

LE DRAIN ELECTROPNEUMATIQUE SOUS VIDE, AVANCÉE INNOVANTE POUR LES INFRASTRUCTURES ET LE GÉNIE CIVIL

ELECTROPNEUMATIC DRAIN WORKING UNDER VACUUM, AN INNOVATIVE DEVICE FOR CIVIL ENGINEERING PROJECTS

Jean-Claude GRESS¹, Jean-Michel CUINET²,

¹ *Professeur traitement des sols et des roches ENTPE, 1983-2012, Vaulx en Velin, France*

² *Directeur Technique Hydrogéotechnique, Nancy, France*

RÉSUMÉ – Confrontés à des grands glissements de terrain, en l'absence de possibilités de réviser son projet, l'ingénieur va chercher à stabiliser les masses instables, par un drainage profond. La technique des drains verticaux pompés par des pompes électropneumatiques est une technique possible. Les améliorations récentes significatives présentées augmentent la profondeur d'efficacité et améliore le rayon d'action par la conception de la pompe et la mise au vide des drains.

ABSTRACT – Having to stabilize huge landslides, if project revision is not possible, geotechnical engineers will try to drain the instable masses, through deep drainage. Vertical drains, drained with electropneumatic pumps is one of the possible techniques. The here after proposed recent major improvements increase the efficiency depth and improve the influence radius.

1. Introduction

Des sites naturels peuvent être affectés par des grands glissements de terrain, avec des surfaces de cisaillement localisées à plus de 20 mètres de profondeur. Ces sites constituent des dangers pour les populations et peuvent conduire à des travaux de construction de trajets de substitution très onéreux.

Il peut arriver aussi que ce soit au cours de la construction de l'infrastructure de type tunnel dans un versant que l'on se rende compte que le versant est instable, alors que le tunnel est en cours de réalisation. Un exemple est donné ci-après.

Enfin, la réalisation d'une infrastructure peut générer un grand glissement qu'il faut pouvoir stabiliser.

La solution de stabilisation de ces grands glissements, si elle est possible, est rarement mécanique, les efforts en jeux étant très importants.

Elle est souvent de type drainage profond, associé à une gestion des eaux de ruissellement, de façon à éviter leur infiltration dans la masse instable. Quelques réalisations ont fait appel à des galeries drainantes de diamètre significatif (> 2m), éventuellement avec drains rayonnants, mais ces solutions sont très onéreuses. D'autres ont fait appel aux parois verticales drainantes, en technique parois moulées, sous boue REVERT. Les difficultés ici sont les conditions d'accès des engins de réalisation, le principe de drainage de la paroi (puits d'extrémité ou drain subhorizontal de pied de paroi) et la profondeur limitée (20m). Enfin, une autre solution est celle de panneaux de drains, en général verticaux, débouchant dans une galerie drainante de petit diamètre (\approx 1m). Les difficultés ici sont le coût, la difficulté de bien déboucher dans la galerie sans créer un fontis, par une mauvaise maîtrise du débouché du forage dans la galerie et enfin la profondeur qui reste limitée (20m).

La solution présentée ici est toujours celle de panneaux de drains verticaux, ou pouvant être inclinés vers l'amont. Le drainage de ces drains est assuré par des pompes alimentées pneumatiquement, et asservies électroniquement.

Dans un premier temps, sont présentées des réalisations avec des drains classiques et la pompe de première génération, dont la profondeur d'action est limitée à 40m. Puis, sera présentée une pompe améliorée fonctionnant à plus grande profondeur (80m) et pouvant fonctionner dans un drain dans lequel un vide partiel est réalisé de façon à en augmenter l'efficacité.

2. Pompes électropneumatiques de première génération

Le principe est de réaliser des panneaux de drains verticaux espacés horizontalement de 5 à 10 mètres, atteignant les aquifères à drainer. Dans ces drains, sont placées des pompes cylindriques, souvent de 1,50m de hauteur. Elles se vident par injection d'air sous pression en sommet de pompes et par un ombilic de vidange piqué en partie inférieure de pompe, relié à un regard de surface. La profondeur d'action est limitée à 40 mètres.

Chaque pompe a son propre tuyau d'injection d'air comprimé, en général à 7bar de pression, tous les tuyaux arrivant dans un local de service, piqués par une clarinette, sur une bonbonne d'air sous pression, alimentée par un compresseur. Un détecteur de niveau dans chaque pompe commande l'envoi de l'air comprimé. Ces pompes fonctionnent économiquement jusqu'à un débit par drain de 1m³/h. Au-delà, il faut avoir recours à une pompe classique immergée, équipée en tête avec un Y de régulation.

