

Choix de sable pour les lits d'infiltration-percolation

Alain Liénard, Hichame Guellaf, Catherine Boutin

Dans de nombreux pays, des filières d'assainissement utilisent du sable comme support des micro-organismes réalisant la dégradation de la matière organique et l'oxydation des composés azotés des eaux usées domestiques de petites collectivités rurales et d'unités d'habitations individuelles ou regroupées. Ces systèmes de traitement du type « cultures fixées sur supports fins » peuvent être installés sans recourir à des équipements électromécaniques si la topographie le permet. Un employé communal peut alors en assurer la gestion réputée simple. Ces réacteurs biologiques sont, en général, précédés d'un étage de traitement primaire qui assure une séparation des matières en suspension décantables afin de minimiser les risques de colmatage par obstruction des pores inter granulaires. Selon la taille des installations, cette partie du traitement est assurée par une fosse septique toutes eaux ou par un décanteur primaire.

D'une manière générale, le massif filtrant et le dispositif de répartition de l'eau en surface sont visibles lorsqu'il s'agit de lits d'infiltration-percolation sur sable alimentés par des eaux ayant préalablement transité par un décanteur primaire, réputées moins septiques et malodorantes. À l'inverse, celles provenant de fosses septiques alimentent plutôt des filtres enterrés.

La nécessité de disposer de plusieurs massifs filtrants en parallèle, alimentés de façon alternée, pour permettre conjointement : i) une minéralisation des dépôts organiques superficiels apportés par les matières en suspension résiduelles, ii) une autorégulation de la biomasse épuratoire et iii) une réoxygénation des pores, est aujourd'hui admise et souvent pratiquée. En revanche, les

systèmes d'alimentation syncopée (ou par « bâchées ») et de répartition de l'eau sur les massifs filtrants, qui sont eux aussi des éléments importants concourant au bon fonctionnement, sont encore, malheureusement, trop souvent imparfaits dans leur conception. On peut le déplorer notamment pour les filtres enterrés, où les réseaux de distribution ne sont pas soumis à des tests de pression et de vérification de la répartition avant recouvrement. En outre, les méthodes de dimensionnement conçues par Otis *et al.* (1982) ou Lesavre et Zaïri (1988), sont encore trop peu connues et vulgarisées auprès des concepteurs d'installations et le marché n'est pas jugé suffisamment porteur par des entreprises qui pourraient se spécialiser dans la fourniture de stations préfabriquées et optimisées au cas par cas. Mais une partie des problèmes vient également de lacunes concernant la conception même des massifs filtrants. C'est donc pour contribuer en premier lieu au choix du sable que cette étude a été menée. Elle porte sur les caractéristiques granulométriques les plus appropriées, l'utilisation éventuelle de sables concassés, la teneur en calcaire, et la séparation d'avec la couche drainante au moyen de géotextiles.

Matériel et méthodes

Sur 21 sables alluvionnaires et 5 sables concassés provenant de diverses origines (stations d'épuration en fonctionnement, sites d'extraction et carrières), les déterminations suivantes ont été réalisées.

Granulométrie des sables

La caractérisation granulométrique occupe une place prépondérante dans l'étude car elle permet de définir des paramètres déterminants des sables :

Les contacts
Cemagref Lyon,
3 bis quai Chauveau,
CP 220 69336
Lyon Cedex 09

le d10 [diamètre de maille laissant passer 10 % de la masse de sable, en mm], le d60 [diamètre de maille laissant passer 60 % de la masse de sable, en mm] et le coefficient d'uniformité (CU) [rapport : d60/d10, ad].

Le tamisage par voie sèche

Il consiste à introduire un échantillon passé à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures et refroidi dans un dessiccateur pendant 20 minutes, sur une colonne de tamis de mailles croissantes et à les soumettre à une vibration prolongée de 20 mn. Les tamis utilisés ont pour diamètres d'ouvertures : 0,08 ; 0,1 ; 0,16 ; 0,2 ; 0,25 ; 0,315 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,63 ; 0,8 ; 1 ; 1,25 ; 1,6 ; 2 ; 2,5 ; 3,15 ; 4 ; 5 ; 6,3 mm.

