

Le sable de filtration



Parmi les matériaux granulaires utilisés en traitement d'eau, le sable est le plus couramment utilisé, qu'il s'agisse de production d'eau destinée à la consommation humaine, d'eaux de piscine, d'eaux pour utilisations industrielles ou de filtration d'eaux issues de stations d'épuration en traitement tertiaire. Le sable doit répondre à certaines exigences afin d'être apte à la filtration. Il convient de plus de connaître ses caractéristiques afin de choisir le sable le mieux adapté à l'application pour laquelle il est destiné.

Pierre Corsin, Fluid Consult
Guénaëlle Mauguin et Nathalie Villain, GLS

ABSTRACT The sand of filtration

Among the media used for water treatment, sand is the most wide spread, for drinking water, swimming-pool, industrial waters or municipal wastewater. Sand must meet specific requirements for its use for filtration. It is also very important to know its characteristics in order to choose the most adapted for a specific application.

Le sable fait partie de la liste A2 - supports minéraux (sables et graviers à base de silice) de la circulaire DG5/VS4 n°2000-166 du 28/03/00 de la Direction générale de la santé, relative aux produits de procédés de traitement des eaux destinées à la consommation humaine.

Normes

Les spécifications relatives au sable utilisé pour cette application sont définies dans la norme NF EN 12904 de décembre 1999.

D'autres normes sont également applicables :

- EN 12901 : Matériaux inorganiques de filtration et de support - Définitions.

- EN 12902 : Matériaux inorganiques de filtration et de support - Méthodes d'essai.

La norme EN 12904 spécifie différentes appellations pour la désignation du sable :

- Noms chimiques :

- silice,
- dioxyde de silicium,

- Noms communs :

- sable,
- sable quartzeux.

Caractérisation du sable de filtration

Origine

Le sable peut être extrait de rivières ou provenir de régions côtières (galets).

Préparation et forme

Préparation :

- sable de rivière : lavage → séchage → dépoussiérage → tamisages successifs;

- sable de mer : lavage → broyage → séchage → dépoussiérage → tamisages successifs.

Forme des grains :

- sable de rivière roulé : arrêtes arrondies;

- sable de mer broyé : angles à arrêtes vives.

À granulométrie égale, l'augmentation de la

Tableau 1 : Compositions chimique et minéralogique représentatives d'un sable de type 2 (teneur en silice minimum de 80 %)

Composition chimique (%)		Composition minéralogique (%)	
SiO ₂	87,0	Dutile (oxyde de titane)	0,02
Al ₂ O ₃	6,61	Chlorite	0,47
CaO	0,11	Gypse	0,06
MgO	0,07	Mica	3,45
Fe ₂ O ₃	0,45	Feldspath (aluminosilicate)	28,19
Na ₂ O	1,10	Quartz	66,87
K ₂ O	3,51		
SO ₃	0,03		

perte de charge au travers du lit filtrant est légèrement plus importante avec des grains à arrêtes arrondies qu'avec des grains anguleux, car ces derniers s'imbriquent moins bien que les premiers, d'où des sections de passage plus importantes.

On en déduit qu'à granulométrie égale, la qualité de l'eau filtrée peut être meilleure avec un lit constitué de grains à arrêtes arrondies.

Composition chimique

La teneur en silice doit être la plus élevée possible et en tout cas supérieure à 80 % (masse pour masse ou m/m). La perte de masse dans l'acide chlorhydrique en solution à 20 % doit être au maximum de 2 % (m/m) en 24 h. La norme NF EN 12904 définit trois types de sable, dont deux sont plus particulièrement destinés à la filtration. Les sables de type 1 ont une teneur en silice minimum de 96 %. Ce sont généralement des sables de mer, tandis que les sables de rivière sont de type 2, avec une teneur en silice de 85 % au minimum (voir le tableau 1).

Courbe de répartition granulométrique

Il s'agit du tracé de la courbe de pourcentage de la masse (m/m) de chaque fraction granulométrique passant une série de tamis d'essais en fonction de l'ouverture de la

Tableau 3 : Séries des tamis normalisés en fonction de la taille effective d10 (ouvertures en mm)

d ₁₀ 0,55	d ₁₀ 0,75	d ₁₀ 0,95	d ₁₀ 1,35
0,315	0,500	0,500	1,25
0,400	0,630	0,630	1,40
0,500	0,710	0,800	1,60
0,630	0,800	0,900	1,80
0,800	0,900	1,00	2,00
0,900	1,00	1,25	2,50
1,00	1,25	1,40	
		1,60	
		1,80	
		2,00	

maille du tamis. Elle est établie conformément à la norme ISO 2591-1.

