

PREVISION DU TEMPS DE RUPTURE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN

Par

Mohamed-Amine ALLAL

Docteur Ingénieur en Mécanique des sols
Maître Assistant, Institut de Génie Civil - Tlemcen

Résumé

Chaque fois qu'il y a risque de rupture d'un ouvrage ou d'un site naturel, la nécessité de pouvoir décider du moment du déclenchement des opérations de sécurité demande particulièrement la mesure des déplacements en fonction du temps.

On indique ici, à côté d'un procédé classique (Méthode de Saito), une nouvelle méthode d'exploitation des mesures en question (Méthode d'Asaoka "inversée"). Cette méthode a été citée pour la prédiction du tassement final.

On compare entre les deux procédés quant à la détermination du temps de rupture.

Mots clés : rupture - tassement - prédiction - remblais - déblais - méthode de Saito - méthode d'Asaoka 'inversée'.

1 INTRODUCTION

Les importants travaux routiers et autoroutiers réalisés durant la dernière décennie ont entraîné de nombreuses ruptures de remblais et de déblais. Il est nécessaire, à titre de prévention, de pouvoir déterminer le moment de la rupture du massif avec le maximum de précision. Il est à noter que ces mouvements dépendent de plusieurs critères, dont les principaux sont :

- ✓ nature du matériau,
- ✓ vitesse du mouvement,
- ✓ morphologie et type de surface de rupture,
- ✓ âge de la rupture, etc...

Il est donc évident que quelle que soit la ou les méthodes retenues, leur utilisation n'est pas universelle. Leur fiabilité ne pourra être vérifiée qu'après une application sur un très grand nombre de cas.

2 SURVEILLANCE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN

Comme on le verra par la suite, la grande difficulté pour l'application des méthodes de prévision réside dans le fait qu'on n'a pas toujours le suivi des déplacements en fonction du temps. Et surtout le temps initial qui est une nécessité pour certaines méthodes. Pour cela, et pour tous les grands ouvrages, il faudrait un suivi et une auscultation continus.

A ce niveau, la surveillance fait appel à un certain nombre de mesures, qui vont être différenciées par :

- ▲ la précision de la méthode choisie,
- ▲ sa rapidité d'exploitation,
- ▲ la méthodologie de l'option retenue,
- ▲ son coût.

Toutefois à chaque méthode correspond son domaine d'application et chaque situation nécessite un choix en fonction de l'objectif à atteindre.

La détection des zones instables consiste à évaluer les divers facteurs susceptibles de donner lieu à des mouvements de sol.

Ces mouvements doivent alors être suivis régulièrement par des mesures d'ensembles et des mesures ponctuelles. Ce sont ces valeurs que nous exploiterons pour la prévision du temps de rupture.

3 DEFINITION DU TEMPS DE RUPTURE

L'observation des glissements réels en cours d'évolution permet de poser clairement les termes de l'analyse physique du phénomène. Entre le début du mouvement et la rupture, on assiste successivement :

- ❖ au fluage d'un volume d'extension limité, sous l'action des contraintes de cisaillement,
- ❖ à des ruptures localisées aux points où le mouvement de fluage amène le terrain à sa limite de rupture,
- ❖ à l'extension progressive de ces phénomènes de rupture,
- ❖ enfin, à la rupture généralisée.

En plus des paramètres géotechniques classiques (seuil de fluage, viscosité, résistance au cisaillement) à quantifier, il serait donc judicieux de mesurer les déplacements (de la partie en mouvement) en fonction du temps.

A partir de ces données, on se propose de comparer deux méthodes qui nous permettront de déterminer le moment de la rupture généralisée.

4 PREVISION DU TEMPS DE RUPTURE

Quand le glissement de terrain par fluage se trouve dans sa phase primaire, il n'y a aucun moyen de prévoir le moment de la rupture.

En effet, on ne peut savoir, à priori, si c'est un fluage amorti ou non-amorti (voir figure 1).

