

# NOTE TECHNIQUE

## Relations pluviométrie-piézométrie-déplacements d'un versant naturel instable

Pierre POUGET

Laboratoire des Ponts et Chaussées de Clermont-Ferrand\*

Rev. Franç. Géotech. n° 64, pp. 57-61 (juillet 1993)

Le suivi sur plusieurs années du versant naturel instable de Sallèdes (sur lequel les laboratoires des Ponts et Chaussées ont construit deux remblais expérimentaux) montre que, selon les conditions climatiques, la nappe phréatique fluctue entre 1 et 5 mètres de profondeur. Les mouvements significatifs du versant se produisent lorsque la nappe atteint un seuil critique situé vers 2 mètres de profondeur. Au vu des problèmes posés par la prise en compte des déplacements dans les analyses de stabilité, on trouvera dans ce qui suit quelques enseignements tirés de cette expérimentation, avec en particulier l'étude des relations pluviométrie-piézométrie et piézométrie-déplacements.

### 1. LE SITE EXPÉRIMENTAL DE SALLÈDES

Ce versant de 7° de pente moyenne est constitué en surface et sur une épaisseur de 6 à 10 mètres de colluvions argileuses qui se sont mises en place sur un substratum marno-calcaire stratifié horizontalement d'âge oligocène. Ces formations superficielles glissent lentement au contact du substratum, le phénomène ayant été amplifié à l'aval du remblai B expérimental construit en 1980 à une hauteur inférieure à la hauteur de rupture, définie par l'expérimentation préalable du remblai A.

Des mesures de paramètres tels que la pluie, la piézométrie et les déplacements (inclinométrie) ont été réalisées avec une fréquence sensiblement hebdomadaire pendant les quatre premières années et à un rythme plus espacé par la suite. D'autres paramètres tels que l'évapotranspiration (ETP) ont été recueillis auprès de la station météorologique d'Aulnat distante du site d'environ 30 kilomètres.

### 2. RELATION PLUVIOMÉTRIE-PIÉZOMÉTRIE

Compte tenu des données disponibles, un modèle purement statistique a été utilisé pour schématiser le cycle de l'eau : le modèle linéaire régressif consiste à trouver

une relation linéaire entre la piézométrie et l'ensemble des variables telles que la pluie (variable de recharge), l'évapotranspiration des végétaux (variable de décharge) voire de la hauteur piézométrique lors de la mesure précédente (variable de drainage). Le modèle est calé sur une période donnée et les prévisions sont calculées à partir de ces résultats en utilisant un algorithme de régression multiple. La qualité de la prévision est évaluée par la différence entre l'observation et la prévision : l'indice utilisé est l'écart moyen quadratique (EMQ).

#### 2.1 Modèle 1

Dans ce modèle simplifié, on considère que la hauteur piézométrique peut être expliquée par les seuls antécédents climatiques (pluie, évapotranspiration).

$$PI = a + b \text{ SPL}_{-1,-i} - c \text{ SETP}_{-1,-j}$$

PI : pression interstitielle

SPL et SETP : cumul des antécédents de pluie (entre - 1 et - i jours) et des évapotranspirations (entre - 1 et - j jours).

a, b, c : coefficients de régression.

Dans un premier temps, il est intéressant de déterminer l'intervalle de temps précédant la mesure piézométrique pour lequel les paramètres utilisés influencent celle-ci. On constate (fig. 1) que le meilleur modèle est celui prenant en compte l'antériorité de 50 jours de pluie et 100 jours d'ETP : le sol a donc une « mémoire » plus courte vis-à-vis de la pluie que de l'évapotranspiration. Ce phénomène est lié à une plus grande rapidité d'infiltration comparée à l'action des végétaux.

On notera d'autre part les valeurs suivantes :

sans ETP : Régression PI :  $f(\text{SPL}-1-50)$   $R^2 = 0,28$

sans pluie : Régression PI :  $f(\text{SETP}-1-100)$   $R^2 = 0,25$

Pour améliorer encore ce modèle, on décompose la pluie cumulée en plusieurs variables explicatives qui sont des cumuls sur 10 jours.

