

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/264288684>

Cahiers de Géographie Physique 2005–15 – Risques naturels et sociétés

Book · January 2005

CITATIONS

0

READS

209

2 authors:



Yvonne Battiau-Queney

Université des Sciences et Technologies de Lille 1

88 PUBLICATIONS 263 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Philippe Deboudt

Université des Sciences et Technologies de Lille 1

88 PUBLICATIONS 230 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



long-term landform development in relationship with crustal anisotropy [View project](#)



Mobilité et Usages des Véhicules Electriques, analyse du déploiement des infrastructures de charge dans les Hauts-de-France (MOUVE) [View project](#)

CAHIERS DE GÉOGRAPHIE PHYSIQUE

N°15-2005 ISSN 0758-8836



Risques naturels et sociétés



Laboratoire de Géomorphologie et Gestion des Milieux Naturels UPRESA 3339

REVUE PUBLIEE AVEC LE SOUTIEN DU
PLAN PLURI FORMATION « PUBLICATIONS EN SCIENCES HUMAINES »
DE L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE

Cahiers de Géographie Physique

N° 15 - 2005

ISSN : 0758-8836

Directrice de la publication :

Yvonne Battiau-Queney, Professeur
Université des Sciences et Technologies de Lille

Secrétaire de rédaction :

Philippe Deboudt, Maître de Conférences
Université des Sciences et Technologies de Lille

Textes rassemblés par :

Philippe Deboudt, Maître de Conférences
Université des Sciences et Technologies de Lille

Risques naturels et société

Photographies de couverture :

Falaises du Cap Blanc-Nez
(Pas-de-Calais).
P. Deboudt, 2004

Commune de
Val-des-Prés
(Hautes-Alpes).
In Thénard et Garitte,
2005

Torrent des Acles,
commune de Névache
(Hautes-Alpes).
In Thénard et Garitte,
2005

Platier d'Oye,
lotissement des Escardines,
(Commune de Oye-Plage,
Pas-de-Calais).
In Deboudt, 1997

Cahiers de Géographie Physique N° 15 - 2005

« Risques naturels et société »

SOMMAIRE

La vulnérabilité des territoires côtiers, approche méthodologique
Par C. Meur-Férec (coord.)*, Ph. Deboudt**, V. Deldrève***, H. Flanquart*, A.-P. Hellequin*, V. Herbert*, J. Longuépée****, V. Morel**** et E. Torres*†
3-12

Conséquences d'une lave torrentielle sur le fonctionnement d'un torrent alpin
Par Philippe Lahousse et Pierre-Gil Salvador
13-20

Les cônes de déjection torrentiels de la vallée de la Clarée (Alpes du sud, France). Analyses morphométriques et topométriques
Par Gilles Garitte et Lucas Thénard
21-31

La Crue de la rivière torrentielle Clarée du 15 octobre 2000. (Hautes-Alpes. France)
Par Lucas Thénard et Gilles Garitte
32-48

Synthèse et perspectives nouvelles pour l'étude du risque torrentiel (Torrent du Verdarel, vallée de la Guisane, Hautes-Alpes)
Par Nicolas Beaugendre
49-61

Réflexions sur l'évolution contemporaine de l'aléa et du risque torrentiel dans les bassins de la Guisane et du Guil (Hautes-Alpes, France)
Par Virginie Boisard
62-75

La vulnérabilité des territoires côtiers, approche méthodologique

Catherine MEUR-FEREC (Coord.)*, Philippe DEBOUDT**, Valérie DELDREVE***,
Hervé FLANQUART*, Anne-Péggy HELLEQUIN*, Vincent HERBERT*,
Jérôme LONGUEPEE****, Valérie MOREL****, Emmanuel TORRES*†

*Université du Littoral Côte d'Opale, Institut des Mers du Nord (meur@univ-littoral.fr)

**Université des Sciences et Technologies de Lille

UPRES EA 3339 Laboratoire de Géomorphologie et gestion des milieux naturels

***Université des Sciences et Technologies de Lille, IFRESI

****Université d'Artois, UPRES EA 2468 Dynamique des réseaux et des territoires

Résumé :

Cet article présente la méthodologie élaborée dans le cadre d'un travail transdisciplinaire mené dans le cadre du Programme National d'Environnement Côtier (PNEC) 2002/2004 (contrat PNEC-IFREMER n°2002/1140 717 et n°2003/1140 746). Un groupe de chercheurs, géographes, économistes et sociologues, propose d'analyser et d'évaluer la vulnérabilité côtière (risques d'érosion et de pollution maritime accidentelle) sous trois angles : l'exposition aux risques (aléas et enjeux), la gestion des risques (politiques publiques de prévention, mesures de protection et de "réparation") et enfin la perception du risque par les sociétés exposées (conscience du risque et représentations).

