

DRAINAGE DE GAZ PAR GÉOCOMPOSITES GAS DRAINAGE BY GEOCOMPOSITES

Y.-H. FAURE
IRIGM
G. AUVIN
SOMMER BTP

RÉSUMÉ

Des essais en vraie grandeur ont été réalisés dans une cuve de 20 m² x 1 m représentant les conditions de drainage sous une dalle en béton : de l'air est injecté dans la couche de sol sous jacente, puis drainé par un géocomposite. La pression de l'air dans le géocomposite est mesurée en fonction du débit. Des comparaisons entre les résultats expérimentaux et un modèle théorique permettent d'estimer les performances des géocomposites pour le drainage des gaz à partir des caractéristiques mesurées à l'eau.

ABSTRACT

Full scale tests were performed in a 20 m² x 1 m tank corresponding to drainage conditions below a concrete slab: air flow is injected in a soil layer and is drained by a geocomposite laid below the concrete slab. Air pressures in the geocomposite are measured as a function of the air discharge. Comparisons between experimental results and a theoretical model are presented and allow to estimate gas drainage performances of a geocomposite from its water drainage characteristics.



Photo 1 : Vue de l'installation en vraie grandeur / View of the real size installation

1 INTRODUCTION

L'étude présentée a été réalisée sur le géocomposite Somtube: ce produit est constitué d'une nappe drainante non-tissée, comprise entre deux filtres en géotextile aiguilleté, dans laquelle sont placés des micro drains (22 mm extérieur) parallèles espacés de 0.25, 0.50, 1.00 ou 2.00 m suivant les besoins, figure 1. A cause de cette structure particulière, ce géocomposite avait fait l'objet d'études spécifiques, théoriques et expérimentales pour le drainage de l'eau. Une méthode de dimensionnement pour le drainage de l'eau avait été élaborée en tenant compte de l'aspect tridimensionnel des écoulements et avait été validée par un essai en demi vraie grandeur dans une cuve où la surface testée était de 4 m² (Faure et al. 1993).

Dans le contexte du drainage des gaz, sous fondations reposant sur un sol organique ou pour la couverture de sites de stockage de déchets, une démarche analogue à celle du drainage de l'eau a été entreprise: après avoir déterminé au laboratoire les caractéristiques à l'air du géocomposite, nous avons validé ses performances l'air sur un modèle en vraie grandeur d'une surface de 20 m². Les résultats expérimentaux ont été comparés aux valeurs théoriques obtenues avec le modèle de dimensionnement adapté au drainage des gaz.

2 ESTIMATION DES PERFORMANCES DES GEOCOMPOSITES POUR LE DRAINAGE DES GAZ

Pour comparer les écoulements d'air et les écoulements d'eau dans les géocomposites, nous supposerons, par similitude, qu'à même nombre de Reynolds R_e, le coefficient de perte de charge λ est le même, d'une part, dans la nappe drainante et d'autre part dans les micro-tubes. Pour les écoulements en conduite, R_e et λ ont pour expression

$$R_e = (Q/S) \frac{d}{\nu} \quad \text{et} \quad \lambda = \frac{2gid}{(Q/S)^2}$$

- R_e : nombre de Reynolds,
- Q : débit dans le tube, (Q_a: débit d'air, Q_w: débit d'eau)
- S, d : section et diamètre hydraulique du tube,
- ν : viscosité cinématique du fluide (ν_a: pour l'air, ν_w pour l'eau)
- λ : coefficient de perte de charge,
- i : gradient de l'écoulement, en hauteur de fluide divisée par la longueur du tube (i_a, pour l'air et i_w pour l'eau)
- g : accélération de la pesanteur.

Pour un géocomposite donné, les caractéristiques dimensionnelles (S et d) sont identiques à l'air ou à l'eau.

Si R_e est le même, alors: $Q_a / \nu_a = Q_w / \nu_w$ et si λ est le même: $i_a / Q_a^2 = i_w / Q_w^2$.