La figure 2 présente les courbes de calage (sur trois années : 1980, 1981, 1982) et de prévision (sur sept

\* 8-10, rue Bernard-Palissy, ZI du Brézet, BP 11, 63014 Clermont-Ferrand Cedex.

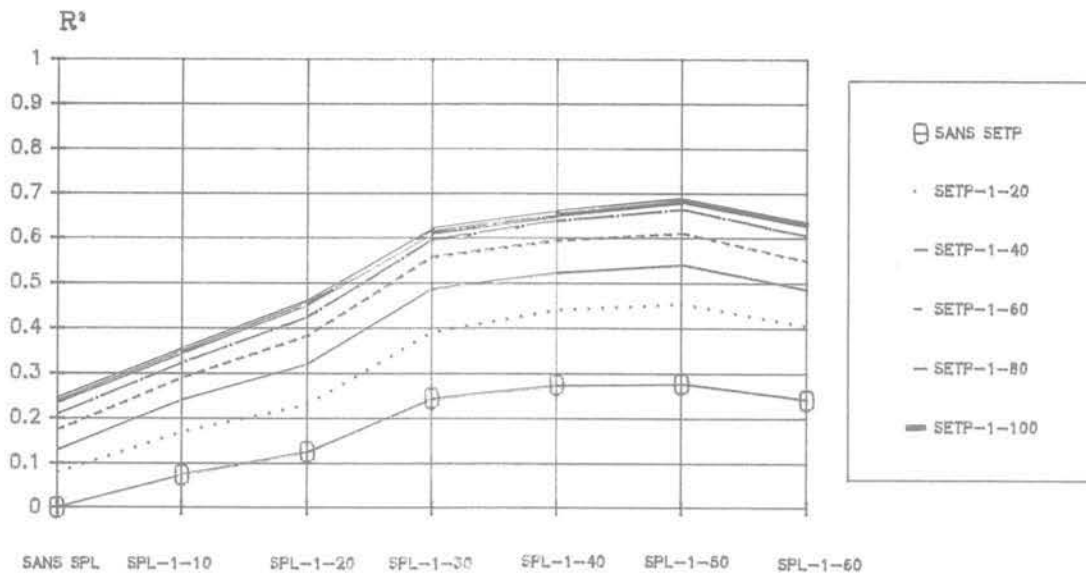


Fig. 1. — Coefficients de corrélation de la régression  $PI = f(\text{Pluie, ETP})$ .

