

Aspects géologiques et environnementaux des aléas climatiques dans les Alpes du Sud : le cas exemplaire des mouvements de terrain de Janvier 1994 sur la commune de Thoard (Alpes de Haute Provence, France)

par Lucien BARBAROUX*

RÉSUMÉ. — 220 à 280 mm de précipitations en deux jours sur des sols déjà saturés ont entraîné d'importants dégâts les 10 et 11 janvier 1994 dans les Alpes du Sud. La commune de Thoard, à environ 20 km à l'Ouest de Digne, par ses caractéristiques à valeur exemplaire, a fait l'objet d'une étude détaillée dans les jours qui ont suivi. Cette étude a permis de mettre en évidence un certain nombre de facteurs dont certains ont été ignorés ou sous-estimés jusqu'à présent :

1- facteurs géologiques favorisant les glissements et/ou l'érosion :

passages latéraux de faciès : poudingues, argiles, aval-pendage, contrastes forts de structures et de drainages au sein des corps sédimentaires sensibles, réactivation d'anciens glissements.

2- Facteurs anthropiques déclenchants et/ou aggravants :

défaut d'entretien ou entretien inadéquat du milieu naturel, pratiques culturelles agressives, aménagements mal conçus.

Ce travail a permis aussi de vérifier, en vraie grandeur, la validité d'un outil sur lequel on a encore peu d'éléments d'appréciation de par son caractère assez récent : le plan d'exposition aux risques (P E R). Le P E R de Thoard (1989) s'est révélé relativement fiable pour l'ensemble des risques liés à la torrencialité, les inondations, l'érosion, les ravinements. Il est apparu insuffisant pour les glissements de terrain, aggravés par l'action humaine.

Des propositions sont avancées pour intégrer les résultats de ce travail à une approche mieux conçue de l'étude des évènements «rares», et une meilleure prise en compte des risques qu'ils génèrent.

Notre étude souligne l'urgence d'une «éducation à l'environnement» et d'une application de dispositions réglementaires mieux appropriées de façon à remédier à la perte de sens relevée dans le rapport à la nature.

MOTS CLÉS. — Aléas, Alpes méridionales, anthropique, argiles, climat, éducation, environnement, étude de cas, érosion, glissements, histoire, inondation, poudingue, prévision, retour, réactivation, réglementation, structure.

Geological and environmental incidence of climatic events in a South Alpine area : the exemplary case study of January 1994 over the Thoard commune (Alpes de Haute Provence, France)

ABSTRACT. — Persistent highgraded rainfalls (220 to 280 mm, in two days) occurring over French southern Alps (January 10 and 11, 1994) were followed by important damages. The Thoard valley, near Digne, focused in this study, is a peculiarly interesting example revealing a non-accurate evaluation of some factors and factor-loading of such rare events :

1- **geological factors for landslides and/or erosion** : lateral lithologic changes (conglomerates-marls-clays), downside dips, draining contrasted context, lithologic and structural heterogeneities, reactivation of old complex slides.

2- **Anthropics factors, launching and/or increasing gullies, erosion and slides** : lack of agricultural maintain, aggressive tilling of the soils, inopportune aménagements.

This study also provide an interesting evaluation upon the «PER»(French Natural Hazards Survey) and give rise to some suggestions for more accurate futures trans-disciplinary approaches of these events, including evaluation of human behaviour loading factor.

Besides, we suggest for an urgent environmental learning for parts of population that have lost the sense of nature reactivity and summi it to overpressure and stress.

KEY WORDS. — Southern Alps, anthropic, case study, clays, climate, conglomerates, education, environment, erosion, evaluation, events, floods, history, landslides, laws, reactivation, structure, survey.

* I U P Génie de l'Environnement, Université de Provence (case 75), 3 Place V. Hugo. F 13331 Marseille Cedex 3

1.- INTRODUCTION

Éboulements, glissements de terrain, ravinements et inondations affectent épisodiquement les Alpes du Sud et d'autres régions françaises comme on a pu, malheureusement, s'en rendre compte encore en 1993-94. Les problèmes relatifs à la stabilité des terrains en montagne sont toujours délicats, même s'ils sont bien circonscrits et posés depuis plus de deux décennies au moins [Antoine *et al.* 1971]. L'objet de cette étude est de cerner, au delà du facteur climatique déclenchant, les autres causes susceptibles de rentrer en jeu, en vue de minimiser les conséquences de ces phénomènes répétitifs, anciens et «naturels», même si le poids des facteurs humains, qui s'accroît, leur confère une dimension nouvelle.

On peut, en effet, dans l'histoire immédiate, jalonner en 1952, 1935 et 1923 notamment, des événements du même ordre, qui ont affecté la vallée de Thoard et quelques autres secteurs de Haute Provence [Goguel 1937; Jorda, 1980, 1985]. Les archives nous révèlent de nombreux événements historiques comparables (1892, 1882, 1856, 1843, 1816, 1774, 1769...). Ce type de risque entraîne parfois de coûteuses mesures de prévention, de traitement, de surveillance, dans des secteurs imprudemment occupés [Combes, 1990].

Au-delà de ses implications locales et régionales, l'étude des aléas de terrain générés en vallée de Thoard par les précipitations de Janvier 1994 nous est apparue utile, plus généralement, pour susciter une meilleure approche de ces phénomènes et de leur prévention dans l'arc alpin [Bonnard, 1988].

2.- CADRE GÉOGRAPHIQUE ET CONTEXTE GÉOLOGIQUE (fig. 1)

Thoard, à une vingtaine de kilomètres à l'ouest de Digne, occupe un éperon rocheux dominant la vallée des Duyes. Cette rivière de montagne est orientée grosso-modo nord-sud. La totalité de sa longueur n'excède pas 25 km. Elle est alimentée par de nombreux petits affluents, rus (ou «rious»), le plus souvent temporaires.

Sa source est située vers 1150 m d'altitude, en dessous du Col d'Ainac, et son confluent avec la Bléone (près de Tarelle, en aval de Mallemoisson) se produit à la cote 485.

