



HAL
open science

Modèle de prévision cinématique orienté sur la cause hydraulique, application au versant de la Clapière (Alpes Maritimes)

E. Gervreau

► **To cite this version:**

E. Gervreau. Modèle de prévision cinématique orienté sur la cause hydraulique, application au versant de la Clapière (Alpes Maritimes). 1990, pp.123-131. insu-00504000

HAL Id: insu-00504000

<https://insu.hal.science/insu-00504000>

Submitted on 19 Jul 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MODELE DE PREVISION CINEMATIQUE ORIENTE SUR LA CAUSE HYDRAULIQUE, APPLICATION AU VERSANT DE LA CLAPIERE (06)

E. GERVREAU (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)

INTRODUCTION

Le glissement dit de la Clapière se situe un kilomètre en aval du village de Saint Etienne de Tinée (Alpes Maritimes), la zone affectée constituée de gneiss migmatitiques est située entre le vallon de Ténibres au nord ouest et de Rabuons au sud est (J.P. FOLLACCI 1987).

Cette zone large à sa base de un kilomètre longe la Tinée qui coule à 1100 m d'altitude. Elle est limitée vers le haut par un escarpement de 70 m environ et d'inclinaison 50° à 60°. Cet escarpement dessine entre 1550 m et 1750 m deux lobes. Le volume de la masse en mouvement est estimé à 50 millions de m³. L'inclinaison moyenne du versant exposée sud-ouest est de 35°. La vitesse de déplacement en surface actuellement varie de 20 à 30 mm/j et a atteint durant l'automne 1987 100 mm/j. (voir en annexe la description du dispositif mis en place sur la clapière pour mesurer les déplacements en surface).

Devant les problèmes que pose ce mouvement de terrain, deux attitudes différentes mais pas opposées sont possibles:

Une attitude d'expert qui consiste à mettre en jeu l'expérience acquise sur d'autres sites pour juger le caractère alarmant du versant étudié à un instant donné.

Utiliser des moyens de prévision et confronter ces prévisions aux observations en temps réel afin de détecter des discontinuités dans le comportement du versant, témoins d'alarme pour les périodes actives.

La première attitude est celle qui a été adoptée pour la Clapière, elle a donné et donne encore satisfaction aujourd'hui.

La deuxième démarche n'a fait l'objet jusqu'alors que de travaux de recherche. Nous estimons cependant intéressants d'un point de vue opérationnel les résultats de ces travaux; ils peuvent venir enrichir les informations dont disposent les experts pour juger le caractère alarmant de l'évolution du versant.

LES METHODES DE PREVISION

Elles peuvent se classer en deux groupes:

Les approches statistiques qui consistent à construire des modèles autoprogressifs. Ainsi les prévisions sont calculées à partir des seules informations contenues dans la série étudiée qui est pour nous une donnée cinématique (vitesse, accélération,...). On projette donc sur le futur la connaissance du présent et du passé.

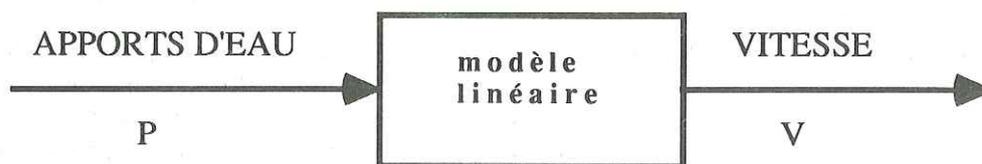
La création d'un modèle explicatif, qui implique que la variable cinématique dépend d'autres variables dite exogènes. Suivant une relation linéaire ou non, la prévision est calculée, à partir d'un modèle dont les paramètres sont calés sur la période observée et, de la connaissance des valeurs prises par les variables exogènes sur les périodes à prévoir.

Des tentatives de prévision à moyen et à long terme par des méthodes qui relèvent du premier groupe ont été faites sur le site de la Clapière sans réels succès. Ceci pour la raison principale que des changements de comportement sont apparus au cours de l'histoire des versants. Ceux-ci ont rendu fausses les prévisions faites à partir de données couvrant les périodes précédant ces évolutions de comportement. (C.VIBERT 1987 et E.GERVREAU.1988). D'autre part ce type d'approche ne tient aucun compte de la physique du phénomène étudié ce qui n'est pas satisfaisant pour l'esprit.