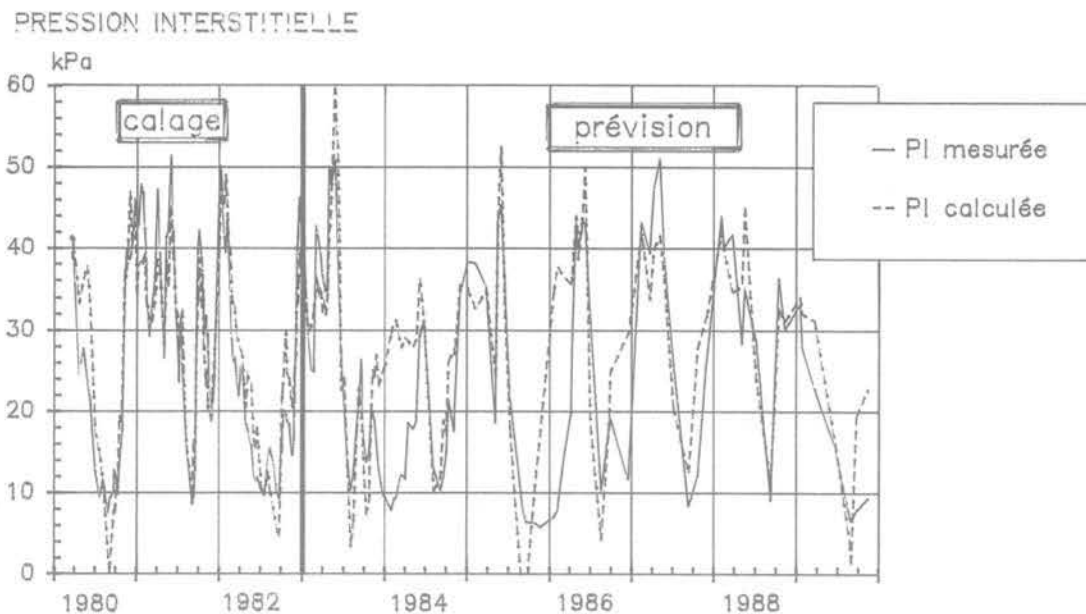


Fig. 2. — Modèle 1 : évolution des pressions interstitielles mesurées et calculées.

années) du modèle pour lequel on fait intervenir le cumul de pluie pour cinq décades (-1 à -10 jours, -11 à -20 jours, -21 à -30 jours...), soit :

$$PI = a + b_1 SPL_{-1-10} + b_2 SPL_{-11-20} + b_3 SPL_{-21-30} + b_4 SPL_{-31-40} + b_5 SPL_{-41-50} + c SETP_{-1-100}$$

On constate dans l'ensemble d'assez bons résultats :

EMQ calage = 5,2 kPa = 52 cm d'eau

EMQ prévision = 9,3 kPa = 93 cm d'eau

à comparer avec la précision de la mesure qui est de l'ordre de  $\pm 0,5$  kPa ( $\pm 5$  cm d'eau).

On observe quelques périodes de mauvaise prévision comme celles du premier semestre 1984 ou du début 1986, phénomène bien mis en évidence par l'évolution des EMQ dans le temps (fig. 3).

## 2.2. Modèle 2

Ce modèle prend en compte la pression interstitielle précédemment mesurée et un terme de drainage qui est assimilé à une fonction du second degré de cette pression interstitielle :

$$PI = PI_{-1} + a PI_{-1} + b PI_{-1}^2 + c SPL_{-1-1} - d SETP_{-1-1}$$

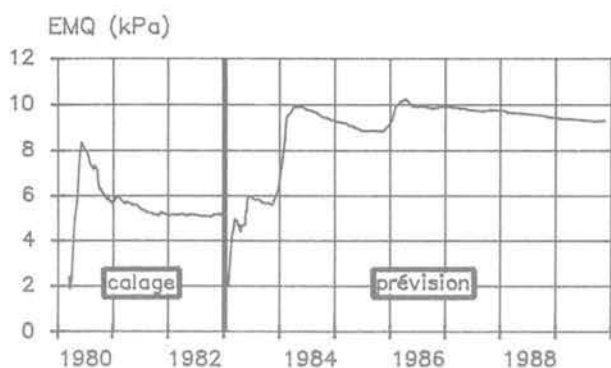


Fig. 3. — Modèle 1 : évolution dans le temps de l'EMQ.

Par ailleurs, le drainage étant lui-même fonction du temps, le pas de temps  $i$  entre deux mesures a été introduit dans le modèle :

$$PI = (1 + a) PI_{-1} + b i PI_{-1}^2 + c SPL_{-1-i} - d SETP_{-1-i}$$

$PI_{-1}$  = pression interstitielle mesurée à la date précédente.

$i$  = pas de temps entre deux mesures.

La figure 4 présente les courbes de calage (sur deux années : 1980, 1981) et de prévision (sur huit années) du modèle.

On constate une très nette amélioration par rapport au modèle précédent. En particulier les résultats de la prévision des années 1982 et 1983 (les mesures présentent sensiblement les mêmes pas de temps que celui du calage) sont de très bonne qualité avec un EMQ du même ordre de grandeur que celui du calage (3,8 kPa) soit 38 centimètres d'eau. Les prévisions deviennent

moins bonnes à partir de 1985 date à laquelle les intervalles de temps  $i$  entre les mesures ont été nettement plus grands (fig. 5).