La méthode se fonde sur l'élaboration d'un instrument d'analyse et d'évaluation formel, sous forme de grilles d'évaluation de la vulnérabilité. Les résultats fournissent des indicateurs chiffrés présentés sous la forme de graphiques en radar qui reflètent des profils types par commune, en fonction de leur degré de vulnérabilité.

Mot-clés : littoral, territoire côtier, risques, érosion, pollution maritime, vulnérabilité, grilles d'évaluation, évaluation économique, gestion intégrée de la zone côtière

Abstract :

This note presents the methodology of an interdisciplinary research project integrated in the National Program of Coastal Environment (PNEC). A group of researchers, associating geographers economists and sociologists, propose to analyse and evaluate this coastal vulnerability (erosion and oil slick) by specifying three components: hazard exposure, hazards management (public policies, prevention and restoration) and hazards perception, conscientiousness and representations).

The methodology is based on the elaboration of a formal analysis and evaluation instrument, in the form of vulnerability valuation checklists.

Key-words : coastal zone, coastal territory, coastal hazards, erosion, processes, maritime pollution, vulnerability, economical evaluation, integrated coastal zone management.

INTRODUCTION

Dans l'axe de recherche thématique « *Gouvernance environnementale et patrimoine côtier* » du Programme National d'Environnement Côtier (PNEC), des travaux relatifs à « La vulnérabilité des territoires côtiers : évaluation, enjeux et politiques publiques » (Meur-Férec coord. *et al.*, 2004) ont permis d'élaborer un outil d'évaluation de la vulnérabilité des territoires côtiers aux risques liés à l'érosion et à la pollution maritime accidentelle.

Cet article présente une méthodologie mise en place dans le cadre d'un projet du Programme National d'Environnement Côtier (PNEC), axe de recherche thématique "*Gouvernance environnementale et patrimoine côtier*". Notre groupe de recherche transdisciplinaire associe dix chercheurs géographes, économistes et sociologues travaillant sur le programme intitulé "*La vulnérabilité des territoires côtiers : évaluation, enjeux et politiques publiques*" (Meur-Férec C. *et al.*, 2002, 2003, 2004).

Il est communément admis de parler de risque lorsqu'il y a combinaison d'un aléa avec des enjeux (MATE, 1997). D'une part, l'aléa se définit comme "*un événement potentiellement dangereux dont on essaie d'estimer l'intensité et la probabilité d'occurrence par l'étude des périodes de retour ou des prédispositions du site*" et les enjeux concernent "*la valeur humaine, économique ou environnementale des éléments exposés à l'aléa*" (MATE, 1997).

Au milieu des années 1980, alors que les travaux sur la connaissance des aléas se développent, notamment à travers l'étude des catastrophes, les recherches géographiques s'intéressent aux relations nature-société en ouvrant le champ de la géographie environnementale. Ces nouvelles préoccupations conduisent les géographes à construire une réflexion sur les processus d'émergence des risques (Morel *et al.*, 2005) ; Les risques ne sont plus perçus comme extérieurs à la société : ce sont des constructions sociales. Des territoires à risques sont ainsi identifiés comme par exemple, les littoraux, les villes, les fonds de vallées... Par ailleurs, la nouvelle approche de la relation homme-nature s'éloigne progressivement de l'approche naturaliste, en l'excluant même parfois. La vulnérabilité devient alors l'élément fondamental et déterminant des risques (Clarke *et al.*, 1989 ; Cutter, 1993) et peut être considérée comme un facteur d'endommagement (Davy, 1990 ; Thouret, 1990). Des travaux sur la perception du risque permettent une nouvelle approche de la vulnérabilité. Cette utilisation de nouveaux outils spécifiques aux sciences sociales (consultation des archives, réalisation d'entretiens ou d'enquêtes, recherches de témoignages, réalisation de cartes mentales...) a été formalisée par P. Pigeon (2000) dans le cadre d'une démarche phénoménologique. Les publications montrent ainsi l'évolution sémantique du terme vulnérabilité qui introduit désormais la notion de capacité de réponses des sociétés aux crises potentielles (D'Ercole et Pigeon, 1999).