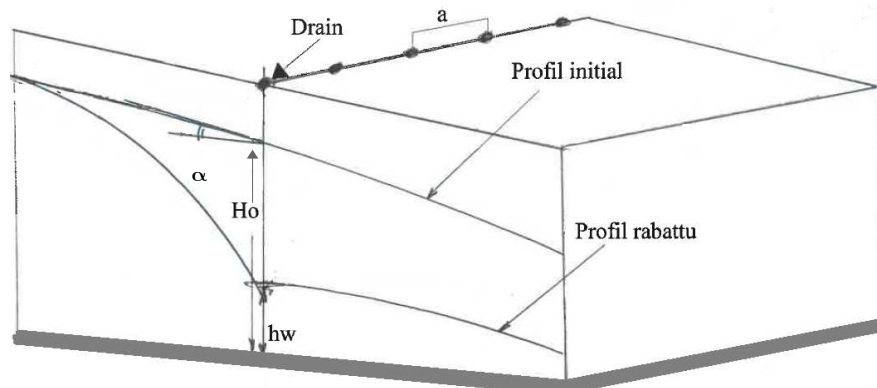


Figure 1. Ligne de drains verticaux traversant complètement une nappe libre.

Pour ce type de configuration, il est intéressant de disposer d'une relation couplant débit par drain Q_w et rabattement dans le drain.

Pour fixer les idées, pour une nappe libre (Figure 1.) traversée entièrement par des drains de rayon r_w , ceux-ci étant espacés horizontalement d'une distance a , et induisant un rabattement de la nappe faisant passer l'épaisseur de la nappe libre de H_o à h_w , p_o étant l'inclinaison sur l'horizontal de la surface piézométrique, le débit unitaire par drain peut être estimé en assimilant d'abord la ligne de drains à une fente complète, la charge hydraulique au droit de cette fente étant h_e et d'ajouter la perte de charge liée à la nature de puits des drains.

Les débits par mètre linéaire de l'écoulement de pente initial et celui de la nappe de versant à l'aval de la pente sont respectivement données par les relations :

$$q_o = k p_o H_o \quad (1)$$

$$q = k p_o h_e \quad (2)$$

Le débit par mètre linéaire extrait de la fente est donc tel que :

$$\frac{Q_w}{a} = kpo (Ho - he) \quad (3)$$

$$\text{soit : } Ho - he = \frac{Q_w}{akpo} \quad (4)$$

$$\text{ou : } Ho^2 - he^2 = \frac{Q_w}{akpo} (Ho + he) \quad (5)$$

$$\text{soit encore : } Ho^2 - he^2 = \frac{Q_w}{akpo} \left(2Ho - \frac{Q_w}{akpo} \right) \quad (6)$$

La perte de charge supplémentaire due à l'effet puits de chaque drain est, avec he charge au droit de la pente fictive et hw charge dans le puits :

$$\Delta hw^2 = he^2 - hw^2 = \frac{Q_w}{\Pi k} \ln \frac{a}{2\Pi rw} - \frac{Q_w}{\Pi k} + po^2 a^2 \frac{(4-\Pi)}{16\Pi} \quad (7)$$

le dernier terme pouvant être numériquement négligé.

$$\text{d'où : } Ho^2 - hw^2 = Ho^2 - he^2 + he^2 - hw^2 \quad (8)$$

$$\text{soit : } Ho^2 - hw^2 = \frac{Q_w}{akpo} \left(2Ho - \frac{Q_w}{akpo} \right) + \frac{Q_w}{\Pi k} \left[\ln \frac{a}{2\Pi rw} - 1 \right] \quad (9)$$

$$\text{soit : } \left(\frac{Q_w}{akpo} \right)^2 - \left(\frac{Q_w}{akpo} \right) \left(2Ho + \frac{apo}{\Pi} \left(\ln \frac{a}{2\Pi rw} - 1 \right) \right) + Ho^2 - hw^2 = 0 \quad (10)$$

permettant d'obtenir $\frac{Q_w}{akpo}$ et donc Q_w en prenant la racine inférieure à Ho pour $\frac{Q_w}{akpo}$

Ces relations cadrent bien avec les observations faites sur les sites traités.