En régime laminaire (la loi de Darcy est généralement vérifiée pour les nappes drainantes non tissées) on définit la transmissivité des géocomposites, pour un fluide donné, par:

$$\theta_a = Q_a / i_a \quad \text{et} \quad \theta_w = Q_w / i_w \quad \theta_a, \theta_w : \text{transmissivité à l'air et transmissivité à l'eau (m}^2/\text{s)}.$$

alors: $\theta_a \nu_a = \theta_w \nu_w$.

En régime non laminaire, la loi de Darcy n'est plus applicable. C'est le cas pour les micro-tubes. Les essais à l'eau réalisés précédemment avaient montré que l'écoulement était non laminaire (comme pour d'autres types de géocomposites drainants) même pour des gradients de l'ordre de 0.001 et que la capacité de décharge des micro-tubes (q_d)_w, dépendante du gradient de l'écoulement, pouvait s'exprimer ainsi:

$$(q_d)_w = \frac{Q_w}{l_w} = \alpha_w (i_w)^{n_w} \quad \text{avec} \quad n_w \cong -1/2 \quad \text{et} \quad \alpha_w: \text{coefficient de même dimension que } (q_d)_{w}, \text{ en m}^3/\text{s}.$$

Le fait que n_w soit peu différent de $-1/2$, caractérise un écoulement turbulent ($\lambda = \text{constante}$). Pour un écoulement d'air, avec les mêmes R_g , on aura aussi $n_a \approx -1/2$. Le coefficient de perte de charge λ devant aussi être le même quel que soit le fluide utilisé, le calcul montre alors que:

$$\alpha_a = \left(\frac{v_w}{v_a}\right)^{2n+1} \cdot \alpha_w = \alpha_w \quad \text{d'où:} \quad (q_d)_a = \alpha (i_a)^{-1/2}$$

Les essais de laboratoire (Faure et al, 1994) ont confirmé que cette méthode était applicable au géocomposites pour l'estimation de la transmissivité (en régime laminaire) et de la capacité de décharge (en régime turbulent).

3 DIMENSIONNEMENT DE CE GEOCOMPOSITE POUR LE DRAINAGE DES GAZ

Une méthode de dimensionnement a été développée pour les écoulements d'eau dans ce géocomposite en tenant compte des pertes de charge dans la nappe drainante et les micro-tubes (Faure et al, 1993). Elle permet de relier la répartition des pressions dans la nappe drainante au débit à évacuer, en fonction des caractéristiques géométriques et hydrauliques du problème: espacement entre les micro-tubes, pente dans le sens de l'écoulement ou non, écoulement en charge ou gravitaire dans les micro-tubes, conditions aux limites fixées par un flux d'alimentation constant ou par une équipotentielle imposée dans le sol, etc.

Pour le drainage des gaz, la méthode de dimensionnement reste la même à condition:

- de tenir compte des caractéristiques hydrauliques de la nappe drainante pour les gaz considérés,
- d'exprimer les pressions et charges hydrauliques en hauteur de gaz,
- d'utiliser le poids volumique "déjaugé" du gaz par rapport à l'air (poids volumique du gaz diminué du poids volumique de l'air) pour les écoulements gravitaires ascendants (gaz plus légers que l'air) ou descendants (gaz plus lourds que l'air).

Cette méthode de dimensionnement pour le drainage des gaz a été testé dans le cas particulier de l'essai en vraie grandeur présenté ci-dessous.

4 VALIDATION PAR DES ESSAIS EN VRAIE GRANDEUR

Une installation pilote a été conçue et réalisée sur le site de l'usine Sommer à Sedan (France) pour tester l'efficacité du géocomposite pour le drainage de l'eau sous les dallage en béton des ouvrages de génie civil (bâtiment, parking, ouvrage d'art). Elle a aussi été utilisée pour tester la capacité du géocomposite à drainer les gaz.