Ce choix de tamis permet d'englober toutes les classes texturales de la famille des sables. La masse M des échantillons en général supérieure à 500 grammes, répondait à la prescription : $M > 0,2 D$ (AFNOR, 1990), avec M exprimé en kg et D diamètre de plus grande dimension en mm.

Les masses de refus sont recueillies sur chacun des tamis et pesées avec une précision de 0,01g.

Le tamisage par voie humide

Comme pour le tamisage par voie sèche, on dispose de tamis superposés ayant pour diamètres d'ouvertures : 0,08 ; 0,125 ; 0,2 ; 0,5 ; 1 ; 2 ; 4 ; 5 mm mais la colonne est soumise à une circulation d'eau claire qui permet de laver les grains et de les séparer des particules fines. La durée du tamisage est également de 20 mn. Cette méthode est plus précise que la précédente pour déterminer la quantité de particules fines (< 0,08 mm) présentes dans l'échantillon. Pour les diamètres supérieurs à 0,2 mm, les deux méthodes donnent des résultats similaires.

Test d'infiltration

Il reprend le principe du test utilisé par Grant (cité par Cooper *et al.*, 1996) au Royaume-Uni, également confronté au problème de choix de sables pour des lits à macrophytes. Le mode opératoire suivi est similaire à celui de Grant mais le matériel utilisé est légèrement différent et décrit dans la figure 1.

– le sable à tester est mis en place sur une hauteur d'une vingtaine de cm, par couches de 4 à 6 cm qui sont progressivement imbibées d'eau, sans perturber la surface et en évitant une ségrégation entre les grains de différentes tailles, afin que le

sable se tasse uniformément sur toute la hauteur. La hauteur exacte de sable introduit $H_{s,exp}$ [en m] est mesurée précisément *a posteriori*.

– bien qu'en écoulement libre, le sable est ensuite saturé pendant une dizaine de minutes, par plusieurs apports d'eau claire non mesurés afin que la condition de saturation soit complète et stable sur toute la hauteur.

– cinq essais sont ensuite conduits en enregistrant les temps d'infiltration d'un volume d'eau de 500 ml ; leur moyenne [t_{exp} , en s] représente le temps d'infiltration caractéristique du sable.

On estime par ailleurs que l'effet de paroi est localisé sur une couche adjacente à la paroi d'épaisseur $D/2$ avec D, diamètre du granulat, par conséquent, pour les sables étudiés cet effet peut donc être négligé.

Porosité et masse volumique des sables

On mesure le volume des grains [v_g , en m³] qui est le volume d'eau déplacé lors de l'ajout d'une masse de sable [m_g , en kg] dans un volume d'eau connu. On mesure le volume total [v_t , en m³] de cette même masse de sable. Ces mesures sont réalisées sur des sables préalablement lavés au tamis de 80 µm et séchés à l'étuve à 105 °C.

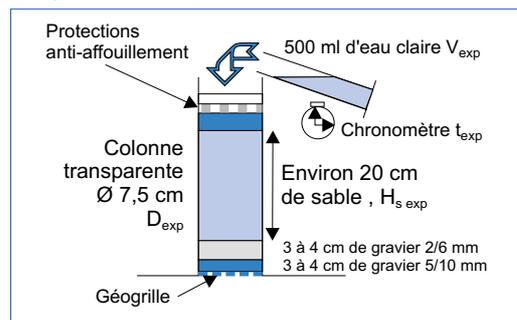
On définit le volume des vides [v_v , en m³], par la différence : $v_v = v_t - v_g$.

On définit la masse volumique spécifique [ρ , en kg m⁻³] par le rapport : $\rho = \frac{m_g}{v_g}$.

La porosité F [ad] est déterminée par l'équation suivante :

$$\Phi = \frac{v_v}{v_t}$$

▼ Figure 1 – Adaptation du test d'infiltration de Grant (Cooper *et al.*, 1996).



La teneur volumique en fines inférieures à 80 µm [φ_v , ad]

Elle est calculée à partir de la teneur massique en fines par la relation suivante proposée par Marion (1992) lorsque $\varphi_v \leq \Phi_s$, reprise par Revil et Cathles (1999).

$$\varphi_v = \frac{\rho_s}{\rho_f} \frac{1 - \Phi_s}{1 - \Phi_f} \frac{\varphi_w}{1 - \varphi_w}$$

Où : ρ_f : masse volumique spécifique des particules fines, fixée 2 650 kg m⁻³ (Revil et Cathles, 1999).