Par exemple, avec $k = 5 \times 10^{-6}$ m/s, $a = 10$ m, $rw = 0,08$ m, $Ho = 30$ m, $hw = 10$ m, $po = 10\%$:

$$Q_w = 379,3 \text{ l/h}$$

niveau de débit qui justifie l'utilisation de ce type de pompe adaptée à des débits faibles, contrairement aux pompes immergées.

Les difficultés rencontrées sont la caractérisation de la distribution des perméabilités au sein de l'aquifère supposé ici le siège d'une nappe libre.

L'implantation de piézomètres de contrôle permet de caler la pertinence du modèle.

La charge hm attendue à mi-distance entre deux drains est donnée par :

$$hm^2 = hw^2 + \frac{Q_w}{\Pi k} \ln \frac{a}{\Pi rw} \quad (11)$$

Dans le cas d'application précédent : $hm = 11,16$ m ce qui est acceptable et justifie la valeur de a .

A noter que pour un aquifère simple sur un substratum imperméable, l'utilisation de la mesure de la variation du potentiel spontané suivant des courbes de niveau va permettre d'implanter les drains plus judicieusement sur les pics de potentiel détectés (Figure. 2).

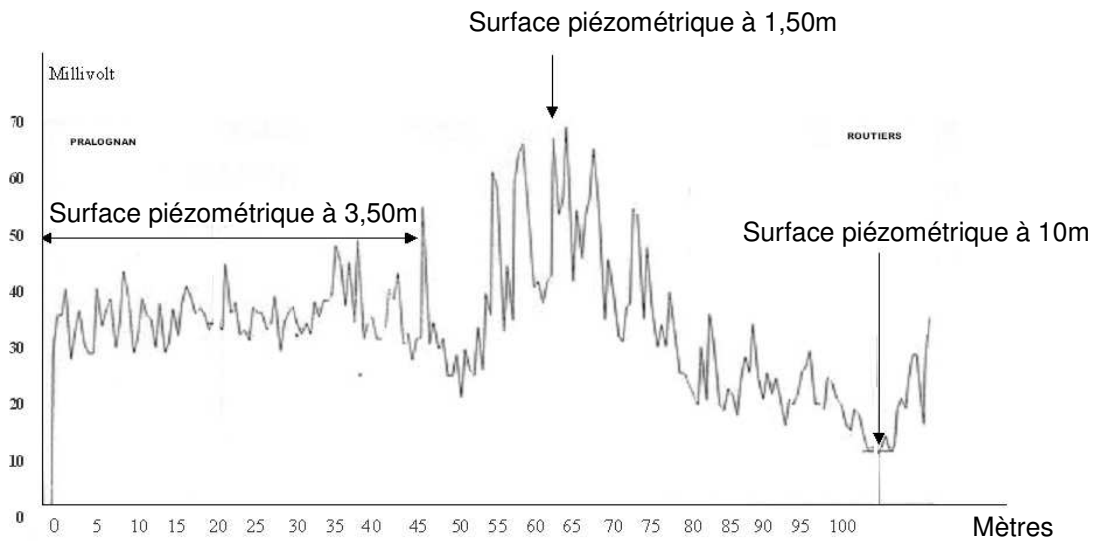


Figure 2. Variation du potentiel spontané suivant une courbe de niveau.

Après drainage, la mesure du potentiel spontané suivant les mêmes courbes va permettre de juger de l'efficacité du rabattement.

Il faut prendre garde à ne pas surdimensionner le projet, car au début le dispositif contribue à vider la capacité de stockage de la porosité dans la zone d'influence, puis s'établit un régime permanent correspondant seulement à l'alimentation permanente stabilisée, aux variations près induites par la météorologie.

Attention, le rabattement significatif de la nappe induit des tassements des sols drainés par augmentation de la contrainte verticale et par évapotranspiration.

Sur le site de Castelhaven, le rabattement de ce fait à été limité à 15 mètres (Figure.3).

