

PROGRES POUR EVALUER L'EFFICACITE D'UNE LIGNE DE DRAINS VERTICAUX POUR UNE NAPPE LIBRE EN PENTE

IMPROVEMENTS TO ASSESS THE EFFICIENCY OF A LINE OF VERTICAL DRAINS FOR AN UNCONFINED AQUIFER WITH A SLOPING PIEZOMETRIC SURFACE.

Jean-Claude GRESS¹, Sébastien BOMONT², René-Michel FAURE³

1 Professeur à l'Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat. Vaulx en Velin. France.

2 Professeur Adjoint Vaulx en Velin. France.

3 Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat. Vaulx en Velin. France.

RÉSUMÉ – Des lignes de drains verticaux peuvent permettre de stabiliser des glissements de terrain par drainage profond. Sont présentés des améliorations permettant d'appréhender les débits attendus par drains, dans le cas d'une nappe libre, sur substratum imperméable, nappe dont la surface piézométrique est en pente.

ABSTRACT – Lines of vertical drains can stabilize deep landslides through dewatering of the water table. Are set out improvements allowing to quantify flow out of each drain, in the case of an unconfined aquifer, on an impervious substratum, with a sloping initial piezometric surface.

1. Introduction

Confrontés à des glissements profonds, l'ingénieur va chercher à gérer, s'il le peut, l'instabilité par un drainage du ou des aquifères déstabilisateurs. Parmi les techniques possibles, les drains verticaux se sont révélés depuis une vingtaine d'années des outils efficaces. Ces drains sont en général disposés en ligne, souvent suivant une courbe de niveau et ils sont soit pompés gravitairement par des ombilics de siphonage[®], soit pompés par des pompes électropneumatiques[®], alimentées par un compresseur, soit travaillent en puits perdus. Les pompes immergées se révèlent inadaptées compte tenu des débits souvent faibles à extraire par drain.

Le drain siphon[®], limité à une profondeur de 11 mètres, avec une tranchée de tête de 2,50 mètres, est basé sur un principe de vases communicants entre deux réservoirs reliés par un siphon haut. Le réservoir amont, incorporé dans le forage, est toujours rempli d'eau. Le réservoir aval est muni d'une chasse automatique permettant de réguler le forage entre un niveau d'eau haut et un niveau bas.

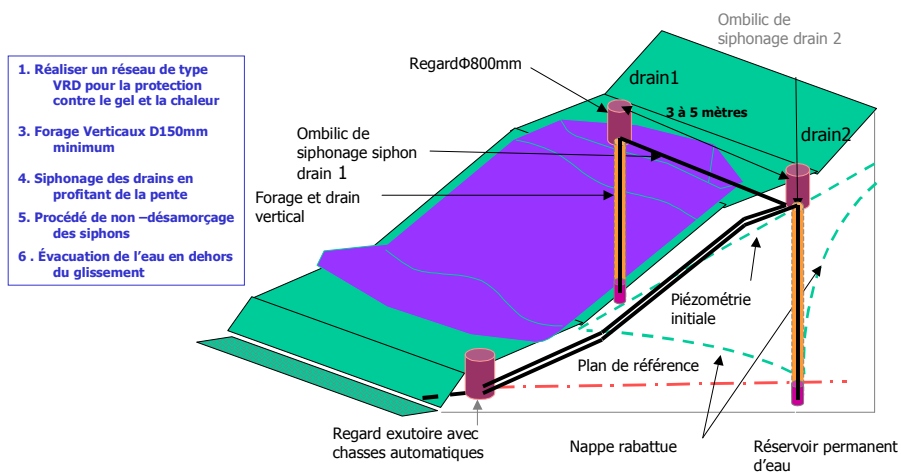


Figure 1. Principe du procédé de drain siphon®

Le drain électropneumatique® est constitué d'un puits dans lequel est placée une pompe, alimentée par des injections d'air comprimé à 7 bar, régulées par un détecteur de niveau incorporé à la pompe, l'eau étant refoulée en surface à chaque séquence, en direction d'un collecteur et dirigée vers un exutoire.

Le rabattement peut ici atteindre 100 mètres, avec un compresseur de 7 bar et deux pompes en relais.