Comme indiqué sur la figure 1, la répartition granulométrique permet de déduire deux valeurs caractérisant le sable :

- la taille effective d10, correspondant à l'ouverture de maille théorique par laquelle passe 10 % (m/m) des particules;

- le coefficient d'uniformité U, qui est le rapport de l'ouverture de maille de tamis qui permet le passage de 60 % (m/m) de particules, à l'ouverture de maille de tamis permettant le passage de 10 % (m/m) des particules : $U = d_{60}/d_{10}$.

La taille effective d10 doit être choisie en fonction de l'eau devant être filtrée et du type de filtration (voir le tableau 2). La tolérance admise par rapport à la valeur nominale annoncée par le producteur est de $\pm 5\%$.

Le coefficient d'uniformité U doit être inférieur à 1,5. Plus la valeur de U se rapproche de 1, meilleure est l'homogénéité obtenue pour le lit filtrant, ce qui permet de réduire les pertes de charge et d'obtenir une rétention en profondeur des matières en suspension.

Il est également important que les proportions de particules les plus fines et les plus grossières définies par la courbe de répartition granulométrique soient les plus faibles possibles. Ainsi, on admet que les particules passant par le tamis dont l'ouverture est égale à 66 % de celui des d10 représentent au maximum 1 % (m/m) et que les particules ne passant pas par le tamis dont l'ouverture est égale à 180 % de celui des d10

Tableau 2 : Application des sables en fonction de leur taille effective

Eau / application	TE d10 (mm)
Eaux de piscine	0,55
Filtres bi-couche anthracite-sable	0,75
Eau destinée à la consommation humaine	0,95
Traitement tertiaire d'eaux usées urbaines	1,35

représentent au maximum 5 % (m/m).

Tamis normalisés

La vérification de la granulométrie d'un sable est décrite par la norme ISO 2591-1, qui précise, pour les colonnes de tamisage, les séries de tamis à utiliser en fonction de la granulométrie du sable à tester (voir tableau 3).

Une colonne de tamisage est composée d'une série de tamis de contrôle empilés les uns sur les autres, par ordre croissant d'ouverture de maille (de bas en haut).

Autres références normatives concernant l'analyse granulométrique :

- ISO 565 : Tamis de contrôle - Tissus métalliques, tôles métalliques perforées et feuilles électroformées - Dimensions normales des ouvertures;

- ISO 2395 : Tamis et tamisage de contrôle - Vocabulaire.

Masses volumiques absolue et apparente - Porosité

La masse volumique absolue (= masse divisée par volume à l'exclusion du volume poreux et des cavités internes) varie de 2,6 à 2,7 kg/l suivant l'origine du sable et en particulier de sa teneur en silice : plus celle-ci est

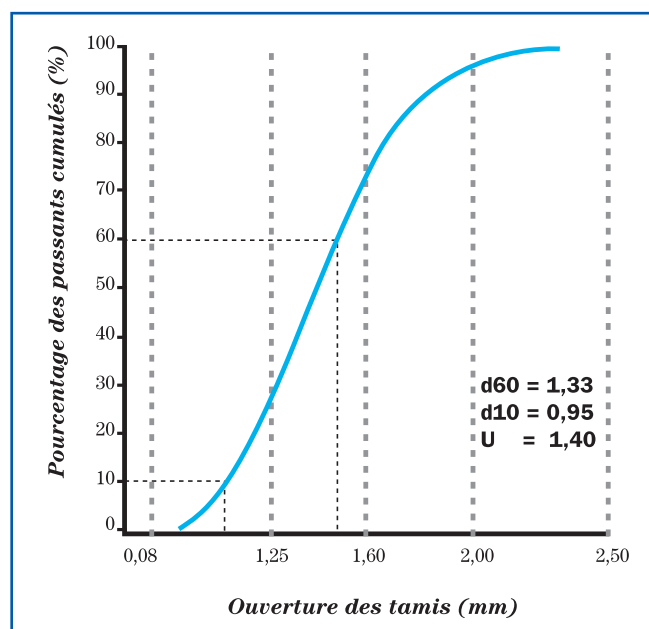


Figure 1 : Courbe de répartition granulométrique pour du sable de TE d10 0,95 mm.