On notera qu'une comparaison entre les modèles peut être réalisée en calculant les EMQ des résidus de prévision sur une période de calage comprenant l'ensemble des mesures. L'ajustement entre la pression interstitielle mesurée et celle calculée présente un coefficient de corrélation donné dans le tableau I.

On retiendra que le modèle qui utilise la dernière mesure piézométrique observée (fréquence des mesures de l'ordre de 7 jours) permet de faire des prévisions de très bonne qualité sur une période d'au moins deux ans.

Tableau I. — Comparaison des modèles 1 et 2.

	EMQ (kPa)	R <sup>2</sup>	R
Modèle 1	7,0	0,70	0,84
Modèle 2	4,2	0,98	0,99

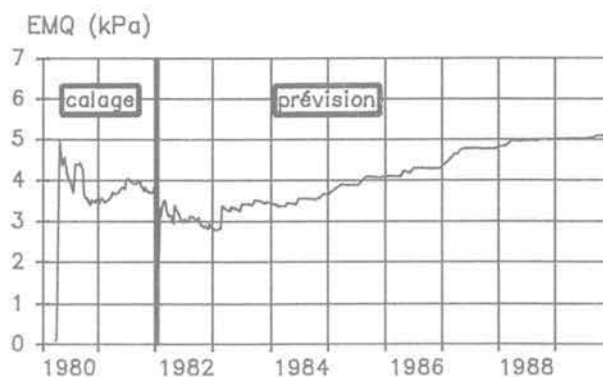


Fig. 5. — Modèle 2 : évolution dans le temps de l'EMQ.

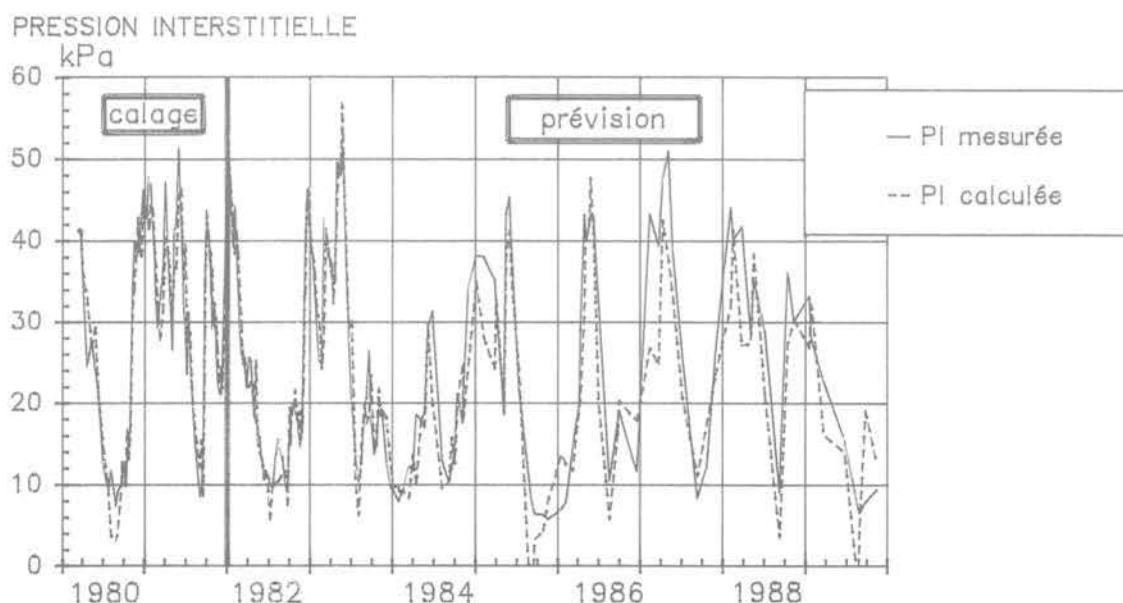


Fig. 4. — Modèle 2 : évolution des pressions interstitielles mesurées et calculées.