Nous avons choisi d'aborder les risques par l'étude de la vulnérabilité des territoires et donc des sociétés qui y vivent. La vulnérabilité, étroitement liée à cette notion de risque, implique plusieurs acceptions. Dans le domaine des risques, la vulnérabilité est classiquement définie comme « *la capacité d'endommagement (pour les biens et les activités) ou de préjudices (pour les personnes) des éléments exposés à l'aléa* » (MATE, 1997). Une autre façon d'appréhender la vulnérabilité est, comme le propose R. D'Ercole (1994), de la considérer à travers la capacité de réponse des sociétés à des crises potentielles. La vulnérabilité traduit alors « *la fragilité d'un système dans son ensemble, et de manière indirecte sa capacité à surmonter la crise provoquée par un aléa* » (D'Ercole et Pigeon, 1999). Elle dépend à la fois de facteurs conjoncturels (l'aléa) et aussi de facteurs structurels (contexte socio-économique, culturel, politique, institutionnel) qui influencent la capacité de réponse de la société à l'événement et en font ainsi varier les effets (D'Ercole, 1994). Une société inconsciente du risque aura *a priori* une résilience moindre (surprise, colère face aux inondations, marées noires, écroulements de falaises par exemple).

Nous considérons comme complémentaires ces deux approches de la vulnérabilité et l'analysons comme le résultat du croisement de quatre catégories de facteurs : les aléas, les enjeux, la gestion des risques par les politiques publiques et l'action collective en général (prévention, gestion de crise, réparation) et la perception du risque par les sociétés concernées (conscience du risque, comportements individuels et capacité de résilience). Cette approche de la vulnérabilité permet d'intégrer toutes les dimensions des risques dans le cadre de la gestion intégrée d'un territoire.

La bande côtière proche du rivage constitue un territoire très spécifique par la variabilité des phénomènes naturels auxquels elle est soumise et par la diversité et le nombre des activités et des équipements humains qui s'y développent (Corlay, 1995) ; elle représente un territoire à risques (Meur-Férec, 2003 ; Meur-Férec et Morel, 2004). Ce territoire présente donc une vulnérabilité d'un niveau et d'une nature très spécifiques, notamment pour ce qui concerne la mobilité du trait de côte (érosion, submersion) et les pollutions maritimes affectant le rivage (marées noires). Ces phénomènes qui touchent directement et soudainement le rivage ont des conséquences sur l'état et l'organisation de ces territoires qui peuvent s'exprimer en termes économiques, identitaires et patrimoniaux.

Notre démarche se fonde sur une triple approche de la vulnérabilité : l'exposition aux risques (aléas et enjeux), la gestion des risques (politiques publiques de prévention, mesures de protection et de "réparation") et enfin la perception du risque par les sociétés exposées (conscience du risque et représentations). Pour estimer la vulnérabilité des territoires côtiers nous avons construit un instrument d'analyse et d'évaluation de la vulnérabilité globale afin de disposer d'indicateurs utiles dans plusieurs domaines (information, politiques publiques, priorités d'interventions, perception). Il contribuera à intégrer toutes les dimensions des risques dans le cadre d'une gestion intégrée des zones côtières (Dauvin *et al.*, 2002 ; Deboudt, 2005 ; Deboudt *et al.*, 2005).

La méthode retenue pour évaluer la vulnérabilité se fonde sur l'élaboration d'un instrument d'analyse et d'évaluation formel, sous la forme de grilles d'analyse permettant d'évaluer la vulnérabilité d'un secteur déterminé (à l'échelle communale, par exemple). Ces grilles, de type *checklist* (Bodéré *et al.*, 1994), sont constituées par de nombreux paramètres descripteurs auxquels sont attribuées des modalités qualitatives ou quantitatives. Notre méthode s'inspire d'indices déjà établis pour d'autres finalités : risques majeurs (Unesco, 1997) ; risques liés aux transports (*Rijkwaterstaat*, 1995) ; pollution portuaire (Marcadon, 1990) ; sensibilité écologique (Gundlach *et al.*, 1978). Quatre grilles distinctes et complémentaires (aléas, enjeux, gestion, perception) comportant plusieurs séries de descripteurs permettent d'obtenir une analyse multi-critères de la vulnérabilité.

I. METHODE D'ELABORATION DE GRILLES D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE

Le principe des grilles consiste à créer des indices de vulnérabilité à partir de critères descripteurs. Il est convenu de créer plusieurs grilles selon les quatre catégories de facteurs retenus mais toutes obéissent à une architecture et une logique communes. Elles se présentent sous la forme de trois niveaux d'analyse à renseigner en plusieurs étapes.

DESCRIPTION	EVALUATION par rubrique	INDICE DE VULNERABILITE
RUBRIQUE A	Vulnérabilité faible 1 – 2 – 3 – 4 - 5 forte	faible 1 – 2 – 3 – 4 - 5 forte (moyenne de toutes les cotes) Ecart-type
descripteur 1 :		
descripteur 2 :		
descripteur 3 :		
descripteur 4 :		
RUBRIQUE B	Vulnérabilité faible 1 – 2 – 3 – 4 - 5 forte	
descripteur 1 :		
descripteur 2 :		
descripteur 3 :		
...		