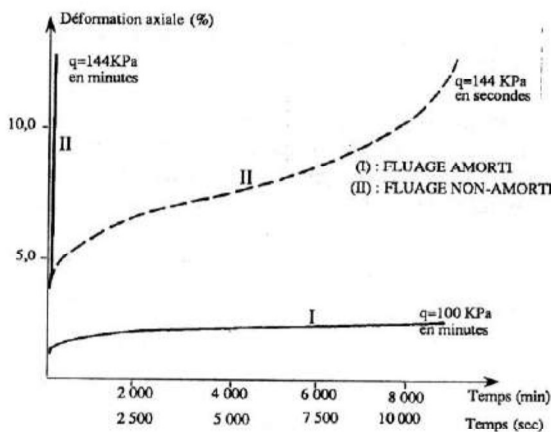


Figure 1 : Essais de fluage non drainé $\varepsilon - t$

Par contre, quand le fluage se trouve dans sa phase tertiaire, il semble qu'il y ait des méthodes qui permettent la prévision du temps de rupture.

Les méthodes, que nous examinerons, sont :

- Méthode de Saito (M. Saito 1969)
- Méthode d'Asaoka "inversée" (A. Asaoka 1978)

Cette dernière a été énoncée pour la prédiction du tassement final. Nous l'avons utilisée pour les glissements en affectant le temps et la déformation du rôle inverse par rapport à la méthode initiale. Ceci a été possible après avoir explicité clairement l'analogie entre les com-

portements de consolidation et de fluage (M.-A. Allal 1989).

Le fait que l'on ne connaisse pas dans les cas réels $t_0 = 0$ (début des déplacements) joue un rôle déterminant.

De même on peut dire que quand la vitesse de glissement est décroissante, on ne sait pas si elle le restera toujours ou pas.

4.1 Méthode de Saito

La méthode de Saito découle analytiquement de la relation suivante :

$$\text{Log } t_r = C - D \log \dot{\varepsilon} \quad (1)$$

où :

t_r = temps de rupture

$\dot{\varepsilon}$ = vitesse de déformation dans la phase tertiaire

C et D = constantes

$$\text{Log } (t_r - t) = \text{Log } A - \text{Log } \dot{\varepsilon} \quad (2)$$

avec

$$\text{Log } A = \frac{C}{D}$$

d'où :

$$\dot{\varepsilon} = \frac{A}{t_r - t} \quad (3)$$

et si $\varepsilon = 0$ à $t = t_0$, alors on aura

$$\varepsilon = A \text{Log } \frac{t_r - t_0}{t_r - t} \quad (4)$$

Cette équation pouvant se formuler de la manière suivante :

$$\Delta l = l_0 \cdot A \cdot \text{Log } \frac{t_r - t_0}{t_r - t} \quad (5)$$

Pour pouvoir utiliser cette méthode graphiquement, il faut choisir 3 points de mesure tels que :

$$\Delta l_2 - \Delta l_1 = \Delta l_3 - \Delta l_2$$

On aura alors :

$$\frac{\Delta l_2 - \Delta l_1}{\text{Log } \frac{t_r - t_1}{t_r - t_2}} = \frac{\Delta l_3 - \Delta l_2}{\text{Log } \frac{t_r - t_2}{t_r - t_3}} \quad (6)$$

d'où :

$$t_r - t_1 = \frac{(t_2 - t_1)^2}{2(t_2 - t_1) - (t_3 - t_1)} \quad (7)$$

On peut ainsi déterminer le temps de rupture en fluage tertiaire, aussi bien analytiquement que graphiquement (Figure 2).

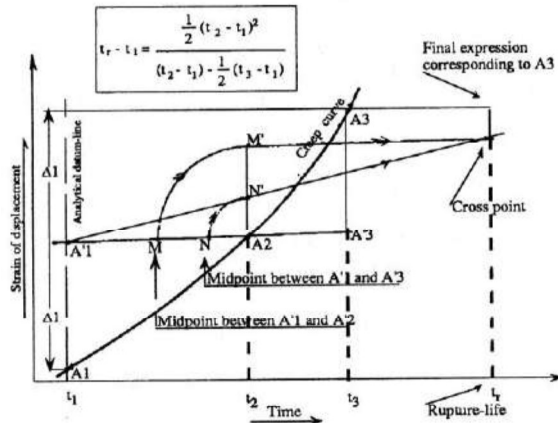


Figure 2 : Analyse graphique du temps de rupture (méthode de Saito)

4.2 Méthode d'Asaoka "inversée"

La méthode d'Asaoka (A. Asaoka 1978) a été énoncée pour la prédiction de la valeur du tassement final. La résolution de l'équation de consolidation (théorie de Terzaghi-Fröhlich) nous conduit à l'unicité de la solution, si toutes les conditions aux limites ont été déterminées.