ρ_s : masse volumique spécifique mesurée du sable dont on a extrait au préalable les fines par tamisage.

Φ_s : porosité mesurée du sable dont on a extrait au préalable les fines par tamisage.

Φ_f : porosité des fines prise, fixée à 0,6 par assimilation à la valeur retenue par Revil et Cathles (1999) dans le cas de schistes.

φ_w [ad] : teneur massique en fines déterminée à partir de la courbe granulométrique par voie humide.

Résultats et discussion

Tant en France qu'à l'étranger, la plupart des études récentes débouchant sur des recommandations opérationnelles sur sites, s'accordent en général sur un diamètre effectif des sables (d₁₀) minimum de 0,2 mm (Gold *et al.*, 1992, Reed *et al.*, 1988, Guilloteau J.-A., 1994). En revanche, les conseils relatifs au coefficient d'uniformité (CU) sont à la fois plus rares et peu précis (Alexandre *et al.*, 1998), voire même inexistantes lorsque l'on se réfère à un fuseau granulométrique large comme c'est le cas pour la mise en œuvre des dispositifs d'assainissement non collectifs (AFNOR, 1998), qui sert aussi fréquemment de document d'inspiration aux concepteurs d'installations destinées à l'assainissement des petites collectivités.

Test d'infiltration

L'interprétation des mesures expérimentales nécessite la prise en compte des caractéristiques géométriques du matériel disponible, plus particulièrement en ce qui concerne le test d'infiltration. Il est utile de le comparer au test de Grant.

Ce test est représentatif de la conductivité hydraulique maximale obtenue en condition de saturation à l'eau claire alors que l'alimentation des dispositifs est évidemment assurée par de l'eau usée et que leur fonctionnement normal est plutôt car-

actéristique d'un milieu non saturé. Néanmoins, comme il est réalisé sur un sable propre, ce test peut fournir une indication pertinente sur le choix du sable. Ce choix doit prendre en considération le risque lié à la réduction de la perméabilité d'une eau usée contenant encore des matières en suspension résiduelles et s'écoulant en milieu colonisé par des micro-organismes.

La transposition de nos conditions expérimentales à celles de Grant nécessite de revenir à l'équation de Darcy, écrite pour un test de perméabilité en milieu saturé pour définir la conductivité hydraulique [K, en m s⁻¹] à saturation.

$$K = \frac{H_s}{t_f - t_i} \ln \left(\frac{h_i + H_s}{h_f + H_s} \right) \quad [1]$$

avec : h_i : hauteur initiale de la lame d'eau [en m] correspondant au temps initial t_i [en s].

h_f : hauteur finale de la lame d'eau [en m] correspondant au temps final t_f [en s].

H_s : hauteur de sable [en m].

Dans le cadre de l'essai, la lame d'eau s'écoule complètement, $h_f = 0$, $t_i = 0$, t_f est le temps mesuré appelé temps d'infiltration, la relation devient alors :

$$K = \frac{H_s}{t_f} \ln \left(\frac{h_i + H_s}{H_s} \right) \quad [2]$$

Les conditions expérimentales interviennent dans l'expression de h_i :

$$h_i = \frac{V}{\pi D^2 / 4}$$

V étant le volume d'eau initial [en m³], D le diamètre de la colonne expérimentale [en m].

Dans le cadre des conditions définies par Grant, $D_g = 0,1$ m et $V_g = 0,5 \cdot 10^{-3}$ m³.

Dans le cadre des conditions expérimentales utilisées ici, $D_{\text{exp}} = 0,075$ m et $V_{\text{exp}} = V_g$.

