

ET 50

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CTGREF

centre technique
du génie rural
des eaux et des forêts



L'EPANDAGE DES EAUX USEES DOMESTIQUES

ETUDES PREALABLES DE L'APTITUDE DES SOLS

ET

REGLES DE DIMENSIONNEMENT DES INSTALLATIONS

Septembre 1980

N° 50 - ETUDE

GROUPEMENT D'ANTONY

DIVISION : QUALITE DES EAUX, PECHE ET PISCICULTURE

MINISTERE de l'AGRICULTURE

CENTRE TECHNIQUE DU GENIE RURAL
DES EAUX ET DES FORETS

C.T.G.R.E.F.
Groupement d'ANTONY

Division Qualité des Eaux,
Pêche et Pisciculture

14, Avenue de Saint-Mandé

75012 PARIS

L'EPANDAGE DES EAUX USEES DOMESTIQUES

Etudes préalables de l'aptitude des sols
et
Règles de dimensionnement des installations

Etude réalisée par J.J. GRIL

S O M M A I R E

	<u>Pages</u>
INTRODUCTION	1
- <u>CHAPITRE I</u> - RAPPEL SUR LA CONCEPTION ET LE FONCTION- NEMENT DES DISPOSITIFS D'EPANDAGE D'EAUX USEES DOMESTIQUES	2-7
1.1. LES MODES DE DISPERSION DES EFFLUENTS DOMESTIQUES DANS LE SOL	2
1.1.1. <i>Epandage superficiel</i>	2
1.1.2. <i>Epandage à faible profondeur</i>	4
1.2. TRAITEMENT DES EAUX USEES AVANT L'EPANDAGE	5
1.3. FONCTIONNEMENT DES EPANDAGES	5
1.3.1. <i>Limitation de la capacité d'infiltration</i>	5
1.3.2. <i>Entraînement d'éléments indésirables</i>	6
1.4. ETUDES PREALABLES NECESSAIRES	7
- <u>CHAPITRE II</u> - LA PERMEABILITE A L'EAU DU SOL : RAPPEL DE THEORIE	8-17
2.1. L'EAU DANS LE SOL	8
2.2. LA LOI DE DARCY ET LA CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE	9
2.2.1. <i>La circulation de l'eau dans un sol saturé</i> ...	9
2.2.2. <i>La circulation de l'eau dans un sol non saturé</i>	10
2.2.3. <i>Infiltration à travers une croûte peu perméable</i>	12

2.3.	METHODES DE MESURE DE LA CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE	13
2.3.1.	<i>Conductivité hydraulique en milieu saturé</i>	13
2.3.2.	<i>Conductivité hydraulique en milieu non saturé</i>	17
-	<u>CHAPITRE 3</u> - LA PERMEABILITE DU SOL	
	APPLICATION A L'EPANDAGE	18-26
3.1.	"LE TEST DE PERCOLATION" UTILISE EN AMERIQUE DU NORD	18
3.2.	CRITIQUES DU PRINCIPE DES TESTS DE PERCOLATION	21
3.2.1.	<i>Perméabilité à l'eau claire et perméabilité à l'eau usée</i>	21
3.2.2.	<i>Etude de l'infiltration colmatante en milieu non saturé</i>	22
3.3.	NECESSITE ET CHOIX D'UNE MESURE DE LA PERMEABILITE	25
-	<u>CHAPITRE 4</u> - LA PRATIQUE DES TESTS DE PERCOLATION	27-28
4.1.	TESTS A NIVEAU VARIABLE ET A NIVEAU CONSTANT	27
4.1.1.	<i>Coefficient de perméabilité de PORCHET et coefficient apparent</i>	27
4.1.2.	<i>Critique de l'utilisation du coefficient apparent ..</i>	28
4.1.3.	<i>Intérêt respectif de tests à niveau constant et à niveau variable</i>	29
4.2.	REALISATION DES TESTS	32
4.2.1.	<i>Trous de mesure</i>	32
4.2.2.	<i>Infiltromètre à niveau constant</i>	34
4.2.3.	<i>Matériel utilisé pour la mesure à niveau variable ...</i>	35
4.3.	DUREE D'HUMECTATION ET NOMBRE DE TROUS DE MESURE	36
4.3.1.	<i>Durée d'humectation</i>	36
4.3.2.	<i>Variabilité des résultats des tests. Nombre de trous de mesures</i>	37

- <u>CHAPITRE 5</u> - LA RECONNAISSANCE PEDOLOGIQUE	39-43
5.1. SONDAGES ET FOSSES D'OBSERVATIONS	39
5.2. NATURE DES OBSERVATIONS A EFFECTUER	40
5.2.1. <i>Epaisseur de sol</i>	40
5.2.2. <i>Caractérisation et différenciation des horizons..</i>	40
5.3. L'HYDROMORPHIE TEMPORAIRE ET LES "BIGARRURES"	41
5.4. PENTE DU TERRAIN	42
5.5. PERMEABILITE ET CARACTERISTIQUES PEDOLOGIQUES	42
- <u>CHAPITRE 6</u> - DIMENSIONNEMENT DES EPANDAGES	44-66
6.1. LES PRINCIPALES REGLES DE DIMENSIONNEMENT	44
6.1.1. <i>Les données du "Manual of Septic Tank Practice" ..</i>	44
6.1.2. <i>Données de BERNHARDT</i>	46
6.2. DIFFICULTES D'EMPLOI	47
6.2.1. <i>Limites de ces règles</i>	47
6.2.2. <i>Comparaison des règles de dimensionnement</i>	47
6.2.3. <i>Eléments pour une comparaison</i>	49
6.3. EPANDAGE EN ASSAINISSEMENT UNIFAMILIAL	52
6.4. EPANDAGE SOUTERRAIN COLLECTIF	55
6.4.1. <i>Observations</i>	55
6.4.2. <i>Courbes de dimensionnement - Conditions d'utili-</i> <i>sation</i>	56
6.4.3. <i>Choix entre tranchées et lits filtrants</i>	60
6.5. L'EPANDAGE EN TRANCHEES SUPERFICIELLES	61
6.6. POUVOIR EPURATEUR DU SOL ET DIMENSIONNEMENT DES EPANDAGES	62
6.6.1. <i>Aspects généraux de l'épuration réalisée par le sol</i>	63
6.6.2. <i>Elimination de l'azote en sol limono-argileux :</i> <i>Cas de l'épandage de VILLAINES-sous-BOIS (Val d'Oise)</i>	64
6.6.3. <i>Extrapolation à d'autres types de sol</i>	64

- <u>CHAPITRE 7</u> : ASSAINISSEMENT D'UNE AGGLOMERATION :	
INTEGRATION DE L'ETUDE DE L'APTITUDE	
DES SOLS A L'EPANDAGE	67-71
7.1. CADRE D'ETUDE	67
7.2. COMPLEMENTS A L'ETUDE PEDOLOGIQUE	68
7.2.1. <i>Population et parcellaire</i>	68
7.2.2. <i>Topographie</i>	68
7.3. REPARTITION DES TACHES	68
7.4. CARTOGRAPHIE D'APTITUDE A L'ASSAINISSEMENT INDIVIDUEL	69
- BIBLIOGRAPHIE	72-75
- ANNEXE : Exemples de calculs de dimensionnement	

INTRODUCTION

L'épandage des eaux usées d'origine domestique à la surface du sol ou à faible profondeur permet d'assurer à la fois l'épuration et la dispersion des effluents.

Au siècle dernier, ce procédé de traitement des eaux usées était utilisé pour les grandes villes. Si cette technique a perdu actuellement une bonne part de son intérêt dans le contexte urbain, du fait de l'importance de l'espace nécessaire, elle a été et reste encore le mode d'épuration le mieux adapté à l'assainissement autonome.

Le développement que connaît actuellement l'assainissement de collectivités de taille de plus en plus réduite conduit à se tourner vers des procédés d'épuration adaptés à cette gamme de population, tels le lagunage et l'épandage ; ce dernier présente par ailleurs l'avantage particulier d'apporter une solution au problème de l'absence de réseau hydrographique superficiel susceptible de recevoir l'eau épurée ou d'une sensibilité particulière de celui-ci.

Le succès d'un épandage est, bien sûr, tributaire de l'aptitude du sol à recevoir, épurer et évacuer les eaux usées. Or, celle-ci est bien souvent difficilement appréciée par les maîtres d'oeuvres et les chargés d'étude.

Le présent document, en faisant le point sur les connaissances actuelles, propose une méthode de caractérisation des sols conduisant au dimensionnement des installations d'épandage.

CHAPITRE 1 - RAPPEL SUR LA CONCEPTION ET LE FONCTION-
NEMENT DES DISPOSITIFS D'EPANDAGE
D'EAUX USEES DOMESTIQUES

Avant d'aborder la question de la caractérisation des sols nécessaire à une réalisation correcte des épandages, il convient de rappeler succinctement la conception et le fonctionnement des dispositifs existants.

Une installation d'épandage comprend normalement :

- le dispositif d'infiltration de l'eau usée dans le sol (épandage au sens strict), précédé de

- l'ensemble des traitements subis par l'eau usée préalablement à l'infiltration.

1.1. LES MODES DE DISPERSION DES EFFLUENTS DOMESTIQUES DANS LE SOL.

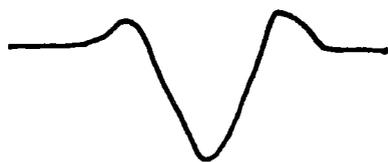
L'injection qui concerne les couches géologiques profondes, ainsi que l'aéroaspersion, actuellement proscrite en France pour l'épandage des effluents domestiques, ne seront pas abordés dans la présente étude qui s'intéresse aux deux modes suivants de dispersion de l'eau usée dans le sol :

- l'épandage superficiel,
- l'épandage souterrain à faible profondeur.

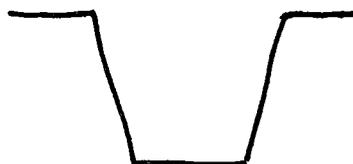
1.1.1. *Epandage superficiel.*

Cette technique est dérivée de l'irrigation gravitaire traditionnelle : le mode d'apport le plus adapté est la tranchée ouverte de quelques décimètres de profondeur et de forme variant

avec l'engin utilisé pour le creusement (figure 1).



charrue billonneuse
à deux versoirs



pelle mécanique
(creusement dans le
sens de la marche)



pelle mécanique
creusement par
godet hémicylindrique
perpendiculaire au
sens de la marche

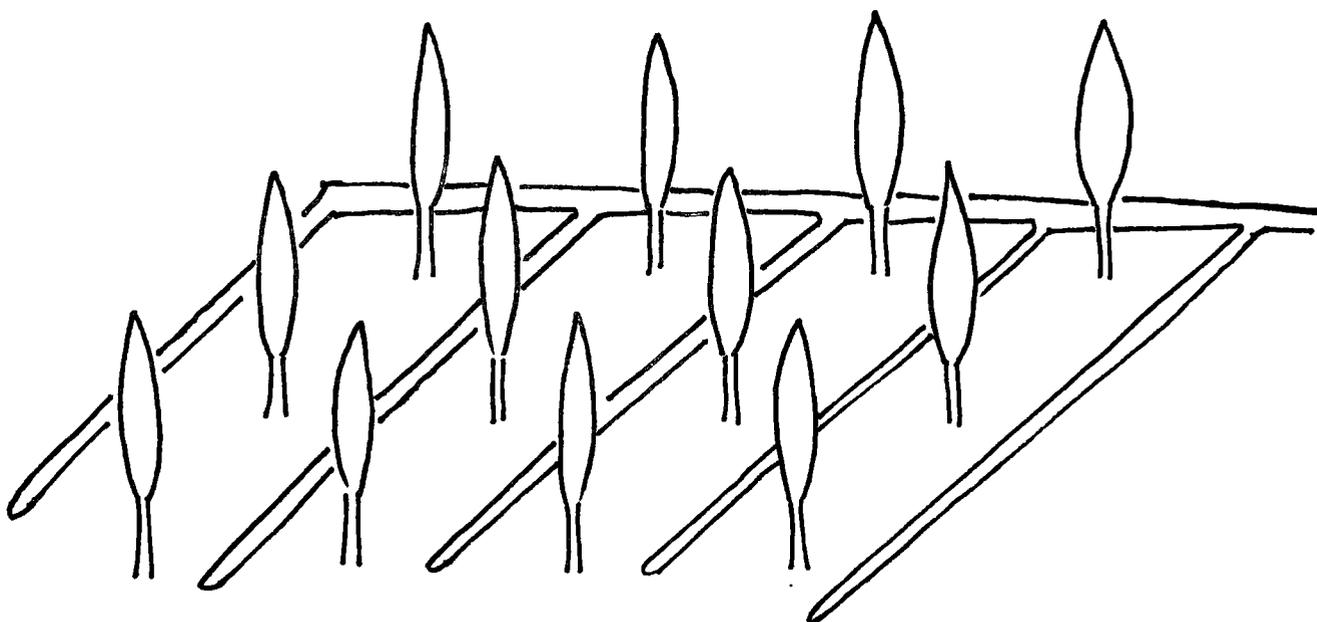
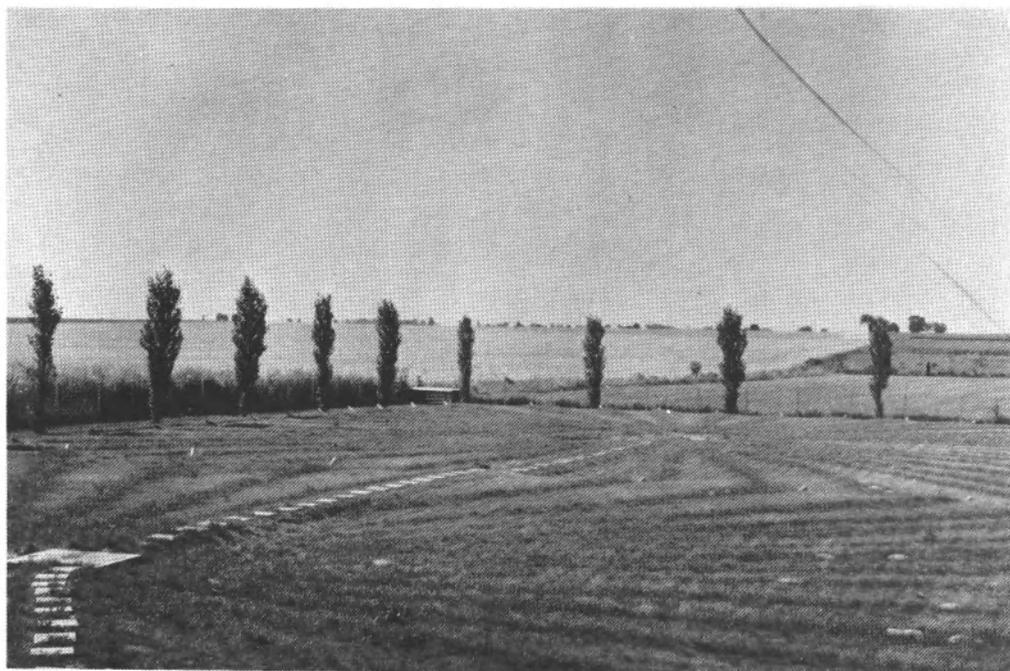


Fig. 1 Epannage en tranchée superficielle
- type de tranchée
- exemple de disposition (peupleraie)

EPANDAGE DES EAUX USEES DOMESTIQUES



Epandage souterrain - lit filtrant à drains radiaux.
Commune de VILLAINES sous BOIS (Val d'Oise)



Epandage en tranchées superficielles
Commune de BEAUDEDUIT (Oise)

1.2. TRAITEMENT DES EAUX USEES AVANT L'EPANDAGE.

L'épandage souterrain nécessite un traitement préalable assurant l'élimination ou la liquéfaction d'une part importante des matières en suspension. Ce traitement est assuré par des dispositifs tels qu'une fosse septique, ou encore un décanteur digesteur précédé d'un dégrillage.

L'épandage en tranchées ouvertes peut s'accomoder d'un simple dégrillage, la décantation étant alors assurée dans les tranchées elles-mêmes. Toutefois, la présence d'un décanteur digesteur limite le nombre des interventions. La fosse septique sera en général à proscrire dans ce cas afin d'éviter les mauvaises odeurs.

1.3. FONCTIONNEMENT DES EPANDAGES.

Le fonctionnement correct d'un épandage se heurte à deux types de difficultés :

- la limitation progressive de la capacité d'infiltration du sol,
- l'entraînement d'éléments indésirables vers le sous-sol.

1.3.1. Limitation de la capacité d'infiltration.

Au cours du fonctionnement, il se forme une "croûte" de colmatage à la surface du sol au contact de l'effluent. La formation de cette croûte a une triple cause :

- accumulation de matières en suspension, minérales et organiques,
- prolifération bactérienne,
- détérioration de la structure du sol en place sous l'action physico-chimique déstabilisatrice de l'eau usée.

Certains auteurs (19, 24) considèrent que la somme ($DBO_5 + MES$) de la composition moyenne de l'effluent est un paramètre caractéristique du pouvoir colmatant de celui-ci.

Ce colmatage est un phénomène normal et inévitable dans l'épandage, il présente d'ailleurs l'avantage d'améliorer les performances d'épuration dans les sols à texture grossière.

Il y a cependant lieu de distinguer les phénomènes de colmatage irréversibles, ou difficilement réversibles (tels que l'accumulation de matières en suspension minérale, détérioration de la structure du sol, dégradation des argiles) des phénomènes de colmatages réversibles causés par l'accumulation des matières organiques et les développements microbiens. En effet, un arrêt de l'apport d'eaux usées fait régresser celui-ci sous l'effet d'une activité biologique minéralisatrice. En fonctionnement normal un état d'équilibre s'installe entre le colmatage et le décolmatage. S'il y a surcharge de l'installation le premier l'emporte sur le second ce qui conduit à l'engorgement du terrain, éventuellement à la stagnation en surface et enfin au ruissellement de l'eau.

Notons que ces défaillances visibles des épandages peuvent avoir d'autres causes que le colmatage : présence d'un horizon imperméable (roc, argile ...) à faible profondeur ou encore d'une nappe.

1.3.2. Entraînement d'éléments indésirables.

Un sol faillé ou de texture très grossière peut être incapable d'assurer l'épuration de l'eau usée et laisser celle-ci transiter vers les nappes pratiquement sans modification.

Néanmoins, dans la majorité des cas, le sol assure une épuration convenable des principaux polluants : matière organique, phosphore, microorganismes pathogènes. Le cas de l'azote est plus complexe : le lessivage des nitrates ne peut bien souvent être évité même sur un sol de texture fine. On reviendra sur cette question et son incidence sur le dimensionnement des installations au chapitre 6.

1.4. ETUDES PREALABLES NECESSAIRES

La connaissance du sol et du sous-sol est indispensable. Elle doit permettre d'éviter les défaillances dans les épandages. La vulnérabilité des nappes sous-jacentes sera appréciée par une enquête hydrogéologique. Par contre les risques de dégradation de la capacité d'infiltration accompagnés des nuisances décrites ci-dessus ne peuvent être écartés que par une étude pédologique, parmi les caractéristiques du sol, sa perméabilité à l'eau occupe une place prépondérante.

CHAPITRE 2 - LA PERMEABILITE A L'EAU DU SOL :
RAPPEL DE THEORIE.

2.1. L'EAU DANS LE SOL

Le sol est principalement constitué de particules minérales mais également organiques, électrisées ou non, séparées par des espaces. Ceux-ci forment des canaux irréguliers de taille variable, appelés "pores", disponibles pour la circulation des fluides, gaz ou liquides. L'ensemble des vides de l'unité de volume de terre constitue sa "porosité".