4.1 Description de l'installation

Une cuve de béton, fig. 2, de 10 m de long, de 2 m de large et 0.85 m de haut, a été doublée intérieurement d'une géomembrane pour en assurer l'étanchéité. Un tuyau perforé de 100 mm est posé au fond de la cuve: il permettra de l'alimenter en air ou en eau. Il est recouvert d'une couche de 0.45 m graviers. Une couche de sable fin, de 0.05m d'épaisseur, a ensuite été répandue, séparée du gravier par un géotextile anti-contaminant. Le géocomposite (comprenant 2 tubes par mètre) a été déroulé sur cette couche sable avec les micro-tubes dans le sens longitudinal. Une dalle en béton de 0.15 m d'épaisseur a été coulée directement sur le géocomposite avec des réservations pour permettre les mesures de pression. 20 points de mesures de pression sont possibles: 3 profils en long (2 sur les micro-tubes et 1 à l'inter-drain) et 1 profil en travers à 9.80 m de l'exutoire (fig. 2). Les extrémités aval des tubes débouchent dans une gouttière.

Pour les essais à l'eau, l'alimentation est réalisée par le réseau de l'usine et le débit, régulé par une vanne à l'amont, est mesuré à la sortie de la gouttière.

Pour les essais à l'air, deux détendeurs en série permettent de réguler correctement la pression d'alimentation. Le débit volumique est mesuré par un compteur à gaz placé à l'amont de la cuve. L'indication du compteur est corrigée en fonction de la pression d'alimentation pour déterminer le volume d'air à la pression atmosphérique.

4.2 Résultats des essais en vraie grandeur

Afin de tester l'étanchéité du système, une mise en eau a été faite et une première série de mesures a été réalisée avec un écoulement d'eau. Dans les tubes des prises de pression, des flotteurs ont permis de mesurer la charge hydraulique au niveau du géocomposite. La figure 3 montre la variation de la pression

maximum entre les micro-tubes, exprimée en millimètres de hauteur d'eau, en fonction du débit d'eau évacué. La courbe théorique représentée sur le graphique a été obtenue en supposant que la perméabilité du sable, sous le géocomposite drainant est de l'ordre de $3 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Après vidange de la cuve et égouttage pendant plusieurs semaines, une circulation d'air a eu lieu pour assécher le système. Des manomètres à eau ont été placés à la sortie des prises de pression. Sur la figure 4 ont été tracées les courbes, théorique et expérimentale, représentant la variation de pression en fonction du débit d'air. La perméabilité à l'air du sable a été calculée à partir de celle à l'eau en tenant compte du rapport des viscosités de l'air et de l'eau.

4.3 Comparaison entre les essais à l'air et ceux à l'eau

Le système comprenant le sable, la nappe drainante et les micro-tubes, forme un milieu perméable pour lequel le coefficient de perte de charge λ doit être identique pour un même nombre de Reynolds R_e quel que soit le fluide utilisé. Ceci conduit à considérer dans chacun des cas les quantités Q/v et h_{\max}/Q^2 , h_{\max} étant la pression maximum mesurée exprimée en hauteur de fluide. Ces paramètres sont les seules paramètres variables dans les expressions de λ et R_e . La figure 5 montre une bonne corrélation entre les essais à l'eau et ceux à l'air.

5 CONCLUSION

Cette étude expérimentale basée sur des essais en vraie grandeur, confirme la validité d'une corrélation théorique pour estimer les performances des géocomposites pour le drainage des gaz.

Dans le cas où l'écoulement est régi par la transmissivité de la nappe drainante, en l'absence par exemple de micro-tubes, et pour une pression donnée égale à:

$$\Delta h_w \cdot \rho_w = \Delta h_a \cdot \rho_a$$

le débit de gaz drainé peut être estimé, compte tenu des relations précédentes:

$$\frac{Q_a}{Q_w} = \frac{\theta_a}{\theta_w} \cdot \frac{\Delta h_a}{\Delta h_w} = \frac{v_w}{v_a} \cdot \frac{\rho_w}{\rho_a} = \frac{\mu_w}{\mu_a} \quad (\mu_a, \mu_w: \text{viscosité dynamique du gaz, viscosité dynamique de l'eau})$$

Comparé à l'eau, ce rapport est de l'ordre de 55 pour l'air, de 68 pour le CO_2 , et de 92 pour le CH_4 .