Après application de l'équation [2] aux conditions de Grant et à des conditions expérimentales légèrement différentes, on obtient :

$$t_g = \frac{0,0553}{H_{s \text{ exp}} \ln \left(\frac{4V_{\text{exp}}}{\pi D_{\text{exp}}^2 H_{s \text{ exp}}} + 1 \right)} t_{\text{exp}} \quad [3]$$

L'équation [3] permet donc d'utiliser un dispositif expérimental qui n'est pas strictement identique à celui de Grant tout en comparant le temps d'infiltration [t_{exp}] aux seuils définis par Grant

dont les limites, comprises entre 50 et 150 secondes, ont été jugées adéquates (Cooper *et al.*, 1996). Elles correspondent à une perméabilité comprise entre $1,1 \cdot 10^{-3}$ et $3,7 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$.

Influence du d10

Comme l'indique la figure 2, le temps d'infiltration t_g est fortement dépendant du d10 et un ajustement de type « puissance », obtenu à partir de l'examen de 21 sables alluvionnaires ayant un d10 compris entre 0,13 et 1,13 mm, se révèle bien adapté pour représenter la relation entre ces deux paramètres :

$$t_g = 6,70 d10^{-2,00} \quad [4]$$

À partir de cette relation, en l'absence d'autres phénomènes susceptibles de perturber l'écoulement, le d10 peut être approché par la relation suivante :

$$d10 = \sqrt{\frac{6,7}{t_g}}$$

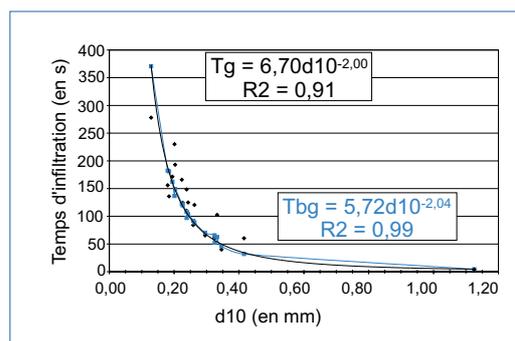
Aux limites définies par Grant, le d10 s'établirait à 0,21 mm et 0,37 mm.

Dès 1964, Wolfgang BEYER avait établi de façon empirique une relation liant le coefficient de perméabilité K au d10. L'équation s'écrit :

$$K = C^* (d10)^2 \quad [5]$$

avec : C : coefficient [en $\text{m}^{-1}\text{s}^{-1}$], variable avec le CU, selon le tableau 1.

► Figure 2 – Évolution du temps d'infiltration [t_g] en fonction du d10 pour des sables alluvionnaires (en noir, t_g et ajustement puissance – en gris, valeurs de t_{BG} calculées à partir de la relation de Beyer).



► Tableau 1 – Valeurs expérimentales du coefficient C en fonction du coefficient d'uniformité.

CU	C
[1,0 – 1,9]	$1,1 \cdot 10^{-2}$
[2,0 – 2,9]	$1,0 \cdot 10^{-2}$
[3,0 – 4,9]	$9 \cdot 10^{-3}$
[5,0 – 9,9]	$8 \cdot 10^{-3}$
[10,0 – 19,9]	$7 \cdot 10^{-3}$
>20,0	$6 \cdot 10^{-3}$

En appliquant l'équation [2] aux conditions de Grant, on obtient $K = 0,0553/t_g$ [6]

En combinant les équations [5] et [6], on obtient ce que nous pouvons dénommer le « temps de Beyer-Grant » [t_{BG} , en s] :

$$t_{BG} = \frac{0,0553}{C} d10^{-2} \quad [7]$$

Les différentes valeurs de t_{BG} , calculées de cette façon à partir des d10 mesurés, ont été reportées sur la figure 2 et révèlent une relation très proche de l'équation [4], avec un coefficient de corrélation encore amélioré. Les d10 ainsi obtenus vont de 0,2 à 0,35 mm pour des temps d'infiltration respectifs de 150 et 50 secondes. Cependant, l'approche de Beyer montre que, outre le d10, le coefficient d'uniformité influence la vitesse d'infiltration.

En pratique et pour conserver un bon niveau de sécurité, nous recommandons l'usage d'un sable dont le d10 est compris dans une fourchette : 0,25 et 0,40 mm.

Influence des fines

Pour des sables alluvionnaires, les fines peuvent être des sables fins de taille inférieure à $80 \mu\text{m}$, mais également des particules schisteuses et argileuses.