Suivant le diamètre des pores, l'eau pourra s'y écouler librement sous l'effet de la gravité ou au contraire être retenue par les forces de capillarité qui sont évidemment d'autant plus élevées que les canaux capillaires sont plus fins.

La fraction de la porosité totale constituée par les pores capillaires, représente la "microporosité" et son complément, la "macroporosité".

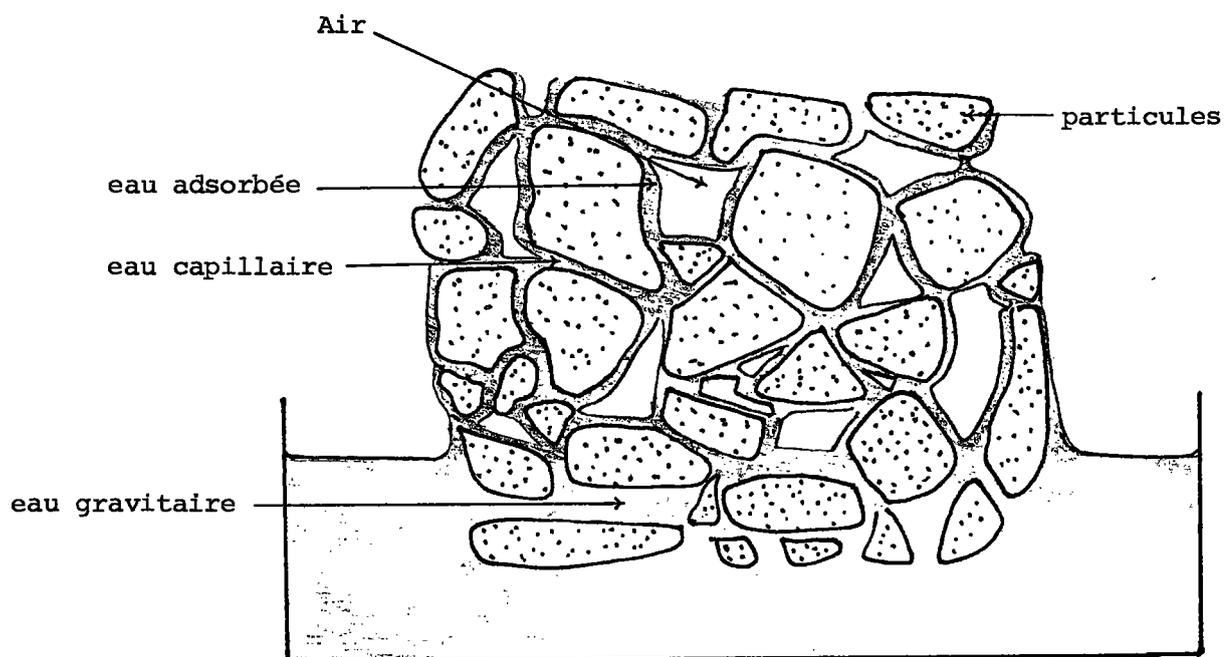
Quand la porosité totale est remplie d'eau, le sol est dit "saturé".

L'état hydrique d'une colonne de sol immergée à sa base est décrit par le schéma ci-dessous (d'après 18).

Ainsi, l'eau se trouve dans le sol sous quatre formes :

- eau liée chimiquement aux particules,
- eau adsorbée électriquement sur les particules,
- eau capillaire dans la microporosité,
- eau de saturation (ou gravitaire) dans la macroporosité.

Les mouvements de l'eau qui nous intéressent ici concernent les deux dernières formes.

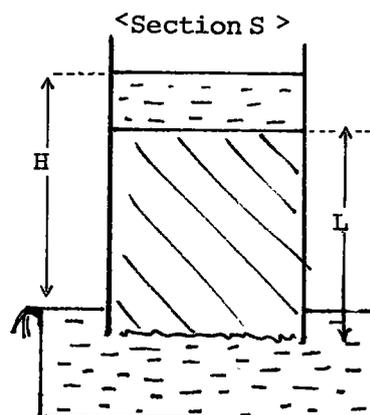


2.2. LA LOI DE DARCY ET LA CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE.

2.2.1. La circulation de l'eau dans un sol saturé.

Au siècle dernier DARCY a défini expérimentalement la relation suivante :

$$Q = KS \frac{H}{L}$$



Le débit d'eau Q à travers une colonne de sol saturé d'eau est proportionnel à la section S de la colonne et à la charge hydraulique ou gradient hydraulique $\frac{dH}{dz}$, le coefficient de proportionnalité K est une caractéristique du sol. Il est généralement appelé "coefficient de DARCY", "conductivité hydraulique" ou encore "vitesse de perméabilité" en raison de sa dimension LT^{-1} . On notera que cette dernière terminologie est peu correcte car il s'agit d'une vitesse fictive, calculée comme si l'écoulement était réparti uniformément à travers toute la section de la colonne et non dans les seuls pores.

2.2.2. La circulation de l'eau dans un sol non saturé.

Dans un sol non saturé l'eau est retenue par les forces de succion dues aux phénomènes de capillarité. Cette succion T est généralement exprimée en hauteur de colonne d'eau et mesurée au moyen de tensiomètres (bougies poreuses pleines d'eau associées à un manomètre). T est nulle à la saturation pour atteindre plusieurs bars dans un sol très sec.

Dans le cas d'un sol non saturé, la loi de DARCY devient

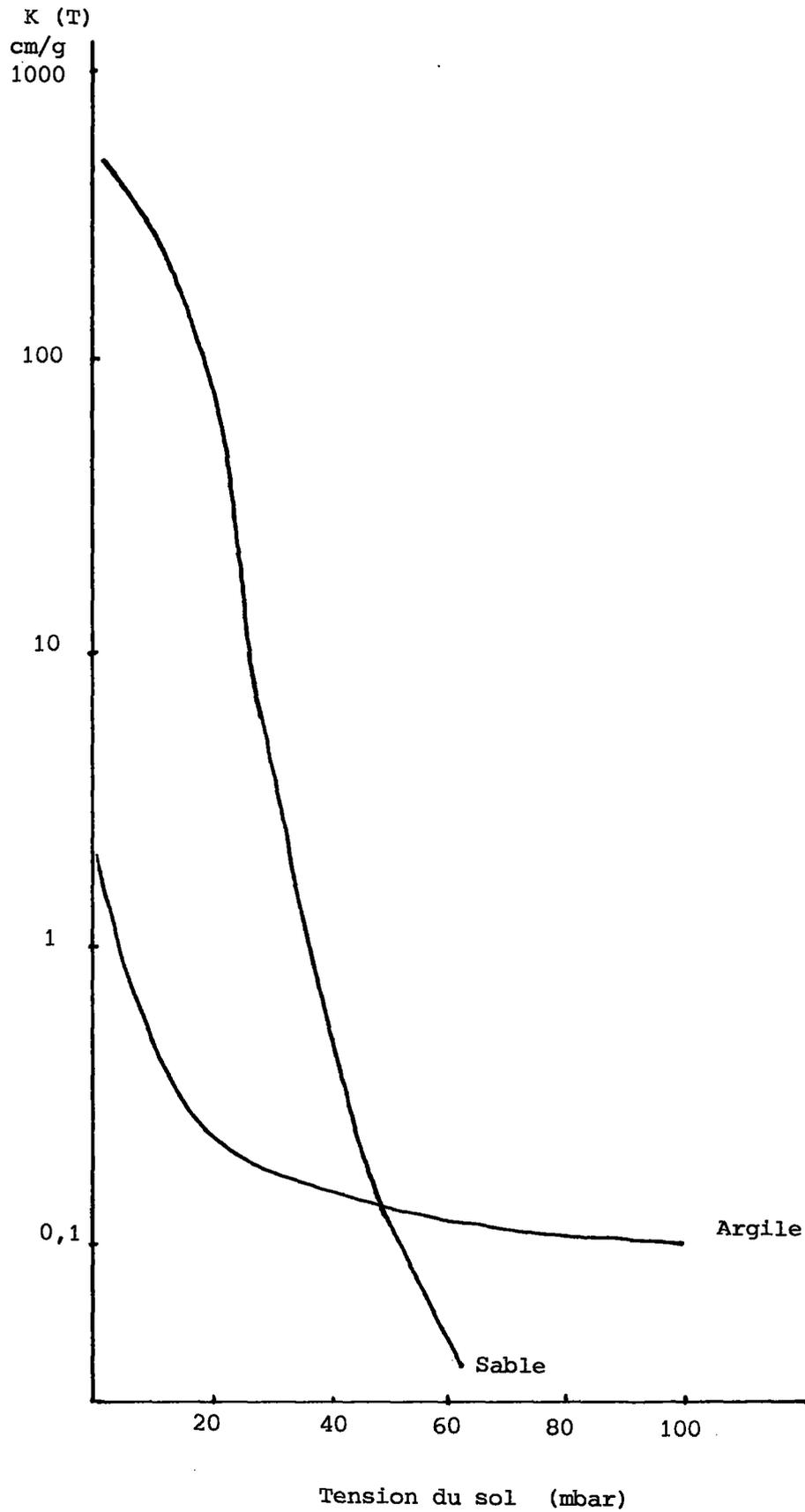
$$Q = K(T) \cdot S \cdot \frac{dH}{dz} \quad (\text{cas de la circulation verticale de l'eau})$$

$\frac{dH}{dz}$ étant le gradient vertical de charge hydraulique suivant l'axe de coordonnées z .

Comme la tension T est une fonction de la teneur en eau θ , on peut aussi écrire

$$Q = K(\theta) S \frac{dH}{dz}$$

La relation entre la succion (T) et la conductivité hydraulique K pour deux types de sol est représentée par le graphique ci-dessous.



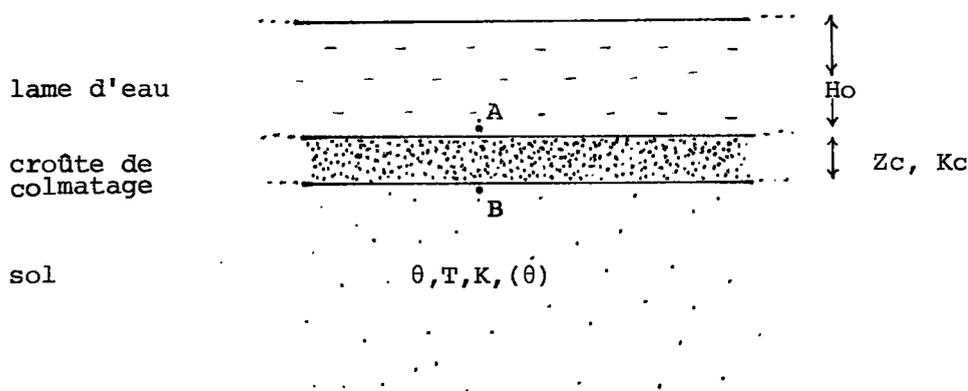
Relation entre la Tension du sol et la conductivité hydraulique.
d'après E.P.A. (18)

Ainsi, la conductivité hydraulique d'un sol sableux est, à la saturation, bien supérieure à celle d'un sol argileux, mais par contre elle décroît plus vite pour finalement devenir inférieure quand la tension augmente (ou, ce qui revient au même, quand la teneur en eau diminue).

2.2.3. Infiltration à travers une croûte peu perméable.

Comme on l'a vu précédemment (§1.3.1.1), la zone superficielle du sol au contact avec l'eau usée est le siège de la formation d'une croûte de colmatage.

La présence de cette croûte a bien évidemment une influence sur le régime de circulation de l'eau. D. HILLEL (20) a abordé cette question en étudiant le phénomène des croûtes de battances agricoles. L'application à l'épandage effectuée par J. BOUMA (8) et reprise en (2) est exposée ci-après



Soit une croûte de colmatage d'épaisseur Z_c , de conductivité hydraulique K_c formée à la surface d'un sol ayant une teneur en eau θ à laquelle correspond une succion T et une conductivité hydraulique $K(T)$. Une lame d'eau de hauteur H_0 surmonte la croûte de colmatage.

Le débit par unité de surface de l'eau entre A et B à travers la croûte est

$$Q_{(c)} = K_{(c)} \left(\frac{dH}{dz} \right)_c$$

$$\text{avec } \left(\frac{dH}{dz} \right)_c = \frac{H_o + Z_c + T}{Z_c}$$

Le débit de l'eau dans le sol sous la croûte est

$$Q_{(T)} = K_{(T)} \left(\frac{dH}{dz} \right)_s$$

A l'équilibre, en supposant H_o constant et le bulbe d'humectation du sol de grande dimension par rapport à la couche colmatée, on a :

$$\text{- d'une part } \left(\frac{dH}{dz} \right)_s = 1$$

$$\text{- d'autre part } Q_{(c)} = Q_{(T)}$$

$$\text{Donc } K_{(T)} = K_{(c)} \cdot \frac{H_o + Z_c + T}{Z_c}$$

L'introduction de la "résistance hydraulique"

$R_c = \frac{Z_c}{K_c}$ homologue à un temps (R_c représente le temps pour traverser

la croûte d'épaisseur Z_c avec la "vitesse" $K_{(c)}$), permet d'écrire

$$K_{(T)} = \frac{H_o + T + Z_c}{R_c},$$

formule dont l'intérêt (au moins théorique) sera étudié plus loin (§ 3.2.2.).

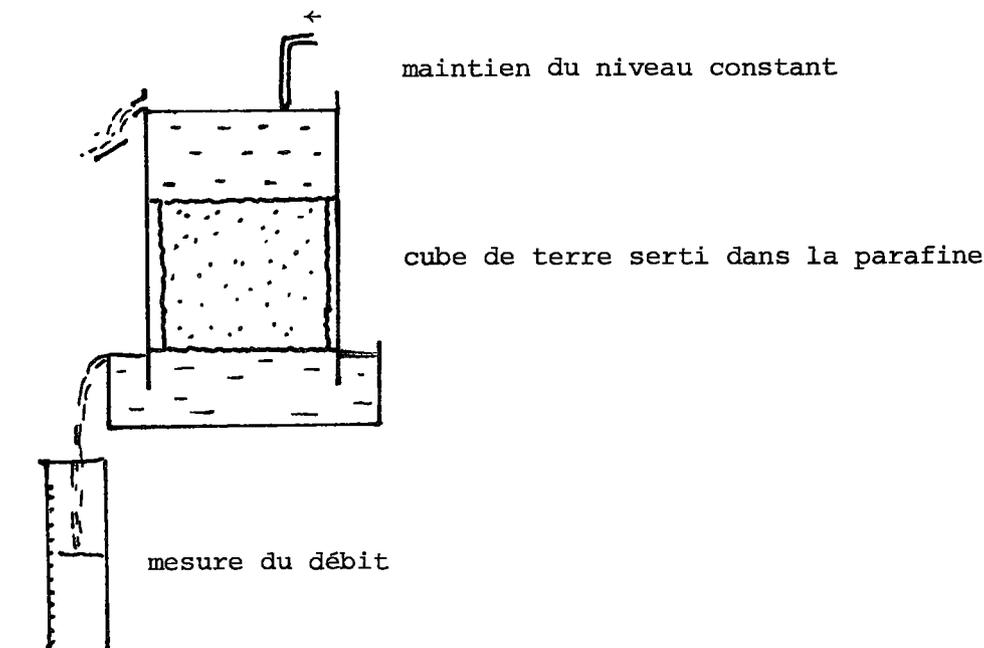
2.3. METHODES DE MESURE DE LA CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE.

2.3.1. Conductivité hydraulique en milieu saturé.

Les mesures de conductivité à saturation effectuées soit au laboratoire, soit in situ, correspondent aux méthodes les plus courantes de mesures de la conductivité hydraulique. ./.

2.3.1.1. Méthodes de laboratoire.

Elles dérivent directement des expériences de DARCY. Les méthodes du cube de VERGIERE ou des anneaux de KIRKHAM, portent sur un prélèvement d'échantillon de sol non perturbé.



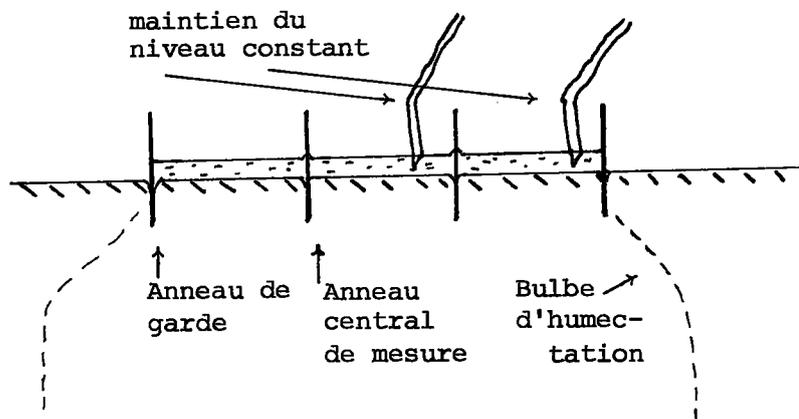
Principe de la Méthode de VERGIERE

La perméabilité HENIN est mesurée de la même façon mais sur échantillon broyé. Elle vise plus à caractériser la stabilité de la structure du sol (associée à l'indice d'instabilité d'agrégats) que sa perméabilité en place.

2.3.1.2. Méthodes de terrain.

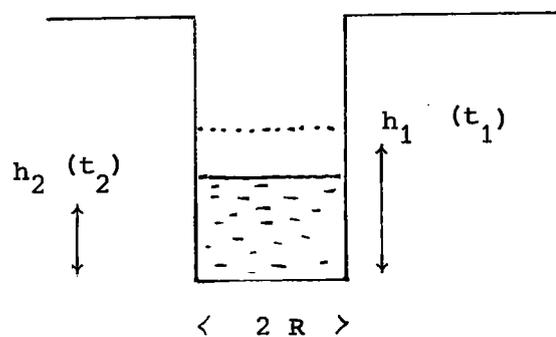
Les deux méthodes les plus fréquemment employées sont la méthode du "double anneau" (ou de MUNTZ) et la méthode du "trou de tarière" (ou de PORCHET).

- Anneaux de MUNTZ



Deux anneaux concentriques sont enfoncés dans le sol en place sur une profondeur de quelques centimètres. Un dispositif maintient un niveau d'eau constant dans les anneaux à partir de 2 réservoirs. L'anneau extérieur sert d'anneau de garde, de telle manière que la circulation de l'eau sous l'anneau central soit rigoureusement verticale. Après un certain temps d'humectation qui permet de se rapprocher de la saturation au voisinage de l'anneau, la loi de DARCY s'applique sous la forme $Q = KS$, Q étant le débit dans le réservoir d'alimentation du cylindre central et S la section de ce dernier, le gradient hydraulique étant voisin de 1 dans ces conditions de mesure.

- "Trou de tarière" de PORCHET.



Un trou de section cylindrique de diamètre $2 R$ est rempli d'eau et maintenu humecté pendant un temps suffisamment long.* Au temps t_1 , on note le niveau h_1 de l'eau dans le trou, au temps t_2 celui-ci devient h_2 .