Description

La première colonne à gauche constitue l'entrée de la grille. Elle regroupe une liste de paramètres (descripteurs) dont l'objectif est la description la plus précise et la plus objective possible de la situation. Ces descripteurs sont regroupés en *rubriques*. Une notice annexée à la grille fournit des indications précises sur les descripteurs et la façon de les renseigner. La première étape consiste à attribuer à chaque descripteur une valeur quantitative ou qualitative (nature de la roche, densité de population, nombre de marées noires enregistrées, valeur monétaire...). Les valeurs ne sont pas exprimées dans des unités homogènes et ne peuvent donc pas faire l'objet de calculs. A ce stade, il n'y a pas d'évaluation mais uniquement des descriptions de l'état existant ou des événements passés.

Evaluation

Dans un second temps (deuxième colonne de la grille), chaque rubrique reçoit une cote de 1 à 5, l'indice de vulnérabilité étant croissant. Ces valeurs sont exprimées dans des unités homogènes, elles peuvent donc faire l'objet d'un calcul. Cette seconde étape implique une évaluation somme toute plus délicate puisque plus subjective. Certaines rubriques peuvent par ailleurs ne pas exercer d'influence nette sur la vulnérabilité ; on envisage alors de ne pas les coter mais de considérer seulement leur valeur informative.

Synthèse

La troisième colonne synthétise toutes les rubriques de la grille. Elle est renseignée par la moyenne des cotes, pondérées pour certaines thématiques, obtenues pour les différentes rubriques. On obtient donc un indicateur synthétique de vulnérabilité, échelonné de 1 à 5, pour chaque grille.

La grille perception nécessite une méthodologie très spécifique nécessitant un travail d'entretiens et de questionnaires. En effet, la différence majeure de cette grille par rapport aux autres est que les données n'existent pas *a priori* et doivent être créées pour renseigner les rubriques. Ainsi, deux étapes ont été nécessaires. Dans un premier temps, des entretiens seront effectués par les membres du groupe sur une population test. Après retranscription, ces premiers entretiens seront analysés et permettront de construire le questionnaire de l'enquête de perception.

Les résultats fournissent des d'indicateurs chiffrés présentés sous la forme de graphiques en radar qui reflètent des profils types par commune, en fonction de leur degré de vulnérabilité. Au final, chaque grille fournira un indice synthétique de vulnérabilité pour le thème de la grille. L'ensemble de ces indices permettra de cerner rapidement le type et le degré de vulnérabilité d'un site en matière d'érosion ou de pollution. Les grilles permettent par ailleurs plusieurs niveaux de lecture. Une simple lecture des indicateurs synthétiques permettra une analyse et une hiérarchisation rapide de la situation. Au contraire, en reprenant la lecture des colonnes plus à gauche, l'utilisateur disposera d'informations plus fines et exhaustives pour comprendre la situation. Les grilles pourront ainsi contribuer à un véritable outil d'aide à la décision.

II. DIFFERENTES DIMENSIONS DE LA VULNERABILITE

Afin de mieux cerner ces différentes dimensions de la vulnérabilité, il nous est rapidement paru nécessaire de créer plusieurs grilles distinguant les risques d'érosion et de pollution car les aléas, les enjeux et les mesures de gestion sont différents. En revanche, pour ce qui concerne la perception des risques, une grille commune aux deux risques a été mise en oeuvre. Nous avons donc prédéfini neuf grilles distinctes, couvrant les aléas, les enjeux, les moyens de gestion, l'évènementiel et la perception, de façon à obtenir une analyse suffisamment fine de la vulnérabilité :

Les grilles « Aléas »

L'aléa est défini comme un évènement d'origine naturelle ou humaine potentiellement dangereux. On essaie d'en estimer l'intensité et sa probabilité d'occurrence par l'étude des périodes de retour ou les prédispositions du site (MATE, 1997). L'aléa constitue donc une potentialité.

Aléa pollution

La grille *aléa pollution* a pour objectif d'évaluer les prédispositions d'une côte à une pollution maritime de grande ampleur. Elle se décompose en un aléa maritime conditionné par les éléments susceptibles de favoriser ou non un accident maritime et en un aléa côtier conditionné par l'exposition et la situation de la côte en cas d'accident maritime. La rubrique "aléa maritime" rassemble trois groupes de descripteurs : caractéristiques du trafic maritime, conditions de navigation et présence d'infrastructures et moyens de sécurité. Selon le même principe, la rubrique "aléa côtier" regroupe deux rubriques : exposition de la côte et distance du trafic à la côte.

Aléa érosion

Il s'avère qu'une côte, en fonction de ses caractères naturels et anthropiques, est plus ou moins sensible à l'érosion.