Cette prédiction du tassement peut se faire aussi bien analytiquement (procédé stochastique non stationnaire) que graphiquement. C'est cette dernière que nous avons retenue, et que nous avons appliquée pour la prédiction du temps de rupture de glissement en fluage tertiaire.

Le principe découle du fait qu'à partir d'un temps t_i , les tassements sont presque constants c'est-à-dire que : $\Delta h_i = \Delta h_{i+1}$.

Toutefois les mesures doivent être effectuées pour des temps unitaires. Il suffit de prendre un tableau tel que :

Δh_i (temps unitaires)	Δh_i (tassements au temps t_i)	Δh_{i-1} (tassements au temps t_{i-1})
--------------------------------	---	---

On garde l'incrément de temps constant et on trace dans un repère d'abscisses h_{i-1} les différents points.

L'intersection de la droite ainsi obtenue avec la bissectrice ($\Delta h_{i-1} = \Delta h_i$) nous donne la valeur du tassement final.

A partir de cette méthode, et après avoir montré l'analogie entre les comportements de consolidation et de fluage (M.-A. Allal 1989), on a essayé de prédire les moments de rupture de talus.

En effet, à un certain temps, les déformations croissent de manière indéfinie. C'est la rupture généralisée et on aura une variation des déplacements : ($\Delta h_i \neq \Delta h_{i+1}$) à un temps fixe ($t_i = t_{i+1}$).

Il suffit alors de préparer ces données en fonction du tableau ci-dessus.

Δh_i (déplacement unitaire)	t_i (déplacement correspondant au déplacement Δh_i)	t_{i-1} (temps correspondant au déplacement Δh_{i-1})
-------------------------------------	--	--

On fixe un incrément des déplacements constants (à partir des mesures), et on trace la droite qui lie les temps t_i aux temps t_{i-1} . Son intersection avec les déplacements donne la valeur de la grandeur recherchée (voir figure 3).

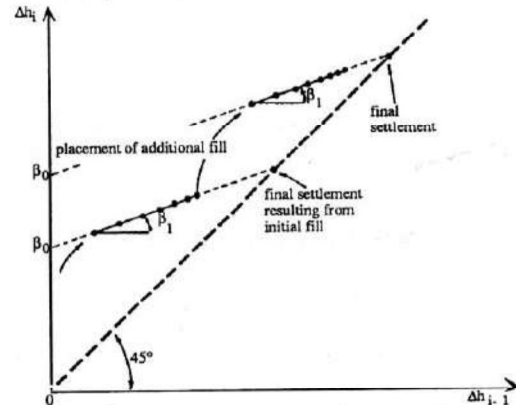


Figure 3 : Méthode graphique de prédiction

4.3 Application et comparaison entre les deux méthodes

Nous avons appliqué la méthode d'Asaoka "inversée" à trois analyses de Saito (Figures 4, 5 et 6). Nous avons complété ce travail en appliquant les deux méthodes à un affaissement de terrain (Figure 7) et à un essai de laboratoire (Figure 8).

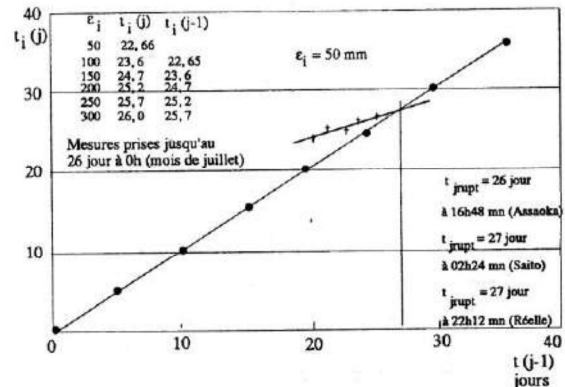


Figure 4 : Glissement de terrain (Asamushi)

Les résultats obtenus nous permettent de faire les constatations suivantes :

- Pour les cas réels, la méthode de Saito donne des résultats proche de la réalité, mais pour avoir avec précision le temps de rupture, il faut avoir des mesures très avancées, ce qui ne va pas dans le sens de la sécurité prévisionnelle.