Nous nous sommes donc orientés vers des méthodes qui appartiennent au deuxième groupe.

Nous avons constaté une relation de type causale entre les événements pluvieux (ou épisodes de fonte de neige) et l'activité du glissement de terrain.

Dans un premier temps nous avons donc testé des modèles linéaires simples.



Les corrélations obtenues entre les séries apports d'eau et vitesse de déplacement ne sont pas bonnes. Un ajustement linéaire de cette liaison puis une extrapolation ne permet pas d'obtenir des prévisions satisfaisantes.

Il nous faut alors rechercher un meilleur modèle, qui prend en compte le mode de transfert de l'eau à l'intérieur du versant.

Déjà, en 1987 A. BOUCHELAGHEM dans son mémoire de DEA a présenté une méthode de prévision de ce type:

La variable exogène de son modèle est le débit de la Tinée, rivière qui coule au pied du versant en mouvement.

Après avoir trouvé une relation entre les infiltrations et la cinématique du mouvement, puis entre celle-ci et le débit de la Tinée, A. BOUCHELAGHEM a construit en 1987 un modèle pour représenter le transit de l'eau dans le massif depuis la pluie jusqu'au débit.

Partant ensuite de l'hypothèse qu'une dépendance linéaire existe entre accélération "A" et ~~le~~ niveau piézométrique "H", il est possible de prévoir la cinématique du mouvement à partir du débit.

Ce modèle de prévision présente l'inconvénient de comporter un grand nombre de paramètres à caler (5); leurs valeurs numériques sont donc difficiles à fixer. D'autre part en 1987 un changement de comportement du versant (décélération prolongée après une forte accélération) a rendu fausses les prévisions du modèle dont les paramètres étaient calés sur la période 83-86.

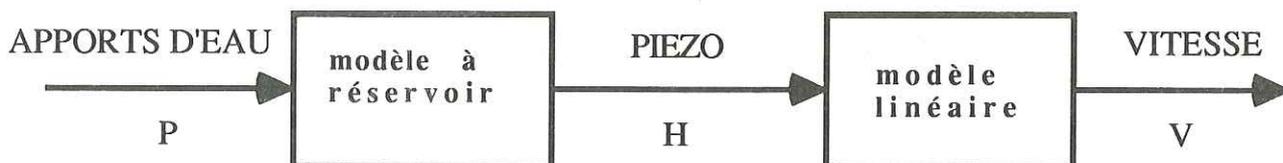
LE MODELE PROPOSE

Nous proposons ici une méthode de prévision du même type mais qui comporte seulement deux paramètres de calage et nécessite moins d'une année de mesure pour être opérationnelle; sa variable exogène est la quantité d'eau introduite dans le massif (ou apports).

Nous supposons une liaison linéaire entre hauteur piézométrique et vitesse. Ne disposant d'aucune mesure piézométrique sur le site ou dans ses environs, c'est par le biais d'un modèle hydrogéologique simple à un réservoir que nous allons reconstituer un paramètre "piézométrique" à partir des apports d'eau au massif.

Nous connaissons assez précisément les apports grâce aux relevés quotidiens du pluviographe à Saint Etienne de Tinée en service depuis 1956 du nivomètre au lac de Rabuons (alt 2500m) en service depuis 1983
 Apports = $P(i)$ = pluie + valeur en eau de la fonte de neige au jour i .

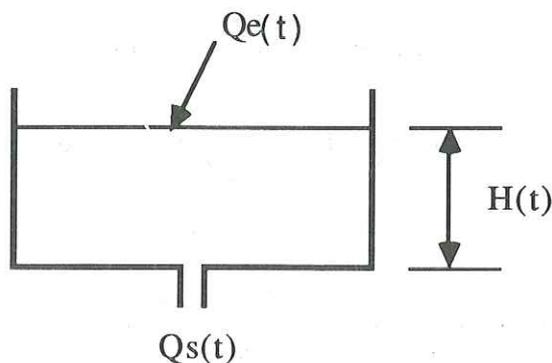
Schématiquement nous avons un modèle explicatif double du type suivant:



Le calage du modèle est effectué à partir de l'histoire récente connue des liaisons 'Apport d'eau au massif - Vitesse'. Les paramètres du modèle à réservoir sont déterminés de manière à avoir la meilleure corrélation entre $H(t)$ et $V(t)$.