On écrit $Q = KS$ comme précédemment avec S représentant la surface humectée : partie latérale + fond, soit

$$S = \pi R^2 + 2 \pi R h \text{ donc } Q = (\pi R^2 + 2 \pi R h) K$$

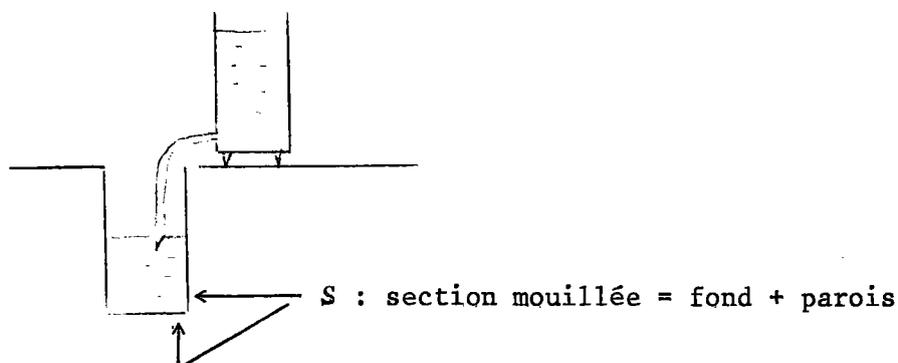
or
$$Q = -\pi R^2 \frac{dh}{dt}$$

$$\text{donc } K dt = - \frac{\pi R^2 dh}{R^2 + 2 Rh}$$

après intégration
$$K = \frac{R}{2 (t_2 - t_1)} \times \ln \frac{h_1 + \frac{R}{2}}{h_2 + \frac{R}{2}}$$

Ce calcul peut être conduit de manière similaire pour un trou non cylindrique de section régulière. La méthode de MATSUO par exemple, a recourt à de longues tranchées creusées à la pelle mécanique. Le principe est le même, par contre la mise en oeuvre (creusement du trou et alimentation en eau) nécessite des moyens plus importants.

Une variante de la méthode du "trou de tarière" consiste à maintenir un niveau d'eau constant grâce à un réservoir alimentant le trou de mesure. On a alors directement : $K = \frac{Q}{S}$



* Les protocoles de mesures prévoient en général une durée d'humectation de 4 h.

En fait, la méthode de PORCHET conduit à une estimation non rigoureuse de K : la diffusion horizontale n'est pas équivalente à la diffusion verticale ; ainsi et en toute rigueur, il n'est pas possible, malgré la pratique courante, d'ajouter la surface des parois à celle du fond.

Cependant cette méthode est généralement retenue pour la réalisation des tests de perméabilité malgré cette imprécision (Chap. 4).

2.3.2. Conductivité hydraulique en milieu non saturé.

Les mesures de la conductivité non saturée qui se traduisent par l'obtention de courbes $K(T)$ ou $K(\theta)$ (§ 2.2.2.) sont délicates et longues. Elles sont généralement effectuées en laboratoire ; une méthode de terrain a été élaborée par HILLEL et GARDNER (citée dans (20)) et reprise par BOUMA précisément pour étudier le fonctionnement de dispositifs d'épandage souterrain (méthode du "crust test" Cf. § 3.2.2).

CHAPITRE 3 - LA PERMEABILITE DU SOL
APPLICATION A L'EPANDAGE

3.1. "LE TEST DE PERCOLATION" UTILISE EN AMERIQUE DU NORD

Ce test a été mis au point dès 1926 aux U.S.A. par RYON pour déterminer les causes des défaillances d'épandages souterrains unifamiliaux. Il a été ensuite constamment utilisé par les praticiens de l'épandage souterrain aux ETATS-UNIS et au CANADA pour caractériser l'aptitude des sols à cette technique.

La mise en oeuvre du test de percolation est décrite dans le "Manual of Septic Tank practice" (1957). Elle a été reprise dans de nombreux documents et en particulier dans une Information Technique du C.T.G.R.E.F. de 1975 (10) laquelle indique les modalités selon lesquelles le test doit être pratiqué :

- " 1) - Creuser dans le périmètre prévu pour la future installation au moins six trous répartis de façon aussi uniforme que possible. Ces trous doivent avoir de 10 à 30 cm de diamètre et atteindre le niveau de l'épandage souterrain projeté. Scarifier les parois des trous pour éliminer les surfaces souillées ou lissées qui générerait l'infiltration de l'eau. Oter la poussière et les petits éboulements de terre du fond et y placer 5 cm de sable grossier ou de gravier fin pour éviter le colmatage.

- 2) - Verser au moins 30 cm d'eau propre dans chaque trou. Ajouter de l'eau aussi souvent que nécessaire pour maintenir le niveau de l'eau à plus de 30 cm au-dessus du gravier pendant au moins 4 h, et si possible jusqu'au lendemain en période sèche.

Cette phase d'imbibation du terrain doit être menée convenablement pour assurer la validité du résultat

final. Il importe en particulier que le trou ne soit jamais asséché. Si de plus, le test est effectué en saison sèche, le sol doit être abondamment mouillé pour reproduire les conditions qui existent pendant la saison la plus humide.

- 3)- Ajuster le niveau d'eau à 15 cm au-dessus du gravier. Observer l'abaissement du niveau de l'eau toutes les 30 mn en réajustant à chaque observation le niveau à sa valeur initiale. Arrêter le test dès que les relevés se stabilisent. L'abaissement du plan d'eau mesuré sur une demi-heure en régime permanent permet de calculer directement la vitesse de percolation. Il est inutile de prolonger ces relevés pendant plus de 4 h ; on pourra donc toujours utiliser la vitesse d'infiltration enregistrée au cours de la huitième demi-heure, sans menacer la fiabilité du résultat.
- 4)- Cependant, dans les sols sableux où l'eau s'infiltrerait rapidement, il faut ramener la durée maximale d'essai à 1 h avec une observation toutes les 10 mn, l'abaissement du plan d'eau pendant les 10 dernières minutes servant à calculer la vitesse d'infiltration.
- 5)- La vitesse d'infiltration caractéristique de la parcelle est alors obtenue en faisant la moyenne des valeurs obtenues pour chaque trou."

Dans le principe, il s'agit donc d'une application de la méthode de PORCHET, à niveau variable.

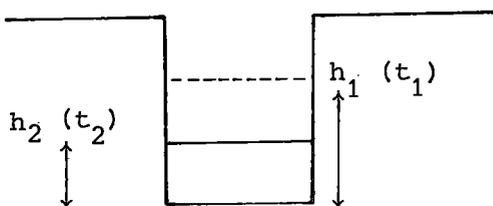
La "vitesse" de Percolation ("Percolation Rate")

$$P = \frac{t_2 - t_1}{h_1 - h_2} \quad \text{est une expression approchée de la perméabilité,}$$

on appellera coefficient de PORCHET apparent Ka son inverse

soit :

$$Ka = \frac{h_1 - h_2}{t_2 - t_1}$$



A cette valeur de P (ou Ka) correspond une charge journalière admissible d'effluent par unité de surface (ou une superficie d'épandage par habitant) fournie par des abaques ou des tableaux. Cette correspondance repose sur des bases entièrement empiriques tirées de l'expérience des praticiens. On reviendra aux chapitres 5 et 6 sur l'interprétation des tests et le dimensionnement de l'épandage.

Ce test toujours utilisé, a néanmoins fait l'objet de critiques qui sont successivement analysées :

- certaines portent sur le principe même des tests de percolation,
- certaines concernent uniquement les modalités d'interprétation des résultats des tests en termes de dimensionnement sans que le principe même soit mis en cause,
- enfin certaines portent sur une mauvaise utilisation des tests, effectués et interprétés sans tenir compte du contexte pédologique.

Ces deux dernières séries de critiques seront étudiées au cours des chapitres suivants.

Examinons maintenant les critiques fondamentales de la première série.

3.2. CRITIQUES DU PRINCIPE DES TESTS DE PERCOLATION.

3.2.1. Perméabilité à l'eau claire et perméabilité à l'eau usée.

La percolation de l'eau usée dans le sol n'obéit pas simplement aux lois physiques de la filtration de l'eau à travers un matériau poreux. Les phénomènes en jeu sont plus complexes et font intervenir des processus physico-chimiques (adsorption et désorption des ions dissous, précipitations de sels ...) et biologiques (action des microorganismes) qui ont une incidence sur la structure du sol et sur sa perméabilité ; ils confèrent au sol son pouvoir épurateur. Il n'est donc pas possible de confondre la perméabilité à l'eau claire et la perméabilité à l'eau usée. L'expérience montre, de fait, que cette dernière est beaucoup plus faible.

Aussi, peut-il paraître préférable, à première vue, de pratiquer des mesures avec de l'eau usée plutôt qu'en eau claire. Cependant, dans la pratique, ce souhait, se heurte à un double obstacle :

* le choix de l'eau usée à utiliser pour réaliser les mesures. Dans la majorité des cas, les eaux à épandre ne sont pas disponibles au moment des mesures. L'utilisation d'effluents synthétiques ou d'une autre provenance reste toujours sujette à caution.

* la lenteur des phénomènes physico-chimiques et biologiques dont il vient d'être question.

La connaissance de la perméabilité comme caractéristique du sol apparaissant malgré tout fondamentale, les mesures sont pratiquées en eau claire, les essais avec eaux usées restant du domaine de l'expérimentation.

Deux voies peuvent alors être suivies :

a) Procéder comme les praticiens du "Percolation Test", en utilisant celui-ci (ou une variante) non pour calculer directement une charge hydraulique admissible mais plutôt pour classer les sols.

La solution du problème nécessite alors la détermination de points de référence permettant de relier empiriquement la valeur obtenue par le test à la charge réellement admissible.

b) Ne pas se contenter de cette approche empirique en cherchant à mieux comprendre les mécanismes de l'infiltration d'un terrain d'épandage et surtout à les quantifier. Cette approche plus rigoureuse a été développée par BOUMA et ses collaborateurs à l'Université du WISCONSIN (U.S.A.).

3.2.2. Etude de l'infiltration colmatante en milieu non saturé.

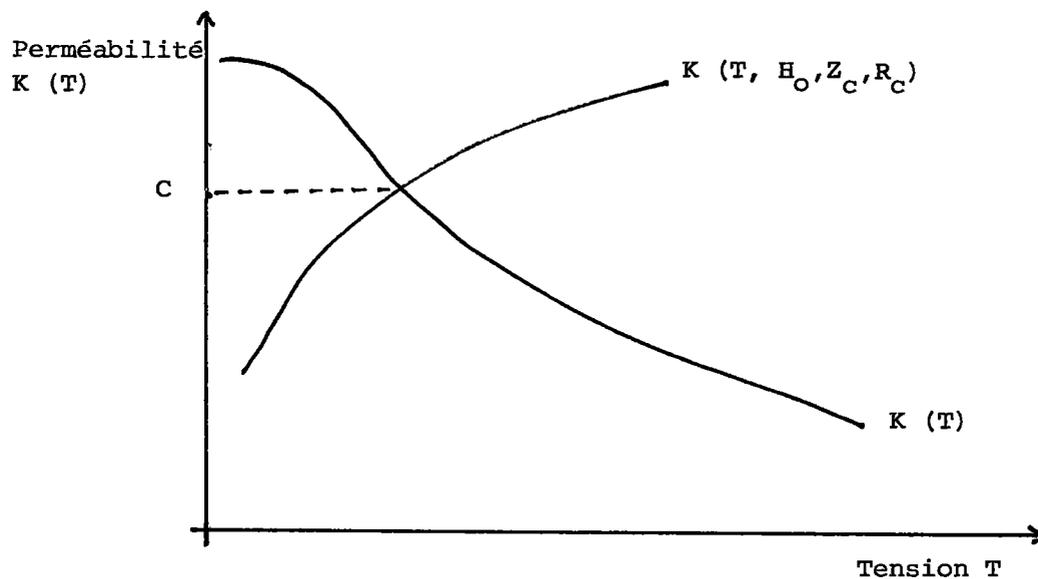
Le test de percolation effectué avec de l'eau claire après une période d'humectation permet de réaliser une mesure en conditions proches de la saturation.

Or, en conditions réelles comme on l'a vu précédemment, il se forme inévitablement en contact avec l'eau usée une croûte de colmatage au niveau de la surface d'infiltration . Celle-ci a une perméabilité faible, très généralement plus faible que celle du sol sous-jacent en condition saturée . Un débit important d'eau se traduira alors par la stagnation de celle-ci au-dessus de la croûte et la non saturation des gros pores non capillaires du sol puisque le débit ne sera plus assez important pour les conserver pleins.

Cette constatation a conduit BOUMA et des collaborateurs à tenter de remplacer le test de percolation par une détermination de la valeur de la conductivité hydraulique en milieu non saturé qui, pour un sol donné, correspond à la situation d'équilibre de l'épandage souterrain. Cette valeur représente en effet la charge hydraulique ef-

fectivement admissible. La description détaillée de cette méthode ayant été publiée (5, 6, 7), seules les grandes lignes en seront précisées ici.

La valeur de la **conductivité** hydraulique est déterminée graphiquement par l'intersection de deux courbes (voir § 2.2.3.)



C = charge hydraulique réellement admissible (ou valeur à prendre en compte pour dimensionner une installation).

- La courbe des variations de K en fonction de T ,

- La courbe
$$K = \frac{H_0 + Z_c + T}{R_c}$$

H_0 , Z_c et R_c sont des caractéristiques de l'épandage.

La première courbe est déterminée par la technique du "crust test" (traduit par "test de colmatage" ou "test à membrane") à laquelle il a été fait allusion précédemment : elle permet de caractériser le sol d'un site donné.

La deuxième courbe nécessite la connaissance de la lame d'eau stagnante H_0 supposée constante et les caractéristiques de la croûte colmatée (Z_c et R_c).

Cette approche est très séduisante car elle aboutit réellement à une mesure de la charge hydraulique de l'épandage et non à un classement du sol statistiquement corrélée à la charge. Pour cela, elle mérite d'être approfondie. Cependant, elle n'est pas encore réellement opérationnelle :

- la technique du "crust-test" est longue et très délicate à mettre en oeuvre * (beaucoup plus que le test de percolation pourtant déjà assez long).

- le tracé de la courbe $K = \frac{H_0 + Z_c + T}{R_c}$ pose diffé-

rents problèmes.

Dans cette présentation, H_0 est supposé constant, ce qui n'est pas le cas en pratique. De plus, il convient de tenir compte de l'infiltration latérale dans les tranchées.

D'autre part, la connaissance des caractéristiques de la croûte de colmatage est loin d'être suffisante actuellement pour en tirer des applications pratiques.

Il semble d'ailleurs que la nature du sol ait une influence importante : une structure grossière est peu favorable à l'installation d'une croûte de colmatage qui reste fragile tout particulièrement si des périodes d'arrêt de l'épandage sont observées. Si ce n'était pas le cas, des sols sableux seraient paradoxalement moins favorables à l'épandage que des sols argileux (puisque moins capables d'exercer une succion à travers la croûte du fait de leur microporosité réduite). Or, l'expérience montre que ce paradoxe n'est pas vérifié. D'autre part, les terrains argileux sont a priori plus sujets à une diminution de perméabilité par altération de la structure du sol.

./.

* Le BURGEAP et l'Institut National de Mécanique de GRENOBLE devraient probablement entreprendre prochainement la mise au point d'une méthode simplifiée.

3.3. NECESSITE ET CHOIX D'UNE MESURE DE LA PERMEABILITE.

On verra au chapitre 5 comment toute mesure de perméabilité doit être complétée par une étude pédologique, sous peine de risquer de sérieuses erreurs d'interprétation. A l'inverse, les observations pédologiques et les analyses de sol sont souvent insuffisantes à elles seules, car il est difficile d'y relier une appréciation fiable de la percolation à travers le sol.

Il faudra donc bien recourir à une mesure de la perméabilité. Les considérations précédentes nous conduisent à éliminer (du moins actuellement) les mesures en milieu non saturé. Mais, parmi les mesures en milieu saturé, quelle méthode choisir ?

- L'expérience a conduit les spécialistes du drainage à utiliser de moins en moins les mesures de perméabilité en laboratoire au profit de méthodes de terrain, à cause de la trop grande variabilité des résultats obtenus et de la lourdeur de l'opération. On peut penser qu'il en est de même pour l'épandage ; ce type de mesures semble en effet n'avoir jamais été proposé dans le cadre d'études préalables d'épandage.

- La méthode du double anneau est plus rigoureuse que la méthode de PORCHET (cf. § 2.3.1) mais elle est également longue et assez délicate (mise en place des anneaux). De plus, elle est sujette à des variations ponctuelles souvent aberrantes (risque de tassement de l'anneau central, sensibilité aux failles, surface de mesure faible ...). Ces difficultés conduisent à adopter la méthode de PORCHET, dont le "Percolation Test" américain n'est en fait qu'une application.

Son inconvénient, l'absence de signification théorique de K , est relativisé par les deux observations suivantes :

- cette méthode "simule" assez bien l'épandage en tranchée en prenant en particulier en compte l'infiltration horizontale par les parois laquelle est importante en valeur relative surtout pour les sols argileux [en particulier grâce à la microstructure

feuilletée (horizontale) des argiles (4)] .

- puisqu'il s'agit de toute façon plus d'un test de classement que d'une mesure, la rigueur de la définition du paramètre K a finalement une importance secondaire.

Aussi, plutôt que de chercher à remplacer le test de percolation par d'autres méthodes non éprouvées, il est apparu préférable de le perfectionner et de le compléter.

CHAPITRE 4 - LA PRATIQUE DES TESTS DE PERCOLATION

4.1. TESTS A NIVEAU VARIABLE ET A NIVEAU CONSTANT

4.1.1. Coefficient de perméabilité de PORCHET et coefficient apparent.

Nous avons vu précédemment (§ 2.3. et § 3.1) que la méthode de PORCHET pouvait être conduite de deux manières :

- * en conservant le niveau d'eau constant dans le trou de mesure (figure 1), K est alors donné par la relation

$$Q = K S \quad \text{avec} \quad Q \text{ débit de l'eau absorbé dans le trou et } S \text{ surface de contact humectée (} S = \pi R^2 + \pi R h \text{) .}$$

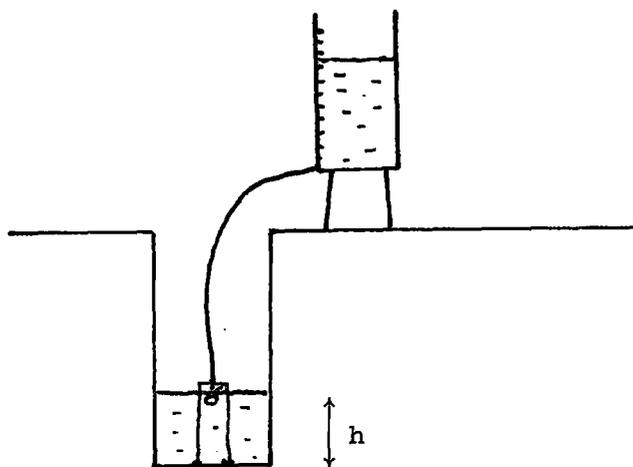


Fig. 1 : Test à niveau constant

< 2 R >

- * en laissant varier le niveau de l'eau dans le trou (figure 2), on a alors :

$$K = \frac{R}{2 (t_2 - t_1)} \operatorname{Ln} \frac{h_1 + \frac{R}{2}}{h_2 + \frac{R}{2}}$$

K est relié au coefficient apparent K_a

par la relation :

$$\frac{K}{K_a} = \frac{R}{2(h_1 - h_2)} \quad \text{Ln} \quad \frac{h_1 + \frac{R}{2}}{h_2 + \frac{R}{2}}$$

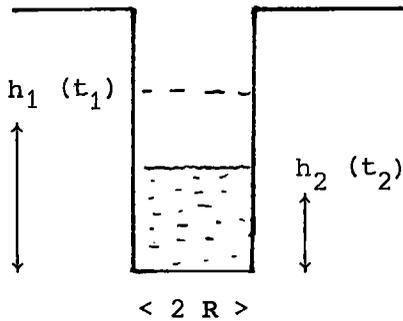


Fig. 2 : Test à niveau variable.

4.1.2. Critique de l'utilisation du coefficient apparent.

Seul K est une caractéristique intrinsèque du sol : K_a est aussi fonction du diamètre de trou de mesures et des hauteurs d'eau.