Par contre si la perte de charge est plutôt due aux tubes (tubes de grande longueur), c'est leur capacité de décharge q_d qui est à prendre en considération pour estimer le débit de gaz ou d'eau à partir d'une pression donnée:

$$\frac{Q_a}{Q_w} = \frac{(q_d)_a}{(q_d)_w} \cdot \frac{i_a}{i_w} = \frac{\alpha (i_a)^{n+1}}{\alpha (i_w)^{n+1}} = \left(\frac{\rho_w}{\rho_a} \right)^{n+1} \cong \left(\frac{\rho_w}{\rho_a} \right)^{1/2}$$

Pour l'air, ce rapport est de l'ordre de 28, de 22 pour le CO_2 et de 37 pour le CH_4 . On notera, sur le graphique de la figure 6, que la valeur de $Q (\rho g)^{1/2}$ est pratiquement la même dans les essais en vraie grandeur avec l'air ou avec l'eau, ce qui confirme la validité de la méthode.

REFERENCES

Faure Y.H., Matichard Y, Brochier P, Suryolelono K. (1993): Experimental and Theoretical Methodology to Validate New Geocomposite Structure for Drainage, *Geotextiles and geomembranes* Vol.12, N°5, pp 397-412.

Faure Y.H., Auvin G., Eloy-Giorni C. (1994): Performance Tests and Design of Geocomposites for Drainage of Gas, *Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, Singapore, Volume 2, pp 833-836.

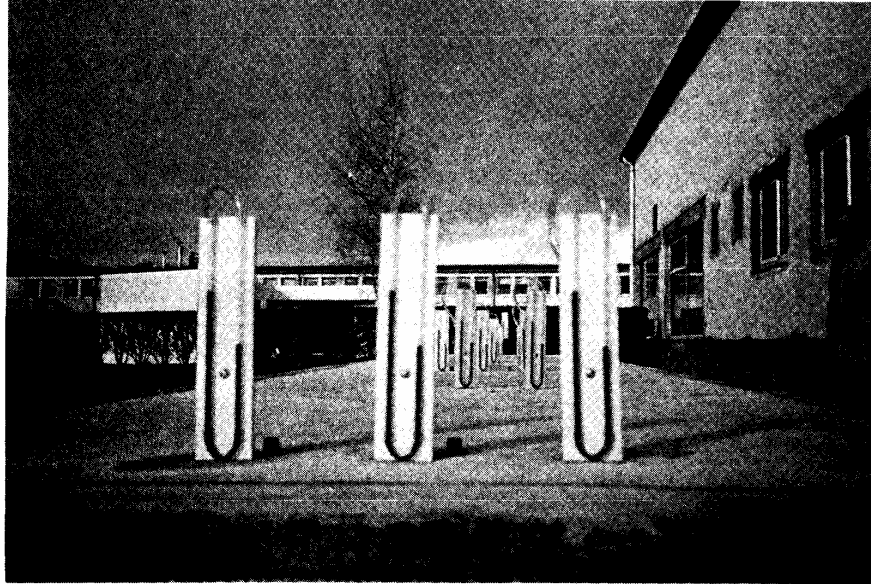


Photo 2 : Détails des manomètres pour les mesures de pression d'air / *Details of manometers for air pressure measurements*

