion de la ressource au niveau du pays et prend encore plus d'importance dans les régions arides. Si les ressources en eau du pays se réduisent à un seul fleuve - ce qui est souvent le cas dans les pays africains -, il suffit de rejets d'égouts non traités (et en réalité, même lorsqu'il y a un Centre de Traitement, seule une partie des eaux de la ville y transite) d'une grande ville - souvent la capitale - pour répandre les épidémies et maintenir un apport constant de pathogènes. Ainsi, même si tous les villages en aval éliminent leur propre pollution fécale, leur état sanitaire ne s'en trouverait pas notablement amélioré pour autant.

Au niveau général des ressources en eau et de l'état sanitaire d'une région, il faut considérer qu'il y a une espèce d'équilibre fragile entre la charge pathogène chronique et le régime hydrique. Il suffit d'un événement soudain pour brutalement faire basculer l'équilibre et déclencher une épidémie ; c'est alors un potentiel de ravage qui est soudainement libéré.

Un bon exemple en est donné par les sédiments, notamment les sédiments des estuaires qui intègrent l'histoire de tout un fleuve, et qui sont de véritables réservoirs de virus, qui s'y adsorbent et y survivent. Toutes modifications du régime du fleuve susceptible de remettre en suspension les vases peuvent engendrer un fléau sanitaire dans l'estuaire.

.../...

En conclusion, on peut dire qu'un assainissement correct donne une certaine marge de sécurité, qui est néanmoins limitée et la prophylaxie des maladies fécales doit être prise en compte dans les différents domaines de la politique de développement.

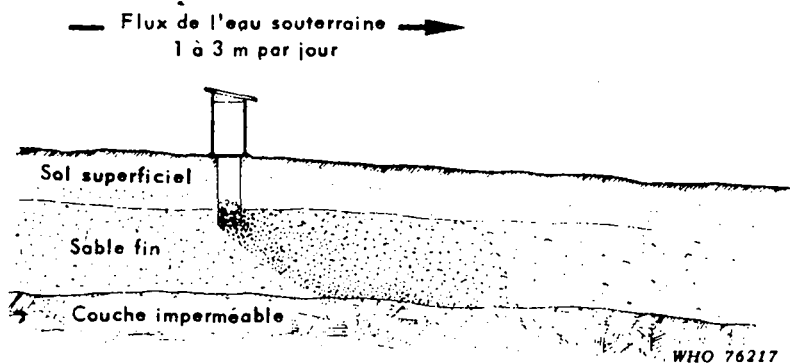
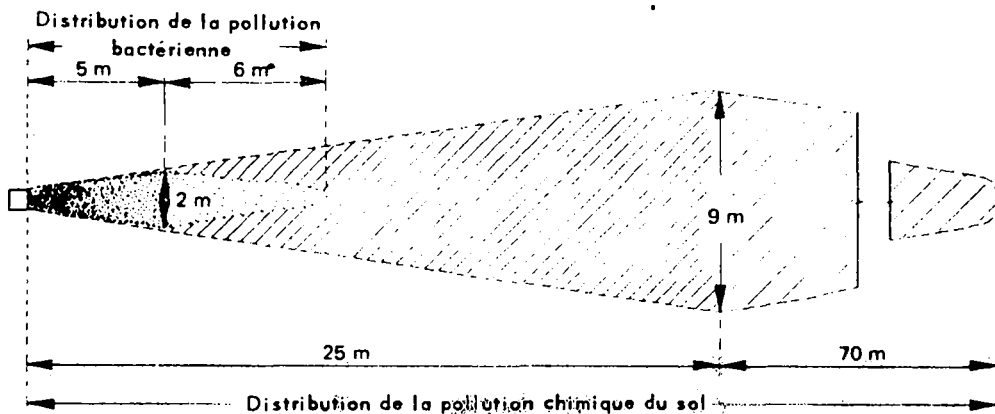
Les principaux risques de dissémination des maladies qui subsistent sont :

- le ruissellement, surtout si les réservoirs d'excreta sont insuffisamment protégés,
- les rejets bruts,
- les ruptures brutales du régime hydrique,
- les dépressions dans le sol et les canalisations.