A partir de la procédure du "Percolation test", le tableau ci-après donne pour un sol de perméabilité $K = 0,05 \text{ cm/mn}$ (30 mm/h) les différentes valeurs de K_a obtenues pour des diamètres de trous variant de 10 à 30 cm (en respectant ainsi la procédure du "Percolation Test" (§ 31)) :

$$t_2 - t_1 = 30 \text{ mm}$$

$$h_1 = 15 \text{ cm}$$

2 R cm	10	15	20	25	30
h_2 cm	7,1	8,8	9,8	10,5	10,9
K_a	0,26	0,21	0,17	0,15	0,14

Le coefficient K_a présente donc l'inconvénient de varier d'un facteur 2 * indépendamment des caractéristiques du sol, ce qui

./.

* voire 3 ou plus si toutes les conditions du "Percolation Test" ne sont pas respectées : hauteur de départ h_1 supérieure à 15 cm, diamètre du trou de mesure supérieur à 30 cm...

augmente sensiblement l'imprécision de la mesure.

L'avantage pratique de K_a est la simplicité de calcul. Pour conserver cette facilité en exprimant tout de même les résultats des tests au moyen de K , il est possible d'utiliser le tableau A qui fournit les valeurs du rapport $100 \frac{K}{K_a}$ (facteur 100 nécessaire à l'allègement du tableau) pour une gamme de valeur de R , h_1 et $h_1 - h_2$.

Dans le cas de tests à niveau constant, le problème ne se pose pas puisqu'on obtient alors directement K .

4.1.3. Intérêt respectif de tests à niveau constant et à niveau variable.

Comme on le verra plus loin, la méthode du "niveau variable" a l'avantage de n'exiger qu'un matériel rudimentaire (§ 4.2.3.). Par contre, elle nécessite une activité constante pendant la durée d'humectation pour alimenter les trous de mesure en eau. De plus l'apport brutal et discontinu de l'eau, à peu près inévitable, est susceptible d'altérer la structure des sols fragiles (limons en particulier).

Si le travail est effectué avec soin, cette première méthode est valable et reste à la portée d'un service non équipé d'infiltromètres (§ 4.2.2.).

Le tableau B indique la correspondance entre K_a et K pour des conditions moyennes : diamètre du trou de 20 cm et intervalles de temps de mesure suivants :

K_a cm/mn	$t_2 - t_1$ mn	K_a	$t_2 - t_1$
$\leq 0,1$	30	0,5 à 1,4	10
0,1 à 0,5	20	> 1,4	5

D = 10 cm											D = 25 cm											D = 40 cm													
10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30			
$h_1 - h_2$											$h_1 - h_2$											$h_1 - h_2$													
22	19	16	14	13	12	11	10	9	8	8	2	41	36	32	29	27	25	23	21	20	19	18	2	53	48	44	40	37	34	32	30	29	27	26	2
27	20	17	15	14	12	11	10	9	9	8	4	44	39	34	31	28	26	24	22	21	19	18	4	56	50	46	42	39	36	33	31	29	28	26	4
32	25	21	18	15	14	12	11	10	10	9	6	48	42	37	33	30	27	25	23	21	20	19	6	59	53	48	44	40	37	35	32	30	29	27	6
	29	23	19	17	15	13	12	11	10	9	8	53	45	39	35	31	28	26	24	22	21	19	8	64	56	51	46	42	39	36	34	31	30	28	8
		27	22	18	16	14	13	11	10	10	12		50	43	37	33	30	27	25	23	22	20	10		61	54	49	44	41	37	35	33	31	29	10
			25	21	17	15	13	12	11	10	14			47	40	36	32	29	26	24	22	21	12			58	52	47	43	39	36	34	32	30	12
				24	19	17	14	13	10	11	16				42	37	33	29	27	23	23	23	16				55	50	45	41	38	35	33	31	14
					22	18	16	14	12	11	18				40	35	31	28	26	24	22	21	18					53	48	43	40	37	33	32	16
						21	18	15	13	12	20					38	34	30	27	25	20	20	20						51	46	42	39	36	33	18
							20	17	15	13	22						37	33	29	27	22	22	22							49	44	41	37	35	20
								19	16	14	24							36	31	28	24	24	24								46	42	38	24	
									18	15	26								34	30	26	26	26								44	40	26		
										18	28									33	28	28	28								43	28			

D = 15 cm											D = 30 cm											D = 45 cm													
10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30			
$h_1 - h_2$											$h_1 - h_2$											$h_1 - h_2$													
29	25	22	20	18	16	15	14	13	12	11	2	46	41	37	33	31	28	26	25	23	22	21	2	56	51	46	43	40	37	35	33	31	29	28	2
32	27	24	21	19	17	16	15	14	13	12	4	49	43	39	35	32	29	27	25	24	22	21	4	59	53	49	45	41	39	36	34	32	30	29	4
36	30	26	23	20	18	17	15	14	13	12	6	52	46	41	37	34	31	28	26	25	23	22	6	62	56	51	47	43	40	37	35	33	31	29	6
41	33	28	24	21	19	17	16	15	14	13	8	57	50	44	39	35	32	30	27	26	24	22	8	66	59	54	49	45	42	39	36	34	32	30	8
	38	31	26	23	20	18	17	15	14	13	10		54	47	42	37	34	31	29	27	25	23	10		63	57	51	47	43	40	38	35	33	31	10
		35	29	25	22	20	18	16	15	14	12			51	45	40	36	33	30	28	26	24	12			60	54	50	45	42	39	36	34	32	12
			33	28	24	21	19	17	16	14	14				49	43	38	34	31	29	27	25	14				58	52	48	44	41	38	35	33	14
				31	26	23	20	18	16	15	16				46	41	37	33	30	27	26	24	16					56	50	46	43	39	36	35	16
					30	25	22	19	17	16	18					44	39	35	32	29	27	26	18					54	49	45	41	38	36	18	
						28	24	21	19	17	20						42	38	34	31	29	20	20						52	47	43	40	37	20	
							27	23	20	18	22						41	36	33	30	22	22	22							50	46	42	39	22	
								26	22	19	24						39	35	32	29	27	24	24							48	44	41	24		
									25	21	26						38	34	31	29	28	26	26							47	43	26			
										24	28						37	33	30	27	27	27	27							46	42				

D = 20 cm											D = 35 cm											D = 50 cm													
10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30			
$h_1 - h_2$											$h_1 - h_2$											$h_1 - h_2$													
36	31	28	25	23	21	19	18	17	16	15	2	49	44	40	37	34	32	29	28	26	24	23	2	58	53	49	45	42	40	37	35	33	32	30	2
39	34	30	26	24	22	20	19	17	16	15	4	52	47	42	39	35	33	30	28	27	25	24	4	61	56	51	47	44	41	39	36	34	32	31	4
43	36	32	28	25	23	21	19	18	17	16	6	56	50	45	40	37	34	32	30	28	26	25	6	65	59	53	49	46	43	40	37	35	33	32	6
48	40	34	30	27	24	22	20	19	17	16	8	61	53	47	43	39	36	33	31	29	27	25	8	69	62	56	51	48	44	41	39	36	34	33	8
		42	35	31	27	24	22	20	19	17	10		58	51	45	41	37	34	32	30	28	26	10		66	59	54	50	46	43	40	38	35	34	10
			39	34	29	26	24	21	20	18	14			55	48	43	39	36	33	31	29	27	12			63	57	52	48	45	42	39	37	35	12
				37	32	28	25	23	21	19	16				52	46	42	38	35	32	30	28	14				60	55	50	46	43	40	38	36	14
					35	31	27	24	22	20	18					50	44	40	37	34	30	29	16					58	53	49	45	42	38	37	16
						34	29	26	23	21	20						48	43	39	35	33	30	18						56	51	47	44	41	38	18
							32	28	25	23	22						46	41	37	34	32	20							54	50	46	43	40	20	
								28	25	23	22							44	40	36	33	22								52	48	45	41	22	
									27	24	24								43	39	35	24									51	47	43	24	
										26	26									41	37	26									49	45	26		
											28										40	28									48	28			

TABLEAUX DONNANT LE RAPPORT $\frac{K}{K_a} \times 100 = \frac{D}{4(h_1 - h_2)} \times \text{Ln} \frac{h_1 + \frac{D}{4}}{h_2 + \frac{D}{4}} \times 100$

Permettant d'obtenir directement la valeur du coefficient de perméabilité K à partir de la mesure sur le terrain du coefficient apparent K_a

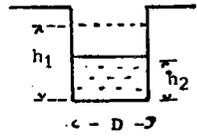


Tableau A.

"Perc. Rate" mn/pouce	Ka cm/mn	K	
		cm/mn	mm/h
50	0,05	0,010	6,3
36	0,07	0,015	8,9
25	0,1	0,022	13,1
12,5	0,2	0,045	27
8,3	0,3	0,072	43
6,3	0,4	0,104	62
5,0	0,5	0,143	86
3,6	0,7	0,175	105
2,5	1,0	0,245	172
1,7	1,5	0,38	230
1,3	2,0	0,57	342

Tableau B. Correspondance entre P(minutes/pouce) Ka (cm/minute) et K (cm/minute et mm/heure).

4.2. REALISATION DES TESTS

4.2.1. Trous de mesure.

4.2.1.1. Forage des trous.

Les trous doivent être de section régulière * et verticaux. Leur profondeur sera égale à celle des futures tranchées ou affleurer le niveau de sol décapé pour les lits filtrants (pour le cas des tranchées ouvertes, voir § 6.5.).

Les matériels les plus classiques sont la tarière à main (tarière à coquille ou à vrille) ou les différentes sortes de tarières mécaniques : moteur type "tronçonneuse" fixé sur la vrille, moteur relié à la vrille par un flexible ou bien encore, dans une autre gamme, les tarières montées sur véhicules utilisées pour les reconnaissances hydrogéologiques, ou montées sur tracteurs (tarières à poteaux)**.

4.2.1.2. Diamètre des trous.

La procédure américaine prévoit de forer des trous de 10 à 30 cm de diamètre. Si on mesure K et non Ka, le diamètre n'a pas vraiment d'importance. Il s'agit néanmoins d'une gamme raisonnable, la consommation d'eau étant un facteur rapidement limitant.

La pratique la plus courante, tant aux ETATS-UNIS qu'en FRANCE est de forer des trous de 15 cm de diamètre. Cette dimension est suffisante et réalisable avec une tarière à main.

4.2.1.3. "Finition" des trous de mesure.

Après forage, les trous doivent être apprêtés pour les mesures, ce qui demande une triple intervention :

- régalage au fond des trous.

./.

* Si la section n'est pas circulaire, il faut modifier le calcul de K du § 2.3.1.2.

** La tarière à flexible est d'un emploi commode et, de plus, elle peut être utilisée pour la reconnaissance pédologique, ce qui n'est guère possible avec la tarière "tronçonneuse" et la tarière à poteau (profondeur maximum d'environ 1,20-1,50). Bien que sensiblement plus coûteuse que cette dernière, elle reste un investissement justifié pour un Service ayant à effectuer fréquemment ce type d'interventions.

Le fond du trou creusé par la tarière est conique (fig.3) il convient de lui donner une forme cylindrique et enlever la terre qui s'y trouve (figure 4).

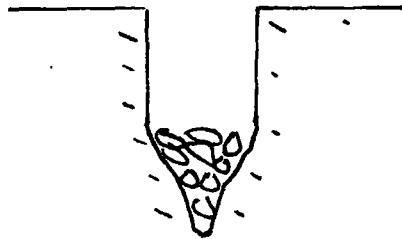


fig. 3

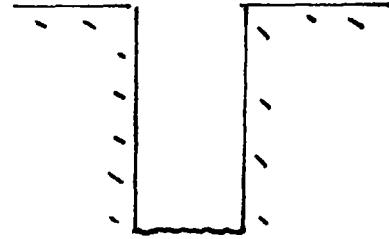


fig. 4

Pour régaler le sol en place, on pourra avoir recours à un plantoir et, mieux encore, à un appareil du type ci-dessous (figure 5), qui permet un travail rapide facile et efficace pourvu que l'on évite de tasser le sol au fond du trou.

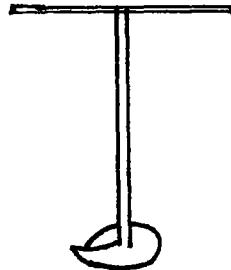


Fig. 5

- Scarification des parois.

La tarière lisse les parois du trou (surtout en sol humide et de texture argileuse ou limonoargileuse), réduisant ainsi artificiellement la perméabilité. Pour y remédier, il convient de gratter les parois au moyen de l'instrument ayant servi au régalinge du fond du trou.

- Mise en place d'une couche de graviers de un à quelques centimètres d'épaisseur au fond des trous apprêtés pour empêcher le tassement provoqué par la chute de l'eau. Ceci est, bien sûr, particu-

lièrement important pour les tests à niveau variable.

4.2.2. Infiltromètre à niveau constant.

En 1976, F. VIGUIE, Ingénieur Sanitaire à la D.D.A.S.S. d'Indre-et-Loire, a eu l'idée pour régler des problèmes d'assainissement individuel, d'effectuer des tests de percolation à niveau constant au moyen d'un dispositif de régulation utilisant un flotteur et un pointeau de carburateur automobile.

Un appareillage de ce type a été breveté et est actuellement commercialisé par un artisan d'Indre-et-Loire *. Cet appareil comprend (figure 6) :

- le régulateur de niveau d'eau,
- un réservoir de 20 l servant à l'humectation avant la mesure,
- un récipient cylindrique servant à la mesure du débit,
- une vanne double permettant d'alimenter le régulateur à partir du réservoir ou à partir du récipient cylindrique,

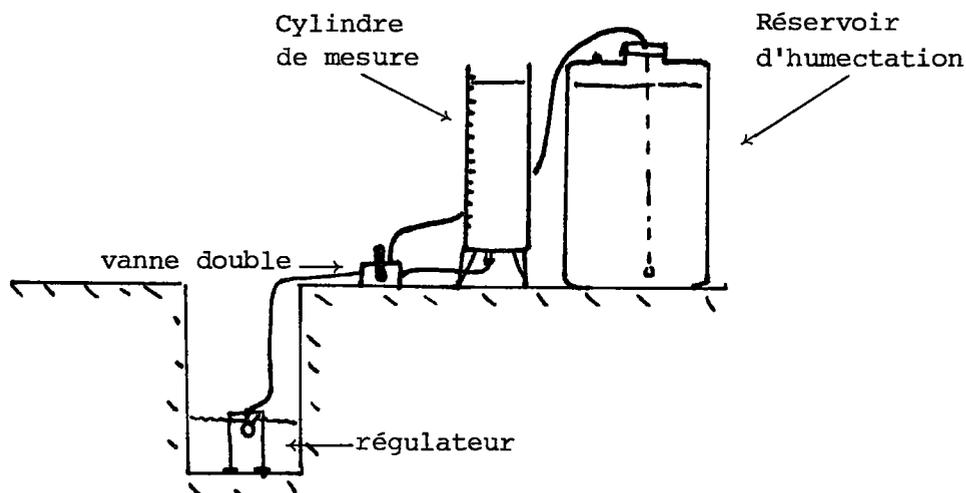


Fig. 6 Schéma de principe du dispositif de F. VIGUIE

* Pour tout renseignement s'adresser à F. VIGUIE Ingénieur-Sanitaire
D.D.A.S.S. Champgirault 37000 TOURS.

Tel qu'il a été conçu cet appareillage convient très bien pour de faibles perméabilités. Par contre, pour des perméabilités fortes, les pertes de charges induites par l'ouverture du cylindre, le siphon et la double vanne limitent trop le débit à travers le régulateur. C'est pourquoi le C.T.G.R.E.F. a modifié légèrement le dispositif en agrandissant l'ouverture du cylindre, en utilisant un réservoir à robinet bas et en éliminant la vanne.

4.2.3. Matériel utilisé pour la mesure à niveau variable.

Une règle graduée peut suffire. Le chronomètre (ou montre à trotteuse centrale) est bien sûr nécessaire au même titre que précédemment. (figure 7)

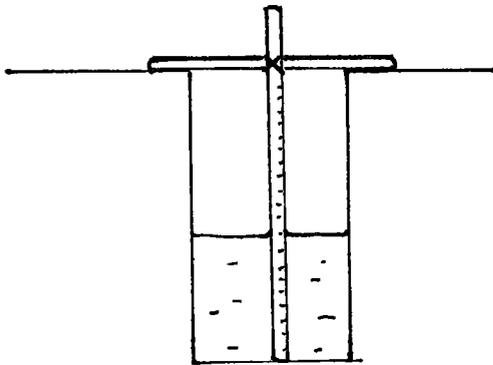


Fig. 7 Test à niveau variable :
disposition simple

Une amélioration peut être apportée par un dispositif à flotteur du type suivant (figure 8). Son seul défaut est d'être sensible au vent.

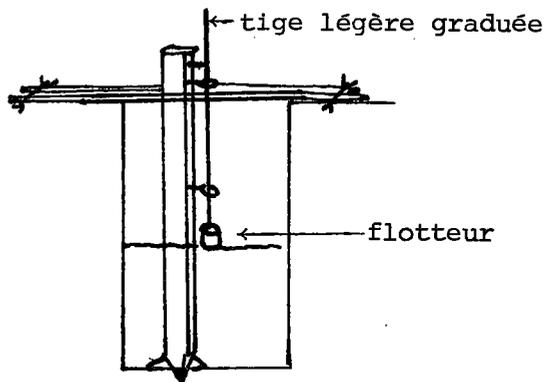


Fig. 8 Test à niveau variable
appareillage amélioré.

4.3. DUREE D'HUMECTATION ET NOMBRE DE TROUS DE MESURE.

D'après la procédure du "Percolation Test", il convient d'humecter les trous de mesure en y maintenant le niveau de l'eau à 30 cm au dessus du fond pendant 4 heures et si possible jusqu'au lendemain en période sèche. Le but de cette humectation est de créer des conditions de saturation et de permettre le gonflement des argiles.

Le nombre minimum de trous de mesure est fixé à 6 quelle que soit la surface du terrain concerné (ce test est utilisé en assainissement individuel mais aussi pour certaines collectivités : restaurants, campings,).

Les tests de percolation représentent une opération de terrain assez longue : il est donc souhaitable d'apprécier aussi précisément que possible la question de la durée minimale d'humectation nécessaire, ainsi que celle de la variabilité des résultats, donc du nombre de répétitions nécessaires.

La littérature est pour le moins peu abondante sur ces aspects. Les indications qui suivent sont tirées des résultats de mesures comparatives sur des séries de trous de mesures (18 à 36 trous) effectuées sur différents terrains (31), ainsi que de l'expérience acquise par ailleurs au C.T.G.R.E.F.

4.3.1. Durée d'humectation.

Le principal problème qui se pose est celui des tests effectués sur terrain sec (nécessité d'intervenir sur deux journées d'après la procédure américaine) ; or l'appréciation de la "période sèche" est délicate. De plus, une très longue humectation pose des problèmes pratiques d'approvisionnement en eau et les risques sont grands de laisser les trous se dessécher plusieurs heures. Or l'expérience montre que la réhumectation après un arrêt prolongé aboutit à des résultats souvent dispersés et difficiles à interpréter.

Par contre, la période de 4 h paraît être une durée acceptable pour plusieurs raisons :

- après 3 à 4 h, la perméabilité évolue très lentement.
- pendant les premières heures, les variations entre les trous de mesures d'un même terrain sont souvent très importantes. Cette variabilité diminue après 3-4 heures et semble se stabiliser (des mesures au bout de 6 heures n'ont pas montré de variabilité très différente de celle obtenue après 4 heures).
- cette durée est préconisée par des chercheurs de l'O.R.S.T.O.M. pour des mesures au moyen du double anneau de MUNTZ (34).
- enfin c'est une durée compatible avec les exigences d'une opération de terrain de routine.

Ainsi, on limitera la durée d'humectation à quatre heures, en considérant qu'il s'agit plus d'une "mise en conditions humides" que d'une re-crédation des conditions "hivernales".