### 3. RELATION PIÉZOMÉTRIE-DÉPLACEMENTS

L'analyse des mouvements conduit à s'intéresser, outre l'amplitude du phénomène, à sa vitesse et même à son accélération.

La figure 6 représente l'évolution des vitesses de déplacements observées en fonction de la hauteur piézométrique. On constate qu'il existe un seuil de pression au-delà duquel les vitesses peuvent brutalement diverger : il est d'environ 50 kPa au point considéré et correspond donc, puisque le piézomètre est situé à 6 mètres de profondeur, à une nappe située à 1 mètre sous le terrain naturel. En deçà, une plage de 10 à 13 kPa conduit à des vitesses plus faibles, puis pour une nappe sensiblement inférieure à 2 mètres de pro-

fondeur, on constate que les mouvements sont pratiquement nuls.

Lors des périodes pluvieuses, les remontées de nappe sont très rapides, parfois brutales et, lors des phases de déplacement, les vitesses mesurées présentent toujours la même allure avec en particulier une valeur de pic (fig. 7) qui se situe, dans le temps, au moment (très court) de la pression interstitielle maximum  $U_{max}$ .

On notera sur la figure 7 l'évolution du coefficient de sécurité au glissement d'ensemble au cours de la phase alimentation-drainage.

Il apparaît par ailleurs que la vitesse maximum de déplacement est liée à la valeur initiale  $U_0$  de la pression interstitielle (au début du phénomène de recharge). La figure 8 donne, pour les valeurs de pressions maximum élevées ( $U_{max} = 40$  à  $50$  kPa), les points expérimentaux obtenus dans une relation entre  $U_{max}/U_0$  et la vitesse de déplacement maximum du terrain : il apparaît que, plus la pression interstitielle au début du phénomène de recharge est élevée (rapport  $U_{max}/U_0$  faible et proche de 1), plus la vitesse de déplacement mesurée est élevée.

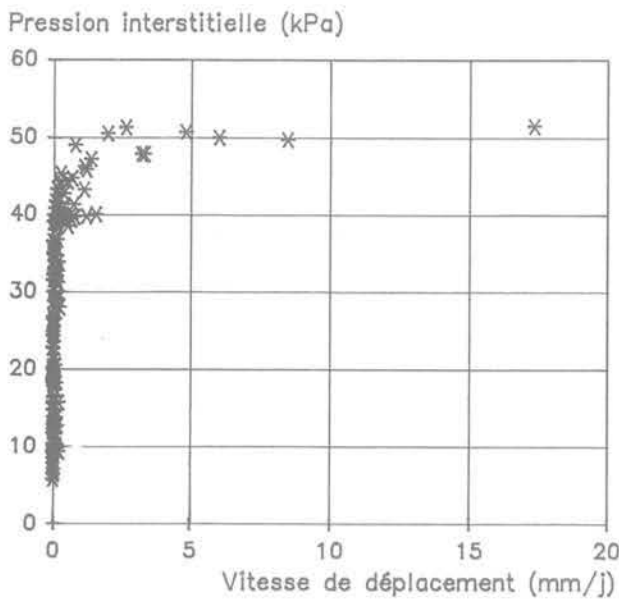


Fig. 6. — Relation pression interstitielle-vitesse de déplacement.

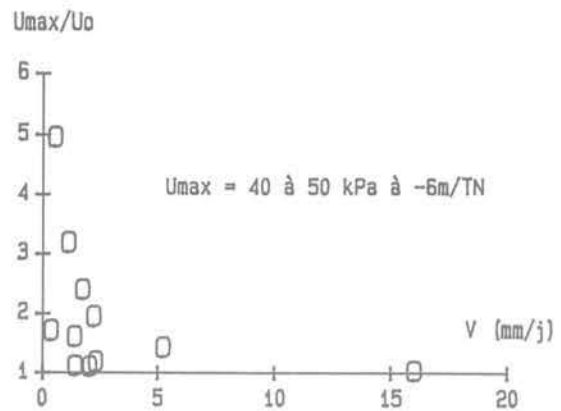


Fig. 8. — Relation  $U_{max}/U_0$  en fonction de la vitesse maximum de déplacement.