CASTELHAVEN – ISLE DE WIGHT Implantation lignes de drainage

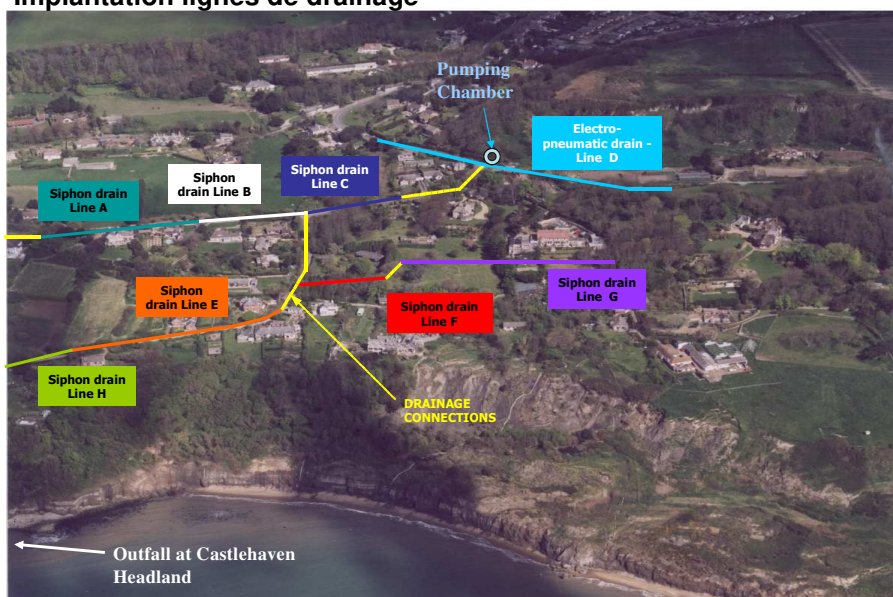


Figure 3. Castelhaven, Angleterre. Système de drainage profond.

Le procédé a été utilisé en système provisoire sur un projet de tunnel en Suisse (Figure. 4).

Le creusement du tunnel a été confronté à l'instabilité du versant. Celui-ci a été stabilisé par un rabattement à 30 mètres par des drains verticaux de 40 mètres. Le tunnel a été réalisé et des drains subhorizontaux par l'intérieur du tunnel ont pris le relais du drainage provisoire.

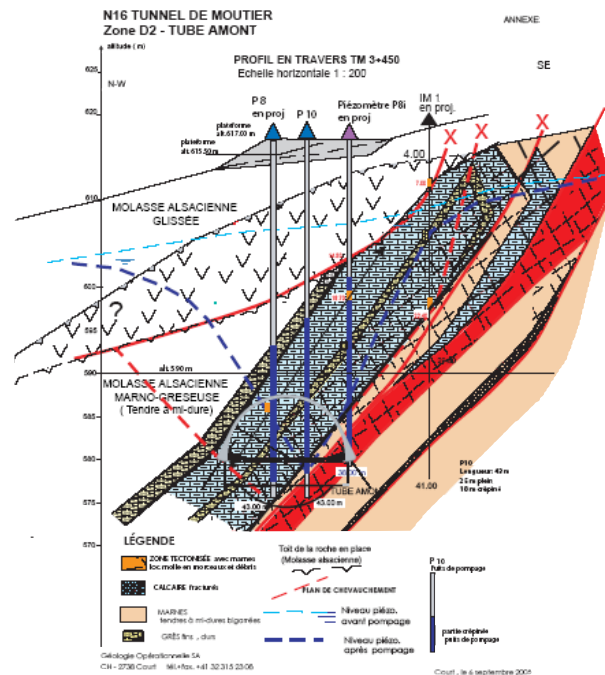


Figure 4. Instabilité du site du Tunnel de Moutiers (Suisse).

Enfin, le procédé a été utilisé en Roumanie à IASI pour le rabattement permanent d'une grande fouille dans des sables pour les sous sols d'un grand centre commercial (120 pompes, débit permanent de 40 à 50 m³/h).

3. Pompes de deuxième génération

Dans le cas d'aquifères confinés, pouvant être multiples, comme ci-dessous, au droit des falaises de WIMEREUX (Figure. 5), des niveaux de marnes alternent avec des niveaux calcaires.

