

## Détermination de l'anisotropie de perméabilité des sols par l'essai Lefranc

*Determination of the anisotropy of soil permeability by the Lefranc test*

Z. LAFHAJ

I. SHAHROUR

École centrale de Lille

École polytechnique universitaire de Lille

Laboratoire de mécanique de Lille (UMR 8107)

59651 Villeneuve-d'Ascq Cedex

### Résumé

Cette communication comporte une étude de l'essai Lefranc dans des sols anisotropes et l'élaboration d'une méthodologie pour l'interprétation de cet essai lorsqu'il est effectué dans ce type de sol. Après une présentation de l'essai Lefranc, on étudie par la méthode des éléments finis l'influence de l'anisotropie sur l'infiltration de l'eau lors de cet essai. Ensuite, on construit des abaques qui permettent de déterminer l'anisotropie du sol à partir des essais réalisés pour différents élançements de la cavité d'infiltration.

**Mots-clés :** Lefranc, anisotropie, perméabilité.

### Abstract

In this paper, a method of determination of the anisotropic permeability of soils based on data from the Lefranc hydraulic test is proposed. The principle of the Lefranc test is firstly presented, followed by a finite element analysis of the influence of soil anisotropy on the infiltration carried out during the test. Charts are derived from numerical calculations carried out, in order to help determining the soil anisotropy from water tests performed at various values of the slenderness ratio of the cavity.

**Key words :** Lefranc, anisotropy, permeability.

## 1. Introduction

On propose dans cette communication d'étudier l'essai Lefranc dans des sols anisotropes et de proposer une méthode pour l'interprétation de cet essai dans ce type de sols. Cette méthode s'appuie sur le fait que l'infiltration d'eau lors d'un essai Lefranc dans un sol anisotrope fait principalement intervenir deux paramètres à savoir l'élançement de la cavité et la perméabilité des sols. Ainsi, en réalisant des essais dans le même site pour différents rapports d'élançement de la cavité d'infiltration, on peut déterminer les perméabilités des sols dans les directions verticale et horizontale (Lafhaj, 1998; Lafhaj et Shahrour, 2000; Cassan, 2000).

La méthode proposée dans cette communication est fondée sur des simulations par éléments finis. Après une présentation de l'essai Lefranc, on décrit la modélisation numérique effectuée et la démarche suivie pour la construction des abaques permettant d'interpréter d'une manière simple les résultats de l'essai Lefranc dans un sol anisotrope.

## 2. Présentation de l'essai Lefranc

L'essai Lefranc est largement utilisé pour la mesure de la perméabilité des sols sous la nappe. Il consiste à créer une cavité à la base d'un forage pour y générer un écoulement, à partir duquel on cherche à déterminer la perméabilité du sol (Fig. 1). L'interprétation de cet essai est effectuée d'après l'expression (Hvorslev, 1951):

$$k = \frac{Q}{mDH} \quad (1)$$

$m$  désigne le facteur de forme,  $D$  est le diamètre de la cavité,  $H$  correspond à la différence de la charge hydraulique entre l'eau dans la cavité et la nappe dans le sol,  $Q$  est le débit d'eau échangé entre la cavité et le sol.

L'interprétation de cet essai est fondée sur le facteur de forme  $m$  qui caractérise l'interaction entre le sol et la cavité. La détermination de ce facteur nécessite la résolution d'un problème d'écoulement à partir d'une

cavité cylindrique. Hvorslev (1951) a proposé une expression approchée pour ce facteur en assimilant la cavité cylindrique à un ellipsoïde placé dans un milieu infini. Pour une cavité d'élançements,  $L/D \geq 1,2$ , il a proposé l'expression suivante :

$$m = \frac{2\pi(L/D)}{\ln((L/D) + \sqrt{(L/D)^2 + 1})} \quad (2)$$

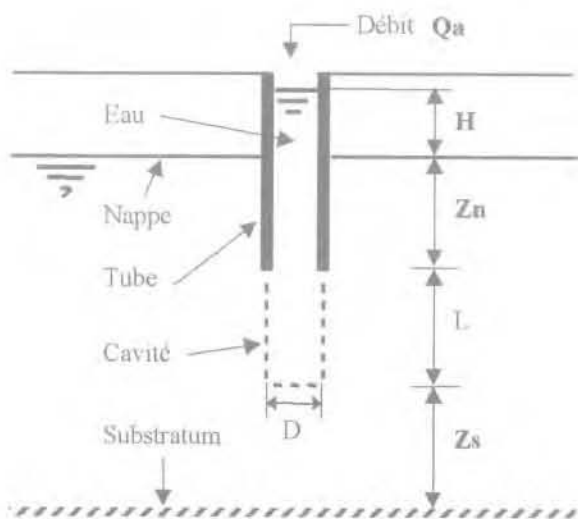


FIG. 1 Essai Lefranc : principe et notations.  
Lefranc Test : principle and notations.