La partie moyenne du cours offre l'aspect typique des rivières à tresses, avec des iscles, des barres transversales et longitudinales, une très forte hétérométrie des matériaux, un lit majeur vaste. La pente du lit est forte, de l'ordre de 6% à l'aval de Thoard. Le débit torrentiel de caractère très irrégulier entraîne :

- des asecs importants d'été et, sur la période 1976-1985 particulièrement sèche, ils ont été nombreux;

- des crues violentes d'automne-hiver (pluviales, ex. 10-01-1994) et de printemps (nivales).

Le bassin versant (70 km² pris en compte ici) est bien délimité : Col d'Ainac-Crête de Géruen-Aiguille de Mélan au Nord; Crête de Vaumusse à l'ouest; Crête du Siron, Col de Pas-de-Bonnet et Pic d'Oise à l'est. Il reçoit en moyenne 780 mm/an, valeur voisine de la pluviosité moyenne des Alpes de Haute-Provence.

Le contexte géologique [Gigot, 1967; Gigot *et al.*, 1974; Haccard *et al.*, 1989] est varié : il est complexe en amont (Hautes-Duyes), avec des mollasses continentales et marines, des faciès conglomératiques et argileux, oligo-miocènes. L'ensemble, très fracturé, est déformé par le plissement alpin au front de la Nappe de Digne (de matériel Mésozoïque, avec mélanges tectoniques) dont le contact passe au flanc du Siron, à l'est de Thoard. Il est plus simple en aval de Thoard, où le cours des Duyes, sur les deux tiers de sa longueur totale, est installé sur des formations continentales (Miocène supérieur à Pliocène terminal), à pendage régulier et faible (est-sud-est 10° en moyenne) sur le secteur étudié. C'est cet ensemble qui a été surtout affecté par les événements de Janvier 1994.

Il s'agit du vaste épandage des conglomérats fluviatiles duranciens, dit de la «paléo-Durance» où, sur plus de 1000 m d'épaisseur, des galets d'origine alpine très diverse, pouvant atteindre 20 cm, sont associés à des grès, marnes et argiles en grandes lentilles superposées et juxtaposées de plusieurs mètres d'épaisseur et plusieurs centaines (ou milliers) de mètres d'extension latérale. Cette formation mixte passe vers l'est à des faciès à marnes-argiles.

Ce contexte géologique confère au paysage ses caractéristiques :

- grands plans inclinés du Cénozoïque s'étagés de 500 à 1000 m, laniérés, jalonnés par des ressauts soulignant les affleurements des bancs durs de poudingues et des formes plus douces, déterminées par les argiles au sud, au sud-est et à l'ouest;
- versants calcareo-argileux abrupts et falaises des formations montagneuses (env. 2000 m) du Mésozoïque de la nappe de Digne au nord et au nord-est.

3.- LES CIRCONSTANCES ET LES CONSÉQUENCES GÉNÉRALES DE L'ALÉA (fig.1)

Après une longue période de mauvais temps, qui avait déjà saturé les sols, d'importantes précipitations (180 à 200 mm du 6 au 7/01/94, puis 40 à 80 mm le 10/01/94) ont eu lieu sur la région de Thoard et sur le bassin versant des Duyes représentant les deux tiers des précipitations de l'année en deux épisodes journaliers.

Fort heureusement l'isotherme zéro se situait entre 950 et 1000 m d'altitude, ce qui a permis de bloquer sous forme de manteau neigeux une partie des

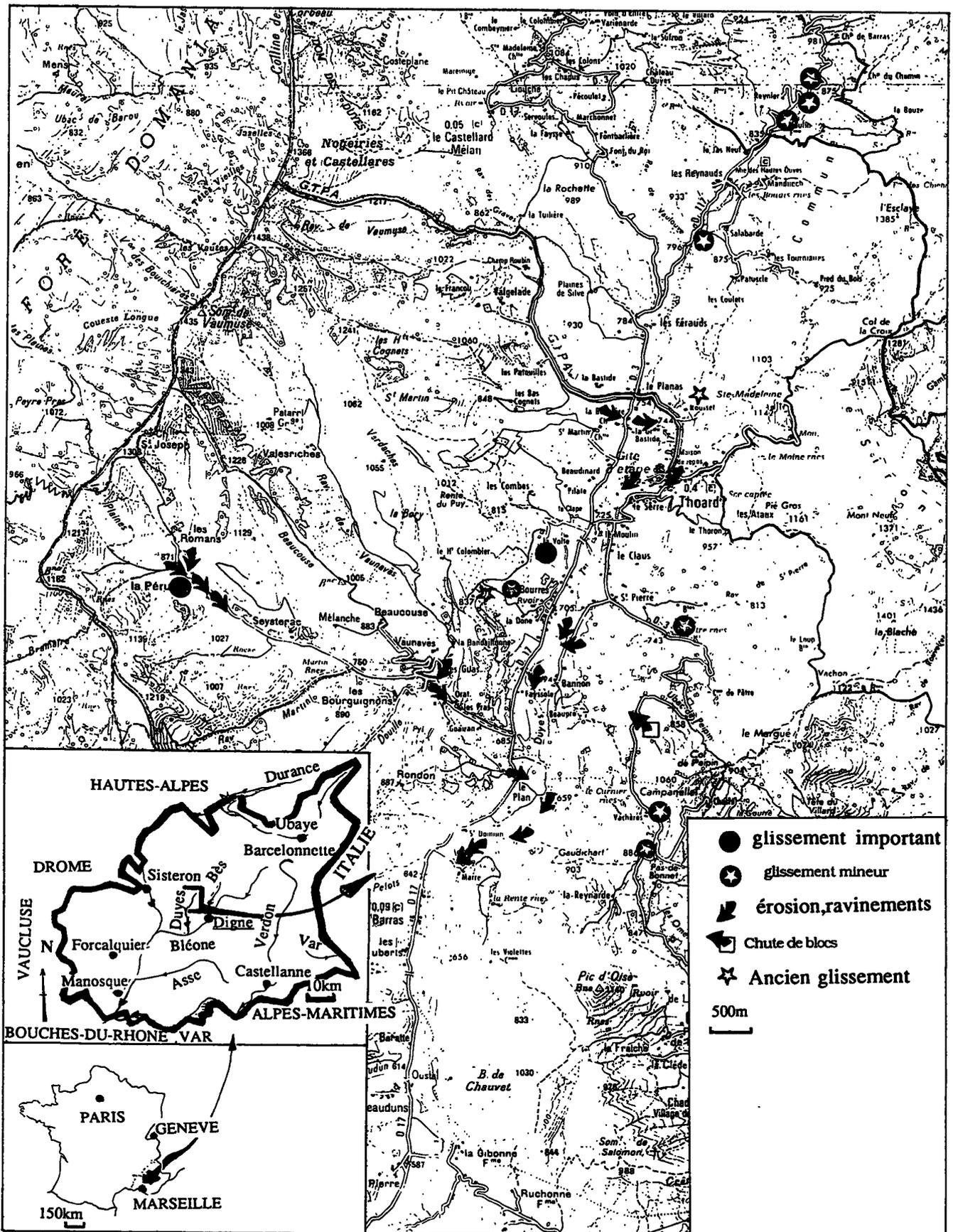


FIG. 1. – Situation géographique (carte IGN à 1/50000)