En effet, la pratique montre aussi que la différence entre les conditions "estivales" et "hivernales" réside ^{surtout} dans les phénomènes d'hydromorphie saisonnière. Celle-ci, en l'absence de nappe, devra être appréciée par l'étude pédologique (chapitre 5).

4.3.2. Variabilité des résultats des tests. Nombre de trous de mesures.

La variation des résultats entre les mesures peut avoir plusieurs causes :

- existence d'un "accident" ponctuel : perméabilité extrêmement faible voir quasi nulle due à une zone compactée ponctuellement ou bien plus souvent, perméabilité "en grand" due à l'existence d'une galerie animale.

- hétérogénéité du sol visible à l'observation pédologique.

- microhétérogénéité sans explication apparente, que l'on peut qualifier de "variabilité intrinsèque".

L'interprétation des résultats de mesures nombreuses (31) effectuées sur des zones de sol homogène, et en éliminant les valeurs accidentelles, montre que le coefficient de variation est de 20 à 40 % et qu'il suffirait de 4 valeurs pour obtenir statistiquement cette variation qui reste d'ailleurs satisfaisante compte tenu des modalités de dimensionnement (voir chapitre 6).

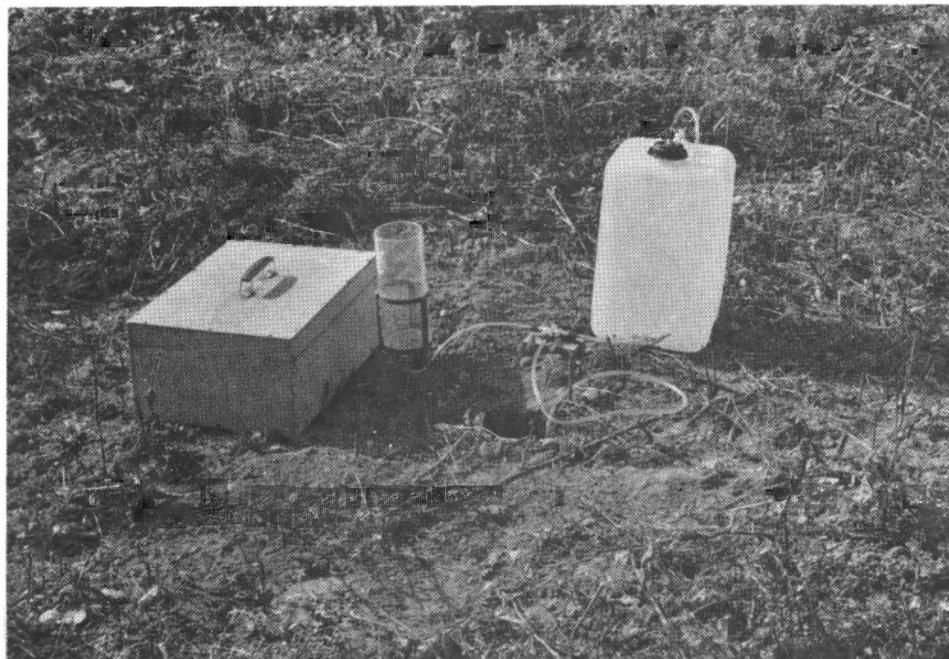
En prévoyant (prudemment) d'avoir à éliminer 2 valeurs sur une série de 6, on retrouve bien le nombre préconisé par la procédure américaine ; il est toutefois nécessaire de préciser qu'il s'agit là, de 6 mesures réalisées dans chaque zone homogène du point de vue pédologique.

Ainsi l'emplacement et le nombre des trous seront déterminés grâce à la reconnaissance pédologique.

Dans certains cas de terrains très hétérogènes, ainsi définis, la détermination de 3 zones bien différenciées nécessiterait ainsi de pratiquer 18 mesures ce qui est important. Il est alors possible de réduire ce nombre, sans descendre en dessous de 3 mesures par zone, surtout si la superficie totale destinée à l'épandage n'est pas trop importante (quelques milliers de m² au maximum).

Cas des sols très caillouteux :

La variabilité des résultats y est généralement beaucoup plus importante que dans les sols où les cailloux sont peu nombreux. Il est difficile de résoudre le problème simplement : les tests effectués sur de longues tranchées [méthode de MATSUO (§ 2312)] sont certainement plus adaptés mais très lourds à mettre en oeuvre. On devra en général se résigner à des valeurs moyennes très approximatives, qui doivent être interprétées avec prudence.

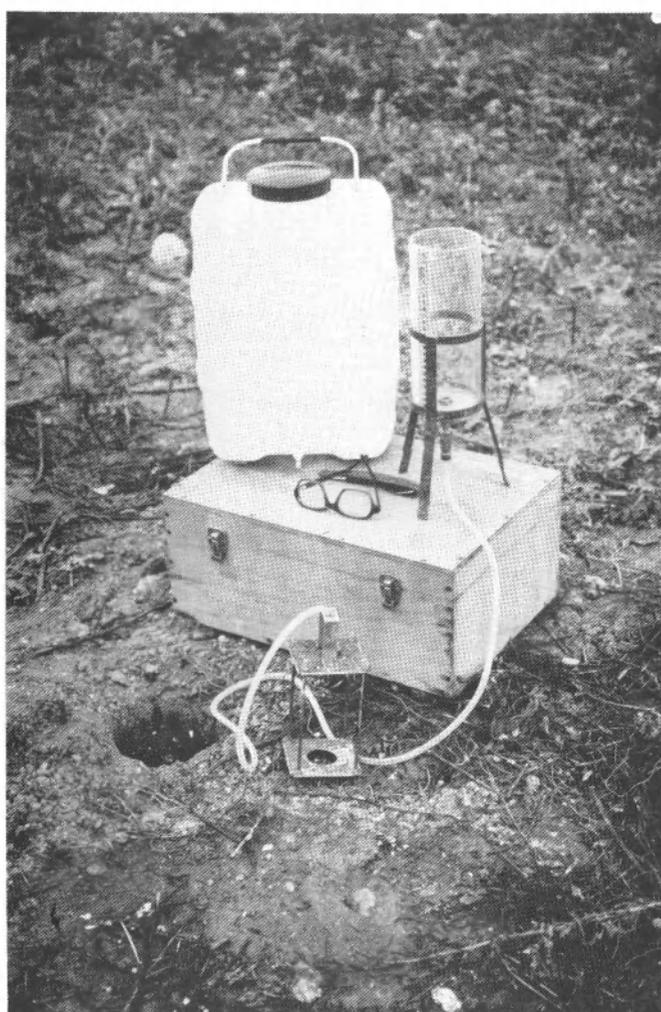


TESTS DE PERMEABILITE
A NIVEAU CONSTANT

Appareillage de Mesure

ci-dessus modèle de la D.D.A.S.S.
d'Indre-et-Loire

ci-contre : modèle modifié CTGREF



CHAPITRE 5 - LA RECONNAISSANCE PEDOLOGIQUE

L'attention qui est portée ici à l'étude du sol ne signifie pas que la connaissance du sous-sol, en particulier sur le plan de l'hydrogéologie, est à négliger, bien au contraire. Cet aspect est d'ailleurs généralement bien pris en compte grâce à l'intervention d'un géologue agréé.

Par contre, dans le cadre de l'assainissement de petites collectivités, il est généralement difficile de faire réaliser par un pédologue, une étude du sol en vue de son aptitude à l'épandage.

Si la reconnaissance pédologique représente un complément indispensable aux tests de percolation, les observations à effectuer ne sont pas nécessairement très complexes. Le recours aux services d'un spécialiste est certainement une garantie, probablement nécessaire pour des études de cas complexes (caractérisation de sols d'une commune dans son ensemble, cartographie régionale) ; par contre, dans les cas les plus courants où il s'agit d'apprécier l'aptitude d'un site précis à l'épandage, quelques observations assez simples pourront permettre à l'Ingénieur responsable de l'opération d'éviter des erreurs grossières conduisant au mauvais fonctionnement des installations d'épandage.

5.1. SONDAGES ET FOSSES D'OBSERVATIONS

Les observations seront effectuées avant la mise en place des trous de mesures de la perméabilité (§ 4.3.2.). Il est nettement préférable, surtout pour des non-spécialistes, de ne pas se contenter des sondages à la tarière, mais de creuser quelques fosses d'observations.

Dans la mesure du possible, il vaut mieux les effectuer à l'aide d'une pelle mécanique ce qui, non seulement épargne temps et peine, mais permet de multiplier le nombre de fosses sur un terrain hétérogène et aussi de creuser profondément (2,50 à 3 m si nécessaire).

La superficie à étudier représente quelques milliers de m² (un hectare au maximum) dans la grande majorité des projets d'épandage

pour de petites communautés.

Pour ces cas, il convient de creuser au minimum une à deux fosses, complétées par des sondages à la tarière jusqu'à 2 m environ (jusqu'au roc ou à la nappe s'ils sont moins profonds).

5.2. NATURE DES OBSERVATIONS A EFFECTUER

Sur chaque profil, fosse ou sondage à la tarière, on fera les observations suivantes :

5.2.1. Épaisseur de sol.

C'est la profondeur d'apparition de la roche : pragmatiquement, on considérera comme "sol" toute l'épaisseur de matériau meuble susceptible de filtrer efficacement les eaux usées - sans entrer dans les distinctions pédologiques entre "sol" et "roche mère".

Si une nappe est présente on se limite bien sûr à son niveau d'apparition ; le cas échéant, il faut noter si la roche rencontrée est perméable (craie ...) ou non (roche cristalline).

5.2.2. Caractérisation et différenciation des horizons.

Il est important de distinguer les différents horizons du sol en notant quelques caractéristiques importantes :

- texture : elle peut être appréciée par l'impression tactile et par l'analyse. Au moment des observations, on s'attachera à percevoir les variations plutôt que les teneurs en valeur absolue.

- présence de cailloux plus ou moins abondants

- compacité estimée en testant la paroi d'une fosse avec un couteau, ou à la rigueur en observant les agrégats de sols sur les échantillons prélevés à la tarière.

- couleur : c'est un bon indicateur de différenciation de couche (la question des "bigarrures" sera étudiée au § suivant).

Ces caractéristiques ne s'observent pas successivement mais simultanément, se complétant entre elles. Par exemple, une différence de couleur peut confirmer l'impression tactile d'une variation de texture ; la différence de compacité en sera une autre confirmation.

Là encore, il n'est pas question pour un non-spécialiste de recourir à la terminologie précise des pédologues ni de quantifier ces caractéristiques *. Ce qui importe avant tout c'est d'être capable d'apprécier les variations entre horizons et ce qui laisserait supposer une rupture de la perméabilité que ne prend pas nécessairement en compte le test de percolation.

5.3. L'HYDROMORPHIE TEMPORAIRE ET LES "BIGARRURES".

Quand il existe une nappe permanente, il n'y a évidemment aucune difficulté spéciale pour la mettre en évidence. La remontée d'eau peut aussi être due à l'élévation saisonnière d'une nappe phréatique en bord de rivière : il s'agit là encore d'une situation assez facile à mettre en évidence.

Par contre, lorsqu'il s'agit d'une nappe perchée temporaire due à la présence d'un horizon imperméable à relativement faible profondeur, il convient de porter particulièrement attention aux observations et tests de perméabilité effectués en période sèche **.

Les sols riches en oxyde de fer (cas le plus courant, en particulier celui des limons des plateaux), réagissent à ce phénomène d'alternance de l'hydromorphie par l'apparition très caractéristique de "bigarrures" variant du gris au rouge brique en passant par diverses teintes rouges et oranges. Ces variations colorées contrastent avec la couleur unie des sols sains. Le phénomène est dû à la migration du fer à

./.

* Toutefois une analyse texturale faite par un laboratoire d'analyse de sol complètera utilement les observations et impressions tactiles du terrain.

** Cette période est décalée par rapport à la pluviométrie et va de juin-juillet à novembre-décembre dans les conditions climatiques moyennes de la France.

l'état ferreux (relativement soluble) en période d'immersion et à sa fixation sous forme ferrique (très peu soluble) en conditions aérobies.

Quant les taches de couleur rouille et les concrétions ferrugineuses sont de petites dimensions et peu nombreux et que la couleur de fond est brune, la présence de la nappe est de courte durée. Par contre si la couleur des taches rouilles contraste nettement avec un fond grisâtre (décoloré par la migration des oxydes), cela traduit une stagnation d'eau prolongée défavorable à l'épandage.*

Il convient d'insister sur ces observations : beaucoup d'échecs d'installations d'assainissement individuel pour lesquelles avaient été réalisés des tests de percolation (notamment aux U.S.A.) auraient sans doute été évités si elles avaient été effectuées.

5.4. PENTE DU TERRAIN

D'après certains auteurs (BERNHARDT dans 19), la pente maximale d'un terrain d'épandage doit être fixée à 15 %. Il semble que cette limite dépende en pratique des caractéristiques du terrain : si le résultat du test est très favorable ($K > 150$ mm/h) et qu'il n'existe pas d'horizon imperméable sous-jacent, la pente pourra atteindre voire peut-être dépasser 20 %.

Par contre, si le résultat du test montre une perméabilité faible (K inférieur à 20 mm/h) ou lorsqu'il existe une couche très peu perméable à moins de 1 m, il paraît prudent de ne pas dépasser 10 %. De même, si le sol s'approfondit en aval de la parcelle, la situation sera plus favorable que dans le cas contraire.

5.5. PERMEABILITE ET CARACTERISTIQUES PEDOLOGIQUES

Il est tentant de chercher à remplacer les tests de percolation par une caractérisation pédologique (observation ou analyse). Le paramètre auquel on pense tout naturellement est la texture. Cependant, il s'agit là d'un mauvais indicateur. En effet, la correspondance entre texture et perméabilité est valable pour certains cas simples : sables, argile plastique compacte, mais elle ne l'est plus dans beaucoup de cas.

./.

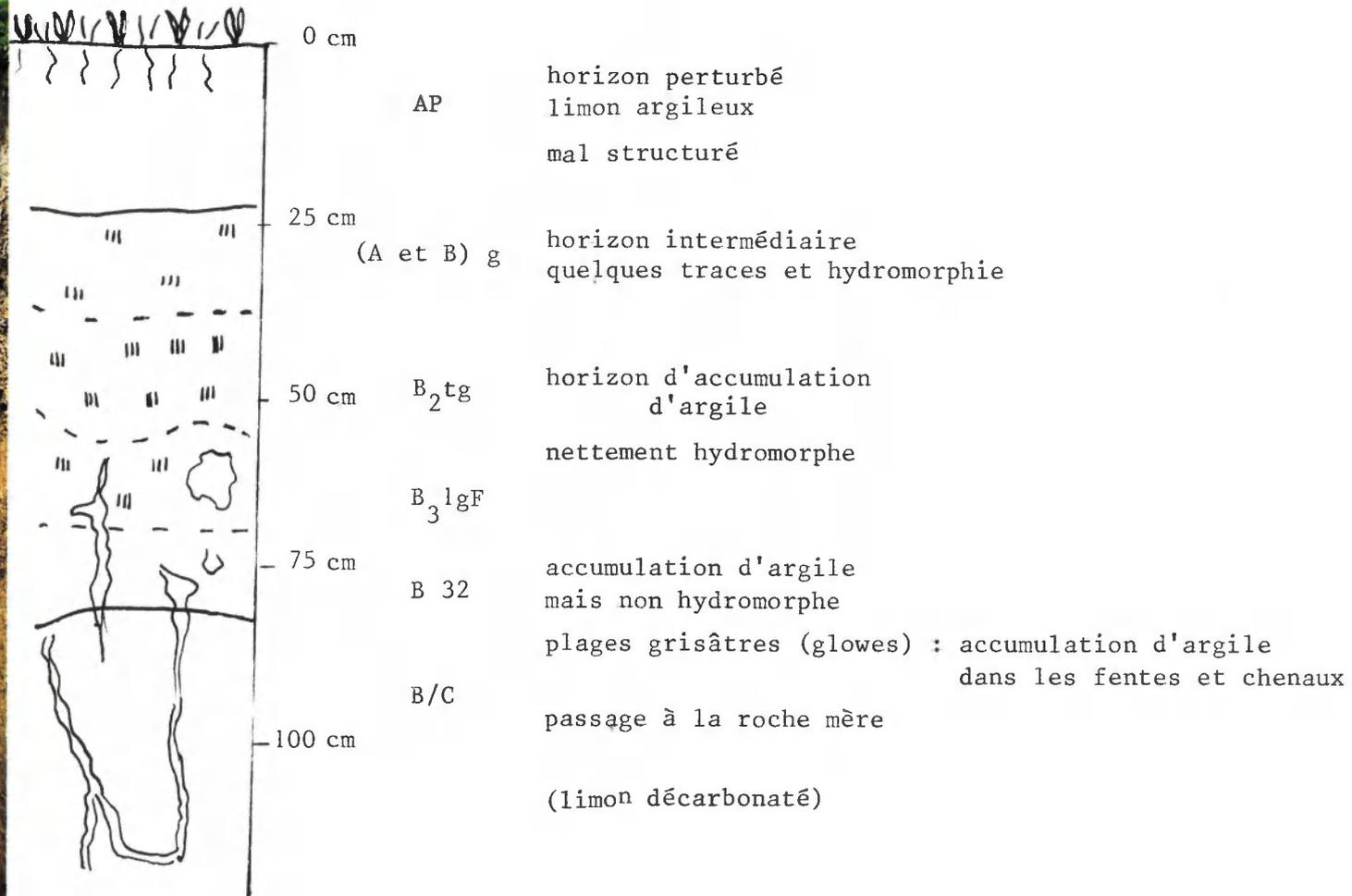
* Ces bigarrures sont parfois d'origine "fossile" et dues au remaniement d'un ancien sol. On les trouve alors dans des zones colluvionnaires, généralement peu sujettes à l'hydromorphie. Ces bigarrures ne s'arrêtent pas à un niveau précis comme lorsqu'il s'agit d'une véritable hydromorphie temporaire actuelle.

Un sol argileux bien structuré a une perméabilité supérieure à celle d'un limon à teneur en argile beaucoup plus faible ; à l'opposé, certains sols sableux comportant une fraction assez minime d'argile ont une faible perméabilité quand ils sont humectés.

En fait, la perméabilité est plutôt à relier à la structure du sol qu'à sa texture.

Malheureusement, la structure n'est pas quantifiable globalement *, c'est pourquoi nous n'avons pas insisté sur son observation au § 52. : le test de percolation paraît donc nécessaire en l'état actuel de la pratique et malgré ses imperfections.

* Les tests de HENIN quantifient la stabilité de la structure, mais non la structure elle-même.



Sol lessivé glossique hydromorphe
traces d'hydromorphie temporaire marquée dès 40 cm.

CHAPITRE 6 - DIMENSIONNEMENT DES EPANDAGES

Des textes réglementaires et des cahiers techniques provenant pour la plupart d'Amérique du Nord, fournissent des courbes et des tableaux permettant d'établir le dimensionnement des installations d'épandage souterrain au moyen des résultats de tests de perméabilité. Ces règles ont été critiquées et précisées à partir de vérifications expérimentales et sur le terrain. A notre connaissance, aucune règle n'a encore été établie pour l'épandage en tranchée superficielle.

Après avoir présenté les principaux résultats publiés jusqu'à présent, le présent chapitre décrira des améliorations et les compléments qu'il semble possible d'apporter actuellement compte tenu de l'expérience acquise par le C.T.G.R.E.F.

6.1. LES PRINCIPALES REGLES DE DIMENSIONNEMENT

Parmi les différentes règles, seront retenues celles qui paraissent les plus intéressantes, étant fondées sur une pratique importante et éventuellement complétées par des mesures de laboratoires.