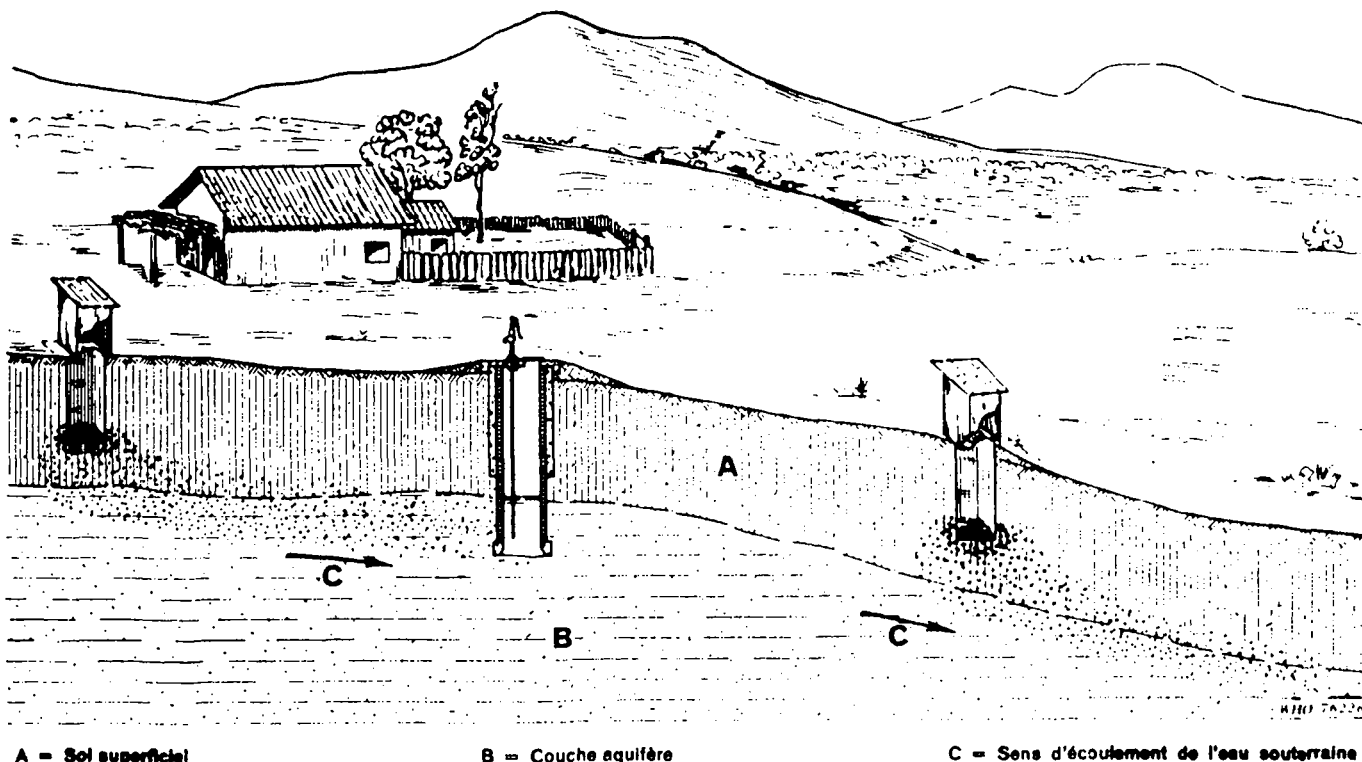
On peut classer les systèmes suivant le circuit de contamination qu'ils privilégient et contre lesquels il faut particulièrement se prémunir.

PRINCIPAUX CIRCUITS DE CONTAMINATION PAR LES DIFFERENTS MODES D'EVACUATION DES EXCRETA.(23)

Distribution de la pollution bactérienne et chimique du sol, et migrations maximales



Mouvement de la pollution dans l'eau souterraine



F - SANTE ET DEVELOPPEMENT

Il apparaît clairement, à la lumière de tout ce que nous venons de décrire que la SANTE PUBLIQUE, particulièrement en ce qui concerne les MALADIES EPIDEMIQUES est une affaire de VOLONTE POLITIQUE par les moyens techniques, financiers, éducationnels qu'elle nécessite et par le choix de la distribution qui en est faite.

Il existe des maladies qui sont plus étroitement liées au choix de développement d'un pays, notamment en politique urbaine et en politique agricole.

-en ce qui concerne le DEVELOPPEMENT DES VILLES, l'aménagement urbain, qui traduit la ségrégation sociale -par le biais de la répartition des équipements- et la politique foncière, peuvent conduire à la création de ghettos, surpeuplés ce qui constitue en soi-même un facteur de contamination, et non assainis.

Cela se traduit par la prolifération de flaques d'eaux stagnantes dans les fossés où croupit la matière organique.