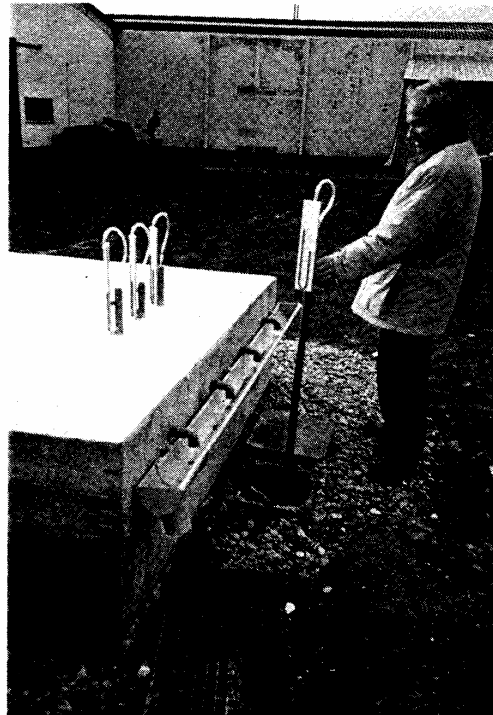


Photo 3 : Sortie de chaque mini drain hors de la cuve / *Outlet of each mini draining pipe out of the tank*

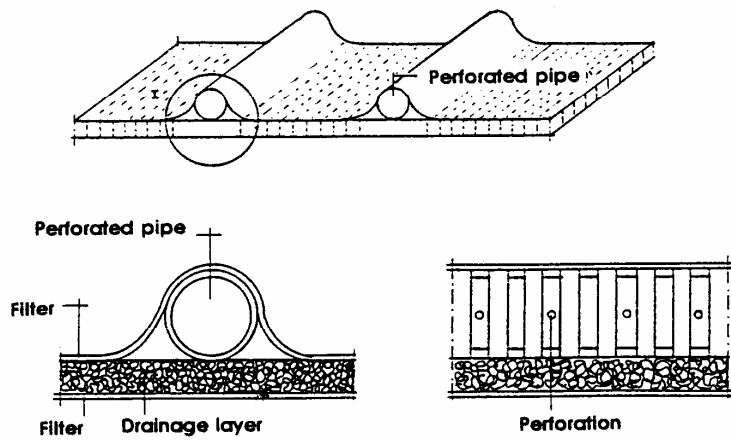


Figure 1: Structure du géocomposite testé
Structure of the tested geocomposite

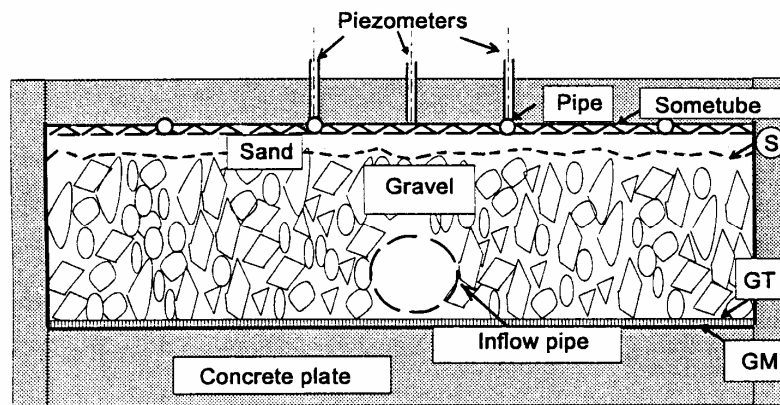


Figure 2: Coupe transversale de l'installation en vraie grandeur
Cross section of the pilot installation

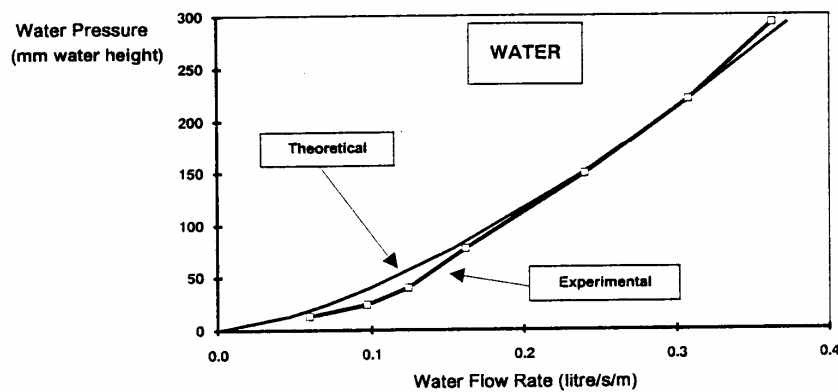


Figure 3: Variation de la pression maximum en fonction du débit d'eau
Maximum water pressure variation versus water flow