élevée, plus la masse volumique absolue est élevée.

La masse volumique apparente ou masse volumique des particules (= masse divisée par son volume incluant les pores et les cavités internes) dépend également de la composition chimique du sable, mais aussi de sa granulométrie. Plus la taille effective est importante, moins grande est la masse volumique apparente.

La comparaison entre les deux masses volumiques, absolue et apparente, permet de définir le volume interstitiel servant à la rétention des matières. Ce volume permet de déterminer la porosité f du lit filtrant.

$$f = \frac{\text{volume interstitiel}}{\text{volume total}} = 1 - \frac{MV_{\text{apparente}}}{MV_{\text{absolue}}}$$

Ainsi, pour un sable de TE d_{10} de 0,95 mm, la masse volumique apparente est de l'ordre de 1,46 kg/l (sable de rivière roulé à 87 % de silice) tandis que la masse volumique absolue est de 2,60 kg/l; on en déduit le volume interstitiel correspondant, qui est de 44 % du volume total du lit filtrant.

Friabilité

Le sable de filtration doit être peu friable afin de produire le moins de fines possible par attrition lors des opérations de lavage, car elles pourraient se retrouver en surface et provoquer un encrassement rapide du lit filtrant.

Le test de friabilité s'effectue en introduisant dans un cylindre du sable et des billes en acier et en le faisant tourner à 25 tr/min pendant 15 min pour un premier volume de l'échantillon, puis pendant 30 min pour un deuxième volume, ce qui correspond respectivement à 750 impacts et 1.500 impacts (voir la classification des sables dans le tableau 4). Puis on procède à l'établissement des courbes de répartition granulométrique de l'échantillon avant et après les deux types de broyage.

En notant X le pourcentage des passants après broyage ayant une taille correspondant au d_{10} avant broyage, la perte en % (m/m) est égale à :

$$\frac{100}{90} (X - 10)$$

Dans le cas présenté dans la figure 2, la perte est de 27 %, ce qui correspond à un

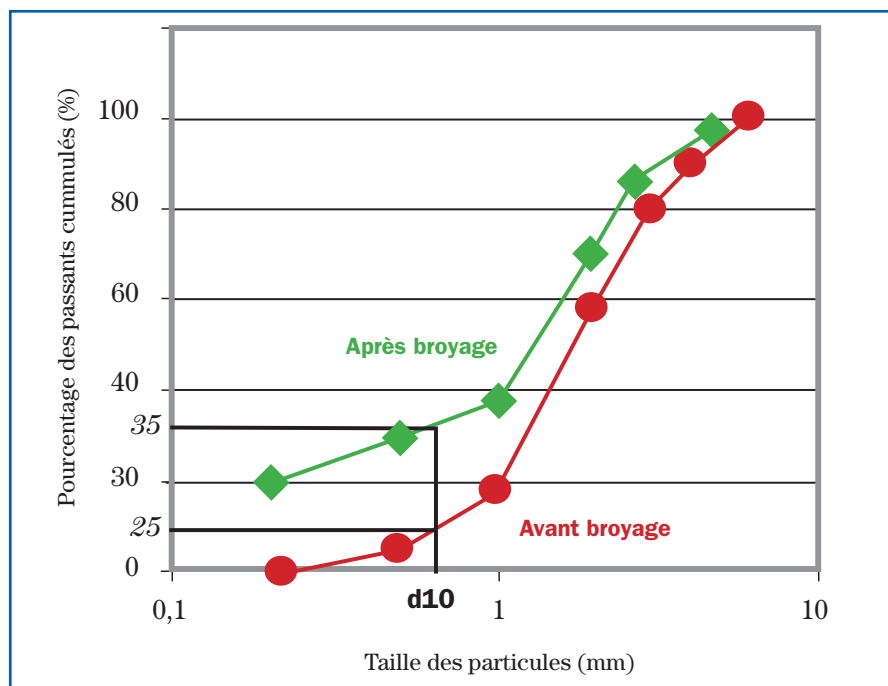


Figure 2 : Exemple de résultats d'essais de friabilité à 1.500 impacts.

sable de qualité médiocre (voir tableau 4).