Modèle à réservoir

Soit, un réservoir à surface libre muni à sa base d'un orifice de vidange et alimenté par sa surface:



$$Q_s = C \cdot A_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = K \cdot \sqrt{H}$$

avec

$$K = C \cdot A_o \cdot \sqrt{2 \cdot g}$$

g = accélération de la pesanteur

C = coefficient de performance de l'orifice de vidange

A_o = aire de l'orifice de vidange

H = pseudo hauteur piézométrique, hauteur de remplissage du réservoir.

1: débit entrant nul $Q_e = 0$

$$\text{Volume débité} = Q_s \cdot dt = A_r \cdot dH$$

avec Q_s = débit sortant

A_r = aire du réservoir

dt = incrément de temps

$$K \cdot \sqrt{H} \cdot dt = A_r \cdot dH$$

$$dt = \frac{A_r}{K} \cdot \frac{1}{\sqrt{H}} \cdot dH$$

En intégrant:

$$t_2 - t_1 = \frac{-A_r}{K} \cdot 2 (\sqrt{H_2} - \sqrt{H_1})$$

En discrétisant suivant un pas de temps constant choisi (1 jour dans notre cas):

$$t(i+1) - t(i) = \frac{A_r}{K} \cdot 2 \cdot \sqrt{H(i)} - \frac{A_r}{K} \cdot 2 \cdot \sqrt{H(i+1)}$$

D'où:

$$H(i+1) = \left(\sqrt{H(i)} - \left(\frac{t(i+1) - t(i)}{\left(\frac{A_r \cdot 2}{K} \right)} \right) \right)^2$$

avec $K = C \cdot A_o \cdot \sqrt{2 \cdot g}$

2: Cas général: débit entrant et débit sortant non nuls:

Les débits entrant sont directement disponibles en mm d'eau, on les notera $P(i)$.

on obtient donc:

$$H(i+1) = \left(\sqrt{H(i)} - \left(\frac{t(i+1) - t(i)}{\left(\frac{A_r \cdot 2}{K} \right)} \right) \right)^2 + P(i)$$

avec $K = C \cdot A_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g}$.

ou: $H(i+1) = (\sqrt{H(i)} - B)^2 + P(i)$

avec

$$B = \left(\frac{t(i+1) - t(i)}{\left(\frac{A_r \cdot 2}{C \cdot A_0 \sqrt{2g}} \right)} \right)$$

Calage du modèle

Pour disposer d'une évolution de $H(t)$ semblable à celle de $V(t)$ il faudra caler les paramètres caractéristiques du modèle de manière à obtenir la meilleure corrélation possible entre les deux séries.

Ces paramètres sont au nombre de deux: B et $H(0)$, A_r étant pris égal à la surface unité.

Nous avons obtenu pour la période 1 janvier 89 - 1 août 89 un coefficient de corrélation linéaire entre $H(t)$ et $V(t)$ de 0,91 aux jours où des mesures de déplacement donc des valeurs de vitesse existent, c'est à dire en moyenne tous les 4 jours (77 couples H-V)

Les paramètres de calage:

$$H(\text{initial}) = 0,4$$

$$B = 0,002.$$

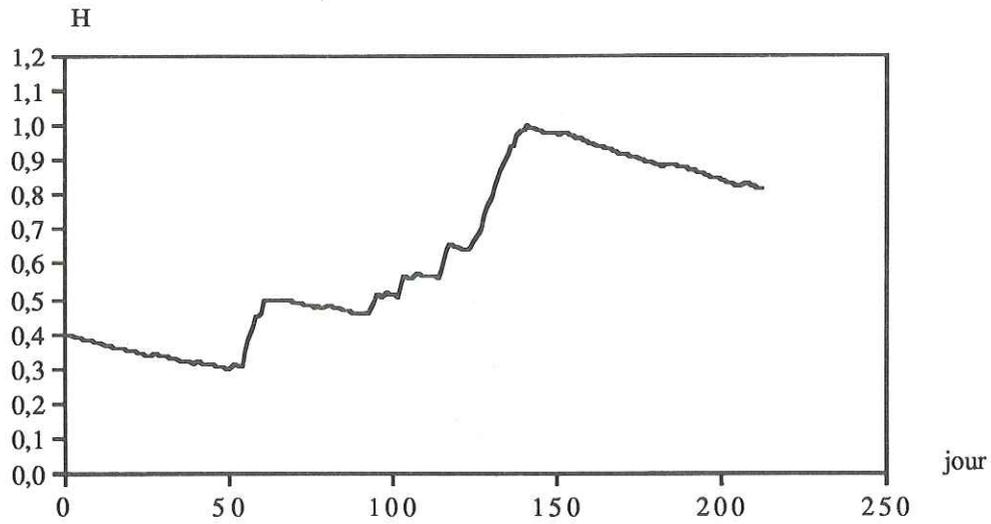
Remarques: Nous avons tenté d'améliorer la corrélation en agissant, d'une part sur le modèle explicatif et d'autre part sur la variable exogène:

Introduction de retard à l'alimentation du réservoir qui simulerait le temps nécessaire au front d'infiltration pour atteindre la nappe depuis la surface du terrain. Aucune modification notable du coefficient de corrélation n'a été observée pour des retards en alimentation de 1, 2, et 3 jours (corrélation entre $V(t)$ et $H(t-1)$, etc.)..Ceci confirme l'hypothèse qu'actuellement la masse glissée, très fracturée donc très perméable, réagit rapidement (de l'ordre de la journée) à une réalimentation de la nappe.

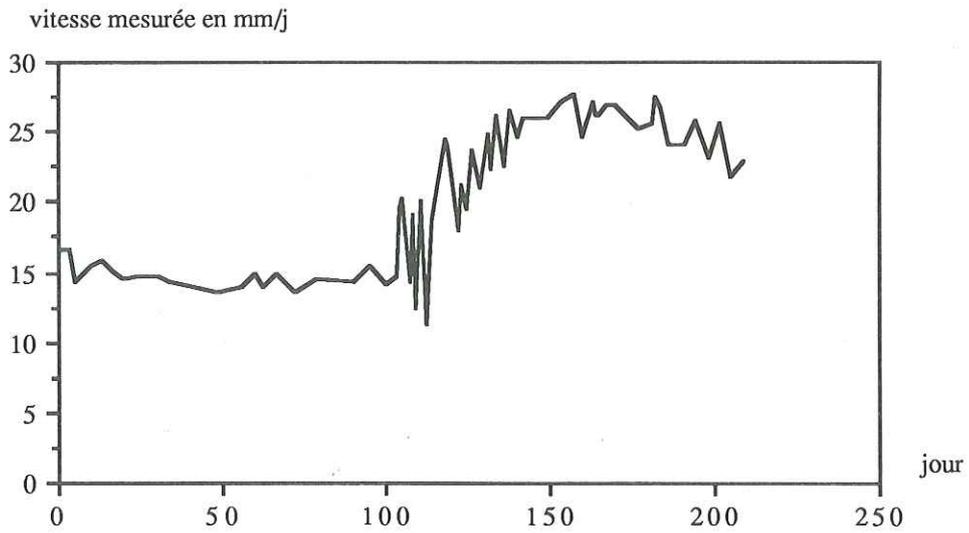
Nous avons tenté de corréler de façon non linéaire les séries $H(t)$ et $V(t)$: un ajustement de type parabolique n'a pas permis d'atteindre un meilleur coefficient de corrélation.

Nous avons également tenté d'améliorer la connaissance des apports d'eau au massif en retirant les pluies survenues sur le massif enneigé de la série des variables exogènes (apports d'eau), ceci n'a pas permis d'améliorer la corrélation.