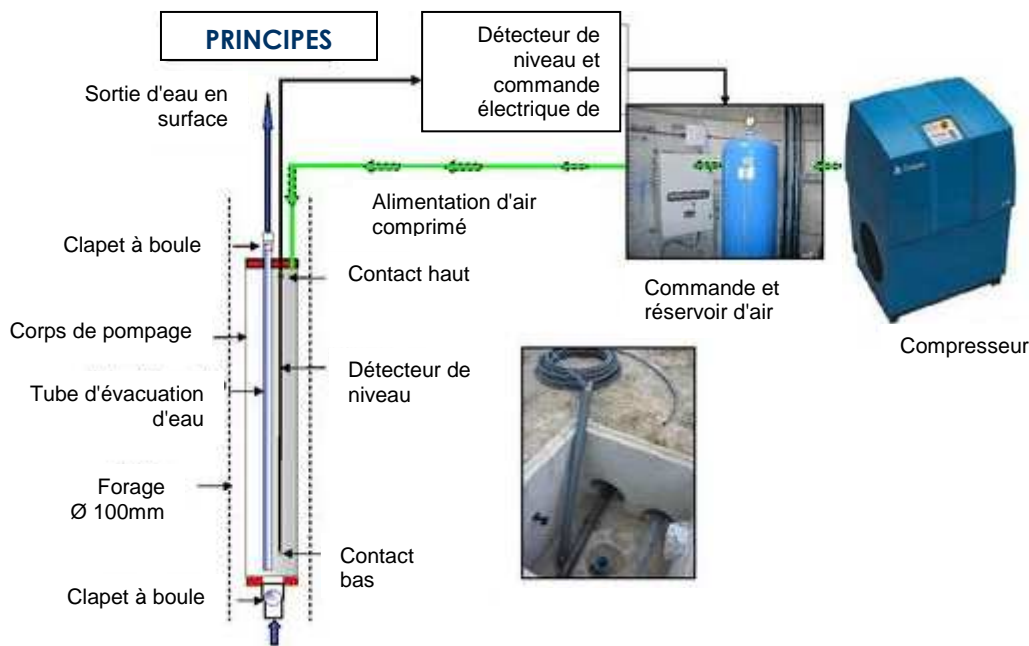


Figure 2. Principe du procédé de la pompe électropneumatique®

Le drain-puits d'injection, collecte des arrivées d'eau multiples et les réinjecte soit dans un aquifère profond capable d'absorber le débit, soit dans un collecteur aménagé à cet effet.

Ce qui est important dans ce type de drain, c'est de mettre en place une alternance de filtres devant des parties crépinées et de batardeaux gonflables à la bentonite ciment, sur des tranches de PVC plein, de façon à forcer l'eau à rentrer à l'intérieur du tube PVC et lui éviter de tomber en chute entre la paroi du forage et la paroi extérieure du PVC. Les drains pour lesquels l'efficacité de l'absorption est insuffisante, sont équipés en pompes électropneumatiques.

FALAISES DE WIMEREUX

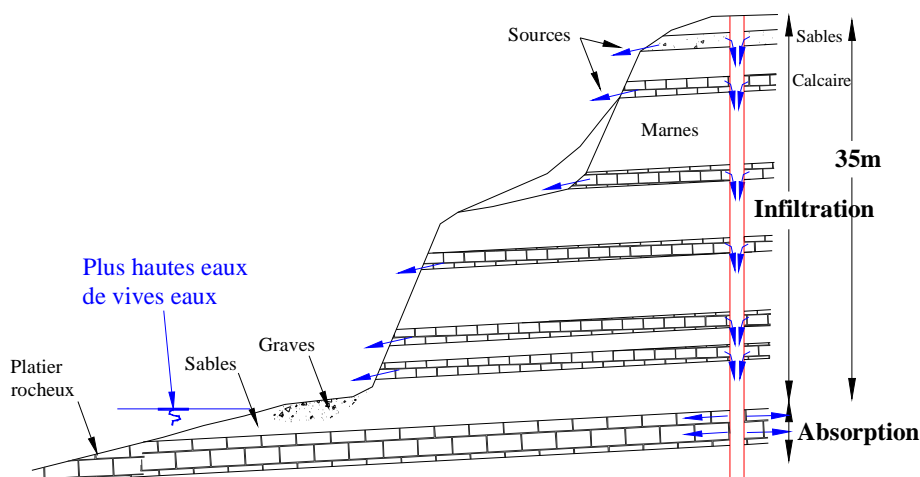


Figure 3. Principes des drains à lanterne d'injection

Les difficultés de conception de ces réseaux et donc les sources de dysfonctionnement sont liées à :

1. une mauvaise caractérisation des aquifères à drainer, en géométrie,
2. une mauvaise estimation de la position de la surface piézométrique attachée à chaque aquifère,
3. une mauvaise évaluation de la perméabilité,
4. enfin, une mauvaise approche des débits à attendre par drain.