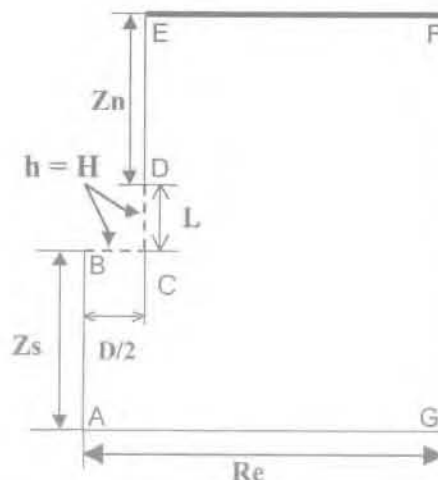


FIG. 2 Modélisation de l'essai Lefranc. Géométrie et notations.  
Modelling of the Lefranc test. Geometry and notations.

### 3. Étude de l'influence de l'anisotropie sur l'essai Lefranc

On propose d'étudier l'essai Lefranc dans un sol anisotrope à l'aide de la méthode des éléments finis. Les simulations numériques ont été effectuées à l'aide du code de calcul par élément fini CESAR/LCPC (Humbert 1989). Le calcul est effectué en symétrie de révolution. Les calculs ont été effectués pour une cavité cylindrique caractérisée par une longueur  $L$  et un diamètre  $D$  (0,12 m) placée dans un sol anisotrope de perméabilité  $k_h$  et  $k_v$ . Sur la surface de la cavité, on impose une charge hydraulique  $h = H$ . La distance entre le fond de la cavité et le substratum imperméable ( $Z_s$ ) est fixée à  $30D$ , la distance entre le toit de la cavité et la surface de la nappe ( $Z_n$ ) est imposée à  $50D$ ; l'extension latérale  $Re$  du domaine est égale à  $80D$ . Ces paramètres ont été fixés d'après une étude préliminaire (Lafhaj et Shahrour, 2000).

Les conditions aux limites de ce problème sont (Fig. 2) :

- flux nul sur la frontière AB (axe de symétrie), DE (tubage), FG (limite latérale du domaine) et AG (substratum imperméable);

- charge hydraulique imposée :  $h = 0$  sur EF (surface de la nappe) et  $h = H$  sur BC et CD (surface de la cavité).

Afin de montrer l'influence de l'anisotropie du sol sur les mécanismes d'écoulement lors de l'essai

Lefranc, on donne dans les figures 3 et 4 les lignes d'écoulement et d'équipotentiels obtenues pour deux rapports d'élançement de la cavité ( $L/D = 2$  et  $L/D = 10$ ) dans les cas d'un sol isotrope et d'un sol anisotrope ( $k_h/k_v = 25$ ). On remarque dans le cas d'un sol anisotrope que les équipotentiels sont plus étendus dans la direction horizontale, ce qui montre que l'écoulement s'effectue, en grande partie, dans la direction horizontale, en particulier pour les faibles élançements, avant que l'eau remonte vers la surface. Ce résultat montre clairement que l'anisotropie du sol et l'élançement de la cavité affectent d'une manière sensible les mécanismes d'écoulement lors de l'essai Lefranc. En s'appuyant sur ces observations, on propose de déterminer le degré d'anisotropie d'un sol en réalisant des essais pour différents élançements de la cavité d'infiltration.

### 4. Proposition d'une méthode pour l'interprétation de l'essai Lefranc dans des sols anisotropes

Des calculs ont été effectués pour différentes valeurs d'élançement de la cavité  $L/D = (2, 4, 5, 6, 9, 10)$  et ceci pour différents rapports d'anisotropie  $k_h/k_v = (4, 9, 16, 25, 50, 75 \text{ et } 100)$ . Les calculs ont été effectués en maintenant constante la perméabilité du sol dans la direction horizontale  $k_h$ .