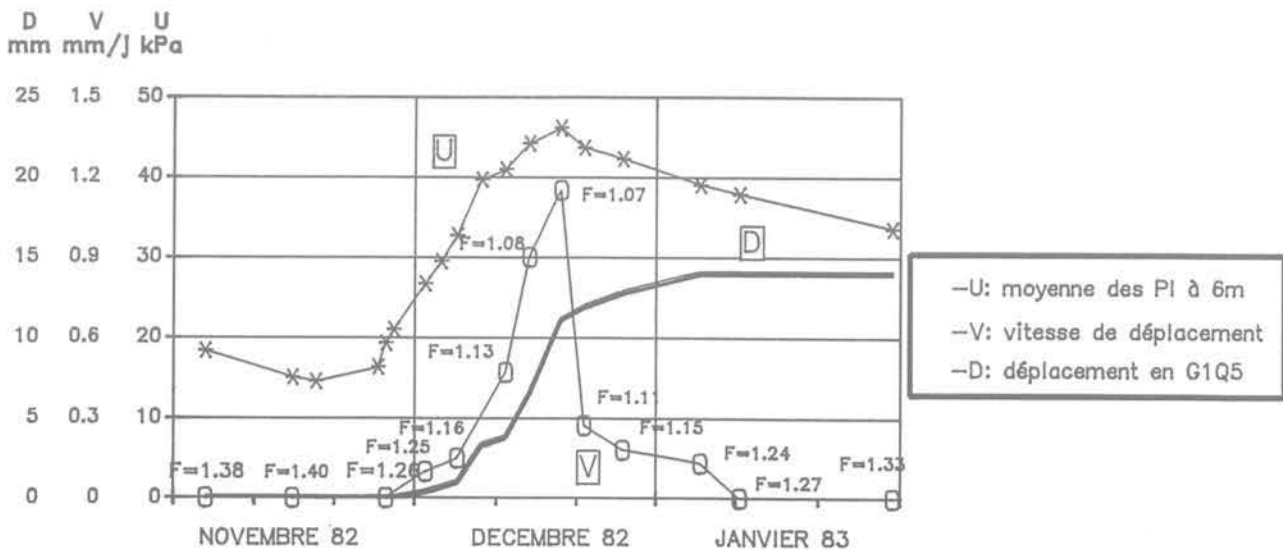


Fig. 7. — Evolution de la pression interstitielle, des déplacements et des vitesses de déplacement.

#### 4. CONCLUSION

Dans l'étude des relations entre les divers principaux facteurs caractérisant un versant argileux instable, on retiendra le modèle purement statistique de type régression linéaire multivariable qui permet de simuler le comportement piézométrique dans de bonnes conditions à partir de la pluviométrie, de l'évapotranspiration, voire de la pression interstitielle mesurée à la date précédente. Il convient de bien apprécier dans cette approche la nature des paramètres utilisés afin de limiter le risque de prise en compte de variables pas tout à fait indépendantes. Pour ce qui concerne les relations piézométrie-déplacements, on retiendra que les mouvements du terrain se produisent à partir d'un certain

niveau de la nappe du versant, les vitesses maximum étant obtenues au moment du pic de pressions interstitielles.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CARTIER G., POUGET P. (1988), *Etude du comportement d'un remblai construit sur un versant instable. Le remblai de Sallèdes (Puy-de-Dôme)*. Rapport de recherche LPC, 153, 130 p.
- POUGET P., CARTIER G., PILOT G. (1985), *Comportement de remblai construit sur versant instable*. Compte rendu du XI<sup>e</sup> CIMSTF, San Francisco, vol. 4, pp. 2345-2348.