Tableau 4 : Qualité des sables du point de vue de leur friabilité		
Qualité	750 impacts	1.500 impacts
Très bon	< 10 %	< 20 %
Bon	10 - 15 %	20 - 25 %
Médiocre	15 - 20 %	25 - 35 %
Inacceptable	> 20 %	> 35 %

Les pertes annuelles en sable dues au lavage ne doivent pas excéder 2 %.

Pertes au feu

Elles ne doivent pas dépasser 0,36 %.

Conditionnement

Le sable est disponible en plusieurs conditionnements :

- en vrac, les livraisons sont en général de 25 t;
- en big bag de 1 m³, avec possibilité de mise sur palettes houssées;
- par palette (1.100 × 1.300 × 1.000) de 63 sacs de 25 kg ou 42 sacs de 40 kg.

La norme EN 12904 précise : « afin que le niveau de pureté du produit soit garanti, les modes de conditionnement ne doivent pas avoir été utilisés pour un produit différent ou doivent avoir été spécialement nettoyés et préparés avant utilisation ».

Échantillonnage avant la mise en œuvre du sable

L'échantillonnage est une étape essentielle pour le contrôle d'une livraison. Le principe

général de cette opération consiste en la récolte d'un volume de sable suffisamment important, puis de l'homogénéiser et d'en récolter le volume requis pour une analyse. Il doit s'effectuer en se conformant aux recommandations de la norme ISO 8213.

Pour le contrôle de l'évolution des caractéristiques d'un sable déjà en place, on s'attachera à obtenir un échantillon le plus représentatif possible en prélevant des échantillons en plusieurs endroits de la surface (au moins quatre) et à plusieurs profondeurs (en surface, à mi-hauteur, près du plancher).

Mise en œuvre du sable

Mise en place du sable - Hauteurs de couches

Le sable est mis en œuvre soit dans des filtres à écoulement gravitaire, soit dans des filtres fonctionnant sous pression. Il repose alors soit sur des planchers en béton armé ou en polyester armé de fibres de verre, soit sur des planchers métalliques.

Dans les deux cas, les planchers sont munis de buselures. Afin de protéger ces dernières et parfaire la distribution des fluides de lavage, il est prévu une couche support constituée de graviers dont la taille effective doit être égale à 4 à 4,5 fois la taille effective du sable filtrant.

La quantité de sable généralement mis en œuvre dépend de la taille effective choisie. On admet qu'une hauteur de couche correspondant à 1000 fois la taille effective est satisfaisante.

Tableau 5 : Facteur de sphéricité des grains de sable

Grain	sphérique	presque sphérique	arrondi	usé	anguleux	rompu
φ	1	0,95	0,90	0,85	0,75	0,65

La hauteur de couche support est prise égale à 100 mm.

Procédures de lavage

Il existe deux modes de lavage des filtres à sable, soit par retour d'eau seule, soit en combinant eau et air.

Le lavage des filtres à l'eau seule entraîne une stratification du média filtrant : les grains les plus petits se retrouvent dans la partie supérieure du lit filtrant, provoquant ainsi un blocage rapide et donc des lavages plus fréquents.

Le lavage "air + eau" des filtres permet de conserver l'homogénéité du lit filtrant. La filtration est alors plus performante car elle se déroule en profondeur. Ce lavage se déroule en trois phases :
 - air seul : détassage du média;
 - air + eau à petit débit : déplacement hors du média des matières retenues;
 - eau à grand débit : rinçage. Pour cette phase le débit choisi ne doit provoquer aucune expansion du lit filtrant afin de ne pas le stratifier.

Il est à noter que dans le cas des filtres multicouches, on ne met pas en œuvre simultanément l'eau et l'air, ceci afin de conserver la stratification du lit.

Pertes de charge

La valeur des pertes de charge à travers le lit de sable propre peut être approchée par la loi de Darcy :

$$\Delta H = (h \times V) / K, \text{ avec :}$$

ΔH : pertes de charge (m C.E.)

h : hauteur de la couche filtrante (m)

V : vitesse de percolation (m/h)

K : perméabilité du média (m/s).