Enfin, tous ces systèmes ne peuvent fonctionner dans la durée que si ils sont l'objet d'un entretien régulier.

Nous développons ci-après des méthodes permettant d'améliorer la pertinence de l'ingénieur par rapport aux difficultés de conception de ces réseaux.

2. Caractérisation des aquifères en géométrie

En général, la géométrie des aquifères va être déterminée par des forages semi-destructifs à destructifs seuls. Ce n'est pas suffisant, car les aquifères se révèlent toujours complexes, hétérogènes et les forages précités ne permettent pas de révéler l'hétérogénéité.

Il faut accompagner ce type de reconnaissance par des mesures au micro-moulinet et par des mesures de potentiel spontané dans le forage pour caractériser les niveaux productifs. Le sondage carotté, par la prise d'échantillons intacts et par des mesures rapprochées de teneurs en eau, densités, analyses granulométriques, essais au bleu de méthylène, dans les sols meubles est recommandé.

Enfin, des méthodes géophysiques type NUMIS PLUS et NUMIS LITE sont à développer pour la géotechnique, car elles permettent de caractériser la variation de la perméabilité et de la porosité efficace jusqu'à des profondeurs respectivement de 100 et 50 mètres.

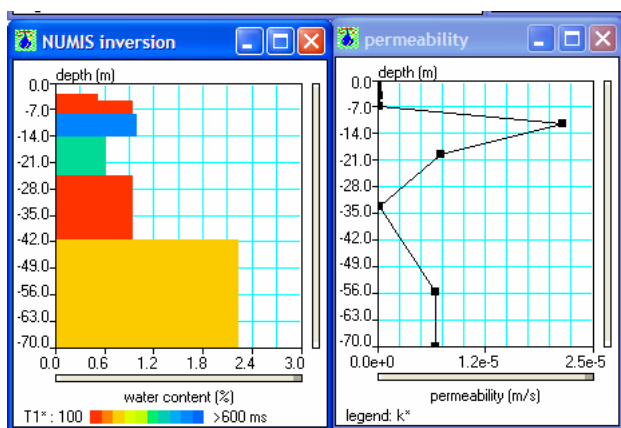


Figure 4. Résultats d'une investigation NUMIS

3. Evaluation de la position de la surface piézométrique

Trop souvent, la position de la surface piézométrique est caractérisée par un piézomètre ouvert toute hauteur, implanté a priori et relevé à un instant donné. Dans le cas des nappes libres sur un substrat imperméable, le relevé de la variation du potentiel spontané, suivant une courbe de niveau, est particulièrement instructif.

Cette mesure est une mesure délicate, au moyen d'électrodes non polarisables, par une journée peu contrastée en température, pour une géologie homogène et suivant une courbe de niveau. Dans le cas du relevé de Pralognan La Vanoise (figure 5), la variation du potentiel spontané est homothétique de la profondeur de la variation de la profondeur de la surface piézométrique. Sur la figure 5, l'ordonnée est en mV et la courbe obtenue permet de connaître la profondeur de la nappe suivant la courbe de niveau choisie.