- Pour l'essai de laboratoire, la méthode reste valide avec toujours des mesures nécessaires très avancées dans le temps.

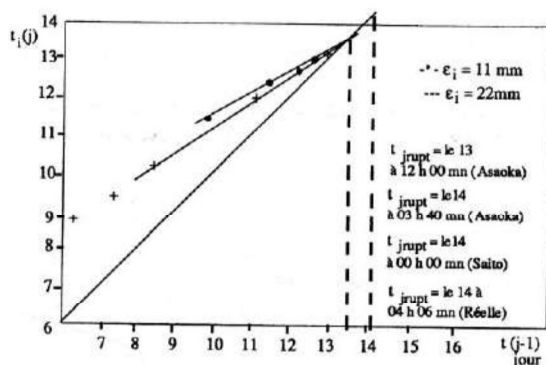


Figure 5 : Glissement de terrain (voie ferrée de Ooigawa)

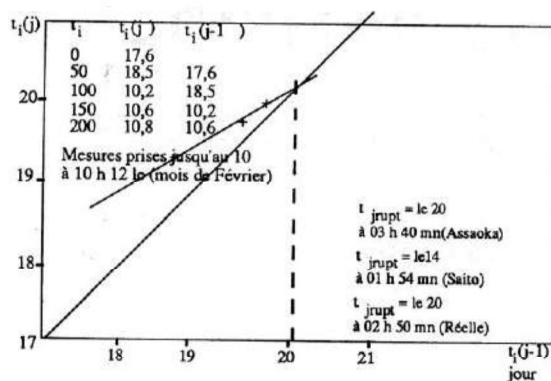


Figure 6 : Glissement de terrain (voie ferrée de Dosan)

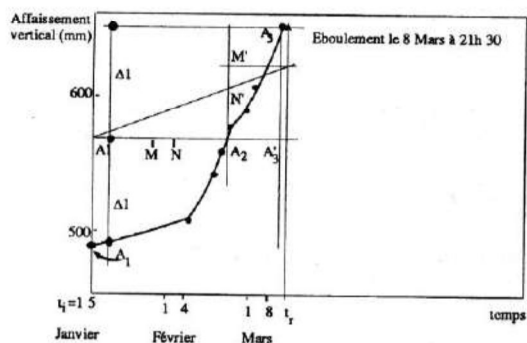


Figure 7 : Détermination du temps de rupture par la méthode de Saito, Asaoka (glissement de terrain)

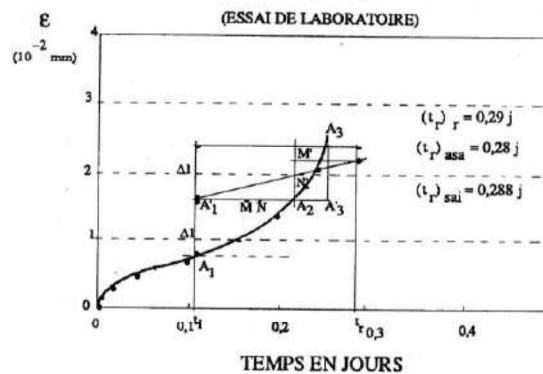


Figure 8 : Détermination du temps de rupture par la méthode de Saito, Asaoka

Tableau 1 : Comparaison entre les deux méthodes pour un affaissement de terrain

Prévision au	Jour de rupture prévu			
	Asaoka		Saito	
25 Février	28,6	Mars	2,0	Mars
27 Février	8,3	Mars	5,5	Mars
29 Février	7,3	Mars	7,2	Mars
3 Mars	8,5	Mars	9,0	Mars
5 Mars	8,6	Mars	9,0	Mars