précipitations sur les hauteurs.

Néanmoins une forte crue des Duyes en est résultée (600 m³/s) ainsi que diverses dégradations du milieu que nous allons étudier.

3.1. Ravinelements

La première série d'effets observables concerne les ravinelements. Les recreusements et entailles d'érosion ont souvent dépassé le mètre de profondeur. Ils ont été importants et se sont produits en de nombreux sites.

- Le long des Duyes (d'amont en aval) : rive gauche, au droit du village de Thoard et à l'aval du confluent avec le Riou de Thoard, l'ancien cône de déjection du Riou a subi une ablation très notable sur 30 m de long, 6 m de haut, 4 à 5 m de large; rive gauche, toujours face au hameau des Bourres, lieu-dit «La Tuillière» (quartier St. Pierre), recul de la berge, jardins emportés, érosion de plusieurs dizaines de mètres de long sur une quinzaine de mètres de large; rive droite, hameau des Bourres, vive érosion à proximité d'une maison, évacuée temporairement, sise à une centaine de mètres du lit mineur et dans le lit majeur; rive droite, gué des Banons, berge emportée sur plusieurs dizaines de mètres de long, une dizaine de mètres de large, deux mètres de haut.
- Autres ravinelements sur les Duyes, plus en aval, d'importance comparable, au droit de la ferme du Plan en rive gauche et face à la ferme de Marre, en rive droite, menaçant une pile de pont (Commune de Barras).
- Torrent des Graves entre La Buissière et son débouché vers les Duyes (sape de la digue).
- Riou de Thoard : au village, érosion importante de la berge à l'aplomb de la Poste, menacée.
- Riou de Pètre : au confluent des Duyes (La Tuillière, cf. ci-dessus).
- Riou de La Pérusse : en partie haute du cours (La Pérusse) ravinelements importants, sur quelques centaines de mètres de long, avec débordement et dégradation sur la chaussée; plus en aval (Vaunavès) ravinelements très notables au confluent avec les Rious de Douille et de Vaunavès.

Le bilan est lourd : ablations métriques à pluri-métriques sur les tributaires en profondeur, décamétriques en largeur et longueur; déplacements latéraux du lit mineur des Duyes atteignant plusieurs dizaines de mètres. L'emport de terres alluviales, par mobilisation en suspension est évalué à 20.000 tonnes, sans compter le déplacement de matériaux par transport de fond. L'érosion sur le bassin versant a été d'à peu près 15 T/Ha/jour, sur deux jours, alors que le taux d'érosion moyen annuel est très inférieur à 100 T/Ha (Barbaroux, études en cours). Ces résultats sont compatibles avec ceux présentés par Guigo [1987] et Loÿe-Pilot [1987] au 25^e Congrès International de Géographie de Paris. Sur le bassin de la Solenzara (Corse), de dimension comparable à celui des Duyes mais sur substrat

granitique, Loÿe-Pilot [op. cit.] a montré qu'un événement pluvieux du même ordre mais à intervalle de retour de l'ordre de 50-100 ans (Nov. 1982), entraînait une crue (700 m³/s) mobilisant 20.000 tonnes de matières en suspension et une ablation d'environ 20 T/Ha/deux jours.

3.2. Chutes de blocs

Le phénomène est resté marginal, un bloc métrique (poudingue subalpin Mio-Pliocène) ayant causé un impact sur la chaussée (RD3 de Thoard à Champtercier). Origine : falaise de Campanelle.

3.3. Glissements

Ils ont été nombreux et parfois très préoccupants, dans des secteurs habités, évacués temporairement (Les Bourres) ou définitivement (La Pérusse). Divers sites connus pour leur instabilité chronique ont fait et font encore l'objet de traitements. Lors des événements de Janvier 94, ils ont été réactivés, mais sans que cela ne se traduise par de graves désordres. Nous pouvons citer à ce titre trois secteurs.

- Le secteur des Hautes Duyes (RD117) entre les Brigands et Le Moulin (marnes, grès, molasses du Langhien-Tortonien, Miocène moyen) et entre Les Reynauds et le ravin de Vaulouve (conglomérats fluviatiles subalpins du Miocène supérieur).
- Le secteur de Pètre (RD3) peu après le pont sur le torrent (cote 743 m) dans les marnes fluviatiles (Miocène supérieur-Pliocène).
- Le secteur de Vachères (RD3), près du Col de Pas-de-Bonnet, où la ferme avait été évacuée il y a plusieurs années (marnes, argiles, poudingues du Mio-Pliocène).

4.- ETUDE DES GLISSEMENTS DES BOURRES ET DE LA PÉRUSSE

Des glissements nouveaux se sont produits par ailleurs, pour lesquels nous allons procéder maintenant à une description détaillée, sur les secteurs :

- des Bourres (au-dessus de la RD17) entre Le Colombier et La Volte,
- de La Pérusse, à proximité de la ferme du même nom.

La formation géologique affectée est le conglomérat fluvialite durancien, Miocène supérieur-Pliocène terminal, et le produit de son altération.