Ces eaux sont le biotope favori de 2 moustiques véhiculant de graves maladies :

- . Culex fatigans pour la filariose de Bancroft
- . Aedes aegyph pour la fièvre jaune
- . Anophèle pour le paludisme

On observe d'ailleurs ces dernières années une recrudescence inquiétante de Culex fatigans.

-en ce qui concerne le DEVELOPPEMENT AGRICOLE, la mise en valeur des ressources hydriques pour l'irrigation, sans aucun souci sanitaire contribue à répandre la bilharziose et la rend endémique dans certaines régions.

L' O M S recense actuellement 200 millions de cas de bilharzioses. Les bilharzies sont des vers dont l'oeuf est excrété dans l'urine ou les fèces et qui a pour hôte intermédiaire un mollusque. -Voir Annexe III p. 26-. La maladie cause des ravages dans les régions à marais, canaux, rizières.

On peut citer le barrage d'Assouan sur le Nil. Autrefois, annuellement, le Nil, légendaire, submergeait la vallée. En se retirant, il laissait les limons fertiles et aussi, une certaine quantité d'escargots d'eau douce infestés de bilharzies. Le soleil avait vite fait d'en réduire le taux. Aujourd'hui, les limons sont retenus par le barrage, la vallée se désertifie, et un réseau de canaux d'irrigation entretient de façon permanente la bilharziose dont le taux d'infestation est passé de 7 % à 50-60 %.

Il y a d'autres projets malheureux, celui de Gezira avec la construction du barrage de Sennar, au Soudan ; les projets du Swaziland et du Zimbabwe. Ces projets favorisent également le développement du paludisme, encore appelé malaria.

Or il est possible d'étudier les projets d'irrigation agricole en fonction de ces risques, en dessinant les canaux de façon à éliminer les herbes qui abritent les mollusques et les moustiques, en isolant les divers canaux, etc...

Le mécanisme de la transmission des maladies montre donc clairement que LA SANTE EST ETROITEMENT LIEE AU TYPE DE DEVELOPPEMENT DU PAYS et qu'elle ne saurait être réduite, même si on se limite aux maladies fécales, au bon fonctionnement de systèmes d'assainissement, si efficaces soient-ils.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) SIGAL (S.)
"Eléments pour une nouvelle stratégie de santé au Tiers Monde" -
Cahier de l'écodéveloppement N°10 - O-N-U Paris 1978 -
- (2) BRUNEL (JP), BINET (P)
"Physiologie végétale" - Doin - Paris 1968 -
- (3) POLONOVSKI (M)
"Biochimie Médicale - III - Masson - Paris 1969 -
- (4) HERMANN (H) - CIER (JF)
"Précis de physiologie" - I - Masson 1968 -
- (5) GOTAAS (HB)
"Compostage et Assainissement" - Monographie N°31 - OMS - 1959 -
- (6) "Excreta disposal"
Ed. Intermediates Technology
- (7) Mac DONALD (O.J.S) -
In "Principles of public health administration" St. Louis - 1959 -
- (8) RAJAGOPALAN
"Mesures d'hygiène simples contre les maladies intestinales" OMS 1975
- (9) "Microbiologie médicale"
GOMELLA (C) - GUERREE (H) -
"Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales"
Eyrolles - Paris 1978 -
- (10) Publication américaine -

- (11) GERMON
"Pouvoir épurateur du sol" - Pub. INRA 1973 -

- (12) JÄGER (E) - LELLOUCHE (M)
"Notion de Microbiologie -
Rôle des microorganismes dans la matière - Contraintes - Applications
au cas de l'épuration biologique"
IRCHA - Conférences de Corbeil - 1976 -

- (13) MOREAU (C1)
"Moisissures toxiques dans l'alimentation"
Ed. Lechevallier - Paris 1968 -

- (14) POCHON (J) - TCHAN (YT)
"Précis de microbiologie du sol"
Masson - Paris 1948

- (15) LAMBIN (S) - GERMAN (A)
"Précis de microbiologie"
Masson - Paris 1969 -

- (16) COURTIN (T) - MAZZOLINI (G)
"Approche théorique et expérimentale de la filtration biologique
en lit immergé"
T.F.E. - ENTPE - Lyon 1980

- (17) TFE Ponts et chaussées -

- (18) FINNE (D) - DESIERE (M)
"Etude synécologique des bouses de bovidés"
Institut Van Beneden - Liège 1974 -