(*) Rupture réelle le 08 Mars à 21h 30

(*) $t_{rupt} = 8,9$ Mars

Tableau 2 : Comparaison des temps de rupture (par les deux méthodes) avec le temps réel

	Méthode d'Asaoka	Méthode de Saito	Réalité	Erreur %	
				A	S
Essai de laboratoire	t_r 0,28 jour	0,288 jour	0,290 jour	3,4	2,7
	t_r 0,21 jour	0,250 jour	—	—	—
Affaissement de terrain	t_r 8 mars à 14 h 20	9,0 mars à 0 h 00	8 mars à 21 h 30	3,4	1,1
	t_r 5 mars	3 mars	—	—	—
Glissement de terrain de Asamushi	t_r 26ème jour à 16 h 48	27ème jour à 02 h 24	27ème jour à 22 h 12	9,1	2,9
	t_r 25ème jour à 16 h 50	26ème jour à 00h 00	—	—	—
Glissement de terrain chemin de Ooigawa	t_r 13ème jour à 12h 00	14ème jour à 00 h 00	14ème jour à 04h 05	4,9	1,4
	t_r 12ème jour à 19 h 10	13ème jour à 16 h 00	—	—	—
Glissement de terrain de voie de Dosan	t_r 20ème jour à 3 h 40	20ème jour à 01 h 54	20ème jour à 2 h 50	0,2	0,2
	t_r 19ème jour à 13 h 00	19ème jour à 19h 12	—	—	—

- En restant dans le cas ci-dessus la construction d'Asaoka semble être plus avantageuse. Le moment de la rupture est déjà correctement déterminé à l'avance.

- Pour les cas réels de glissement de terrain, où la plupart des fois la courbe *déplacement-temps* n'a pas la régularité d'une courbe expérimentale, la solution d'Asaoka nécessite une linéarité souvent compromise.

5 CONCLUSION

Comme on l'a énoncé plus haut, et ceci pour plusieurs raisons, pour les essais de laboratoire, la méthode d'Asaoka "*inversée*" est plus pratique puisqu'elle nous permet de prévoir le temps de rupture en fluage tertiaire avec des mesures finales assez éloignées, et avec une précision presque égale à celle obtenue par la méthode de Saito.

Pour les cas réels, cette dernière donne des résultats beaucoup plus fiables mais nécessite des mesures très retardées.

Toutefois, si on a toutes les mesures, toutes les conditions aux limites, il faudrait, et ceci dans un souci de sécurité et de rigueur, utiliser les deux méthodes et synthétiser les résultats. En effet, elles se complètent quant à la précision et au temps de la dernière mesure ⑦.

6 BIBLIOGRAPHIE

- [1] M.-A. Allal - "*Contribution à l'étude du comportement mécanique de la bentonite (intacte et prédécoupée) soumise à des charges constantes et cycliques*". Thèse de Docteur-Ingénieur, Ecole Centrale de Paris (France) pp. 40-85 ; 1989.
- [2] M.-A. Allal - "*Analogie entre les comportements de consolidation et de fluage. Application aux glissements de terrain*"; séminaire international de mécanique des sols et des barrages. Mai 1989, Tlemcen (Algérie) (1989).
- [3] A. Asaoka - "*Observational procedure of settlement prediction*" soils and foundations, vol. 18 n° 4 (Japon) (1978).
- [4] M. Saito - "*Forecasting time of slope failure by tertiary creep*"; proceedings of the 7th Int. Conf. of Soil Mech. and Found. Eng. vol. 1 - Mexico (Mexique) pp. 677 - 683 (1969).

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT

Ecole Nationale des Travaux Publics

Année universitaire 1992/1993

RECRUTE

ENSEIGNANTS

ASSOCIES OU VACATAIRES

DANS LES MATIERES SUIVANTES :

MATHEMATIQUES, PHYSIQUE ET CHIMIE

N. B. : TRANSMETTRE CV A LA DIRECTION DE L'ECOLE
RUE SIDI GARIDI
16051 KOUBA-GARIDI (ALGER)