FALAISES DE WIMEREUX

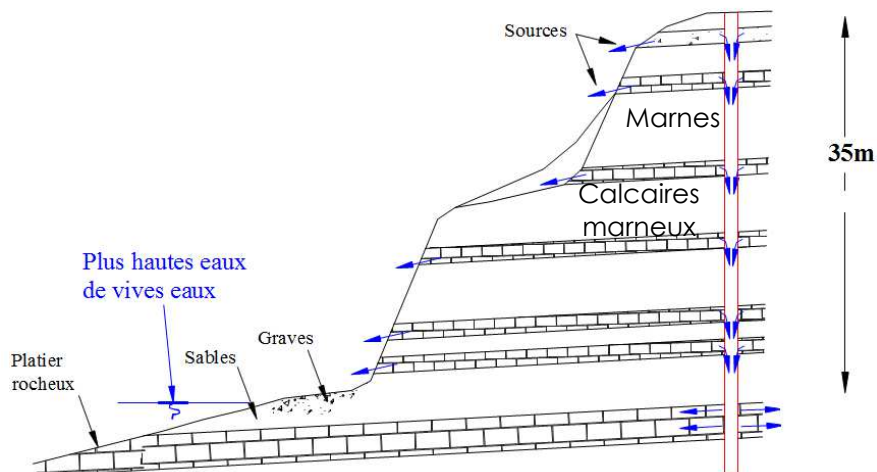


Figure 5. Falaises de Wimereux, France. Sept aquifères.

Il est intéressant de mettre au vide les forages de façon à avoir une action de drainage sur les niveaux marneux, dépassant l'action gravitaire de vidange des niveaux calcaires.

L'augmentation de l'efficacité en terme de rayon d'action est liée au niveau de vide qu'il est possible d'installer dans le drain. Il faut ici être très pragmatique et réaliser des plots d'essais. Il faut bien intégrer que lorsqu'un niveau de faible perméabilité ($k < 5 \times 10^{-6}$ m/s) est drainé, la vidange de la porosité est rapide pour le peu d'eau gravitaire disponible mais que très rapidement, elle est contrecarrée par l'installation d'une succion pour la vidange de l'eau liée.

La mise au vide du drain non seulement attire vers le drain l'eau libre des strates calcaires mais favorise une action complémentaire sur la diminution de teneur en eau des marnes. La mise au vide de chaque drain se fait simplement en reliant chaque drain à une bombonne à vide régulée par une clarinette et un ombilic, les drains étant équipés en tête d'un manchon d'étanchéité.

La comparaison des deux relations de HAZEN, dans un contexte sableux, donnant la perméabilité :

$$k = (D10)^2 \quad k \text{ en m/s } D10 \text{ en cm} \quad (12)$$

$$\text{et la hauteur d'ascension capillaire : } h = \frac{0,5}{e D10} \quad (13)$$

(donc la succion en cm H₂O) où h en cm, D10 en cm, 0,5 en cm²

$$\text{permet d'écrire : } h = \frac{0,005}{e \sqrt{k}} \quad h \text{ en m et } k \text{ en m/s et } e \text{ indice des vides} \quad (14)$$

d'où le tableau de valeurs, avec $e = 0,8$

Tableau 1.

k (m/s)	510^{-6}	10^{-6}	10^{-7}
h (m)	2,8	6,25	19,76

Cela montre que le drainage gravitaire perd 6,25m d'efficacité à 10^{-6} m/s.

L'avantage du vide dans le drain est d'augmenter cette capacité d'une hauteur équivalente au niveau de vide, ce que confirme les observations de ROBERTS en Angleterre sur les éjecteurs.

Par contre, il faut alors complexifier la pompe pour qu'elle puisse travailler dans le vide. Il apparaît alors nécessaire d'avoir recours à une pompe à piston, à deux corps. En leur donnant des diamètres différents, il est alors possible d'augmenter la profondeur d'efficacité passant de 40 à 80 mètres.

La chambre inférieure est la chambre de refoulement de l'eau à pomper. La chambre supérieure permet le déplacement de la tête supérieure du piston, toujours actionné par de l'air comprimé à 7bar, l'injection d'air étant régulé par des capteurs situés dans le corps inférieur (fig. n° 6).

L'augmentation de l'efficacité en profondeur est évidente par le rapport des sections des deux corps.

Les circuits d'injection d'air comprimé sont remis à la pression atmosphérique à l'extérieur du drain, ce qui ne surconsomme pas d'énergie pour le maintien au vide du drain.

L'entrée de l'eau dans la pompe se fait en partie inférieure par une crépine. Les détecteurs de niveaux dans le corps de pompe inférieur signalent à une électrovanne que la pompe est pleine et que l'injection d'air comprimé peut se faire en partie supérieure du piston. L'eau est refoulée à la surface par un tuyau d'évacuation latéral, le clapet situé au-dessus de la crépine se fermant. Quand la pompe est vide, l'injection haute d'air comprimé s'arrête, l'injection basse d'air comprimé remontant le piston.