Lorsqu'il s'agit de sables provenant du concassage de roches mères, la présence de fines est plus fréquente car elles sont produites en grande quantité lors du broyage. Pour réduire les coûts de fabrication, les producteurs sont incités à les laisser pour modifier la courbe granulométrique et notamment, baisser le d10. Si une telle pratique semble être acceptée pour nombre d'usages relevant du génie civil, elle s'avère désastreuse pour une utilisation des sables en épuration des eaux usées ainsi que l'illustre la figure 3.

Étant donné que le temps d'infiltration est, comme nous l'avons vu précédemment, soumis à l'influence non équivalente mais simultanée de plusieurs paramètres, il convient de trouver une relation décrivant l'influence des fines sur la perméabilité. Revil et Cathles (1999) proposent une équation qui rend compte de l'influence volumique des particules fines, sous forme de schistes, et de la porosité (sachant que cette dernière est elle-même influencée par le d10 et le CU).

Ils ont, entre autres, établi une équation définissant la perméabilité d'un mélange sable-fines en

fonction de la perméabilité du sable lavé de la teneur volumique en fines.

$$\frac{K}{K_s} = \left[1 - \varphi_v \left(\frac{1 - \Phi_f}{\Phi_s} \right) \right]^{3m} \quad \text{avec } \varphi_v \leq \Phi_{sd} \quad [8]$$

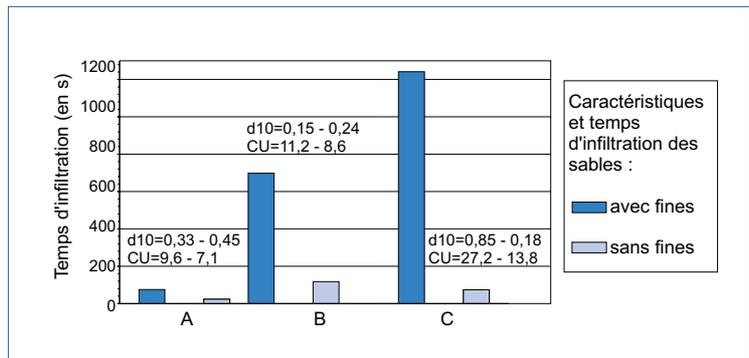
Où : $m = 1,8 + m_0 \varphi_v$

Avec K : perméabilité du sable.

K_s : perméabilité du sable dont on a extrait au préalable les fines par tamisage par voie humide.

m_0 : valeur calculée pour un sable donné.

Le tableau 2 résume les caractéristiques des huit sables qui permettent de calculer le coefficient m_0 de chacun d'eux. On note logiquement que l'hétérogénéité



▲ Figure 3 – Influence des fines sur le d10, le CU et le temps d'infiltration [t_g] pour 3 sables concassés.

▼ Tableau 2 – Caractéristiques de 3 sables concassés et 5 sables alluvionnaires.

	d10 (mm)	CU	Φ _s	φ _v (en %)	t _g (en s)	t _g ss fines (en s)	m ₀
A conc.	0,33	9,63	0,45	6,2	75	23	83
B conc.	0,15	11,21	0,40	7,9	698	120	68
C conc.	0,12	27,15	0,50	13,9	1242	74	44
D all.	0,20	2,27	0,40	3,2	230	107	186
E all.	0,42	2,88	0,43	1,6	60	27	1056
F all.	0,23	3,79	0,40	3,8	124	110	0
G all.	0,33	7,23	0,41	2,9	102	70	85
H all.	0,26	3,78	0,42	2,6	120	73	187