4.1. Glissements des Bourres

Deux glissements ont eu lieu, d'inégale importance mais sur la même assise géologique, à 600 m de distance

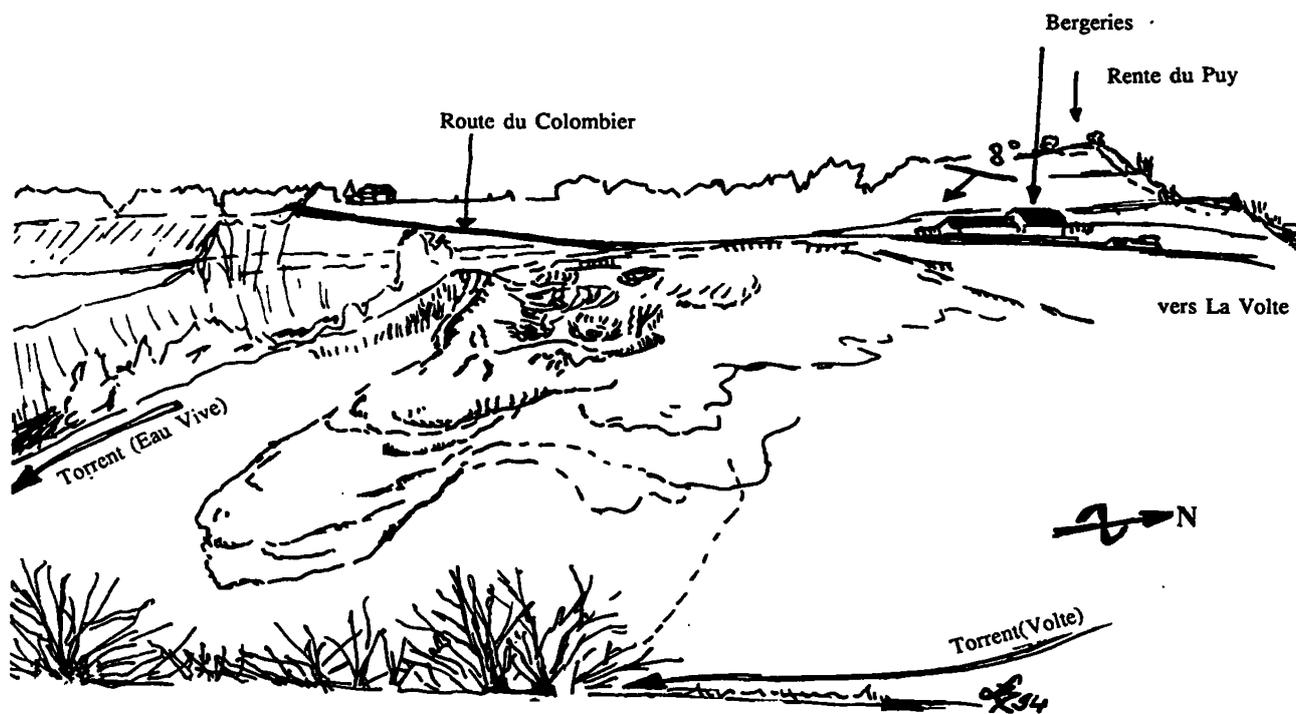


FIG. 2. - Glissement des Bourres (La Volte). Commentaires dans le texte.

l'un de l'autre, à une altitude voisine de 800 m. Les roches impliquées sont des poudingues, formant barre ou ressaut topographique net, et des marnes et argiles gréseuses qui encadrent, ou enveloppent, ces poudingues.

La structure monoclinale, fracturée, de forte hétérogénéité lithologique en condition d'aval-pendage représente une condition géologique des plus défavorables, parmi toutes celles que l'on peut rencontrer [Vilain, 1981].

4.1.1. Glissement de la Done

C'est le moins important, mais le plus précoce puisqu'il se déclenche durant la nuit du 7 au 8/01/94, à la suite de la période de pluie intense de la veille. C'est un glissement modeste au sens de Biguenet et Sirieys (1990) : 40 m de long, 15 m de large, 1,50 m de dénivellée en tête. La zone glissée dominait une source temporaire. Un important débit d'exhaure a eu lieu, durant une dizaine de jours, après le glissement. L'examen détaillé révèle que la rupture de pente a enregistré par le passé des glissements comparables, et qu'ont joué un rôle aggravant divers faits liés à des interventions humaines : coupes de bois en tête du talus, labours très près du sommet de la barre, disposition des sillons dans le sens de la pente sans fossé de protection en lisière, route du Colombier dépourvue de fossé et collectant les eaux vers les glissements.

4.1.2. Glissement de La Volte (fig. 2)

C'est le plus important. Il se produit tardivement, le 10/01/94 en fin de journée, deux jours après le principal épisode pluvieux, très tôt après la précipitation plus faible du même jour. Le mouvement affecte un ensellement de marnes et argiles sablo-graveleuses bordé au sud par un ravin marqué mais végétalisé (torrent de l'Eau Vive, ouest-est) et au nord par un vallon herbeux (vallon de la Volte, nord ouest-sud est). Ces deux rus se joignent à proximité de la RD17 un peu avant les Bourres. Le glissement est bien caractérisé, dans la typologie de Colas et Pilot [1976] et se placerait en risque 3 au sens de Liévois et Truche [1990]. Le décrochement de tête, en haut de pente, montre plusieurs banquettes de 4-5 m de large, dénivellées de 1 à 3 mètres les unes par rapport aux autres, avec une bande médiane en surélévation relative, disposées en «fossés et talus» inclinés vers le ravin méridional, en direction nord sud sur près de 150 m de long. Le corps glissé très bosselé, avec des «entonnoirs» de plusieurs mètres de creux, fait suite vers l'aval, sur près de 80 m. Une langue fluée principale s'étale ensuite, sans atteindre le fond du vallon, sur plus de 100 m de long et 20-30 m de large (fig. 2). Aucune sortie d'eau n'était visible.

A quelques dizaines de mètres au-dessus de l'arrachement, on voit des vestiges fixés par la végétation d'anciens glissements mineurs (décamétriques). Il y a donc eu réactivation, à une échelle plus importante (hectométrique), de petits glissements anciens avec

amplification par mobilisation nouvelle de terrains jusque' alors stables.