PARAMETRE H DU 1/1/89 AU 31/7/89

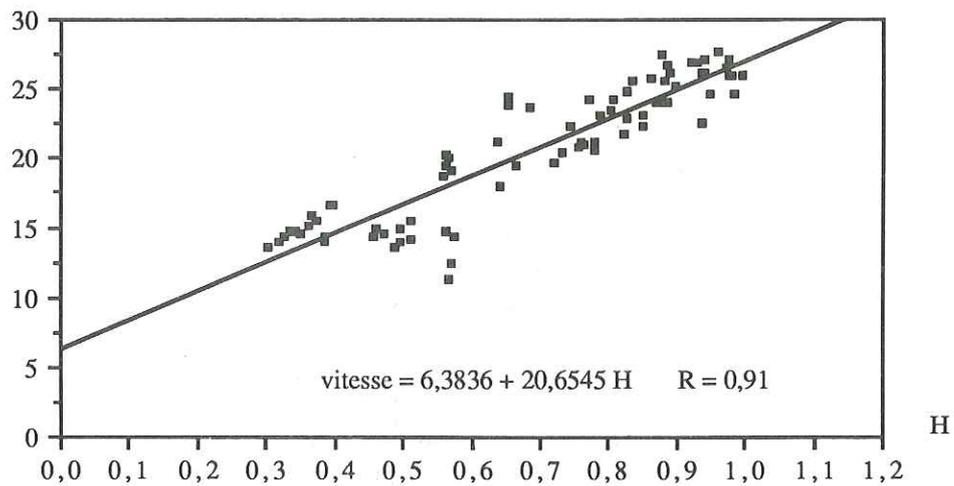


VITESSE MESUREE DU 1/1/89 AU 31/7/89



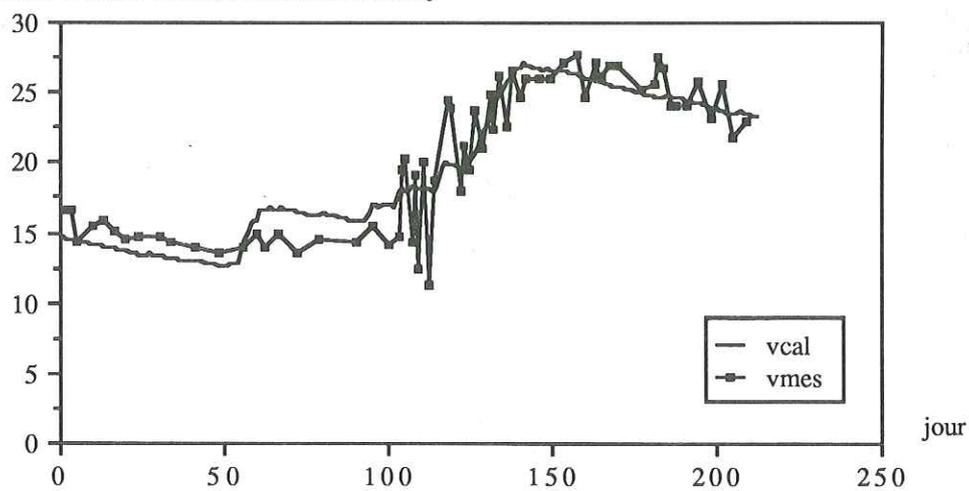
VITESSE MESUREE EN FONCTION DE H

vitesse mesuree en mm/j



VITESSE MESUREE ET VITESSE CALCULEE

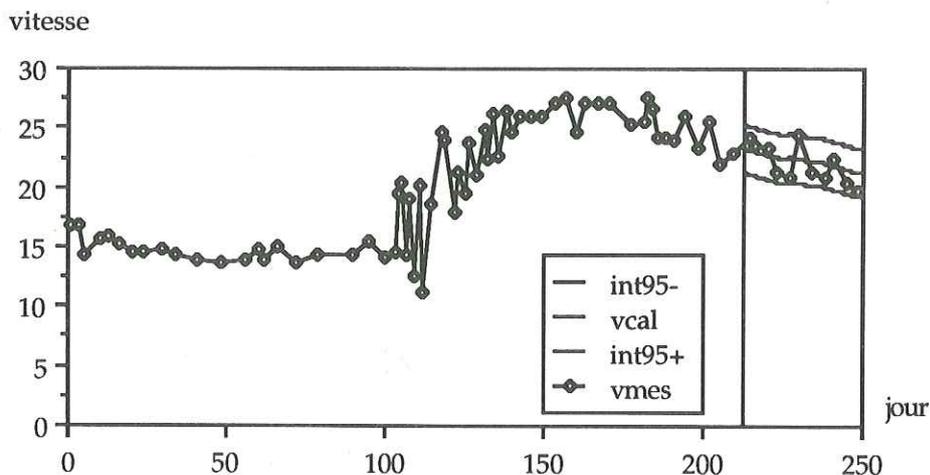
vitesse calculée et vitesse mesurée en mm/j



Test du modèle de prévision

Nous avons utilisé ce modèle pour tenter une prévision de vitesse en août 89:

PREVISION LA CLAPIERE CALEE SUR 1/1/89-31/7/89



Il s'avère qu'aucune mesure ne sort de l'intervalle de confiance de la prévision au niveau de probabilité de 95%.

Il serait bien sûr intéressant de tester le modèle sur une période plus longue toutefois, nous estimons que les paramètres du modèle peuvent évoluer de manière continue, c'est pourquoi nous préconisons de les recalculer chaque mois sur une période couvrant les 6 à 12 derniers mois.