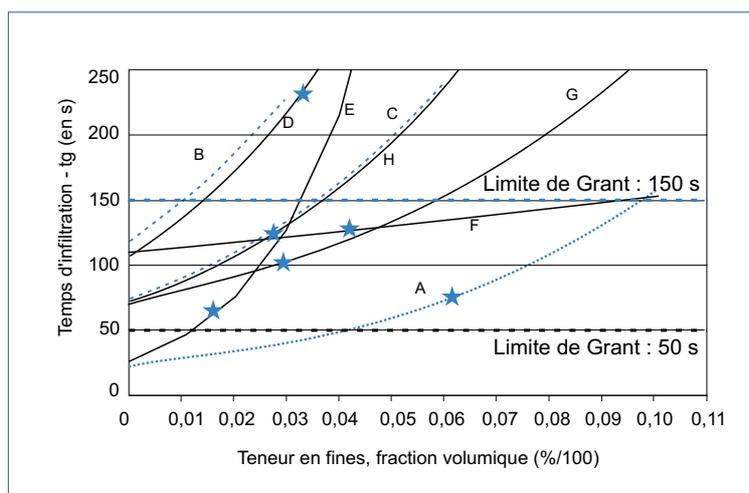
conc. = concassé, all. = alluvionnaire (roulé).

néité et la teneur en fines des sables concassés sont plus élevées que celles des sables alluvionnaires.

Pour chaque sable, on disposerait ainsi d'une relation liant la perméabilité et les teneurs volumiques en fines.

Puisque la perméabilité est liée au temps d'infiltration (équation 2), il est possible comme l'illustre la figure 4 de tracer ces 8 courbes, caractéristiques de chacun des sables, liant des teneurs variables théoriques en fines et le temps d'infiltration théorique. Ces courbes indiquent clairement comment la teneur en fines peut modifier la perméabilité.

Les courbes des sables B et D proches d'une part, et surtout celles des sables C et H presque superposables, d'autre part, suscitent l'étonnement. En première approche, il paraît difficilement concevable que la même quantité de fines donne un t_g quasi identique en partant de deux d10 si dissemblables. Toutefois, les CU sont également très différents et



▲ Figure 4 – Évolution des temps d'infiltration [t_g] en fonction de la teneur volumique en fines (les sables concassés sont représentés par des courbes en pointillés - quand cela est possible, les étoiles symbolisent la teneur volumique en fines des sables).

peuvent ménager de nombreux passages entre des grains très hétérogènes. En outre, l'angularité du sable C a une incidence, a priori négative, mais encore peu connue sur la perméabilité.

Des travaux complémentaires sont encore nécessaires pour conclure sur le caractère pleinement intégrateur de la porosité sachant que celle des fines et leur masse volumique n'ont pas été mesurées pour ces sables très différents. Il en est de même pour la transformation de la teneur massique en fines en teneur volumique (Marion *et al.*, 1992), dont les rapports φ_v/φ_w calculés varient dans une fourchette de 1,39 à 1,54 pour les trois sables concassés alors qu'ils sont très proches de 1,45 pour les cinq sables alluvionnaires.

Si la pertinence de ce modèle est confirmée, on peut penser qu'il constituerait un outil prioritairement adapté aux producteurs de granulats qui peuvent l'utiliser pour piloter leur processus de fabrication.

Pour un d10 supérieur ou égal au seuil recommandé de 0,25 mm, on note que la teneur volumique en fines ne doit pas excéder 2 % ce qui correspond approximativement à une teneur massique de 3 %. En l'absence d'une approche permettant d'en quantifier précisément l'impact, des recommandations antérieures (Agences de l'eau, 1993) sensibilisaient déjà les concepteurs à l'impact prévisible de ce paramètre.

Influence du coefficient d'uniformité

Afin d'essayer de cerner le maximum de paramètres susceptibles d'influencer la perméabilité, trois sables ayant des d10 de 0,20 ; 0,24, ; et 0,33 mm et des CU variant entre 2,27 et 7,23 ont été soumis à des tests d'infiltration.

On peut en effet penser que lorsque la taille des grains est plus importante, la géométrie des pores est modifiée avec une augmentation des tailles des macropores sans pour autant avoir une augmentation de la porosité totale qui était ici comprise entre 40 et 45 %.

La figure 5 révèle que le coefficient d'uniformité et donc le degré d'hétérogénéité du sable a beaucoup moins d'influence sur la variabilité du temps d'infiltration que le d10 et la teneur en fines.

Ce constat peut cependant être tempéré par le fait que les amplitudes de CU pour chacun des sables testés étaient faibles. Des essais complémentaires seraient donc nécessaires pour éclaircir ce point.