- (19) WINOGRASKY (S)
"Microbiologie du sol"
Masson - Paris 1949 -

- (20) PREVOT (A)
"Humus = biogénèse, biochimie, biologie"
Ed. "La Tourelle" - St. Mandé 1970 -
- (21) G.I.D.A.
"Le biométhane à la ferme"
ITP - Paris 1980
- (22) MARCHAL (N) - REGINSTER (G) - BOURDON (M)
"Pollution fécale et auroéparation dans la Sambre"
- Modèle Mathématique de la Pollution d'Eaux Intérieures -
C.I.P.S. Liège 1973 -
- (23) LANOIX (JN) et ROY (M.L.)
"Manuel du Technicien Sanitaire "OMS" - Genève 1976 -
- (24) WAGNER (EG) - LANOIX (JN)
"Evacuation des excréta dans les zones rurales et les petites agglomérations"
OMS - Genève 1960 -
- (25) GAMRASNI - PHELIPPOT
"Le Lagunage" - AFEE - BNIST - PARIS 1976
- (26) DELELIS - DUSOLLIER
"L'Épuration biologique des eaux " NATURE, S, 1976
- (27) NIMPUNO (K)
"Le biopot - Un cabinet d'aisance décent fonctionnant à sec-"
Le Courrier - N° 49 - Mai - Juin 1978 - pp. 89 - 91.
- (28) Rapport de Statistique Sanitaire Mondiale
Vol. 29 - N° 10 - 1976
- (29) GENTILINI (M) - DUFLO (B)
"Médecine Tropicale" - Flammarion Médecine - Sciences - 1977
- (30) Ministère de l'Environnement :
"Les déchets solides : proposition pour une politique" - PARIS -

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1 - 5
- A - EXCREMENTS ET RESIDUS DU VIVANT	6 - 24
1 - Résidus respiratoires et fermentaires : résidus cataboliques	6 - 7
1.1. Respiration	6
1.2. Fermentation	6
2 - Résidus de l'assimilation incomplète : résidus anaboliques	7 - 12
2.1. Chez les organismes inférieurs	7
2.2. Chez les organismes supérieurs	7
2.2.1. Résidus de l'assimilation des glucides	8 - 9
2.2.2. Résidus de l'assimilation des protides	9 - 11
2.2.3. Résidus de l'assimilation des lipides	11
3 - Composition des excréments	12 - 24
3.1. Les fèces	12 - 16
3.1.1. Quantité	12 - 14
3.1.2. Constitution et Caractéristiques	14 - 16
3.2. Les urines	16 - 19
3.2.1. Quantité	16 - 17
3.2.2. Composition et Caractéristiques	17 - 19
3.3. Charge polluante représentée par les excréta	20 - 22
3.4. Autres résidus de l'activité humaine	22 - 24
3.4.1. Ordures ménagères	22 - 23
3.4.2. Déchets végétaux	24
- B - EQUILIBRES NATURELS : Cycles des déchets du vivant	25 - 45
1 - Principes régulant les équilibres naturels	25 - 27
1.1. La matière vivante	26
1.2. La matière inerte	27
1.3. Effets contradictoires pour la survie de l'homme	27

2 - Organisation ↗ Minéralisation	27 - 37
2.1. Les Microorganismes	28
2.1.1. Les bactéries	28 - 29
2.1.2. Les champignons	29 - 31
2.1.3. Les protozoaires	31
2.1.4. Les Algues	31 - 32
2.2. Le Cycle du Carbone	32 - 35
2.2.1. Dégradation des molécules hydrocarbonées	33
2.2.2. Synthèse des molécules hydrocarbonées	33 - 34
2.2.3. Prédation	34
2.2.4. Cas particulier de la cellulose	34 - 35
2.3. Le Cycle de l'Azote	35 - 37
2.3.1. Ammonification	35
2.3.2. Nitrification	36
2.3.3. Fixation de l'azote atmosphérique et dénitrification	36 - 37
2.4. Cycles des autres éléments	37 - 38
3 - Dispersion ↗ Concentration	39 - 45
3.1. Le Cycle de l'eau	39 - 41
3.1.1. La rétention et l'infiltration de l'eau	39 bis - 40
3.1.2. Le ruissellement	40
3.1.3. L'évapotranspiration	41
3.2. Le transport des matières	41 - 45
3.2.1. La filtration mécanique	41
3.2.2. L'adsorption physico-chimique	42 - 43
3.2.3. Le cas particulier des nitrates	43
3.2.4. Le colmatage	44
3.2.5. Les fissures, les failles	44 - 45
3.2.6. Les actions extérieures sur l'eau dans le sol	45