La grille *aléa érosion* regroupe les différents éléments d'appréciation de cette "prédisposition à l'érosion" dans trois rubriques, à savoir les caractéristiques naturelles de la côte (lithologie, morphologie, facteurs morphodynamiques, caractéristiques d'évolution), les équipements de protections structurels et les activités favorisant l'érosion.

Les grilles « Enjeux »

On considère comme enjeux les valeurs humaines, économiques ou environnementales des éléments exposés à l'aléa (MATE, 1997).

Enjeux pollution

La grille *enjeux pollution* met en œuvre la mesure de différentes valeurs regroupées en trois rubriques. La première recouvre les enjeux économiques marchands, liés aux activités de tourisme et de loisir, d'exploitation des ressources halieutiques locales et d'activités industrielles ou de services (ports, captages d'eau, etc.). L'originalité réside ici dans l'intégration de deux estimations complémentaires, l'une se centrant sur la valeur monétaire (Longuépée J., Zuideau B., 2001), l'autre renseignant les rubriques à l'aune du nombre d'emplois menacés. Par ailleurs, chacune de ces estimations met en œuvre une mesure en valeur absolue, puis en termes relatifs par rapport aux ressources fiscales et aux emplois de la commune, de manière à mettre en évidence la vulnérabilité des activités mais également des territoires soumis au risque de pollution. La seconde s'intéresse aux enjeux environnementaux considérant la biodiversité, animale et végétale ainsi que les habitats et espaces d'intérêt écologique et paysager. La troisième rubrique décrit les enjeux concernant les usages récréatifs (non marchands) liés à la présence de biens publics environnementaux fournissant des aménités aux utilisateurs (chasse, pêche, activités récréatives, etc.).

Enjeux érosion

La grille *enjeux érosion* s'organise autour de deux rubriques. La première concerne les enjeux économiques directs décrivant les modes d'occupation des sols (agriculture, industries et services, habitats, etc.) présents sur la frange côtière. La seconde rubrique s'intéresse aux incidences de l'érosion sur les aménités naturelles. Tel est particulièrement le cas des usages liés à la fréquentation des milieux naturels ouverts au public (sentiers, points de vue sur les crêtes, plage) ou d'un patrimoine architectural ou historique (chapelles, blockhaus, etc.).

Les grilles « Gestion des risques »

La gestion des risques regroupe les mesures visant à diminuer la vulnérabilité : prévention, défense, réparation... (Dubois-Maury J., 2001 ; MATE, 1997).

Gestion des risques d'érosion

Cinq rubriques ont été regroupées dans la grille thématique *gestion des risques érosion* : les ouvrages de défense contre l'érosion, le bilan des plans de gestion des risques antérieurs aux Plans de Prévention des Risques, les plans de prévention des risques, les documents d'information institutionnels sur les risques et les plans de secours communaux.

Gestion des risques de pollution

La grille *gestion de la pollution* comporte trois rubriques : le plan POLMAR, les réseaux locaux et associatifs et la nature du site. La rubrique "POLMAR" rassemble trois descripteurs : l'exercice (âge et réactualisation du plan, validation ou non du dernier exercice, proximité par rapport à la zone d'étude...), les ressources matérielles (localisation, type, disponibilités locales) et les ressources humaines (formation des personnels, administrations intégrées, Plan de Secours Communal...). La rubrique "réseaux locaux et associatifs" fait état de la capacité totale d'intervention sur place. Elle reprend certaines dispositions de la dernière instruction POLMAR, concernant les communes : hébergement, accueil des personnes, ressources humaines locales, équipements locaux propres... Enfin, la rubrique "nature du site" permet de jauger la capacité à nettoyer la côte. Elle doit impérativement être croisée avec la nature du polluant.

Les grilles « Evènementiel, la mémoire du risque »

Cette approche s'attache à décrire les événements passés pour anticiper les aléas et les enjeux futurs et construire une mémoire du risque. L'histoire événementielle et l'archivage du risque constituent des composantes incontournables dans la connaissance de la vulnérabilité (approche *a posteriori* ou phénoménologique (Pigeon, 2000 et 2002).

Evènementiel érosion

La grille *évènementiel érosion* comprend trois rubriques. La première permet d'évaluer l'occurrence des aléas. Cette chronique permet de retracer les conditions de retour de l'aléa par le recoupement des informations suivantes : date des événements, conditions météo-océaniques, nature et ampleur de l'événement. La seconde rubrique permet d'apprécier la gravité, l'importance des dommages par la description de l'événement majeur qui se définit soit par son importance soit par son actualité dans la série chronologique. Quant à la troisième rubrique, elle permet d'apprécier la qualité et la disponibilité de l'information et ainsi d'évaluer les possibilités d'anticipation.