La perméabilité du média est donnée par la formule suivante :

$$K = [150 \times (0,72 + 0,028T) \times f^2 \times Ds^2 \times \varphi^2] / (1 - f^2), \text{ avec :}$$

T : température (°C)

$$f : \text{porosité} = \frac{\text{Volume interstitiel}}{\text{Volume du lit}}$$

$$= 1 - \left(\frac{MV_{\text{apparente}}}{MV_{\text{réelle}}} \right)$$

Ds : diamètre spécifique du grain (mm)

φ : facteur de sphéricité du grain (voir tableau 5).

Le diamètre spécifique du grain est donné par la formule suivante :

$$Ds = d/s \times (1 + 2 \log U) \times TE_{d10}, \text{ avec :}$$

d/s : dépend de la forme du grain :

- grains arrondis : $d/s = 1,05$

- grains ellipsoïdaux : $d/s = 1,10$

- grains oblongs : $d/s = 1,20$

U : coefficient d'uniformité

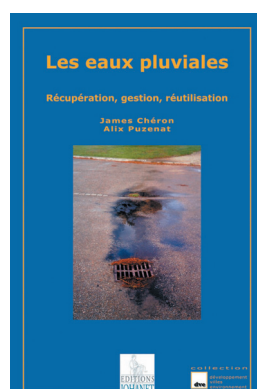
TE_{d10} : taille effective du sable considéré.

La perte de charge d'un lit filtrant de 1 m de hauteur, constitué de sable roulé ayant une taille effective d_{10} de 0,95 mm est de 0,345 m C.E. Si le lit était constitué d'un sable broyé présentant la même taille effective et le même coefficient d'uniformité, la perte de charge serait de 0,308 m C.E., soit 12 % inférieure à celle d'un sable roulé. Ce résultat démontre bien que les grains roulés s'imbriquent mieux que les grains broyés, ce qui pourrait tendre à une meilleure qualité de l'eau filtrée.

Conclusion

Le sable filtrant doit correspondre à certaines exigences physico-chimiques, mais il convient de connaître les interactions entre les différents paramètres, sur la turbidité de l'eau filtrée, la durée des cycles entre deux lavages, la charge de matières retenues au m^2 , comme l'illustre le tableau ci-dessous. ■

	Taille effective ↑	Hauteur de lit ↑	Vitesse de filtration ↑	Pression disponible ↑
Turbidité	↑	↓	↑	→
Durée des cycles	↑	↑	↓	↑
Charge au m^2	→	↑	→	↑



Format 16 x 24 cm

128 pages

ISBN 2-900086-51-5

Prix H.T : 32,23 €

TVA 5,5 % : 1,77 €

Prix public TTC : 34 €

LES EAUX PLUVIALES
Récupération, gestion, réutilisation

Par James CHERON et Alix PUZENAT

Depuis un siècle, les ressources sont de plus en plus polluées et/ou gaspillées. Les formes diverses de pollutions : agricoles, industrielles, liées aux comportements des hommes, créent une menace insidieuse pour la ressource. À partir de ce constat, les auteurs s'intéressent dans cet ouvrage à une meilleure gestion et une bonne utilisation des eaux de pluie.

Avant ruissellement sur les sols et les surfaces imperméabilisées, les eaux de pluies collectées sur les toitures représentent une possibilité importante d'utilisation avant leur rejet au milieu naturel.

Après un exposé de la méthode retenue, les données indispensables pour évaluer les usages possibles sont présentées. L'étude et les commentaires portent sur les approches, parfois très anciennes, qui ont concerné la gestion des eaux de pluie depuis plusieurs millénaires. Des exemples de réalisations récentes montrent le poids des règlements et textes administratifs. À partir des études de cas présentées, l'importance des calculs économiques et leurs simulations permettent, bien souvent, la prise de décision. Les perspectives sont examinées : des réticences de tous ordres doivent encore être levées.

Le frein apporté au développement de ces techniques vient principalement d'une application du principe de précaution si poussée qu'elle en devient parfois excessive et paralysante.

Éditions JOHANET : 30, Rue René Boulanger - 75010 Paris

Tél. 01.44.84.78.78 - Fax 01.42.40.26.46

Internet : www.editions-johanet.com - E-mail : info@editions-johanet.com