La figure 5 illustre la variation du rapport  $Q/(k_h DH)$  (l'équivalent du facteur de forme pour un sol isotrope) avec le rapport d'anisotropie  $k_h/k_v$  pour les différents élançements. On note que ce rapport décroît quand le rapport  $k_h/k_v$  augmente. Ceci résulte de la diminution de la perméabilité verticale du sol qui a pour effet de réduire l'écoulement de l'eau dans le sol. On note également que l'influence

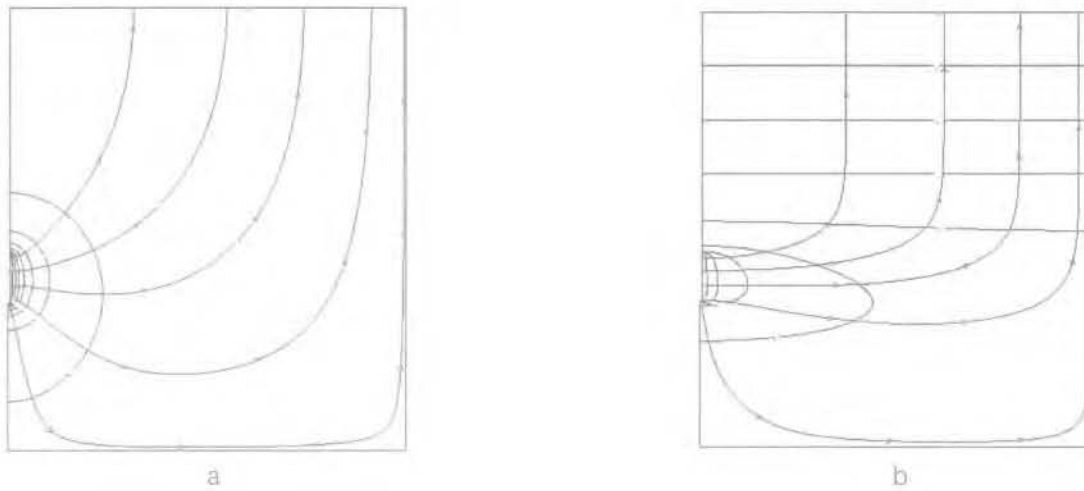


FIG. 3 Équipotentiellles et lignes de courant ( $L/D = 10$ ). (a) cas isotrope ; (b) cas anisotrope ( $k_h/k_v = 25$ ).  
Equipotential and flow lines ( $L/D = 10$ ). a) isotropic case ; b) anisotropic case ( $k_h/k_v = 25$ ).

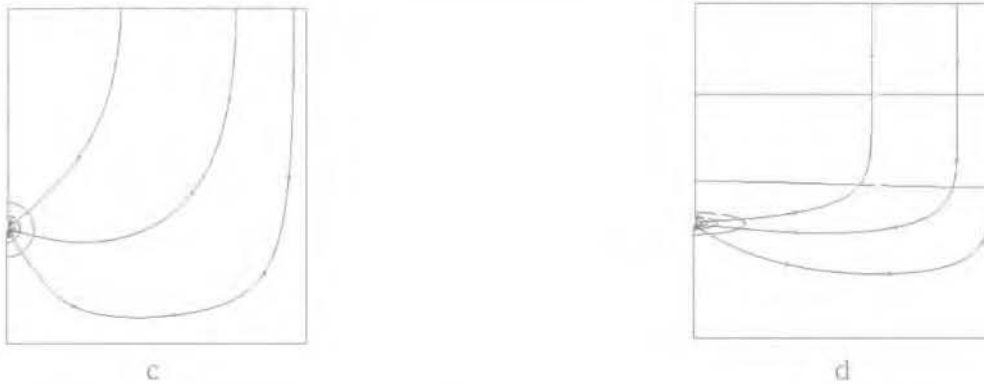


FIG. 4 Équipotentiellles et lignes de courant ( $L/D = 2$ ). (c) cas isotrope ; (d) cas anisotrope ( $k_h/k_v = 25$ ).  
Equipotential and flow lines ( $L/D = 2$ ). (c) isotropic case ; (d) anisotropic case ( $k_h/k_v = 25$ ).