Evènementiel pollution

La grille *évènementiel pollution marine* retient trois rubriques principales. La rubrique "accidents maritimes" permet de renseigner sur les accidents effectifs, sur leur nature et leur localisation. La rubrique "dernière pollution significative" fait état de la dernière pollution de grande ampleur et de sa localisation par rapport au secteur étudié. Cette rubrique doit renseigner sur la sensibilité "historique" de la côte par rapport aux pollutions maritimes. Enfin, la rubrique "ampleur des pollutions" permet de quantifier les dommages à la côte.

Les grilles « Perception »

L'évaluation de la perception des risques côtiers par la population apparaît importante dans la mesure de la vulnérabilité car elle participe à la résilience des sociétés quand intervient l'aléa.

Il faut aussi admettre que le risque est un construit social. La grille sera alors composée de quatre rubriques qui doivent être croisées.

La première recouvre les caractéristiques socio-démographiques et l'histoire familiale des populations concernées. La seconde met en évidence les usages des territoires côtiers.

Ces deux premières rubriques doivent être mises en corrélation avec la rubrique des représentations des risques (troisième rubrique) et celle des pratiques de gestion individuelles des risques, qu'il s'agisse de pratiques d'évitement ou d'aggravation de ceux-ci (quatrième rubrique).

CONCLUSION

La pluridisciplinarité du groupe impose la particularité de la démarche qui cherche à cerner toutes les dimensions de la ou des vulnérabilités face aux risques côtiers. L'élaboration des grilles d'évaluation a pris en compte les critères émanant de chaque discipline et leur réalisation doit permettre une approche systémique de la vulnérabilité dans le cadre d'une gestion intégrée de la zone côtière.

Ce projet de recherche a débuté en septembre 2002 et s'est poursuivi pendant deux années. La première année a été consacrée à une réflexion méthodologique et à la conception des grilles d'analyse ; pendant la seconde année, 24 grilles ont été complétées pour trois communes côtières tests de la Côte d'Opale : Bray-Dunes, Oye-Plage et Wimereux (Meur-Férec *et al.*, 2004). Les résultats ont été présentés aux acteurs de la gestion de la zone côtière en Côte d'Opale et ont donné lieu à plusieurs communications et publications (Meur-Férec *et al.*, 2005 ; Morel et Meur-Férec, 2005). Par ailleurs, à partir des travaux réalisés et des informations collectées dans le cadre de ce projet, une base de donnée a été constituée : RISCO. Celle-ci rassemble toutes les informations bibliographiques, et documentaires du projet ainsi que le bilan des entretiens et des questionnaires.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BODERE J.C., CRIBB R., CURR R., DAVIES P., HALLEGOUËT B., MEUR C., PIRIOU P., WILLIAMS A.T., YONI C., (1994) - Vulnérabilité des dunes littorales : mise au point d'une méthode d'évaluation, études de cas dans le sud du Pays de Galles et l'ouest de la Bretagne. *Cahiers Nantais*, 41-42, p. 197-203.

CORLAY J.P., (1995) - Géographie sociale, géographie du littoral. *Norois*, tome 42, n° 165, p. 247-265.

DAUVIN J.-C. (COORD.), BELLAN G., BELLAN-SANTINI D., CAPET Y., DEBOUDT P., DESROY N., DEWARUMEZ J.-M., DUBRULLE J.-B., GHEZALI M., GUILLAUMONT B., LE PENNEC N., LOZACHMEUR O., MESNARD A.-H., MEUR-FEREC C., POUILLE X., RUZ M.-H., VIDEMENT L., (2002), Gestion intégrée des zones côtières : outils et perspectives pour la préservation du patrimoine naturel. *Patrimoines naturels*, 57, 346 p.

D'ERCOLE R., (1994) - Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbains, concepts, typologie, mode d'analyse. *Revue de Géographie Alpine*, n°4 spécial, p.87-96.

D'ERCOLE R. ET PIGEON P., (1999) - L'expertise internationale des risques dits naturels : intérêt géographique. *Annales de géographie*, n°608, p. 339-357.

DEBOUDT P., (2005) - La place de la nature dans la gestion intégrée de la zone côtière : réflexions d'un géographe. *Oceanis*, à paraître.

DEBOUDT P., DAUVIN J-C., DESROY N., DEWARUMEZ J-M., DUBAILLE E., GHEZALI M., MEUR-FEREC C., MOREL V., (2005) soumis - 10 ans de Gestion Intégrée des Zones Côtières en Côte d'Opale. Actes du colloque du MEDD *Prospective du littoral, prospective pour le littoral*, 1er et 2 mars 2005, Paris.

DUBOIS-MAURY J., (2001) - Les risques naturels, quelles réponses ? La Documentation Française, *Problèmes politiques et sociaux*, n° 863, sept. 2001, 88 p.