6.1.1. Les données du "Manual of Septic Tank Practice" *

Ce document publié en 1959 est sans doute à l'origine des réglementations appliquées dans de nombreux Etats américains (en particulier la codification de l'Illinois citée dans (1)).

Il distingue le cas de l'assainissement individuel et celui de l'assainissement "collectif" : "Institutions, aires de loisirs et autres établissements".

./.

* désigné dans ce qui suit par les initiales MSTP.

6.1.1.1. Assainissement individuel.

Vitesse de percolation apparente (Ka) cm/mn	Surface de tranchée (m2) par chambre à coucher *	Vitesse de percolation apparente (Ka) cm/mn	Surface de tranchée (m2) par chambre à coucher *
≥ 2,5	6	0,25	15
1,3	8	0,17	17
0,8	9	0,08	23
0,6	10	0,06	27
0,5	11	0,04	30

Cette règle tient compte de la présence d'un broyeur d'évier et d'un lave linge par habitation.

Les dimensions indiquées correspondent à la surface du fond des tranchées.

6.1.1.2. Assainissement "collectif".

La règle de dimensionnement est la suivante :

$$Q = \frac{5}{\sqrt{t}} \quad \text{avec} \quad Q = \text{charge hydraulique admissible en gallons US/pied}^2$$

$$\text{et } t = \text{"Percolation Rate"} = \frac{1}{Ka} \text{ en mn/pouce}$$

en unités métriques, cette relation devient :

$$Q = 128 \sqrt{Ka} \quad Q \text{ en l/m}^2$$

K en cm/mn.

Cette règle ne prend pas en compte la présence de broyeur d'évier et de machine à laver. Elle conseille d'augmenter la surface nécessaire de fond de tranchée de 20 à 40 % quand un de ces appareils est présent, et de 60 % si les deux sont utilisés.

./.

* Une chambre à coucher correspond en principe à deux habitants.

6.1.2. Données de BERNHARDT.

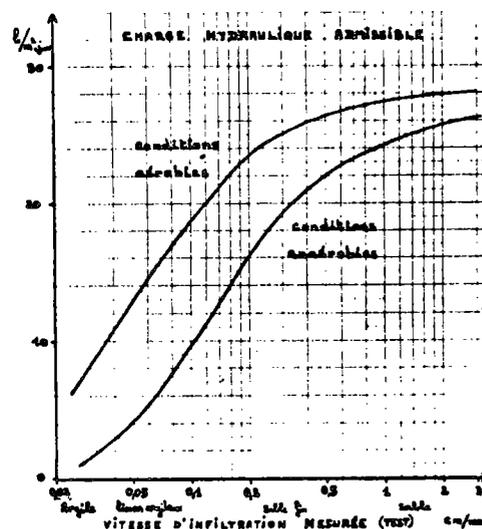
Publiées dans "Wastewater Treatment systems for Rural communities" de S.N. GOLDSTEIN et W.J. MOBERG (19), elles proviennent d'enseignements pratiques et d'expérimentations réalisées dans la province canadienne de l'Ontario.

Reprises dans l'Information Technique du C.T.G.R.E.F. de 1975 (10), elles permettent de calculer la surface d'infiltration nécessaire pour un épandage souterrain.

Il est clair que la vitesse réelle d'infiltration de l'effluent pour une installation destinée à fonctionner sur une longue période est nettement inférieure à celle qui est obtenue par le test normalisé qui précède (eau propre, courte durée). Pour déterminer la surface d'infiltration nécessaire, il faut tenir compte de la perméabilité du sol, du caractère aérobie ou anaérobie de l'évolution des effluents dans le sol, et de la qualité des effluents à infiltrer.

- 1) – En l'absence d'expérimentation locale dans les mêmes conditions, on se reportera au graphique qui permet de passer de la vitesse mesurée par le test à la charge hydraulique réellement admissible C (en litres par mètre carré de terrain et par jour), en ne tenant pas compte de l'évapo-transpiration souvent faible.

Une des limitations essentielles au pouvoir absorbant du sol est le colmatage des pores. Ce dernier dépend de l'effluent, de l'évolution qu'il subit en percolant, et en particulier du développement des microorganismes. C'est pourquoi le graphique distingue le cas d'un épandage anaérobie et celui d'un épandage aérobie, qui exige moins de superficie mais de grandes précautions d'installation et d'entretien pour permettre une bonne pénétration de l'air au niveau du drain.



- 2) – Pour tenir compte de la charge en matières minérales ou organiques de l'effluent, on affecte le débit journalier de l'effluent à infiltrer D (en litres/jour) d'un coefficient k qu'on prend égal au rapport $\frac{DBO + MES}{120}$ si celui-ci est supérieur à 1, ou à 1 dans le cas contraire.

nota : DBO = concentration moyenne de la DBO en mg/l
MES = concentration moyenne des MES en mg/l

On obtient alors finalement la surface d'infiltration nécessaire A, à prendre en compte pour dimensionner l'installation par : $A = \frac{kD}{C}$ (en mètre carré)

- 3) – Notons enfin qu'il semble illusoire de vouloir utiliser un épandage souterrain si le test de percolation a fourni une vitesse inférieure à 0,03 cm/mn. Pour des vitesses de l'ordre de 0,1 cm/mn, il sera bon de s'assurer une possibilité d'extension éventuelle du système à l'issue d'une période initiale d'expérimentation.

6.2. DIFFICULTES D'EMPLOI

Les règles précédentes présentent un certain nombre de limites et sont, de plus, difficilement comparables.

6.2.1. Limites de ces règles.

6.2.1.1. Ces données concernent exclusivement l'épandage souterrain et passent sous silence l'épandage en tranchées ouvertes.

6.2.1.2. Elles s'intéressent particulièrement à l'assainissement des habitations unifamiliales ou des établissements collectifs : hôtels, restaurants, campings, écoles et ne semblent pas viser directement les groupes d'habitations indépendantes telles les communes rurales, hameaux ou lotissements (avec réseaux d'assainissement collectif)....

6.2.1.3. Elles ne font pas la distinction, pourtant essentielle (en traitement collectif) entre l'habitat à caractère permanent et l'habitat à caractère saisonnier (en particulier estival).

6.2.1.4. Elles ne prennent directement en considération que le résultat du test de percolation, sans tenir compte pour le dimensionnement des conditions pédologiques plus ou moins favorables (hydromorphie).

6.2.1.5. Elles ne tiennent pas compte des limites de l'épuration réalisée par le sol et s'en tiennent à la considération de la perméabilité du sol, donc à l'évacuation sans nuisance apparente due aux eaux usées ; tout au plus existe-t-il des remarques d'ordre qualitatif sur les sols crevassés, perméables en grand.

6.2.2. Comparaison des règles de dimensionnement.

La comparaison des résultats obtenus à partir des différentes approches est rendue délicate par un manque de précision et

d'homogénéité.

6.2.2.1. Unités de dimensionnement.

La base du dimensionnement est exprimée en surface par habitant (ou par "chambre à coucher" : 2 habitants), ou encore en terme de charge hydraulique admissible (hauteur d'eau par jour ou volume d'eau par unité de surface et par jour). Le passage de l'une à l'autre de ces expressions ne poserait pas de problème si le volume d'eau usée produit par un habitant de référence n'était pas aussi variable: de 285 à 380 l (75 à 100 US gal), valeur standard de ^{la} réglementation américaine, jusqu'à 110-130 l, production effective moyenne d'un habitant français (35) dans de bonnes conditions de confort.

6.2.2.2. Superficie de référence.

Les lits filtrants ne posent pas de problème : la surface d'infiltration est, à peu de chose près, celle du lit. Par contre les tranchées filtrantes (épandage souterrain) sont soit dimensionnées par rapport à la surface du fond, soit par rapport à la surface " potentiellement" en contact avec l'eau usée : fond et parois, sans préciser clairement quelle est la hauteur de paroi à prendre en compte.

6.2.2.3. Qualité de l'effluent à épandre.

Le M.S.T.P. ne prend en compte que les effluents de fosses septiques. Les coefficients de correction proposés par LAAK (24) et BERNHARDT (19) correspondent à une approche du problème en quelque sorte inverse. Pour le premier la "référence" est l'effluent de fosse septique, une "bonification" étant apportée pour un effluent mieux épuré ; pour le second, la référence est au contraire l'effluent de type "secondaire" de station biologique (ou traitement équivalent).

Enfin, certaines règles tiennent compte de la présence de broyeurs d'évier et de machines à laver le linge ; d'autres ne donnent aucune précision sur la présence ou l'absence de ces installations.

6.2.3. Éléments pour une comparaison.

Pour permettre en particulier la comparaison des données du M.S.T.P. et de BERNHARDT, il est nécessaire de résoudre les difficultés précédentes.

6.2.3.1. Surface d'infiltration des tranchées et des lits filtrants.

Pour apprécier la surface d'infiltration efficace d'une tranchée, il faudrait connaître les parts relatives prises par les parois et le fond dans l'infiltration de l'eau usée. Or, seule une étude expérimentale longue et délicate permettrait d'apprécier la différenciation topographique du colmatage sous l'influence de la variation de la hauteur d'eau et des caractéristiques des sols et des effluents. BOUMA et ses collaborateurs ont abordé ce type d'étude (6) mais, semble-t-il, sans le développer suffisamment pour répondre à la question posée.

Aussi, on se contentera pour établir l'équivalence entre les lits filtrants et les tranchées des observations suivantes :

- compte tenu de la gamme de largeur et de l'écartement prescrits pour les tranchées (§ 6.3.), à superficie de terrain égale, un lit filtrant présente une surface d'infiltration supérieure aux tranchées, même en attribuant un rôle important aux parois de ces dernières. L'équivalence recherchée ne sera donc pas établie sur l'identité des superficies occupées.
- Cependant, à l'inverse, la surface du lit ne doit pas être égale à celle du fond des tranchées, en ne tenant ainsi pas compte du rôle des parois.

On adoptera donc une règle empirique moyenne, en posant l'équivalence : un mètre carré de lit filtrant correspond à 0,6 m² de surface de fond de tranchée.

On attribuera ainsi à une tranchée moyenne de 60 cm de large une surface d'infiltration de un mètre carré par mètre linéaire.

6.2.3.2. Prise en compte de la présence de lave linge

Le M.S.T.P. donne le dimensionnement des installations collectives en précisant que, en présence de machines à laver, il faut augmenter la surface d'infiltration de 40 % ce qui revient à diminuer la charge hydraulique de 30 % environ.

Les chiffres de BERNHARDT concernant à la fois l'assainissement individuel et l'assainissement collectif, on peut raisonnablement supposer qu'ils prennent en compte la présence de machines à laver.

6.2.3.3. Coefficient de qualité.

Le coefficient de qualité pour l'effluent $q = \frac{MES + DBO_5}{120}$ peut être fixé à 2 compte tenu des caractéristiques de rejet des fosses septiques "toutes eaux" utilisées aux U.S.A.

6.2.3.4. Courbes "aérobies et anaérobies".

La distinction de ces deux cas n'est pas établie par le M.S.T.P. Les conditions habituelles de réalisation et de fonctionnement des épandages souterrains sont plutôt "anaérobies".

Ces hypothèses et ces remarques permettent de présenter sur le graphique de la figure 9, la comparaison entre les deux dimensionnements. Les valeurs du M.S.T.P. ont été multipliées par $0,6 \times 0,7 = 0,42$ (respectivement corrections de la surface de référence et de la présence de machines à laver).

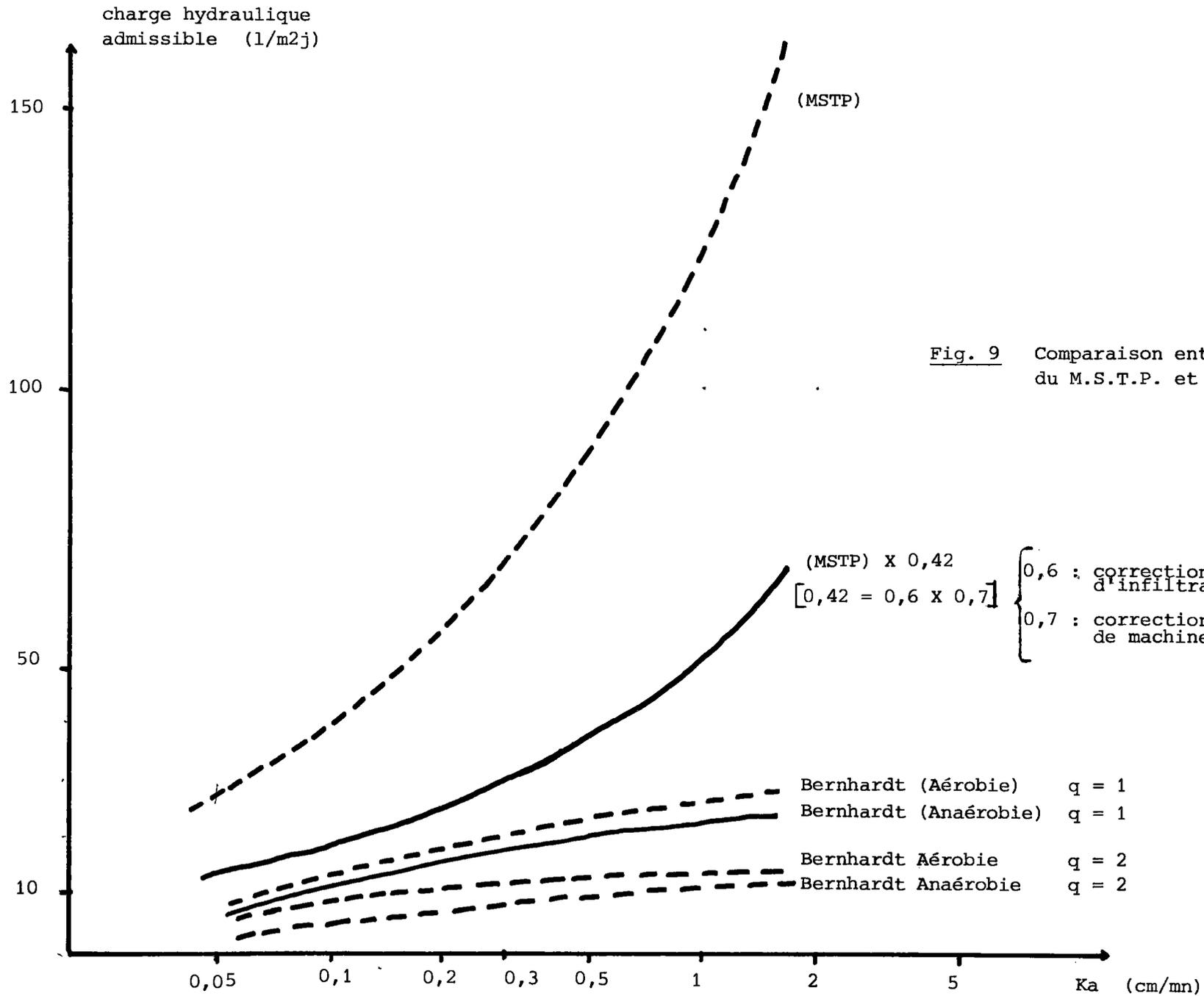


Fig. 9 Comparaison entre les données du M.S.T.P. et celles de BERNHARDT

{ 0,6 : correction de la surface d'infiltration de référence.
 { 0,7 : correction pour la présence de machine à laver.

Il apparaît que le dimensionnement de BERNHARDT est bien plus pessimiste, surtout pour les fortes perméabilités. Nous reviendrons sur cette constatation au § 6.4.

6.3. EPANDAGE EN ASSAINISSEMENT UNIFAMILIAL

Dans le cas de l'assainissement unifamilial, il n'y a pas lieu pour des raisons sanitaires et psychologiques d'envisager le cas des tranchées ouvertes, ni pour des raisons de sécurité à terme de distinguer les résidences permanente et temporaire *.

Le tableau de dimensionnement suivant a été proposé dans une récente note technique du C.T.G.R.E.F (12). Il concerne le cas d'un logement comprenant deux chambres à coucher et rejetant 500 litres d'eaux usées par jour ; il précise également quelques dispositions constructives.

On notera que l'équivalence entre le lit filtrant et la tranchée est celle proposée au § 6.2.3.1., et que l'hydromorphie du sol module le dimensionnement obtenu par le test de perméabilité.

./.

* Une maison individuelle peut toujours passer d'une utilisation estivale à une utilisation permanente. Le raisonnement serait différent pour les collectivités.

Perméabilité K... (mm/h) Hydromorphie	500 à 50	50 à 20	20 à 10	10 à 6
	sol perméable	sol assez perméable	sol médiocre	sol très peu perméable
sol bien drainé, pas de nappe superficielle sensible	25 m ² de lit, ou 15 m ² de tranchées	25 m ² de tranchées de 60 à 75 cm de profondeur (ou à défaut, 45 m ² de lit)	40 m ² de tran- chées de 60 cm de profondeur	60 m ² de tranchées peu profondes (50 cm). Réserver une possibilité d'extension.
sol moyennement drainé, niveau haut de la nappe 1 m - 1,50 m (*)	35 m ² de lit, ou 20 m ² de tranchées de 60 cm de profondeur	30 m ² de tranchées de 60 cm de pro- fondeur	50 m ² de tran- chées de 60 cm de profondeur	
sol assez mal drainé, niveau haut de la nappe 50 - 100 cm (*)	Tertre d'infil- tration couvrant 30 m ²	30 m ² de tranchées de 50 cm de pro- fondeur et drainage du sous-sol (ou tertre d'infiltra- tion couvrant 50 m ²)	50 m ² de tran- chées de 50 cm de profondeur et drainage du sous-sol, ou tertre d'infil- tration couvrant 80 m ²	

Ces dimensions se rapprochent de celles proposées par le M.S.T.P. qui se réfère aux habitants et non au volume d'eaux usées pour l'assainissement unifamilial (jusqu'à 12 habitants).

On peut adjoindre à ce tableau, les dispositions suivantes précisant les distances minimales entre axes des tranchées en fonction de leur largeur, qui restent valables pour l'épandage collectif.

./.

* Par rapport au niveau du sol en place.

Note : Pour les tranchées, la superficie prise en compte est celle du fond de tranchée.

Pour $K < 6$ mm/h, l'épandage souterrain est fortement déconseillé dans le sol en place.

Largeur des tranchées (m)	Distance minimum entre les axes de deux tranchées successives (m)
0,30 - 0,45	1,80
0,45 - 0,60	1,95
0,60 - 0,75	2,10
0,75 - 0,90	2,25

d'après le "Manual of Septic Tank Practice".

Ceci revient à préconiser que la distance bord à bord entre tranchées soit au minimum de 1,35 à 1,50 m.

$$\text{Le coefficient } q = \frac{\text{DBO} + \text{MES}}{120} \text{ de BERNHARDT}$$

a été abandonné car il paraît mal adapté pour deux raisons :

- . la référence à la fosse septique est préférable à la référence à la microstation.
- . ce coefficient module linéairement la valeur de la charge hydraulique alors que la perméabilité n'intervient en pratique que par sa valeur logarithmique (§ 6.1. et 6.2.). Or, au niveau d'une étude préalable, cette valeur de q est certainement encore plus difficile à apprécier que la perméabilité.

Au besoin, et à défaut d'autres indications, il serait préférable d'adopter le coefficient bonificateur de LAAK

$$q_L = 3 \sqrt{\frac{\text{DBO} + \text{MES}}{250}} \text{ appliqué à la superficie d'épandage quand}$$

le terrain reçoit un effluent de qualité supérieure à celui d'une fosse septique (toutes eaux).

Cette bonification restera assez faible comme l'indique le tableau suivant, à moins que l'effluent à épandre soit d'excellente qualité :

M.E.S. + D.B.O. (mg/l)	q_L
250 (ou +)	1
105	0,75
72	0,66
31	0,50

Des vérifications effectuées aux U.S.A. et en ONTARIO ont conduit certains praticiens à n'admettre qu'une diminution de 25 % de la surface d'épandage ce qui correspondrait à un effluent caractérisé par la somme $D.B.O._5 + M.E.S. = 105 \text{ mg/l}$.