Les causes anthropiques sont, là encore, importantes (fig. 2) : tout d'abord la tête du ravin de L'Eau Vive a été comblée et aménagée en chemin et, en contrebas, où la route du Colombier franchit ce ravin, une buse sous-dimensionnée a provoqué une autre surcharge hydrique de la zone sensible; enfin, la construction récente au-dessus du glissement de bâtiments agricoles (surface d'environ 400 m²) dépourvus d'évacuation pluviale, et installés sur un replat où la végétation a été détruite sur quelques centaines de m², a facilité l'infiltration immédiate des eaux dans un banc de galets mis à l'affleurement.

4.1.3. Glissements historiques (archives de Thoard, Archives Départementales, Digne-les-Bains)

Le glissement survenu en 1952 au Bas Colombier, à moins de 300 m à l'ouest de celui de 1994 (La Done), toujours dans la même formation géologique, en aval du périmètre de protection d'un captage d'eau communal, était d'ampleur comparable à celui de La Volte. Les traces en sont encore perceptibles dans le paysage, mais il semble aujourd'hui stabilisé. Ce glissement noté mais sous-estimé n'a pas conduit à une extension suffisante de la zone à risque sur le PER de Thoard (1989). Il coïncide avec un événement climatique qui a affecté l'ensemble des Alpes du Sud à la même époque (cf. les «laves» de Guillestre, entre-autres). Parmi ceux signalés (cf. §1) divers millésimes, marqués par des effets majeurs sur la commune étudiée, sont à valeur plus générale quant à leur connotation régionale.

Les glissements d'Avril-Mai 1774, qui ont mobilisés au Quartier de Rousset, moins d'un km au Nord de Thoard, 85 millions de m³, ont anéanti deux exploitations sur une centaine d'hectares, avec des déplacements horizontaux de 150 m et plus de 100 m de dénivellée, sont les plus importants. Mais les ravinelements et les inondations de 1769, les intempéries de 1816, celles de 1882-83 et de 1885, pour être d'ampleur plus réduite dans la vallée des Duyes, n'en ont pas moins causé de nombreux dégâts dans les Alpes du Sud.

4.1.4. Observations hydrogéologiques

Le contraste lithologique (poudingues/argiles) très fort entraîne des discontinuités importantes de réactivité, ce qui accroît les risques [Ensellem, 1967]. Les variations de coefficient de perméabilité dans les milieux hétérogènes comme ceux du secteur étudié vont, en effet, de 100 m/s (banc de gravier) à 10⁻¹⁰ m/s (argile compacte).

Ce contraste lithologique, déjà défavorable, va être accentué lors des phases de pluviosité exceptionnelles par l'écart qui se manifeste alors entre la «lame» d'eau et sa limite maximale admissible d'évacuation (vitesse effective) à travers le sol et le sous-sol superficiel qui ne saurait dépasser 10⁻⁵ m.s⁻¹ [Castany, 1982].

La formation géologique forme un aquifère perché. Plusieurs captages y ont été effectués et de très nombreuses sources jaillissent, à des cotes voisines de 800 m, depuis Les Patouilles (vallon de Chevalet) jusqu'au Colombier (ravin du même nom). Nous nous trouvons donc en présence de risques potentiels importants liés à un fort contraste de drainage, encore accrus par la structure : la surface d'impluvium est occupée, en amont, par les conglomérats en gisement lenticulaire. Tout écart de pluviosité se traduit par une rapide mise en charge de ces roches qui, en bas de versant, s'encapuchonnent dans les argiles. De surcroît, l'accumulation de petits glissements anciens augmente encore l'hétérogénéité. Ces corps complexes, en effet, présentent de nombreuses discontinuités acquises : inégalités des surfaces de base des corps glissés, faible perméabilité des surfaces de discontinuité internes, pièges de nappes perchées, avec effets de surcharges localisées. Il s'ensuit une évolution souvent rapide, avec plus grande mobilité induite des petits domaines, et effets possibles d'instabilités en chaîne, lors des écarts climatiques.

L'ensemble de ces conditions s'est trouvé réuni dans la vallée des Duyes en Janvier 1994 (Les Bourres) comme ils l'avaient été en Mai 1774 (Quartier Rousset) et comme ils pourraient l'être à l'avenir.

Les risques naturels sont notablement majorés dans de tels contextes par les effets anthropiques (cf. supra), qui peuvent même entièrement les conditionner comme nous allons le voir.

4.2. Glissement de La Pérusse

Au fond du vallon de ce nom, à 300 m de l'extrémité de la voie qui y menait, détruite par ravinement, face au débouché du Riou de St. Joseph, une construction récente (1970-80) a dû être évacuée. Le glissement affecte un talus taillé dans le conglomérat Mio-Pliocène pour édifier l'habitation. La plate-forme de fondation qui surplombe un confluent de rious a, de plus, subi une érosion notable. La manifestation du risque est purement anthropogène.

5.- ENSEIGNEMENTS DE L'ALEA DE JANVIER 1994, PROPOSITIONS

5.1. Le PER de Thoard, (RTM04, 1989), modifications proposées

Les P E R (Plans d'Exposition aux Risques), de création récente, ont bénéficié de l'expérience passée (ZERMOS par exemple). Ils constituent des instruments très convenables [Besson et Marie, 1984], mais onéreux et lourds [Noyelle, 1990; Liévois et Truche, 1990].

Il était intéressant de confronter le document prévisionnel de 1989 aux événements survenus en

Janvier 1994.

Concernant les ravinements, l'érosion liée à la torrencialité et les inondations, il y a assez bon accord entre la prévision générale des risques et leur manifestation effective sur le terrain en la matière. Ceci avait déjà été noté [Marie et Feuvrier, 1990].

Pour les glissements, par contre, nous ne constatons pas le même degré de fiabilité. Il faut dire que ce risque est difficile à prendre en compte et que l'aléa a été ici très fortement conditionné par le facteur humain. Ceci nous amène à la lumière des événements à proposer de classer en niveau 3 de risque de glissement la bande de terrain comprise sur le versant des Duyes, rive droite, entre les courbes de niveau 780 et 820 m, de La Buissière jusqu'au Colombier.

5.2. Modifier de façon responsable les comportements

Il devient en effet de plus en plus patent que la conjonction «risques naturels/comportements humains» majore très nettement la manifestation des risques [Descamps, 1973; Bodelle et Weber 1981]. A la lumière des cas étudiés ici, il faut donc rappeler quelques notions essentielles [Pachoud, 1981; Slosson *et al.*, 1992].