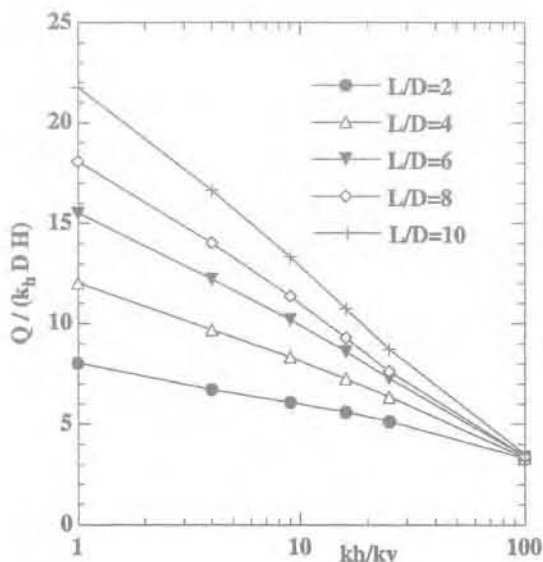


FIG. 5 Variation du facteur de forme numérique en fonction du degré d'anisotropie.  
Variation of the numerical shape factor as a function of the anisotropy.

de l'anisotropie est plus marquée pour les élancements élevés de la cavité. A titre d'exemple, pour un élancement  $L/D = 10$ , le rapport  $Q/(k_h DH)$  chute de 22 à 4 quand le degré d'anisotropie  $k_h/k_v$  croît de 1 à 100. Par contre pour une cavité de faible élancement ( $L/D = 2$ ), ce rapport ne varie que de 8 à 4 pour la même augmentation du degré d'anisotropie. Ce résultat montre que l'interprétation de l'essai Lefranc dans un sol anisotrope par le facteur de forme calculé en milieu isotrope ( $k = Q/mDH$ ) peut conduire à des erreurs élevées.

Les figures 6 a, b et c montrent respectivement la variation du débit ( $Q$ ) normé par les débits calculés pour des cavités d'élancement  $L/D = 2, 5$  et  $10$  et ceci pour les différents rapports d'anisotropie. On note que ce débit croît quand l'élancement et le rapport d'anisotropie augmentent. Chacune de ces figures peut être utilisée pour la détermination du rapport d'anisotropie du sol. Pour cela, il suffit de réaliser des essais pour différents élancements et de reporter les résultats de mesures sur les abaques et déterminer ainsi le rapport d'anisotropie.

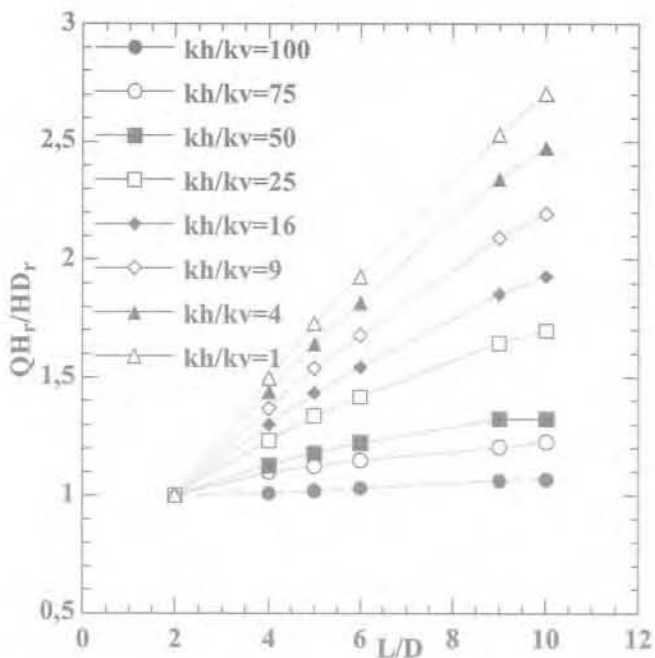


FIG. 6a Variation du débit normé en fonction de l'élongement de la cavité dans un sol anisotrope ( $L_r/D_r = 2$ ).  
Variation of the normalized flow versus the slenderness ratio of the cavity, in an anisotropic soil ( $L_r/D_r = 2$ ).