Notons tout de même que ces formules pèchent par simplification en semblant ignorer l'aspect qualitatif de la charge polluante.

6.4. EPANDAGE SOUTERRAIN COLLECTIF

La comparaison entre les données du M.S.T.P. et de BERNHARDT (§6.2.3.), les critiques formulées par certains auteurs (8, 18, 24) ainsi que l'expérience acquise conduisent à faire quelques observations et à proposer de nouvelles règles de dimensionnement.

6.4.1. Observations.

- La distinction entre épandage "aérobie" et "anaérobie" a sans doute des fondements théoriques mais la pratique ne semble pas, actuellement du moins, confirmer son intérêt.

- L'utilisation des courbes de BERNHARDT en tenant compte du coefficient de qualité conduit à proposer des charges hydrauliques très faibles.

Par contre, en ne modulant pas les résultats par ce coefficient, on se rapproche des autres données, en particulier pour les faibles perméabilités (courbe "anaérobie").

- Aux fortes perméabilités, la courbe du M.S.T.P. se distingue des autres données par des charges hydrauliques élevées. Cette différence peut recevoir l'explication suivante : l'expérience pratique dont est tiré le dimensionnement pour installations collectives du M.S.T.P. s'appuie probablement surtout sur des installations à caractère saisonnier et plus particulièrement à caractère estival :

hôtels, campings, équipements de plein air variés

Il est certain que des règles valables pour un épandage "permanent" sont excessives quand l'eau est apportée pendant une période courte et surtout en été ; la longue période de repos permet en effet la minéralisation plus ou moins complète de la croûte de colmatage. Ce phénomène intéresse certainement plus les sols très filtrants à texture grossière ou ayant de nombreuses petites failles : l'effet du colmatage est particulièrement sensible dans ce type de sol car la faible perméabilité de la croûte contraste fortement avec celle du sol et la faible tension capillaire de ce dernier (§ 2.2.3.) le rend peu capable d'aspirer l'eau à travers la croûte ; par contre, cette dernière a certainement beaucoup plus de difficultés à se former et reste beaucoup plus fragile, les failles et les gros grains offrant un support moins commode que les fines particules du limon et de l'argile (§3.2.2.). Ainsi, les périodes de repos ont sans doute un effet plus intense de régénération sur les sols très perméables.

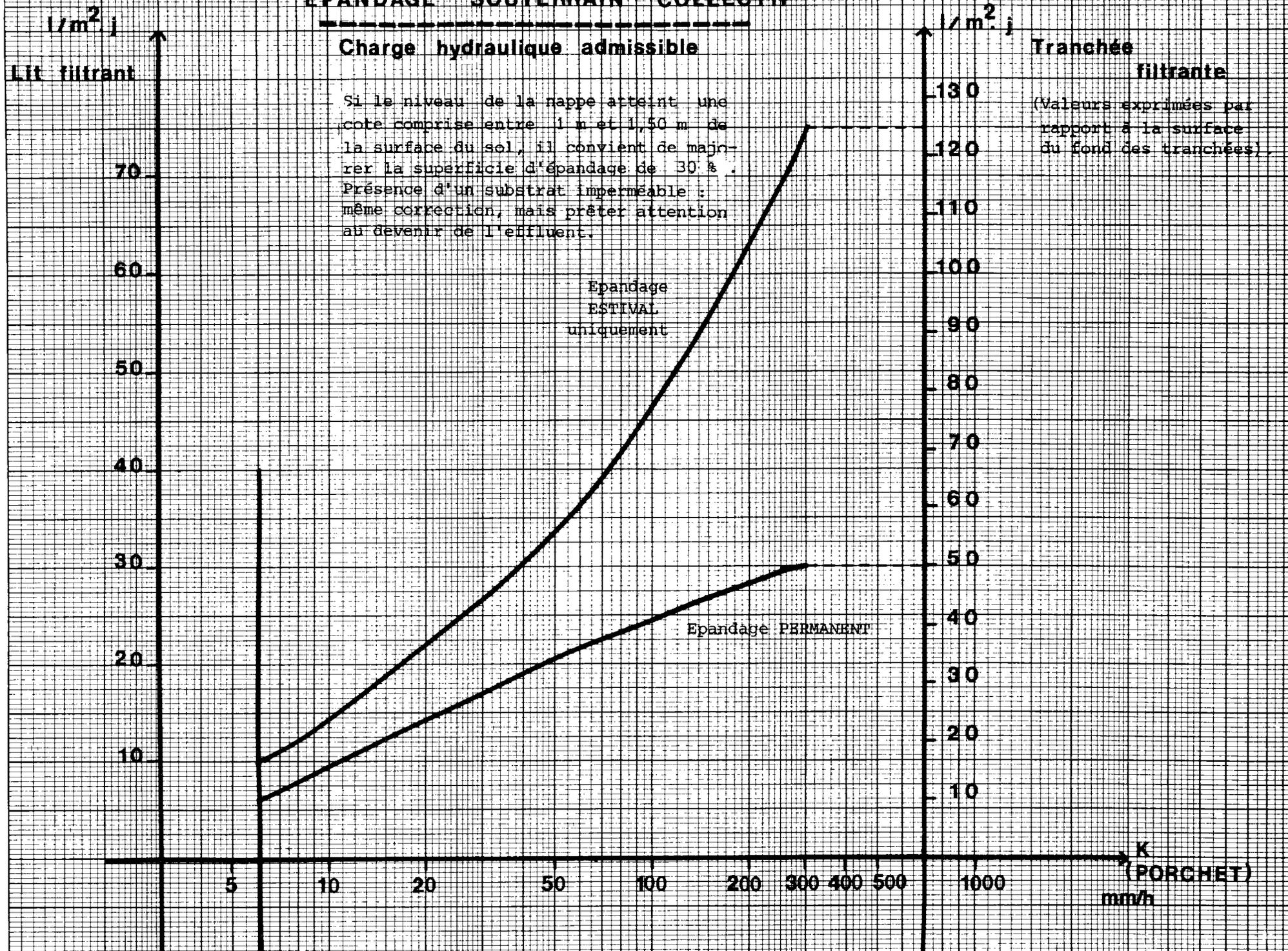
Ces remarques théoriques sont confirmées par des observations faites par le C.T.G.R.E.F. (36) sur des épandages souterrains de campings et villages de vacances.

On est ainsi conduit à proposer un dimensionnement distinct pour les installations collectives à caractère permanent et les installations à usage estival. Quant aux épandages utilisés périodiquement, mais en période hivernale, il semble préférable de les considérer comme permanents, d'autant plus qu'il s'agit généralement d'installations de montagne, travaillant dans des conditions climatiques moins favorables à l'activité biologique et au décolmatage qu'en plaine. Cette hypothèse reste cependant à vérifier.

6.4.2. Courbes de dimensionnement - Conditions d'utilisation

Les considérations précédentes conduisent à proposer les courbes de dimensionnement du graphique suivant. Celles-ci, établies pour les lits et les tranchées, relient la perméabilité à la charge hydraulique admissible.

EPANDAGE SOUTERRAIN COLLECTIF



Les dimensions des tranchées sont exprimées par rapport à la surface du fond (Cf. § 6.2.3.1.).

Des exemples de calculs développés en annexe illustrent l'application de ces règles de dimensionnement.

Ces courbes doivent être utilisées avec discernement en fonction des conditions suivantes :

6.4.2.1. Limites de la gamme de perméabilité.

Une perméabilité inférieure à 6 mm/h rend très aléatoire le bon fonctionnement d'un épandage. Celui-ci est peut être envisageable au prix d'un dimensionnement extrêmement large, ce qui n'est d'ailleurs pas garanti et de toute façon d'un coût probablement prohibitif.

Inversement, la charge hydraulique admissible est limitée par un palier à partir d'une perméabilité de 300 mm/h ; l'épandage est bien entendu possible pour une valeur supérieure, dans la mesure où l'on tolère une efficacité d'épuration sans doute réduite (Cf. § 6.6). Cependant, sur le plan du fonctionnement hydraulique, l'expérience actuelle ne permet pas d'admettre une charge hydraulique plus importante : l'influence du colmatage peut en effet avoir alors une influence importante surtout dans le cas du fonctionnement en régime permanent.

6.4.2.2. Hydromorphie

Les courbes correspondent à un sol sain, bien drainé. Si le niveau haut de la nappe (éventuellement déterminé par l'observation des "bigarrures" - § 5.3.) remonte entre 1,50 et 1 m de la surface, on augmentera la surface d'infiltration d'un tiers. Si le niveau remonte plus haut, il vaut mieux en règle générale éviter l'épandage souterrain et se tourner vers une autre technique, plus aisément disponible en installation collective qu'unifamiliale. Pour l'épandage à caractère estival, c'est le niveau de la nappe en période d'utilisation qui doit être pris en compte.

La présence d'un substrat imperméable : rocher, argile compacte ... doit être considéré d'une manière identique. Il convient toutefois d'attacher une attention particulière au devenir des effluents après leur infiltration.

6.4.2.3. Qualité de l'effluent

Ces courbes s'utilisent telles quelles pour un effluent ayant subi une décantation primaire ou un traitement en fosse septique collective "toutes eaux" *. L'épandage souterrain d'effluents traités en station biologique ("conventionnelle" ou de type lagunage) ou physico-chimique ** conduit à diviser la charge hydraulique par le coefficient de LAAK

$$q = \sqrt{\frac{\text{DBO} + \text{MES}}{250}}$$

6.4.2.4. Présence de deux superficies utilisées en alternance

Un terrain d'épandage divisé en deux parties pouvant être alimentées en alternance semble souhaitable. Cette disposition contribue très probablement à augmenter la charge hydraulique admissible, sans que cette amélioration puisse être actuellement chiffrée. On obtient ainsi une plus grande souplesse de fonctionnement.

D'après les données américaines, au-dessus d'une certaine longueur de tranchée (150 m environ), il conviendrait d'apporter l'effluent par chasses (au moyen d'une pompe ou d'un siphon automatique, d'entretien facile et ne nécessitant pas des visites fréquentes). La nécessité d'un tel dispositif demanderait à être vérifiée expérimentalement.

./.

* Les fosses septiques collectives ne sont pas très courantes en France, elles le sont beaucoup plus en Amérique du Nord (jusqu'à plusieurs centaines d'habitants), où par contre la fosse de décantation à double étage (type IMHOFF) est bien moins fréquente.

** Dans le cas de traitement physico-chimique utilisant des sels métalliques, il y a lieu de craindre le colmatage des drains que ces sels peuvent provoquer par précipitation.

6.4.3. Choix entre tranchées et lits filtrants

Les exemples de calculs montrent que le respect de la règle d'écartement des tranchées proposée par le M.S.T.P. (§ 6.3. ; distance entre les axes de 2 m environ) aboutit pour les tranchées à une surface d'épandage double de celle d'un lit. Quel est donc alors leur intérêt pratique par rapport à ce dernier ?

En fait, la surface de lit ainsi calculé correspond rigoureusement à la surface d'infiltration de l'effluent : or les règles de dimensionnement ne prennent pas en compte son devenir après traversée des premiers horizons de sol. De ce point de vue, les tranchées apportent une sécurité grâce à la masse de sol intercalaire. Dans le cas des lits, cette sécurité n'existe que par la présence d'une "zone de garde" entourant le lit proprement dit et pouvant supporter une infiltration latérale dont l'importance dépendra en particulier des caractéristiques du proche sous-sol (la largeur de cette zone est de quelques mètres au minimum).

Par ailleurs, les tranchées présentent des avantages supplémentaires :

- des risques moindres de réalisation défectueuse dans les sols argileux ou limonoargileux quand la réalisation a lieu sur terrain humide : le creusement des tranchées ne cause en effet pas de tassement excessif du sol au droit de l'infiltration (on peut remédier au lissage occasionné par la pelle au moyen d'une simple scarification au râteau) ; par contre la confection d'un lit implique qu'un engin circule sur la surface d'infiltration.
- une certaine économie de matériaux filtrants (40 % environ)
- enfin, les remontées capillaires dans les masses de sol intercalaires devraient permettre une meilleure utilisation de l'horizon supérieur du sol dans le processus d'épuration.

./.

6.5. L'EPANDAGE EN TRANCHEES SUPERFICIELLES

Il n'y a actuellement aucune règle connue pour dimensionner ce type d'épandage. Les exemples en France sont encore peu nombreux. Cependant cette technique simple, peu coûteuse et efficace, d'entretien facile mériterait d'être développée quand il n'y a pas d'obstacles psychologiques à son installation (en particulier pour les petites communes rurales ou écarts de bourgs ruraux) et quand la situation locale s'y prête.

Ce mode d'épandage est peu exigeant quant à la qualité du traitement préalable de l'eau usée*, qui peut même à la rigueur être limité à un simple dégrillage. Il peut également être un mode de dispersion peu coûteux dans le cadre d'un traitement de finition après station d'épuration conventionnelle ou lagunage (dans ce cas les tranchées peuvent être remplacées par un simple modelé du terrain s'il est pentu et engazonné).

Le niveau haut de la nappe devra se situer en dessous de 60 à 70 cm de la surface du sol.

Les phénomènes de colmatage sont certainement moins importants et de toute façon très faciles à contrôler. Dans ces conditions, les dimensionnements proposés pour les épandages souterrains s'appliquent ici avec une confortable marge de sécurité.

Deux précisions méritent d'être apportées :

- les tests de percolation ne seront pas effectués au niveau d'implantation des tranchées mais légèrement plus profondément (vers 50-60 cm), afin d'éviter la zone perturbée et très hétérogène de surface.

- les tranchées ouvertes n'ont jamais une section rectangulaire à bords verticaux ; aussi, la surface du fond n'a pas de signification.

./.

* La fosse septique ne convient pas généralement en raison du risque d'odeurs.

De plus, contrairement à l'épandage souterrain les tranchées ouvertes peuvent être facilement multipliées, supprimées, retracées sans difficultés. Il y a d'ailleurs intérêt à faire un tracé serré, la seule limite étant imposée par les contraintes de fauche mécanique de l'herbe qui nécessite le passage d'une moto-faucheuse ou d'un tracteur.

Dans ces conditions, on appliquera les règles de dimensionnement du lit filtrant à la surface de terrain sillonné de tranchées ouvertes.

En pratique, la question a une importance généralement secondaire, à moins d'être très limité en surface disponible : le coût du tracé de l'épandage est faible et celui du terrain relativement minime par rapport à l'ensemble d'un projet.

6.6. POUVOIR EPURATEUR DU SOL ET DIMENSIONNEMENT DES EPANDAGES

L'épuration réalisée par le sol n'est pas prise en compte, quantitativement au moins, par les méthodes de dimensionnement des épandages d'eaux usées domestiques.

La raison en paraît double :

- * le but des études préalables d'épandage est d'assurer l'absence de nuisances pour les utilisateurs de l'installation, donc sans risques de stagnation, ruissellement etc C'est bien cet aspect qui est étudié par le biais des tests de percolation.

- * de plus, le sol réalisant simultanément la dispersion et l'épuration de l'eau usée, il est bien plus complexe d'apprécier la qualité du rejet final que dans le cas d'un autre procédé avec rejet ponctuel.

Il paraît donc difficile, on le voit bien, de relier le degré d'épuration réalisé par le sol au dimensionnement des installations, comme on a pu le faire pour la perméabilité.

Il est toutefois possible d'apporter quelques éléments de réponse à cette question à l'aide de quelques données bibliographiques et des résultats des mesures effectuées par le C.T.G.R.E.F. sur le terrain d'épandage souterrain de VILLAINES-sous-BOIS.

6.6.1. Aspects généraux de l'épuration réalisée par le sol

Les mécanismes de l'épuration des eaux usées ont été décrits dans de nombreuses publications (en particulier 21, 28) et plus particulièrement dans le cas de l'épandage souterrain en assainissement individuel (1).

On se contentera ici de rappeler les principaux aspects de l'épuration réalisée par un sol homogène de texture non très grossière concernant l'élimination de la matière organique, du phosphore, des microorganismes pathogènes et de l'azote.

6.6.1.1. Élimination de la matière organique

2 à 3 m² de sol suffisent en principe largement à assurer une minéralisation quasi complète de la matière organique rejetée par un habitant permanent. La limite serait donc atteinte pour des charges hydrauliques supérieures ou égales à 50 à 80 l/m² jour qui ne devraient en principe jamais être atteintes. Notons que l'épandage uniquement estival autorise des performances d'élimination de la matière organique vraisemblablement supérieures.

6.6.1.2. Élimination du phosphore et des microorganismes pathogènes

Le phosphore et les microorganismes sont remarquablement fixés par le sol. La croûte colmatée a un rôle particulièrement important à jouer dans la rétention et l'élimination des pathogènes, cette dernière étant à mettre en relation essentiellement avec le temps de séjour.

6.6.1.3. Élimination de l'azote

L'azote épandu est (surtout en sortie de fosse septique) principalement sous forme ammoniacale.

Dans le cadre de l'épandage, il rentre dans le cycle de l'azote du sol et subit des phénomènes de réorganisation, minéralisation, nitrification, dénitrification Il peut être éliminé du cycle par exportation végétale, volatilisation (dénitrification ou perte d'ammoniac), lessivage vers le sous-sol (nitrates).

Le phénomène de dénitrification est particulièrement intéressant et certainement très actif dans le cas d'un épandage, mais son action est très difficile à estimer. Le lessivage de l'azote nitrrique, est le facteur limitant principal de l'épuration réalisée par un épandage fonctionnant correctement.

6.6.2. Elimination de l'azote en sol limono-argileux :
Cas de l'épandage de VILLAINES-sous-BOIS (Val d'Oise)

Les performances d'épuration de l'épandage de VILLAINES-sous-BOIS ont fait l'objet d'une étude et d'une publication (14).

Il s'agit d'un sol limono-argileux, d'une perméabilité faible (12 mm/h) qui n'autorise qu'une charge hydraulique faible (11 l/m²/jour).

Les premiers résultats montrent, sur une année de suivi, que 30 à 40 % de l'azote épandu rejoint le sous-sol sous forme de nitrates : le reste étant donc réorganisé ou volatilisé ou stocké sous forme d'ammonium fixé sur le complexe absorbant du sol.

6.6.3. Extrapolation à d'autres types de sol

L'exemple de VILLAINES est probablement le reflet de la meilleure épuration que l'on peut attendre d'un dispositif d'épandage souterrain*. En effet, un sol beaucoup plus imperméable aurait peut-être une grande efficacité mais au prix d'une charge hydraulique extrêmement faible sans intérêt pratique.

Qu'en serait-il pour d'autres types de sol plus perméables ?

* à moins de surdimensionner l'installation du point de vue de la charge hydraulique.

6.6.3.1. Sol très fissuré ou très caillouteux

Un tel sol autorise le passage direct vers le sous-sol de matières organiques non épurées, de sels ammoniacaux et de micro-organismes pathogènes et doit être considéré avec prudence pour l'épandage.

6.6.3.2. Sable

Un sable a, par rapport aux sols précédents, l'avantage d'être homogène et non faillé. A défaut de mesures de terrain, on citera des essais (37) réalisés avec deux colonnes de sables (de granulométrie respectivement 0,1 - 0,25 mm et 0,25 - 0,50 mm) ayant reçu 200 mm/jour d'eau usée domestique décantée pendant 8 mois, 5 jours sur 7.