Nous ne reviendrons pas sur certaines d'entre elles, déjà soulignées (cf. § 4). Des mises en défends devraient intervenir, en priorité sur les pentes à risques. La pratique du brûlis (écobuage) courante sur des versants à haut risque de ravinement détruit l'équilibre biologique du sol et compromet sa stabilité vis à vis de l'érosion. Le traitement des voies et du bâti ne prend pas suffisamment en compte les risques potentiels.

5.3. Dispositions réglementaires

L'extension des PER devrait être facilitée par une procédure allégée et coordonnée à l'élaboration des SDAGE et des MISE. L'utilisation de l'Art. R111 3 du code d'urbanisme, qui permet à l'autorité préfectorale le gel d'aménagement sur les zones à risques, est très peu utilisé; pire, on assiste à trop de dérogations ou légalisations *a posteriori*. Il faut, *a contrario*, rappeler la nécessité d'éviter toute implantation en zone à risque ou en générant (Circulaire interministérielle de 1993).

Il est nécessaire d'introduire en jurisprudence la notion de «soin raisonnable» dans l'entretien et l'usage des biens, afin de stopper les pratiques néfastes ayant cours.

Le géologue de l'environnement peut aider à mieux fonder techniquement ces dispositions réglementaires [Slosson *et al.*, 1992] par une meilleure appréciation des risques objectifs liés au terrain et à sa réponse aux écarts du climat par :

- une meilleure évaluation des niveaux de risques;
- l'élaboration de critères de «gel», en attente d'une évolution des techniques, pour l'utilisation pérenne

des terrains;

- la mise au point de critères d'interdiction si la prise de risque est trop importante;
- une amélioration des traitements préventifs et curatifs.

S'il est certain que l'on ne peut prévoir et évaluer tous les risques, et encore moins les supprimer, faciliter les investigations du type de celle présentée ici, pour mieux les cerner, n'en est que plus urgent.

6.- DISCUSSION. PORTÉE GÉNÉRALE DE L'ÉTUDE

Les résultats de cette étude, sur un secteur à valeur d'exemple, nous conduisent à en élargir la portée sur quatre sujets d'intérêt général.

6.1. Les événements dits «exceptionnels» et la représentativité du secteur étudié pour une approche régionale de la gestion des risques

La répétitivité des écarts de pluviosité, de l'ordre de grandeur de celui étudié dans ce travail depuis quelques décennies dans la Région PACA, semble se resserrer avec des effets croissant. Si leur période de retour était de l'ordre de 20/30 ans sur un secteur précis au début du siècle, il paraît tendre à se réduire à la dizaine d'années (L.Barbaroux, travaux en cours).

A l'échelle du Département la période de retour est annuelle; à l'échelle de la Région plusieurs événements «catastrophiques» se produisent dans une seule et même année. Il suffit de relever les déclenchements très récents des plans «ORSEC» sur Vaison, la Camargue, Aix, Pertuis, Cannes-Grasse, Manosque-Les Mées, Colmars-St. André-Castellane, Puget-Théniers...

Pour 1994 nous avons déjà eu deux «événements exceptionnels» dans les Alpes de Haute-Provence :

- celui de Janvier, que nous venons d'étudier, a affecté toute la région du confluent Durance Bléone;
- celui de Novembre a été violent sur l'arrondissement de Castellane (Haut-Verdon), sur le Haut-Var et sur les Alpes-Maritimes.

Sans atteindre les records enregistrés dans d'autres régions du globe en contexte climatique équivalent (méditerranéen *sensu lato*), comme par exemple la Californie avec 600 mm sur deux jours et des pointes de 70 mm/h en 1943, les épisodes de Janvier et Novembre 1994 avec près de 300 mm en 48 heures sont préoccupants pour l'avenir proche, en terme de risques de tous ordres, comme le montrent nos résultats.

Ces écarts climatiques jouent de plus un rôle majeur, trop souvent mal évalué par les études classiques, prenant en compte des valeurs «moyennes» et gommant les effets de pointe dans la réponse des systèmes hydrologiques et hydrogéologiques [Delarozzière-

Bouillin *et al.*, 1978] et de façon générale dans les systèmes à risques (§ 6.4).

6.2. La nécessité d'une approche historique des phénomènes exceptionnels et d'une analyse détaillée de terrain

L'analyse des faits historiques (§ 4.1.3) est indispensable pour le calcul des périodes de retour des écarts climatiques et nécessaire pour jauger les risques reconnus : crues, inondations, glissements. Cette prise en compte permet, de plus, de mieux cerner les zones à risques, de prévoir des réactivations, avec parfois amplification, comme nous l'avons observé pour des glissements anciens.

Les enseignements tirés de ces études servent à orienter une cartographie soignée et une investigation détaillée de géologie de surface, améliorant l'évaluation des potentiels de risques et leur prévention [Price, 1990]. Ainsi, à la faveur de ce travail, plusieurs événements ont été répertoriés sur la commune étudiée, qui ont souvent eu plus généralement une importance pour le département et parfois au-delà.

6.3. Les critères d'identification des configurations géologiques sensibles

Les écarts climatiques sont déterminants pour le déclenchement des risques car ils induisent un fort et soudain contraste entre quantité d'eau et capacité d'évacuation du système; mais les contrastes qu'ils soient liés à la lithologie, aux structures sédimentaires d'origine ou aux structures secondaires acquises par le biais de glissements anciens réactivés se conjuguent pour accroître encore risques et effets; or des configurations géologiques «favorisantes», comme celles relevées à Thoard, ne sont pas rares. Il est impératif de bien les répertorier et d'attirer l'attention sur elles (§ 3 et 4). Cette nécessité est d'autant plus grande que les calculs traditionnels des pentes les minimisent, ne tenant pas compte des écoulements transitoires et des contrastes de perméabilité [Slosson *et al.*, *op. cit.*]. Ceci explique l'accent mis, à Christchurch [Bell Ed., 1992] sur la majoration des risques par les configurations sensibles de ce type où l'application du modèle simple dit du «*text book landslide*» n'est pas appropriée.