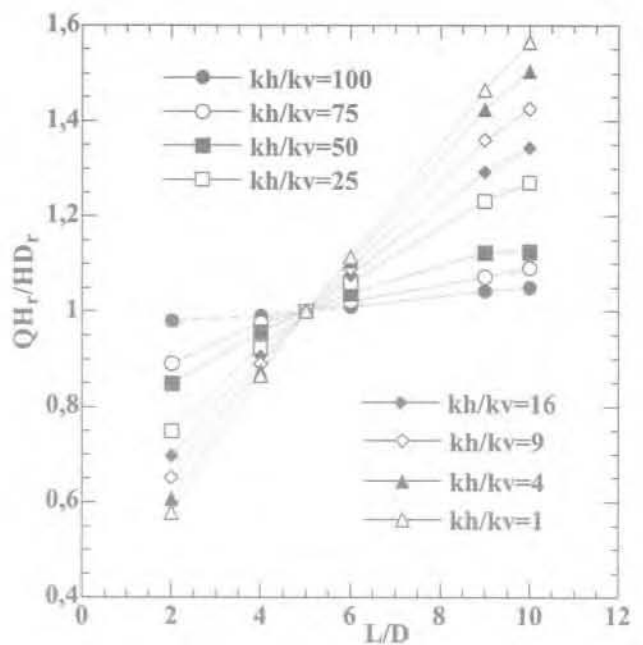


FIG. 6b Variation du débit normé en fonction de l'élongement de la cavité dans un sol anisotrope ( $L_r/D_r = 5$ ).  
Variation of the normalized flow versus the slenderness ratio of the cavity, in an anisotropic soil ( $L_r/D_r = 5$ ).

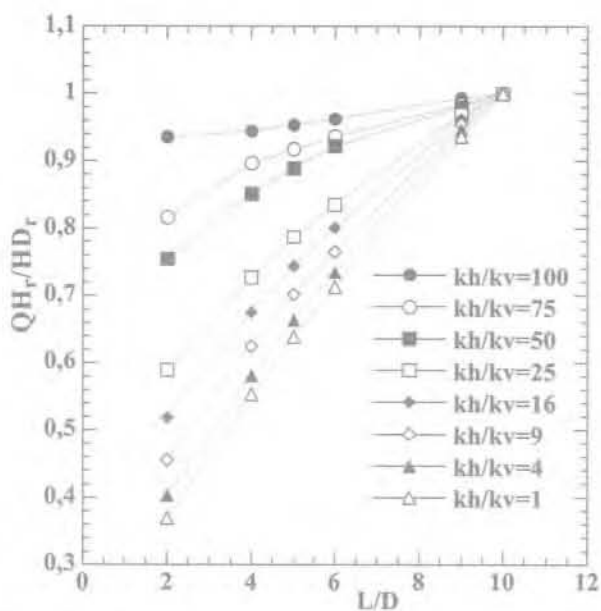


FIG. 6c Variation du débit normé en fonction de l'élongement de la cavité dans un sol anisotrope ( $L_r/D_r = 10$ ).  
Variation of the normalized flow versus the slenderness ratio of the cavity, in an anisotropic soil ( $L_r/D_r = 10$ ).

## 5. Conclusion

Cette communication a comporté une étude numérique de l'essai Lefranc dans des sols anisotropes et l'élaboration d'une méthode pour interpréter cet essai dans ce type de sol. L'étude numérique a montré que le degré d'anisotropie peut être déterminé en réalisant des essais pour différents rapports d'élongement de la cavité d'infiltration. Des abaques ont été proposés pour interpréter d'une manière simple l'essai Lefranc dans les sols anisotropes.

## Bibliographie

---

- Cassan M. – Application des essais Lefranc à l'évaluation du coefficient d'anisotropie hydraulique Des sols aquifères. *Revue française de géotechnique*, n° 90, 2000, p. 25-43.
- Humbert P. – CESAR-LCPC: un code général de calcul par éléments finis. *Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées*. V. 203, 1989, p. 112-115.
- Hvorslev M.J. – Time lag and soil permeability in ground water levels and pressures. US Army Engineer Waterways Experiment Station, MS, Bulletin 36, 1951, p. 50.
- Lafhaj Z. – *Détermination de la perméabilité des sols in situ: étude expérimentale et numérique du facteur de forme*. Thèse de doctorat de l'USTL, n° 2332, 1998, 100 p.
- Lafhaj Z., Shahrour I. – Analysis of borehole water tests in stratified and anisotropic soils. *Mechanics Reseach Communications*, vol. 27, 2000, p. 87-94.
- Lafhaj Z., Shahrour I. – Use of the boundary element method for the analysis of water tests in boreholes. *International Journal of Engineering Analysis with Boundary element*, vol. 24, 2000, p. 695-698.