GUNDLACH E. ET DE HAYES M.O, (1978) - *Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts*. Mar. tech. Soc. Jour. 12, p. 18-27.

LONGUEPEE J. ET ZUINDEAU B., (2001) - L'impact du coût des inondations sur les valeurs immobilières : une application de la méthode des prix hédoniques à la basse vallée de la Canche, *Cahiers du GRATICE*, n° 21, contributions à l'économie immobilière, p. 143-166.

MARCADON J., (1990) - *Transports maritimes et pollution littorale, ports de commerce et zones à risque*. Cinquième rapport du groupe SERS, Institut de Géographie, Université de Nantes, p. 149-160.

MEUR-FEREC C., (2003) - L'occupation du littoral, ou le choix d'investir un territoire à risques. *Océanis*, n° 28, 1/2, p. 115-137.

MEUR-FEREC (Coord.), BEAURAIN C., DEBOUDT P., DELDREVE V., FLANQUART H., HELLEQUIN P., HERBERT V., LONGUEPEE J., MOREL V., TORRES E., (2002) - *La vulnérabilité des territoires côtiers : évaluation, enjeux et politiques publiques*. Rapport intermédiaire, Programme National Environnement Côtier, 77 p.

MEUR-FEREC C. (Coord.), DEBOUDT P., DELDREVE V., FLANQUART H., HELLEQUIN A-P., HERBERT V., LONGUEPEE J., MOREL V., (2003 et 2004) - La vulnérabilité des territoires côtiers : évaluation, enjeux et politiques publiques, *Programme National Environnement Côtier*, quatre rapports de contrat.

MEUR-FEREC C. ET MOREL V., (2004) - L'érosion sur la frange côtière : un exemple de gestion des risques, *Natures Sciences Sociétés*, Vol. 12, p. 263-273.

MEUR-FEREC C., DEBOUDT P., MOREL V., LONGUEPEE J., (2005) soumis - La vulnérabilité des territoires côtiers à l'érosion : vers une prise en compte des risques dans la gestion intégrée des zones côtières, *Actes du colloque du MEDD "Prospective du littoral, prospective pour le littoral"*, 1^{er} et 2 mars 2005, Paris.

MOREL V., MEUR-FEREC C. (à paraître, 2005), Une méthode d'évaluation de la vulnérabilité côtière à l'érosion. Actes du colloque « Les bas-champs picards », 22 octobre 2004, Amiens.

MOREL V., DEBOUDT P., MEUR-FEREC C., HELLEQUIN A-P., HERBERT V., (2005) soumis - Regard rétrospectif sur l'étude des risques en géographie à partir des publications universitaires (1980-2004), *L'Information Géographique*.

MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT,
MINISTERE DE L'EQUIPEMENT DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT, (1997a) - *Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR), guide général*. La Documentation Française, Paris, 76 p.

MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT,
MINISTERE DE L'EQUIPEMENT DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT, (1997b) - *Plans de prévention des risques littoraux (PPR)*. La Documentation Française, Paris, 54p.

PIGEON P., (2000) - De l'intérêt de la démarche phénoménologique en géographie des risques. *Cahiers savoisiens de géographie*, 1-2000, p. 11-16.

PIGEON P., (2002) – Réflexions sur les notions et les méthodes en géographie des risques dits naturels. *Annales de Géographie*, n°627-628, p. 452-470.

RIJKSWATERSTAAT, (1995) - Analyse des risques sur l'Escaut occidental, en rapport avec le transport de matières dangereuses. In *Voortgangs, en evaluatier apportage* (1993-94), Pays-Bas 72 p.

Conséquences d'une lave torrentielle sur le fonctionnement d'un torrent alpin

Philippe LAHOUSSE * et Pierre-Gil SALVADOR **

*UPRES EA 3339 Laboratoire de Géomorphologie et Gestion des Milieux Naturels
(philippe.lahousse@univ-lille1.fr)

** CNRS-UMR 8141 Laboratoire de Géographie des Milieux Anthropisés.

Résumé :

Le 24 juillet 1995, le Ravin des Sables a produit une lave torrentielle de 12 000 à 15 000 m³ qui a coupé la route d'accès à Névache et obstrué le lit de la Clarée sur une centaine de mètres. Jusque-là, ce torrent avait pourtant pour habitude d'étaler les matériaux qu'il transporte essentiellement sur la partie supérieure de son cône de déjection. Il s'agit donc d'un événement exceptionnel, tant par les volumes mobilisés que par les dégâts occasionnés. Depuis, le comportement hydrogéomorphologique du torrent en est d'ailleurs complètement modifié. Les bourrelets latéraux de cette coulée de débris majeure ont effectivement recréé, sur le cône de déjection, un véritable lit torrentiel qui favorise désormais le transit des matériaux vers la rivière principale. Un suivi topométrique du chenal d'écoulement a donc été assuré depuis septembre 1998 afin d'appréhender les nouvelles modalités de fonctionnement du Ravin des Sables.