Influence des géotextiles

Par ailleurs, des essais non présentés ici (Guellaf, 1999), indiquent que l'utilisation de géotextiles pour séparer le sable de la couche drainante constituée de gravier, accroît considérablement les risques de colmatage. Celui-ci pourrait avoir au moins deux causes i) colmatage direct par des fines résiduelles du sable, des matières en suspension apportées par l'effluent ou encore des micro-organismes épuratoires et ii) limitation de l'aération par l'entretien d'une frange capillaire à la base du massif filtrant. En obstruant de façon exagérée la porosité, l'eau nuit aux échanges gazeux, par convection lors de l'infiltration de l'eau usée et par diffusion entre deux bâchées et pendant les nécessaires périodes de repos.

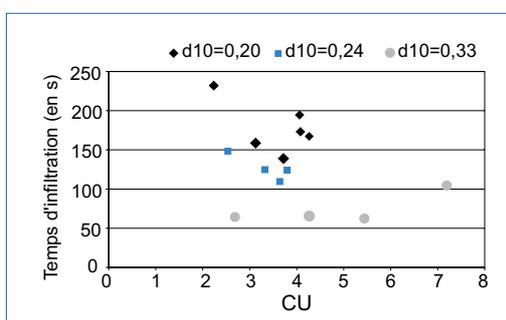
Conclusion

Malgré la publication récente de documents guides (Alexandre *et al.*, 1998) conseillant des fourchettes de d10 plus restreintes que celles éditées quelques années auparavant (Agences de l'eau, 1993), il était nécessaire, face à la mise en évidence de plusieurs cas de dysfonctionnements, de préciser de manière encore plus fine des critères de qualité de sable, ces précisions étant très utiles pour les maîtres d'œuvre et concepteurs de station d'épuration des eaux usées par infiltration-percolation sur sable.

Concernant le d10, la fourchette la mieux adaptée apparaît être la suivante : $0,25 < d10 < 0,40$ mm. Malgré une insuffisante mise en évidence de l'hétérogénéité des grains dans la perméabilité du sable, il semble que le coefficient d'uniformité pourrait être circonscrit entre les valeurs : $3 < CU < 6$. La teneur maximale en fines, exprimée en pourcentage par rapport à la masse, ne devrait pas excéder 2,5 à 3 %.

Afin de garantir une fiabilité de fonctionnement des dispositifs sur une durée d'au moins une dizaine d'années sans avoir à changer une bonne partie du sable mis en place, il semble désormais nécessaire de conseiller, voire d'imposer, des caractéristiques de sable très strictes. Il n'est d'ailleurs pas exclu que des recherches complémentaires, mais surtout des bilans de fonctionnement sur sites après deux ou trois ans de service, nous conduisent à être encore plus restrictifs à l'avenir. Cette exigence apparaît aujourd'hui la plus raisonnable même si pour un site donné il n'est pas possible de trouver le sable adéquat dans des conditions

technico-économiques intéressantes. Mieux vaut en effet renoncer rapidement à ce type de filières de traitement au stade de projet plutôt que de faire un compromis qui aboutira rapidement à des dysfonctionnements et à terme à un remplacement complet du sable pour un coût encore plus élevé. En outre, lorsque la réalisation est décidée, le chef de chantier doit avoir la possibilité de vérifier que la fourniture répond aux caractéristiques du projet. En conséquence, l'élaboration d'outils de contrôle, suffisamment simples pour être mis à la disposition des constructeurs au moment de l'approvisionnement des sites en sable, s'avère déterminante pour améliorer les réalisations. Le test d'infiltration répond correctement à ce besoin. □



▲ Figure 5 – Évolution du temps d'infiltration [t_g] en fonction du CU de 3 types de sables alluvionnaires.