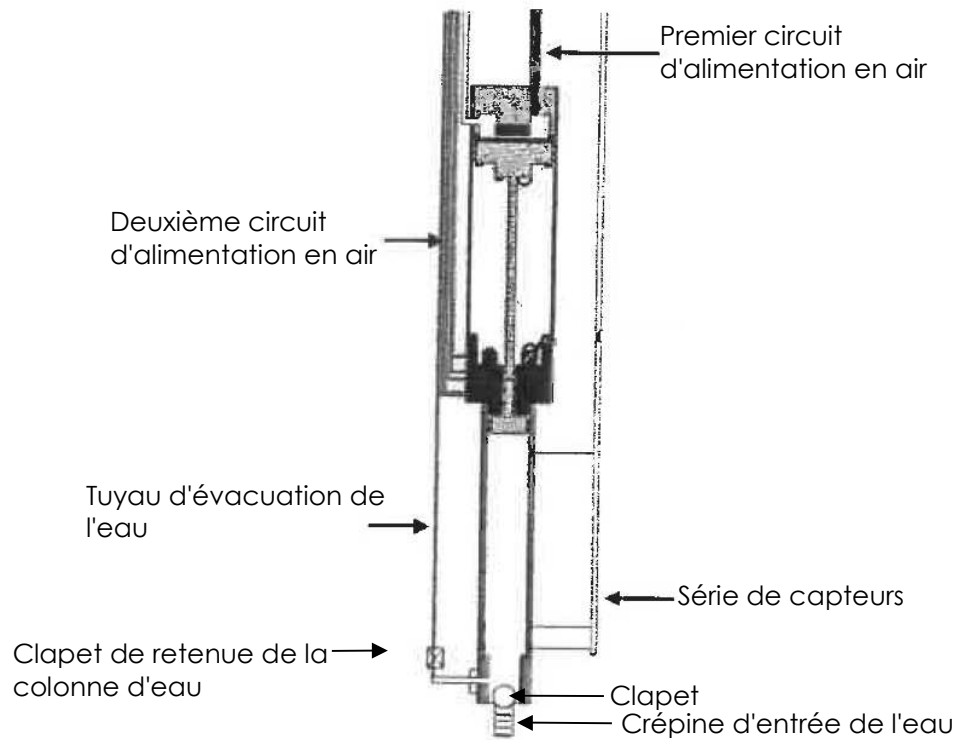


Figure 6. Pompe électropneumatique avec un piston à deux têtes.

4. Systèmes d'alimentation électrique des sites

Pour les sites de glissements de terrain, aujourd'hui, il est facile d'être autonome en alimentation électrique.

Sont donnés ci-dessous deux exemples d'éoliennes moyennes et de panneaux solaires, ici déplaçables.



Figure 7. Eoliennes moyenne puissance.



Figure 8. Panneaux solaires déplaçables.

5. Conclusions

Une possibilité de gestion du drainage très profond de sites instables ou de grands fouilles a été offerte par l'apparition de la première génération de pompes électropneumatiques.

La spécificité de certains chantiers a fait naître une deuxième génération permettant une action complémentaire sur les niveaux à drainer par la mise au vide des drains et a permis d'améliorer l'efficacité en doublant la profondeur pratique de rabattement qui est passée de 40 à 80 mètres. Une difficulté, celle de la consommation d'énergie peut être réglée par les éoliennes et les panneaux solaires.

Reste la nécessité d'un entretien des sites installés mais cette sujétion est minime par rapport aux volumes des masses instables qu'il est possible de stabiliser.

6. Références bibliographiques

- Bomont S. (2002) – Drainage with electro pneumatic drains® (Conference JNGG 2002 Nancy – France).
- Bomont, S. et al. (2005). Two applications for deep drainage using siphons and electropneumatic drains®. Slope works for Castlehaven Coast Protection Scheme, Isle of Wight (UK) and slope stabilisation for the Railways Agency, France. In, Proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management. 18th Annual Vancouver Geotechnical Society Symposium.
- Clark, A.R. et al. (2002). The planning and development of a coast protection scheme in an environmentally sensitive area at Castlehaven, Isle of Wight. Proc. Int Conf on Instability, Planning & Management, Thomas Telford, 2002.
- 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.
- Gress J.C. et al. (2013). Stabilization of huge landslides using lines of deep vertical or inclined drains, clever pumping devices and wind mills. Tabarka, Tunisie.