A l'issue de cette période, les performances d'épuration ont été les suivantes :

	mg/l						
	pH	DBO ₅	P ³⁻ ₀₄ en P	Azote en N			
				Total	organ.	NH ₄	NO ₃
Effluent décant. primaire	7,0	100 - 150	6,9	40	4	35	1
Sortie colonne A (0,1 - 0,25 mm)	6,5	0	0,1	29	-	1	28
Sortie colonne B (0,25 - 0,50 mm)	7,0	25 - 30	5,8	31	1	20	10

La charge hydraulique élevée et l'utilisation d'essais sur colonnes, rendent une extrapolation aux conditions de terrain délicate. On peut, néanmoins, retenir de cette expérience que jusqu'à une granulométrie de 0,25 mm, le sable garde une efficacité importante

sur la rétention du phosphore et la nitrification de l'ammoniac.

6.6.3.3. Elimination de l'azote dans un sol "moyen"

Il est probable qu'un sol de perméabilité moyenne, autorisant une charge hydraulique d'environ 20 l/m² jour, a une efficacité d'élimination de l'azote inférieure à celle du sol de VILLAINES, mais cela reste à vérifier et à quantifier.

Il est, par ailleurs, très probable que l'épandage alterné favorise l'élimination de l'azote, en particulier par activation des processus de dénitrification, par analogie avec ce qui a pu être observé sous des bassins d'infiltration (38). Le rythme d'alternance le plus convenable reste à préciser (sans doute entre 1 semaine et 1 mois).

CHAPITRE 7 : ASSAINISSEMENT D'UNE AGGLOMERATION :
 INTEGRATION DE L'ETUDE DE L'APTITUDE
 DES SOLS A L'EPANDAGE.

L'aptitude d'un site à l'épandage des eaux usées domestiques ayant été définie, il reste à préciser comment cette méthodologie d'étude doit être intégrée dans le cadre de l'élaboration d'un projet d'assainissement.

7.1. CADRE D'ETUDE

Dans une agglomération rurale, la situation de l'assainissement se présente très fréquemment selon le schéma d'ensemble suivant :

- Le centre du bourg est très aggloméré autour d'une seule ou d'un nombre limité de rues. Les habitations ne possèdent pas ou peu de jardins. L'assainissement y est souvent réglé d'une manière discutable sur les plans de l'hygiène et de l'environnement : rejets dans des puits, dans des réseaux unitaires anciens, etc
- Le centre est entouré d'habitations possédant des jardins de dimensions suffisantes pour réaliser un assainissement individuel correct, pourvu que les conditions pédologiques s'y prêtent.

Cette situation peut rester figée ainsi pendant de nombreuses années. C'est généralement un projet de lotissement qui déclenche la recherche d'une situation d'assainissement satisfaisante non seulement pour les constructions nouvelles mais aussi pour l'ensemble de la commune. Il s'agit alors de choisir entre la rénovation et la mise en place de l'assainissement individuel pour toute l'agglomération et le recours à une solution collective ou " semi-collective".

L'importance de la connaissance des sols pour résoudre ce type de problème semble maintenant bien établie. Cependant, il est évident que l'étude pédologique ne représente qu'une partie de l'étude d'ensemble.

7.2. COMPLEMENTS A L'ETUDE PEDOLOGIQUE.

7.2.1. Population et parcellaire.

Il importe de connaître :

- la population actuelle et son évolution prévisible tant pour le bourg ancien que pour l'éventuel lotissement prévu.
- le parcellaire des habitations et les surfaces disponibles pour l'assainissement individuel.

7.2.2. Topographie.

Sa connaissance est nécessaire tant pour l'assainissement individuel que collectif.

- assainissement individuel : la situation topographique des jardins par rapport aux habitations conditionne la possibilité de pratiquer l'épandage (le relèvement des eaux usées n'est qu'exceptionnellement pratiqué en France au niveau individuel).
- assainissement collectif ou semi-collectif : le tracé des réseaux s'appuie sur l'étude topographique et permet de limiter l'étude pédologique de site pour l'épandage collectif aux terrains réellement utilisables à cet effet. Le contexte humain oblige généralement à limiter encore plus les zones à prospecter.

7.3. REPARTITION DES TACHES.

Une telle étude est lourde dans son ensemble et son importance n'est pas proportionnelle à celle de la population : pour de

petites agglomérations, sa réalisation complète par un bureau d'études, compétent en pédologie (ou sous-traitant cette partie) serait d'un coût jugé souvent prohibitif.

De plus, le nombre de plus en plus grand de cas à traiter n'est pas en rapport avec les moyens disponibles.

Une grande partie du travail est simple et peut être effectué par la municipalité elle-même pour peu que la démarche lui soit expliquée : la connaissance de la démographie et du parcellaire, la situation relative des jardins et des habitations ainsi qu'un premier inventaire des terrains disponibles pour un traitement collectif. On peut y ajouter une enquête auprès des habitants sur les conditions d'assainissement et sur les problèmes qu'il pose dans les différents secteurs de la commune.

Il ne reste ensuite à réaliser que l'étude topographique et pédologique et la synthèse de l'ensemble.*

L'étude topographique peut être réalisée par le maître d'oeuvre de l'Administration (ou autre).

Le travail du pédologue se trouvera notablement allégée quand ces diverses tâches seront effectuées.

Dans ces conditions, il semble raisonnable d'envisager le développement de ce type d'étude et de traiter sinon tous les cas, du moins en régler un nombre assez important avec les moyens en personnels disponibles : services publics départementaux ou régionaux, compagnies d'aménagement ou bureaux d'études privés.

7.4. CARTOGRAPHIE D'APTITUDE A L'ASSAINISSEMENT INDIVIDUEL.

Une mention particulière doit être faite à propos des cartes d'aptitude de l'assainissement individuel, qui se développent actuellement.

* Ainsi qu'une étude géotechnique spécifique pour le choix du traitement par lagunage si ce procédé devait être envisagé.

- La cartographie à grande échelle est analogue aux études de cas dont il a été question ci-dessus. Il s'agit d'études accompagnées de plans plutôt que de véritables cartes.

- La cartographie à petite échelle (1/25000 à 1/100000), ces cartes ont un double objectif :

1 - Elles devraient permettre d'orienter les priorités en matière d'assainissement collectif vers les zones les moins favorables à l'assainissement individuel, et ce, en complément des autres données disponibles : densités de population, projet d'urbanisme, vulnérabilité du milieu naturel

2 - Dans le cadre d'avant-projets de lotissements ou autres équipements susceptibles de produire des eaux usées domestiques (en particulier touristiques), elles devraient permettre d'apprécier et éventuellement réduire l'importance des études préalables. Précisons toutefois qu'une investigation restera toujours nécessaire, la précision de tels documents ne permettant pas de tirer des conclusions au niveau des parcelles élémentaires (*).

De tels documents ont déjà été élaborés (à notre connaissance) dans différentes régions :

- en 1974 la carte des "Contraintes et possibilités pour l'épuration tertiaire" dans le bassin inférieur du VERDON par la Société du Canal de Provence. Il s'est agit à l'époque de répondre à un objectif un peu différent, mais l'approche et les résultats sont sensiblement identiques à ceux des cartes d'aptitude à l'assainissement individuel.

Plus récemment :

- Département de la Haute-Garonne par l'Université de TOULOUSE (1/5000) et par BURGEAP (1/25000).

./.

* A titre indicatif, on considère que l'échelle de précision d'une carte pédologique (qui peut être différente de l'échelle de représentation) correspond à la densité de 1 sondage au cm² (1 sondage pour environ 6 ha au 1/25000). Il s'agit toutefois d'un simple ordre de grandeur, cette règle pouvant être sensiblement modifiée dans un sens ou dans l'autre en particulier en fonction de la complexité du terrain et de la qualité des cartes géologiques

- Département de l'Eure (Canton d'Amfreville-la-Campagne)
par la SCIH (1/100000).
- Département de la Seine-Maritime (1/500000) par le SAS.

Un travail similaire est entrepris actuellement dans le Calvados.

Si le processus d'investigations pédologiques au niveau ponctuel est sensiblement identique à celui des études précises décrites dans le présent document, il s'agit par contre d'un véritable travail de cartographie pédologique thématique qui nécessite absolument l'intervention de spécialistes de cette discipline.

B I B L I O G R A P H I E

- 1 - AGENCE DE BASSIN LOIRE BRETAGNE - L'Assainissement individuel, Principes et Techniques actuelles. A paraître .

- 2 - AGENCE DE BASSIN LOIRE BRETAGNE - BURGEAP - Approche théorique de l'hydraulique de l'infiltration verticale Colmatante. Cas de l'épandage souterrain en assainissement individuel. Note NT 859 E 777 1979.

- 3 - ANN ARBOR National Conferences Individual Outsite Wastewater Systems 1974 à 1977.

- 4 - BASAK P.. Soil structure and its effects on hydraulic Conductivity. *Soil Science* 1972, Vol. 114 (6) : 417-422.

- 5 - BAKER F.G. et BOUMA J., Variability of Hydraulic Conductivity in two Subsurfacs Horizons of two silt Loam Soils . *Soil Sc. Soc. Am. Jnl.* Vol. 40 1976 : 219-222.

- 6 - BOUMA J., CONVERSE J.C., CARLSON J., BAKER F.G., Soil absorption of Septic Tank Effluent in Moderately Permeable Fine Silty Soils. *Transactions of the SAE*, 1975, 18 (6) : 1094-1099.

- 7 - BOUMA J. Evaluation of the Field Percolation Test and an alternative Procedure to test soil Potential for disposal of Septic Tank Effluent. *Soil Sc. Soc. Am. Proceedings*. Vol.35, 1971 : 871-875.

- 8 - BOUMA J. Unsaturated Flow during Soil Treatment of Septic Tank Effluent *Jnl. of the Environmental Engineering Div.*, Decembre 1975 : 967-983.

- 9 - BOUMA J. New Concepts in Soil Survey Interpretation for on Site Disposal of Septic Tank Effluent. *Soil. Sc. Soc. Am. Proc.*, 1974 : 941-946.

- 10- C.T.G.R.E.F. L'épandage souterrain des effluents de fosses septiques. Inf. technique n°7, Juin 1975.

- 11 - C.T.G.R.E.F. Test de percolation et dimensionnement des installations d'épandage souterrain. Note de proposition pour une méthodologie commune, Dec. 1978.
- 12 - C.T.G.R.E.F. L'assainissement individuel. Etat actuel des connaissances . Note technique n°8, Juin 1979.
- 13 - C.T.G.R.E.F., GRIL J.J., LIENARD A., THISQUEN M. Assainissement de la commune de Lachelle (60). Etude préalable des conditions d'assainissement.
- 14 - C.T.G.R.E.F., AGENCE DE BASSIN SEINE NORMANDIE. Etude expérimentale de l'épandage à faible profondeur de Villaines-Sous-Bois, Mars 1979.
- 15 - Department of Public Health State of Illinois : Private Servage Disposal Licensing Act and Code, 1974.
- 16 - Department of Healt Rules and Regulation Establishings Standards of Individual Sewage Systems, 1968.
- 17 - Department of Health Gov. of Newfoundland and Labrador, 1965. The Septic Tank Method of Sewage Disposal.
- 18 - EPA Alternatives for Small Wastewater Treatment Systems, 1977.
- 19 - GOLDSTEIN S.N. et MOBERG J.M. Wastewater Treatment Systems of Rural Communities. Commission on Rural Water Washington D.C., 1973.
- 20 - HILLEL D. L'eau et le sol. Principe et processus physiques VANDER ed. 1974.
- 21 - INRA. Annales Agronomiques la pollution, 1974, Vol. 25.
- 22 - KROPF F.W., LAAK R. Equilibrium Operation of Subsurface Absorption System. IWPCF, Sept. 1977 : 2007-2016.
- 23 - KROPF F.W., HEALY K.A., et LAAK R. Soil Clogging in subsurface Absorption Systems for Liquid Domestic Wastes. *Proc. of the 7 th. Intern. Conf. on Water Poll. Res.*, 1974, Pergamon Press.

- 24 - LAAK R. Influence of Domestic Wastewater Pretreatment of Soil Clogging
JWPCF, 1970 : 1495-1500.
- 25 - LAAK R., HEAZY A.K., HARDISTY D.M. Rational Basis for Septic Tank System
Design Groundwater, Nov.-Dec.1974.
- 26 - MAC GANLEY P.H., WINNEBERGER J.H. Studres of the Failure of Septic
Tank Percolation Systems. *JWPCF*, Mai 1964 : 593-606.
- 27 - MINISTERE DE L'AGRICULTURE - Circulaire DA/SE.1 5058 du 15 Juin 1976.
Assainissement des petites agglomérations rurales.
- 28 - MINISTERE DE L'AGRICULTURE, MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU CADRE DE
VIE, MINISTERE DE LA SANTE ET DE LA FAMILLE. L'épandage des
eaux usées. Manuel de recommandations techniques. La documenta-
tion Française , 1979.
- 29 - RICE R.C. Soil Clogging during Infiltration of Secondary Effluent.
JWPCF, Avril 1974 : 708-716.
- 30 - TETART J.M., GRIL J.J. Assainissement individuel et assainissement des
petites collectivités, Juin 1979. Rapport de Mission au Québec.
Service de l'Eau (MECV). C.T.G.R.E.F.
- 31 - THISQUEN M. L'épuration par le sol des eaux résiduaires des petites
collectivités rurales. Mémoire de fin d'étude. ESITPA - CTGREF,
Octobre 1979.
- 32 - UNITED STATES DEPARTMENT OF HEALTH. Manual of Septic Tank Practice
1959.
- 33 - UNIVERSITY OF VERMONT. Water Pollution Control in Low Density Areas
Proceeding of a rural Envir. Eng. Conf. *University Press.*
Hanover New Hampshire, 1975.
- 34 - COLOMBANI J., LAMAGNAT J.P. THIEBAUX J. Mesure de la perméabilité des
sols en place . Cahiers de l'ORSTOM hydrologie n°3, 1972 :
15-45.
- 35 - PETIT G., et CLEYRERGUE M., 1976. Typologie des effluents issus
des résidences unifamiliales CERSOAF.

- 36 - C.T.G.R.E.F. Epannage des effluents domestiques. Compte rendu de Visites d'installations du département du VAR, Juillet 1979. Note interne.
- 37 - DE VRIES J. Soil Filtration of Wastewater Effluent and the Mechanism of Pore Clogging, *JWPCF*, Avril 1972 : 565-573.
- 38 - BOUWER H. Renovating Secondary Effluent by Groundwater Recharge with Infiltration Basis, dans : *Recycling treated municipal Wastewater and sludge through Forest and Cropland*. Pennsylvania State University Press ; 1973. : 164-175.
-

EXEMPLES DE CALCULS DE DIMENSIONNEMENTEXEMPLE N° 1 : Pavillon de 4 chambres - Epandage souterrain

Rejet 1000 l/jour
Sol limon argileux
niveau haut de la nappe : 1,20 m de profondeur
perméabilité : 10 mm/h

Dimensionnement et réalisation (Cf. § 6.3)

Tranchées peu profondes : (50 cm) ; largeur 60 cm.
Superficie de fond de tranchées : 120 m²
Développement linéaire des tranchées : 200 m

Nota : 10 mm/h est une perméabilité limite entre deux dimensions.
Compte tenu de la présence de la nappe, il paraît préférable par sécurité d'opter pour le dimensionnement le plus large.

EXEMPLE N° 2 : Lotissement - Réseau collectif - Epandage souterrain.

Population raccordée : 250 habitants permanents
Rejet : 37,5 m³/j (hypothèse 150 l/hab. jour)
Sol : limon profond et sain
perméabilité : 45 mm/h

Charge hydraulique admissible (voir courbe de dimensionnement § 6.4)

Tranchées 33 l/m² (fond de tranchées)
Lits 20 l/m²

Caractéristiques du terrain d'épandage :

- * Tranchées (profondeur 80 cm, largeur 60 cm, écartement axe à axe 2 m)

$$\text{Surface de fond : } \frac{37500}{33} = 1136 \text{ m}^2$$

$$\text{Développement linéaire : } \frac{1136}{0,6} = 1894 \approx 1900 \text{ m}$$

$$\text{Surperficie totale du terrain : } 1894 \times 2 = 3788 \approx 3800 \text{ m}^2$$

- * Lit filtrant

$$\text{Superficie du lit } \frac{37500}{20} = 1875 \approx 1900 \text{ m}^2$$

Le terrain aura une superficie égale à celle du lit plus la zone de garde de quelques mètres au moins (Cf. §6.4.3)

L'écartement entre les drains d'un lit est indépendant du dimensionnement : il doit être de 1,50 m au maximum dans un dispositif à drains parallèles.

Nota : Souvent l'assainissement de lotissements sera assuré individuellement par lot, pour des raisons d'économies. L'assainissement collectif sera préféré dans certains cas : zone favorable à l'épandage limité, surface des lots trop réduites. Le traitement collectif est bien sûr le seul à convenir pour l'assainissement d'immeubles ou établissements isolés.

EXEMPLE N° 3 : Camping - Epandage souterrain.

- Population raccordée : 500 campeurs en période de pointe
- Rejet : 40 m³/j (80 l/campeur-jour)
- Sol : sable de dune
perméabilité élevée 400 mm/h
rocher à 1,30 m

./.

- Charge hydraulique admissible (§ 6.4)

Tranchées : 125 l/m² (f. de t)Lit : 75 l/m²

- Caractéristiques du terrain d'épandage :

Majoration de 30 % des surfaces à cause de la proximité du rocher.

Tranchées (largeur : 60 cm, écartement : 2 m)

Surface de fond $\frac{40000}{125} \times 1,3 = 416 \text{ m}^2 \approx 420 \text{ m}^2$ Développement linéaire : $\frac{416}{0,6} = 693 \approx 700 \text{ m}$ Surface de terrain : 1400 m²Lit filtrant : Surface $\frac{40000}{75} \times 1,3 = 693 \approx 700 \text{ m}^2$

Superficie du terrain : rajouter la zone de garde.

Nota : 1°) En pratique dans un camping, les tranchées sont choisies quand il est décidé d'utiliser la zone d'installation des tentes ou caravanes comme terrain d'épandage. Cela implique de réaliser des tranchées profondes (> 1 m), ce qui est peu compatible dans le cas présent avec la proximité du rocher.

2°) La correction de 30 % due à la présence du rocher concerne le fonctionnement correct de l'infiltration en elle-même. Il faut donc se préoccuper du devenir de l'effluent après percolation pour éviter les risques de stagnation ou de résurgences. Cela peut conduire à surdimensionner l'épandage par rapport aux règles indiquées ici.

EXEMPLE N° 4 : Commune rurale - Epandage superficiel.

- Population raccordée : 300 habitants

- Rejet : 45 m³/j (150 l/habitant-jour)

- Sol : Limon (1,2 m d'épaisseur) sur craie avec horizon d'accumulation d'argile à 60 cm de la surface, assez compact.
perméabilité 30 mm/h

./.

- Charge hydraulique et réalisation du terrain d'épandage.
Calcul identique à celui du lit filtrant (§6.4)

Charge hydraulique admissible 17,5 l/m² j

Surface d'épandage $\frac{45000}{17,5} = 2570 \text{ m}^2$

Tranchées peu profondes (35-40cm), tracées en épi
(terrain plat) ou en "zig-zag" (terrain en pente)

Ecartement des tranchées : aussi serré que possible sans
toutefois gêner l'entretien (gazon fauché par un engin
agricole) ou parfois la plantation d'arbre.

Nota : Raisons du choix de l'épandage superficiel.

- Absence de risques de nuisances et de problèmes psychologiques.
 - Coût nettement inférieur à celui de l'épandage souterrain.
 - Bonne adaptation des tranchées superficielles au type de sol rencontré.
-

C.T.G.R.E.F. – GROUPEMENT D'ANTONY
Parc de Tourvoie – 92160 Antony

DIVISION : QUALITE DES EAUX, PECHE ET PISCICULTURE
14, avenue de Saint-Mandé – 75012 Paris

France