Résumé

De nombreuses collectivités rurales de 100 à 1 000 EH environ, utilisent les lits d'infiltration-percolation sur sable (souvent dénommés simplement « filtres à sable ») pour traiter leurs effluents domestiques. Une série d'études de cas révèle cependant que plusieurs points relatifs au dimensionnement, à la conception et à la mise œuvre de cette technique doivent être abordés scientifiquement pour obtenir de façon durable les performances attendues caractérisées, notamment, par un taux élevé de nitrification, gage d'un fonctionnement satisfaisant. Le choix du sable constituant le massif filtrant, cœur du réacteur biologique, est bien sûr un des facteurs clefs. Il doit avoir une perméabilité initiale suffisante pour garantir une vitesse d'infiltration adaptée, après colonisation par la biomasse épuratoire. Cette perméabilité est gouvernée essentiellement par le d_{10} , la teneur en fines et le coefficient d'uniformité. Ces éléments, extraits d'analyses granulométriques, sont généralement donnés par la carrière ou l'extracteur de granulats qui contrôle ainsi sa production. Cependant, la mise au point d'un test d'infiltration à l'eau claire se révèle indispensable pour vérifier la conformité des livraisons effectuées sur le chantier.

Abstract

In a range from 100 to about 1000 People Equivalent (PE), Secondary Wastewater Sand Filters (SWSF) are used by a lot of rural communities in France. A series of case studies however point out that several criteria concerning global and detailed design and implementation of these systems have to be approached scientifically, in order to obtain the expected results on a long-term basis.

The choice of the sand constituting the infiltration bed, core of the biological reactor, is of course one of the key elements and is the main subject of this article. It must have a sufficient initial permeability in order to ensure an adapted infiltration speed, after colonisation by the purifying biomass. The d_{10} , fines content mainly and degree of uniformity control this permeability. The quarry or the aggregate extractor, who masters his production this way, usually gives these elements, based on granulometric analysis. However the adjustment of an infiltration test with clear water is essential to check on site the conformity of the deliveries.

Bibliographie

- AFNOR, 1990, *Analyse granulométrique par tamisage*, XP P 18-560, septembre 1990, 9 p.
- AFNOR, 1998, *Mise en œuvre des dispositifs d'assainissement autonome*, XP P 16-603, août 1998, DTU 64.1, 37 p.
- Agences de l'Eau, 1993, *Épuration des eaux usées urbaines par infiltration percolation. État de l'art et études de cas*, Étude Inter Agences, 9, 89 p.
- BEYER, W., 1964, *Zur Bestimmung der wasserdurchlässigkeit von kiesen und sanden aus der kornverteilungskurve*, WWT, p. 165-168.
- ALEXANDRE, A., BOUTIN, C., DUCHÈNE, P., LAGRANGE, C., LAKEL, A., LIÉNARD, A. et ORDITZ, D., 1998, *Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités*, Document technique FNDAE 22, Cemagref Editions, Antony, 87 pages + annexes.
- COOPER, P.F., JOB, G.D., GREEN, M.B., SHUTES, R.B.E., 1996, *Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment*, WRc plc, Swindon, 184 p.
- GOLD, A.J., LAMB, B.E., LOOMIS, G.W., CABELLI, V.J., MAC KIEL, C.G., 1992. Wastewater Renovation in Buried and Recirculating Sand Filters. *J. Env. Qual.*, 21, p. 720-725.
- GUELLAF, H., 1999, *Les massifs de sable dans les filières «cultures fixées sur supports fins» : Caractérisation granulométrique, hydraulique et minéralogique*, Cemagref Editions, 113 pages + annexes.
- GUILLOTEAU, J.-A., 1994. Épuration des eaux usées urbaines par infiltration-percolation. *T.S.M.*, 6, p. 337-341.
- LESAVRE, J., ZAÏRI, A., 1988, *Épuration des eaux résiduaires par épandage souterrain sous pression : conception et évaluation de la filière de traitement*, Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 359 pages + annexes.
- MARION, D., NUR, A., YIN, H., HAN, D., 1992. Compressional velocity and porosity in sand-clay mixtures. *Geophysics*, 57, p. 554-563.
- OTIS, R.J., CONVERSE, J.C., CARLILE, B.L., WITTY, J.E., 1982. Effluent distribution, On-site Wastewater Treatment. *Proceedings of the international conference on individual and small community sewage systems*, Atlanta, Georgia.
- REED, S.C., MIDDLEBROOKS, E.J., CRITES, R.W., 1988. Natural Systems for Waste Management and Treatment. In : *Mc Graw-Hill Company*, New York, USA, p. 308.
- REVIL, A., CATHLES, L.M., 1999. Permeability of shaly sands. *Water Resources Research*, Vol.35, n°3, p. 651-662.