6.4. Nécessité d'une meilleure prise en compte de phénomènes «rares» à intensité forte et de leur approche multidisciplinaire dans l'Arc Alpin

Lors du Symposium de Lausanne [Bonnard Ed., 1988] nombre d'intervenants avaient insisté sur la nécessité d'envisager à l'occasion d'une étude toutes les causes et tous les aspects des divers types d'instabilités de pentes, et ce dans leurs interactions les plus diverses.

Une session spécialisée consacrée à l'évaluation des risques spécifiques de l'arc alpin concluait à la nécessité d'y développer ces études.

C'est dans le prolongement de ces recommandations qu'il nous a semblé intéressant d'exposer l'exemple de Thoard. Comme nous l'avons montré il réunit, pratiquement, l'ensemble des risques induits par des écarts climatiques importants et d'intensité forte. Nous en avons déjà signalé l'intérêt pour les glissements de terrain. Nous insisterons donc maintenant sur la réflexion qu'il suscite à propos des ravinements et des crues. C'est le thème sur lequel le 2^e Congrès International de Géomorphologie de Frankfort mettait tout spécialement l'accent, en appelant au développement d'études d'Ecogéologie et Géomorphologie en ce domaine [Barsch, 1991]. Concernant par exemple les bilans d'érosion, c'est généralement une évaluation de l'ablation moyenne qui nous est proposée. Nous citerons ici celle de Buffalo *et al.* [1990] aboutissant à des évaluations de l'ordre de 190 à 300 T/Ha/an pour les substrats type Terres Noires du Callovo-Oxfordien, en site dénudé, sur le bassin du Buëch. Or, même si le facteur aggravant lié à l'absence de végétation est pris en compte par ce type d'étude, les écarts exceptionnels de pluviosité ne le sont pas. Ceci pour deux raisons :

- la première est que l'extrapolation linéaire des évaluations faites à partir de mesures en régime ordinaire n'est pas valable;
- la seconde est que ces stations de mesure «au long cours» prévues pour des situations normales sont mises hors d'état de fonctionner par des «événements» intenses comme cela a été encore le cas pour la station du CEMAGREF à Draix (04) en Novembre 1994.

Cependant, un événement isolé mais à intensité forte représente un impact important, dont le «poids» est compris entre 30-50% du transport total ayant lieu sur la durée de retour [Loÿe-Pilot, *op.cit.*, et présente étude]. On voit qu'il est primordial d'étudier, pour établir des bilans valables, de tels exemples surtout dans les Alpes du Sud où des écarts climatiques extrêmes s'exercent sur divers contextes géologiques et géomorphologiques, eux-mêmes contrastés.

7.- CONCLUSION

Les événements de Janvier 1994, observés dans les Alpes du Sud et étudiés ici constituent un bon exemple de conjonctions de plus en plus fréquentes entre risques naturels et effets anthropiques.

Ils permettent de dégager, pour l'avenir quelques

implications à valeur locale, régionale, générale.

La périodicité rapide et croissante de retour d'aléas climatiques comparables de 20 à 30 ans sur un même site local, et de l'ordre de l'année à l'échelle d'une région comme celle des Alpes du Sud, implique d'une façon d'autant plus pressante que ce genre d'étude soit développé. Au terme de ce type d'étude les assises géologiques «sensibles» en cause seront mieux identifiées, ainsi que les contextes structuraux et morphologiques favorisant.

Pour l'exemple étudié ici, la formation conglomératique Miocène supérieur-Pliocène terminal en sa partie médiane, en disposition d'aval-pendage dans des secteurs à fréquence accrue de passages latéraux conglomérats-marnes argileuses à proximité de la transition vers les marnes et argiles fluviatiles («ligne Mélan-Thoard-Pas de Bonnet» [Haccard *et al.*, 1989]) sur ruptures de pentes en contexte drainant contrasté présente de forts risques de glissement. Le caractère aggravant de la réactivation de glissements anciens est souligné, ainsi que sa prise en compte insuffisante dans ce genre d'études.

La sensibilité de ces terrains au ravinement et à l'érosion est aussi très élevée dans ce type de vallées étroites, à régime torrentiel cumulant influence alpine et méditerranéenne, comme dans tout l'Arc Alpin où des «événements» intenses de ce type peuvent avoir autant d'impact que plusieurs années dites normales.

Les circonstances climatiques doivent être bien cernées : ainsi, celles de Janvier 1994 (isotherme 0° entre 950 et 1000 m), n'ont pas impliqué toutes les zones potentielles à risques connues présentées par la vallée, telle par exemple celle représentée par les marnes et grès du Miocène moyen des Hautes Duyes.

Les manifestations des risques auraient donc pu être plus graves et plus étendues si la partie haute du bassin versant avait été touchée. Ceci pourrait arriver dans l'avenir, comme cela s'est produit dans le passé. C'est ce qu'a montré le nécessaire retour fait sur les phénomènes historiques survenus au cours des 250 dernières années en cette même vallée : l'épisode d'Avril-Mai 1774 y a été beaucoup plus important et cinq autres d'importance comparable à celui de Janvier 1994 y ont été identifiés.

Les effets anthropiques, et leur poids relatif, ont été cernés. Les mesures réglementaires doivent être améliorées et appliquées. Information, éducation, implication de la population vis-à-vis de l'environnement et des risques doivent être accrues et facilitées.

Ce genre d'étude doit être développé, des enseignements pouvant en être tirés, notamment à l'échelle du Département et de la Région.