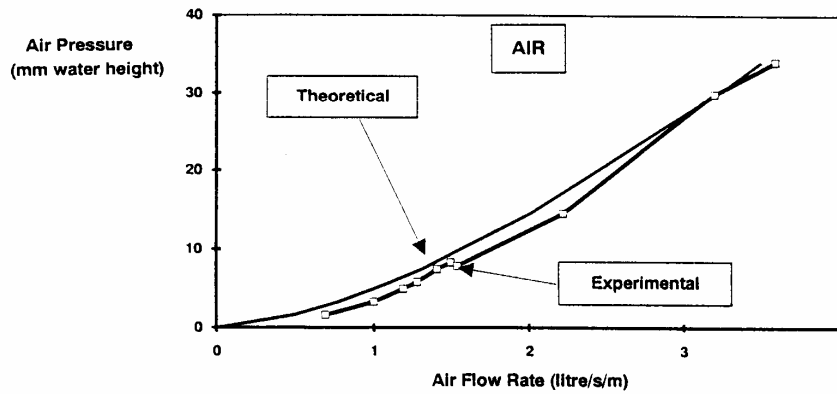


Figure 4: Variation de la pression maximum en fonction du débit d'air
Maximum air pressure variation versus air flow

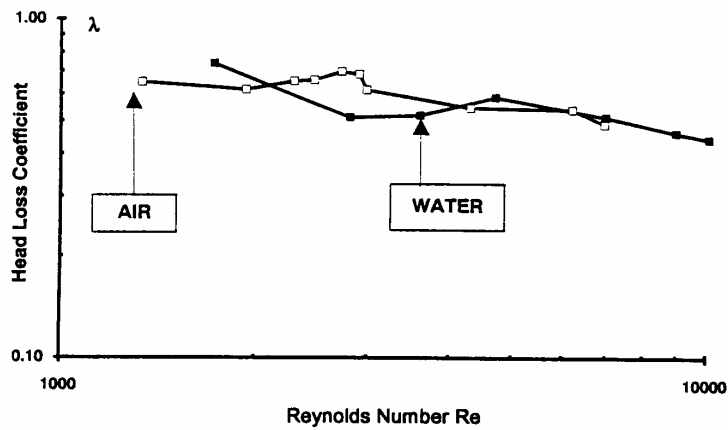


Figure 5: Comparaison entre les essais à l'air et à l'eau
Comparison between air and water trials

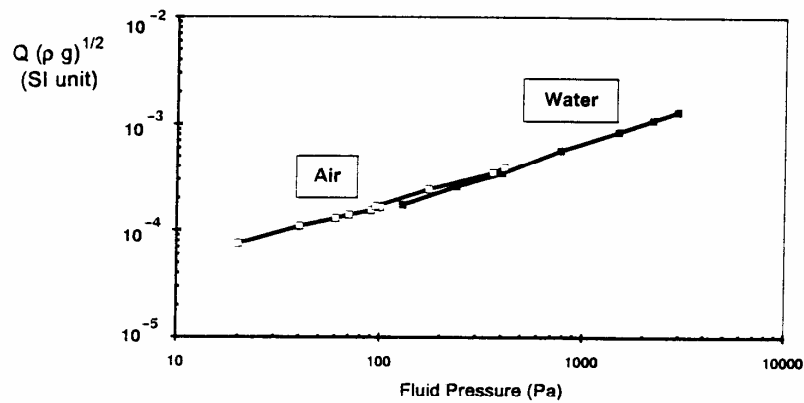


Figure 6: Débit de fluide mesuré pour un pression donnée
Measured fluid flow for a given pressure