Ainsi nous disposons d'un outil de prévision de vitesse pour le mois à venir, calé sur des variables exogènes récentes.

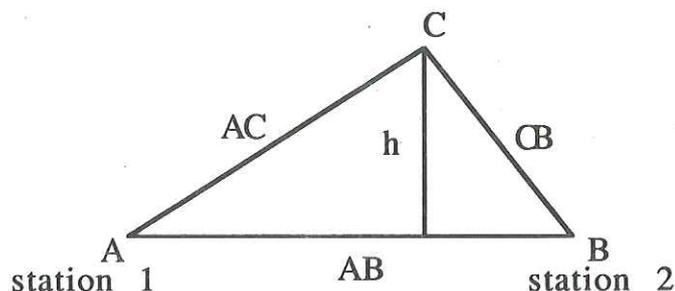
Remarques: Le modèle explicatif présenté ici ne permet que de la prévision à court terme (un ou deux jours) ce qui suppose que les données enregistrées par le pluviographe et par le nivomètre sont disponibles en temps réel. De plus ils doivent être connus à intervalle régulier (ici 1 jour).

Une prévision à plus longue échéance serait possible (plusieurs jours) grâce aux prévisions météorologiques mais, les incertitudes qui pèsent sur cette dernière viendront s'ajouter à celles du modèle.

ANNEXE:

Mesure de déplacements en surface:

On effectue des mesures de distance à partir de deux stations fixes implantées sur le versant opposé au glissement et aisément accessibles vers des mires (cibles) réparties sur la surface en mouvement. Ces deux mesures de distance ne sont pas suffisantes pour déterminer entièrement la position d'une mire, mais permettent de la placer sur un cercle, intersection de deux sphères centrées sur deux points de mesure (station 1 et station 2)



Un calcul simple sur les triangles permet d'obtenir la hauteur h .

$$h = \sqrt{CA^2 - \left(\frac{CA^2 + AB^2 - CB^2}{2AB} \right)^2}$$

Le mouvement entre deux opérations est caractérisé par $h_i - h_{i-1}$.

La marge d'erreur sur les h est estimée à ± 5 mm, précision tout a fait adaptée puisque les vitesses de variations de h observées actuellement sont comprises entre 20 et 30 mm/j.

La périodicité des opérations varie de 1 à quelques jours.

Une vingtaine de cibles sont opérationnelles; à chaque mesure nous disposons donc de plusieurs valeurs de h , c'est sur leurs moyennes que sera calculé ensuite la vitesse $V(t)$:

$$V(t) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{h_i(t) - h_i(t-1)}{\Delta t}$$

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

BLANC A., DURVILLE J.L., FOLLACCI J.P., GAUDIN B. et PINCENT B.: Méthodes de surveillance d'un glissement de terrain de très grande ampleur: La Clapière, Alpes Maritimes, FRANCE. Bulletin de l'AIGI N° 35 1987.

BOUCHELAGHEM A.: Le glissement de terrain de Saint Etienne de Tinée, une étude de la corrélation données hydrologiques-cinématique du mouvement. Travail d'option de l'Ecole des mines de PARIS, Juillet 1987.

FOLLACCI J.P.: Les mouvements du versant de La Clapière à Saint Etienne de Tinée (Alpes Maritimes). Bulletin de liaison des LPC, N° 150-151 juillet-octobre 1987

FOLLACCI J.P., GASTAUD J.P. et DURVILLE J.L.: Le point sur l'évolution des déplacements dans le glissement de La Clapière (Alpes Maritimes). Bulletin de liaison des LPC N° 158 Novembre-décembre 1988.

GERVREAU E.: Analyse des mesures de déplacement sur le glissement de terrain de Saint Etienne de Tinée, Mémoire de DEA, Ecole Centrale de PARIS- Université PARIS 6 Août 1988.

RAT M.: Essai de prévision de la date de rupture d'un grand glissement. II simposio sobre taludes y ladera inestables Andorra la velle 1988.

VIBERT C.: Apport de l'auscultation de versants instables a l'analyse de leur comportement, les glissements de Lax le Roustit (Aveyron) et Saint Etienne de Tinée (Alpes Maritimes). Thèse de doctorat présentée à l'Ecole des mines de PARIS Janv 1987