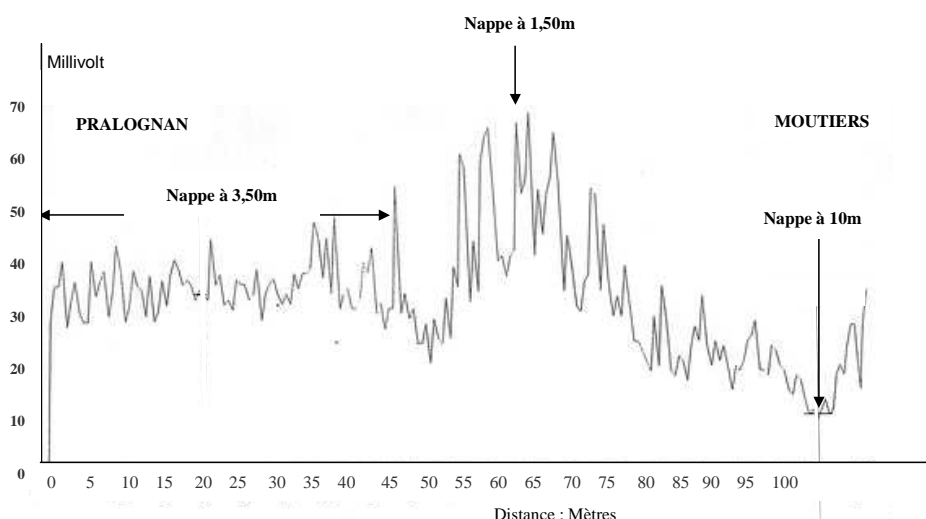


Figure 5. Variation du potentiel spontané en relation avec la variation de la surface piézométrique

Cette vision à un instant donné mérite d'être, soit suivi dans le temps par un piézomètre sélectif et un suivi numérisé automatique, soit anticipé par un modèle réservoir (Faure et al, 2010).

Par exemple, à Trouville Sur Mer, la connaissance de la pluie efficace des 155 derniers jours, permet d'anticiper la variation piézométrique (figure 6).

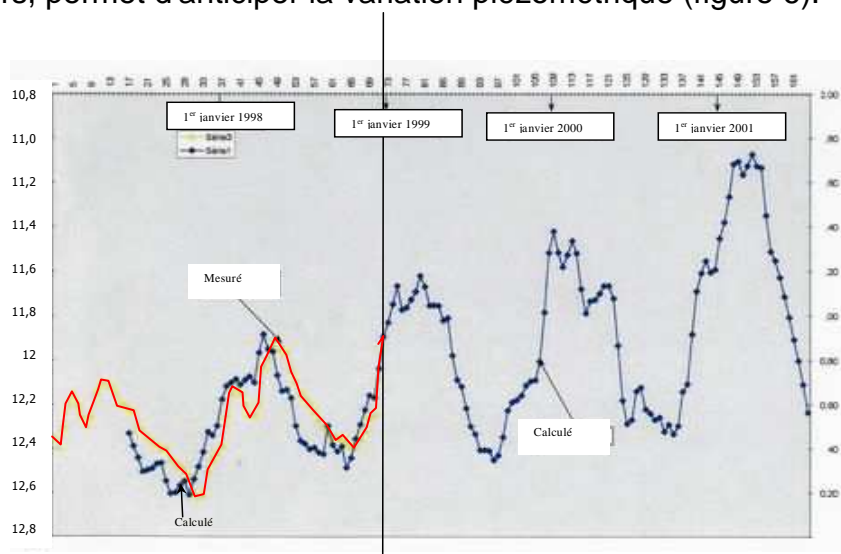


Figure 6. Variation anticipée de la piézométrie par un modèle réservoir.

Nous avons observé qu'il est fréquent de constater des variations piézométriques de l'ordre de 5 à 10 mètres.

4. Evaluation de la perméabilité

Celle-ci est souvent estimée par des essais d'eau pratiqués sur des forages destructifs en mode injection, ce qui peut sous estimer la perméabilité dans un rapport de 1 à 100.

Il faut privilégier le mode pompage, soit avec ombilic de siphonage provisoire, soit avec une mini pompe immergée et un Y de retour pour maîtriser des débits souvent faibles.

Une méthode complémentaire est le sondage carotté et l'identification en laboratoire en s'appuyant sur des relations à parfaire du type (GRESS J.C. 2008) :

$$\text{si : } VBD < 1.5, \text{ alors : } \log k = - (4.99 + 1.61 VBD) + (3.97 - 0.22 VBD) e \quad (1)$$

$$\text{si : } 1.5 \leq VBD < 10, \text{ alors : } \log k = - (6.52 + 0.58 VBD) + (4.03 - 0.259 VBD) e \quad (2)$$

où k est la perméabilité en m/s, VBD la valeur de bleu du sol et e l'indice des vides.

5. Estimation des débits

Les ingénieurs travaillant sur le drainage des glissements de terrain ne disposent pas de relations simples pour estimer le débit sortant des ouvrages de drainage.

Dans le cas d'un aquifère à nappe libre reposant sur un substratum imperméable, nous proposons ci-après des relations dans le cas d'une ligne de drains verticaux.