- C - VOIES NATURELLES DE DEGRADATION DES EXCREMENTS ET RESIDUS DE L'ACTIVITE HUMAINE	46 - 60
1 - Dégradation des excréments par voie sèche à l'air libre.....	46 - 49
1.1. Création des conditions d'aérobiose	46 - 48
1.2. Humidification	48 - 49
2 - Dégradation des excréments en milieu humide anaérobie : méthanogénèse	49 - 53
2.1. Conditions de milieu	49
2.2. Réactions de la méthanogénèse	49 - 50
2.2.1. Dégradation de la cellulose des fèces	50 - 51
2.2.2. Conditions de milieu favorables à la méthanisation de la cellulose	51 - 53
3 - Dégradation des excréments en milieu liquide	53 - 58
3.1. Liquéfaction des excréments en phase liquide aérobie	53
3.2. Liquéfaction des excréments en phase liquide anaérobie	53 - 56
3.2.1. Odeurs des excréments en phase liquide anaérobie	54 - 55
3.2.2. Odeurs des produits de l'urine	56
3.3. Dégradation ultime des excréments liquéfiés	56 - 58 bis
3.3.1. En milieu aérobie	56 - 57
3.3.2. En milieu anaérobie	58 - 58 bis
4 - Pouvoir aseptisant du milieu naturel	59 - 60
4.1. Le pouvoir régulateur vis-à-vis des bactéries	59
4.2. Le pouvoir régulateur vis-à-vis des virus	59 - 60
4.3. Le pouvoir régulateur vis-à-vis des vers	60
- D - SANTE ET ASSAINISSEMENT	61 - 76
1 - Maladies et pollution fécale	61 - 70
1.1. Généralités	61 - 63
1.2. Maladies non d'origine fécale	63 - 65
1.3. Maladies d'origine fécale	66 - 70

1.3.1. Nature	66
1.3.2. Longévité et persistance des pathogènes	66 - 70
1.3.3. Infections d'origine fécale	70
2 - Processus de contamination par les pathogènes fécaux	70 - 76
2.1. Processus de contamination	70
2.1.1. Transport individuel	71
- Contact des vecteurs avec les excréta	71
- Contact des individus entre eux	71
2.1.2. Transport en commun	71 - 76
- Infiltration	72 - 73
- Ruissellement	73 - 74
- Rejets et Exutoires	74 - 76
- E - MODES DE MISE EN OEUVRE ET DE LUTTE CONTRE LES NUISANCES INHERENTES AUX PROCESSUS CHOISIS POUR TRAITER LES EXCRETA.....	77 - 120
1 - Méthodes à sec	78 - 100
1.1. Méthodes individuelles	78 - 86
1.1.1. Systèmes discontinus	78 - 87
- Fosse d'aisance sèche	78 - 84
- ROEC	84 - 85
- Fosse d'aisance humide	85 - 87
1.1.2. Systèmes alternatifs de compostage anaérobie	87 - 90
- Sur fèces seuls : cabinets vietnamiens	88
- Sur excréta totaux	89 - 90
. Sopa-Sanda	89
. Gopuri	89
. Biopot	89 - 90
1.2. Méthodes collectives	90 - 100
1.2.1. Compostage	90 - 93
1.2.2. Digestion méthanique	93 - 100
	.../...

2 - Méthodes en milieu liquide	101 - 120
2.1. Dispositifs de liquéfaction	101 - 108
2.1.1. Dispositifs individuels	101 - 107
- Fosse à eau simple	101 - 103
- Fosses septiques	103 - 107
2.1.2. Dispositifs collectifs de liquéfaction	107 - 108
2.2. Dispositifs d'épuration	108 - 120
2.2.1. Dispositifs individuels d'épuration	108 - 112
- Le système épurateur est le sol	108 - 111
. Epannage souterrain par drains	108 - 110
. Tertre d'infiltration	110
. Sol reconstitué	110
. Plateau absorbant	110 - 111
- Le système épurateur est synthétique aérobie	111 - 112
. Lit bactérien	112
. Filtre à cheminement lent	112
2.2.2. Dispositifs collectifs d'épuration	112 - 120
- Lagunage naturel	112 - 120
- F - <u>SANTE ET DEVELOPPEMENT</u>	121 - 122
- Développement des villes	121
- Développement agricole	121 - 122

BIBLIOGRAPHIE 123 - 125

TABLE DES MATIERES 126 - 131

--

ANNEXES 1 - 35

=====