Références

- ANTOINE P., BIAREZ J., DESVARREUX P. & MOUGIN J.-P. (1971).- Les problèmes posés par la stabilité des pentes dans les régions montagneuses. *Géologie Alpine*, 47, 5-24, Grenoble.
- BELL D. H. (1992).- Landslides/Glissemments de terrain. 6th International Symposium on landslides, Christchurch (NZ). 3 Vol., 1495 p. Balkema Ed., Rotterdam.
- BESSON L. & MARIE R. (1984).- La restauration des terrains en montagne et les risques naturels. *Aménagements et Montagne*, 48, 124 p., Paris.
- BIGUENET G. & SIRIEYS P. (1990).- Caractéristiques géométriques et cinématiques de glissements de terrain de faible volume. *Géologie Alpine*, Mém. H.S. 15, 3-14, Grenoble.
- BONNARD C. (ED.) (1988).- Landslides/Glissemments de terrain. 5° Symposium International sur les glissements de terrain, Lausanne. 3 Vol., 1564 p. Balkema Ed., Rotterdam.
- BARSCHE D.(ed.) (1991).- Proceeding of the second International Conference on Geomorphology and Ecogeology. Frankfurt am Main, 1989. *Suppl. Banden des Zeitschrift für Geomorphologie*, 89, 156 p. Böntragger Ed., Stuttgart-Berlin.
- BUFFALO M., OLIVEROS C. & QUELENNEC R.E. (1990).- L'érosion mécanique des Terres Noires dans la région du Buëch (Hautes Alpes, France). *Géologie Alpine*, Mém. H.S. 15, 15-20, Grenoble.
- BODELLE J. & WEBER C. (1981).- La prévention des risques géologiques en France, questions pour l'avenir. *Bull. Liaison Labo. Ponts et Chaussées*, Sp. X, 7-9, Paris.
- CASTANY G. (1982).- Principes et méthodes de l'hydrogéologie, 238p., Dunod Ed., Paris.
- COLAS G. & PILOT G. (1976).- Description et classification des glissements de terrain. *Bull. Liaison Labo. Ponts et Chaussées*, «Sp. «Stabilité des talus», p. 21-30., Paris.
- COMBES F. (1990).- Le glissement de terrain de La Valette (Alpes de Haute-Provence, France). Surveillance, système d'alarme. *Géologie Alpine*, Mém. H.S. 15, 65-70, Grenoble.
- DELAROZIÈRE-BOUILLIN O., DEREK F. & MARGAT J. (1978).- Analyse de quelques longues séries d'observations de variables climatologiques, hydrologiques et hydrogéologiques en France. *Bull. Bur. Rech. Géol. Min.*, 2e sér., sect. III, 3, 229-238, Orléans.
- DESCAMPS M.A. (1973).- L'étude psycho-sociologique des catastrophes comme fondement de sa législation. *Actes Symposium « Sol et Sous-Sol » Sécurité des Constructions »* Cannes, 1, 335-344.
- ENSELLEM Y. (1967).- Les transferts de pression entre nappes et la drainance dans les ensembles aquifères hétérogènes. *Hydrogéologie*, 11, 131-152, BRGM Ed., Orléans.
- GIGOT P. (1967).- Contribution à l'étude des chaînes sub-alpines, géologie de la région de Thoard. Etude du complexe mollasique Tertiaire. Rapport de stage de terrain, ronéo., 60 p., E.N.S.des Mines, Paris.
- GIGOT P., GRANDIACQUET D. & HACCARD D. (1974).- Evolution tectono-sédimentaire du Bassin tertiaire de Digne depuis l'Éocène. *Bull. Soc. géol. France*, sér. 7, 16, 101-137, Paris.
- GOGUEL J. (1937).- Les glissements de terrain du Sud-Est de la France. *Ann. Ponts et Chaussées*, 12, 72-85, Paris.
- GUIGO M. (1987).- Les transports solides et l'érosion des milieux naturels. 25° Congrès International de Géographie, Paris 1984. «*Processus et mesure de l'érosion*», p. 413-425. CNRS Ed., Paris.
- HACCARD D., BEAUDOIN B., GIGOT P. & JORDA M. (1989).- Carte géologique de la France, n°918, «La Javie» à 1/50 000°, notice, 152 p., BRGM Ed., Orléans.
- JORDA M. (1980).- Morphogenèse et évolution des paysages des Alpes de Haute-Provence depuis le tardiglaciaire. Facteurs naturels et facteurs anthropiques. *Bull. Ass. Géogr. Fr.*, 472, 295-304, Paris.
- JORDA M. (1985).- La torrentialité holocène des Alpes françaises du Sud. Facteurs anthropiques et paramètres naturels de son évolution. *Cahiers Ligures, Prehist.*, 22, 49-70, Aix-en-Provence.
- LIEVOIS J. & TRUCHE M. (1990).- Les plans d'exposition aux risques naturels prévisibles (P.E.R.) en Haute-Savoie. Bilan de cinq années d'expérimentation (1984-1989). *Géologie Alpine*, Mém. H.S. 15, 139-146, Grenoble.
- LOÏE-PILOT M. D. (1987).- Rythmes comparés de dénudation chimique et d'érosion mécanique dans un bassin versant méditerranéen montagnard granitique (Solenzara-Corse) (1979-1981). 25° Congrès International de Géographie. Paris 1984. «*Processus et mesure de l'érosion*», p. 313-328, CNRS Ed., Paris.
- MARIE R. & FEUVRIER J.-P. (1990).- La programmation des opérations RTM. Un outil efficace pour la prévention. *Géologie Alpine*, Mém. H.S. 15, 157-164, Grenoble.
- MILLIÈS-LACROIX A. (1981).- Classification des talus et versants instables. *Bull. Liaison Labo. Ponts et Chaussées*, n° sp. X, 55-62, Paris.
- NOYELLE J. (1990).- Les nouvelles orientations concernant la prise en compte des risques naturels majeurs dans l'aménagement. *Géologie Alpine*, Mém. H.S. 15, 177-187, Grenoble.
- PACHOUD A. (1981).- Influence de la disparition de l'activité agricole traditionnelle sur la stabilité des pentes en montagne. *Bull. Liaison Labo. Ponts et Chaussées*, n°sp. X, 49-53, Paris.
- PRICE D. G. (1990).- Actes du 6° Congrès International de Géologie de l'Ingénieur, 1990, Amsterdam, thèmes 1 et 4., 5 vol., 3550 p. Balkema Ed., Rotterdam.
- RTM 04 (1989).- Commune de Thoard, P.E.R., règlement, 17 p., cartes et annexes. *Rapport DDAF/ONF/RTM04*, Digne.
- SLOSSON J.E., KEENE A.G. & JOHNSON J.A. (1992).- Landslides/Landslides mitigation. *Reviews in Engineering Geology*, 9, 120 p., *Mem. Geol. Soc. Amer.*, Boulder.
- VILLAIN J. (1981).- Sur le rôle des structures géologiques dans les glissements de terrains. *Bull. Liaison Labo. Ponts et Chaussées*, n°sp. X, 119-125, Paris.