Nous supposons, qu'à la verticale du sommet de l'instabilité :

- H_0 est l'épaisseur saturée de l'aquifère à nappe libre,
- p_0 est la pente de la surface piézométrique,
- k est la perméabilité de l'aquifère.

Dans ces conditions, le débit initial d'alimentation de la nappe par mètre linéaire sera de :

$$q_0 = H_0 \times \rho_0 \times k \tag{3}$$

On ne perdra pas de vue que l'analyse ci-après est à deux dimensions et qu'il faudra intégrer les effets de bord.

Pour limiter les effets de bord, il faudra toujours donner à la ligne de drainage des surlargeurs latérales dépendant de la profondeur du glissement.

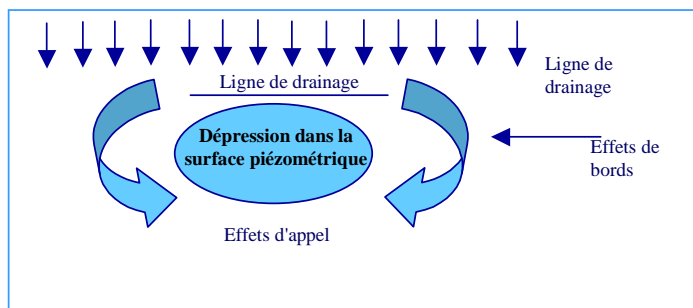


Figure 7. Effets de bords

Dans le cas :

- d'une distance entre drains = "a" ,
- pénétrant complètement l'aquifère,
- une alimentation par ligne source localisée à une distance L,
- pas d'écoulement à l'aval de la ligne.

Le rabattement est donné classiquement par la relation :

$$H^2 - h_w^2 = \frac{2 \times Q_w \times L}{k \times a} + \frac{Q_w}{\pi \times k} \times \text{Ln} \left(\frac{a}{2 \times \pi \times r_w} \right) \tag{4}$$

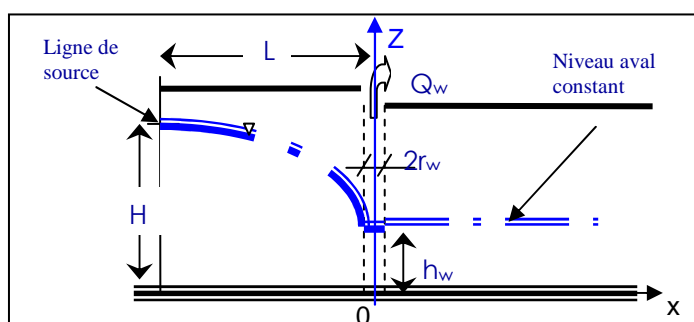


Figure 8. Coupe type de rabattement. Nappe horizontale.

Où

- Q_w : débit extrait de chaque drain,
- r_w : rayon de chaque drain,
- k : perméabilité de l'aquifère,
- a : espacement entre drains.

Dans le cas, d'un écoulement de versant, la charge hydraulique résiduelle moyenne créée, à l'aval de la ligne, un écoulement.

Nous proposons alors de conserver le deuxième terme de la relation (4), mais nous proposons de modifier le premier de façon à prendre en compte cet écoulement aval.

Pour un substratum horizontal, le modèle des lignes de courant est géré par la parabole de DUPUIT, en l'absence d'engraissement par l'infiltration du ruissellement superficiel.

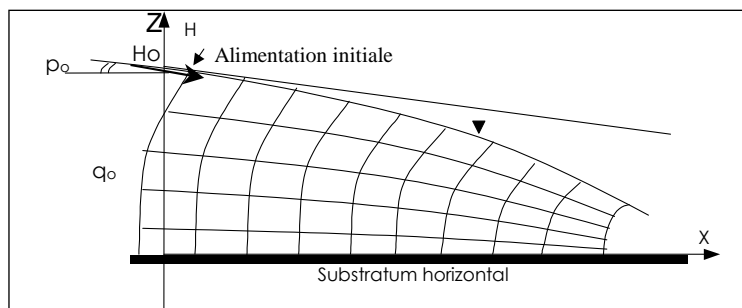


Figure 9. Parabole de DUPUIT

L'équation de la parabole est donnée par :

$$H^2 - H_0^2 = -\frac{2q_0}{k} \times x = -2 \times H_0 \times p_0 \times x \quad (5)$$

A l'emplacement de la ligne des drains, le débit initial q_0 est caractérisé par la valeur H_0 dont la variation peut être appréhendée par un modèle réservoir en relation avec la météo et la pluviométrie efficace.

Le débit résiduel à l'aval de la ligne de drains va générer à son tour un schéma de lignes équipotentiellles et lignes de courant comme schématisé figure (10).

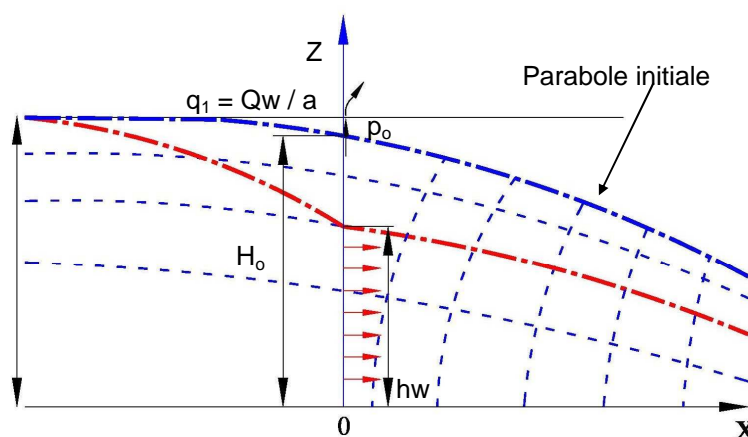


Figure 10. Coupe type nappe en écoulement

Le débit moyen extrait des drains q_1 peut être écrit :

$$q_1 = \frac{Q_w}{a} = q_0 \frac{H_0 - h_w}{H_0} \quad (6)$$

Soit :

$$Q_w = a q_0 \frac{H_0 - h_w}{H_0} \quad (7)$$

Que l'on peut écrire :

$$H_0^2 - h_w^2 = \frac{Q_w}{a q_0} (H_0 + h_w) H_0 \quad (8)$$

Et en rajoutant la perte de charge d'entrée dans le drain :

$$H_0^2 - h_w^2 = \frac{Q_w}{a q_0} (H_0 + h_w) H_0 + \frac{Q_w}{\pi \times k} LN \left(\frac{a}{2 \pi r_w} \right) \quad (9)$$

Le débit issu de chaque drain vient alors, avec $q_0 = p_0 k H_0$:

$$Q_w = \frac{H_0^2 - h_w^2}{\frac{H_0 + h_w}{a p_0 k} + \frac{1}{\pi k} LN \left(\frac{a}{2 \pi r_w} \right)} \quad (10)$$

Exemple d'application :

$$\begin{aligned} H_0 &= 20\text{m} & h_w &= 10\text{m} \\ p_0 &= 8 \% & a &= 5\text{m} \\ k &= 5 \times 10^{-6} \text{ m/s} \\ r_w &= 0.08\text{m} \end{aligned}$$

alors :

$$Q_w = 0.071 \text{ m}^3/\text{h} = 71 \text{ l/h}$$

Valeur cadrant bien avec les débits observés sur des chantiers réels de drains siphons® ou drains électropneumatiques®.

Conclusions : Le drainage des glissements par drains verticaux a permis depuis 1985 de traiter plus de deux cent glissements de terrain en France et en Europe. Les échecs ont été toujours en relation avec le non respect des recommandations présentées ici, des difficultés apparaissant pour des perméabilités $< 2 \times 10^{-6}$ m/s qui peuvent être maîtrisées jusqu'à 10^{-7} m/s, en faisant le vide dans les drains.

Références :

- Clark, A.R. et al. (2007) Allowing for climate change; an innovative solution to landslide stabilisation in an environmentally sensitive area on the Isle of Wight International Conference on 'Landslides and Climate Change- Challenges and Solutions' Ventnor, Isle of Wight, UK.
- Faure R.M. (2010), Gress J.C., Ghouari M., Pentes, pluie, fluage et déplacements, Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur, Grenoble, France.
- Gress, J.C. (1996) Dewatering a landslip through siphoning drain®. Ten years experiences. Proc 7th International Symposium on Landslide. Trondheim. Norway.
- Gress, J.C. (2002) Two sliding zones stabilized through siphon drains®. International conference on Landslide, slope stability of infrastructures. Singapor.
- Gress, J.C. (2008) New formulae to assess soil permeability. Tenth nternational Symposium on Landslides and Engineered Slopes. Xi'an. China.