Mots-clés : torrent, lave torrentielle, risque naturel, Briançonnais, Alpes françaises.

Abstract :

Consequences of a major debris flow on an alpine torrent behaviour. - On the 24th of July, 1995, following a heavy rainfall, a channelled debris flow of a volume of 12,000 to 15,000 m³ spilt onto the alluvial fan of the Ravin des Sables. It caused the interruption of the road traffic for several hours and the obstruction of the normal flow of the Clarée River. The historical survey allows to show the exceptional character of this debris flow. From now on, the hydrogeomorphological behaviour of this torrent is completely different. In fact, the lateral levees which were built on the 24th of July, 1995, channelize the flow on the alluvial fan. Little debris flows can thus easily reach the confluence with the Clarée River. The geomorphological study engaged since 1996, and mainly based upon a diachronological analysis of the longitudinal and transversal profiles of this torrent, leads to precise the new modalities of its functioning.

Key-words : torrent, debris flow, natural hazards, Briançonnais, Alpes, France.

Introduction

Les violents orages qui se sont abattus sur la cuvette de Briançon dans la soirée du 24 juillet 1995 ont provoqué le débordement d'une quinzaine de torrents. Dans la vallée de la Clarée, ce genre d'événement est loin d'être inhabituel, mais de telles manifestations étaient jusque-là plutôt réservées à des torrents comme la Pinatelle ou, un peu plus en aval sur la commune de Val-des-Prés, aux torrents de la Ruine et de Malefosse (fig. 1). Pour la première fois au contraire, c'est le Ravin des Sables qui a coupé la route d'accès à Névache et obstrué le cours de la Clarée (fig. 1). De mémoire d'homme et nulle part dans les archives n'ont été retrouvés de témoignages de coulées d'une telle ampleur sur le cône de déjection de ce torrent. Cette lave torrentielle a donc été considérée par beaucoup comme un phénomène d'exception qui, en purgeant le bassin de réception d'une grande partie de son stock sédimentaire directement mobilisable, assurait de surcroît une certaine inertie morphodynamique pour les prochaines années. Force est de constater cependant que depuis cet événement majeur, le Ravin des Sables se manifeste plus souvent que par le passé. En à peine cinq ans, deux nouvelles laves torrentielles ont en effet interrompu le trafic routier entre Briançon et Névache. La première a même repoussé la Clarée dans un ancien chenal situé sur une basse terrasse de rive droite. Ces transferts de charge sédimentaire sur le cône de déjection, de fréquence et d'ampleur inhabituelles pour cet organisme torrentiel, attestent d'un changement radical dans le comportement hydrogéomorphologique du Ravin des Sables. Cela conduit naturellement à s'interroger sur le rôle joué à ce niveau par la lave torrentielle du 24 juillet 1995. Un suivi régulier du chenal d'écoulement a, par ailleurs, été assuré depuis septembre 1998 afin d'appréhender les nouvelles modalités de fonctionnement de ce torrent, en particulier sur son cône de déjection.

I. HISTOIRE SINGULIERE D'UN TORRENT ORDINAIRE

UN TORRENT TYPE DE LA BASSE VALLEE DE LA CLAREE

Dans la basse vallée de la Clarée, la plupart des bassins torrentiels latéraux sont courts et extrêmement pentus (fig. 1). Avec une superficie de l'ordre du kilomètre carré et des pentes souvent supérieures à 30°, celui du Ravin des Sables n'échappe pas à cette règle. Il est entièrement façonné dans les terrains de la zone briançonnaise (Blais 1978 et 1979), principalement composés de séries du Trias (calcaires, dolomies et cargneules). Ces assises, subdivisées en deux nappes superposées, sont ployées en un ensemble de plis de vergence est (Barféty *et al.* 1996). Ils déterminent, dans la partie supérieure du bassin versant, deux très hautes corniches qui entretiennent de longs tabliers d'éboulis actifs. Le taux de boisement y est très faible puisqu'il ne représente que 9 % de la superficie totale du bassin de réception (soit à peine plus de 7 ha).

Le Ravin des Sables appartient à la catégorie des torrents à claps, c'est-à-dire ceux qui puisent une grande partie de leur charge détritique dans les éboulis actifs de l'étage périglaciaire (Demontzey 1894 ; Coussot 1996). En cela, il est tout à fait comparable à la plupart des organismes torrentiels de la basse vallée de la Clarée. Seul l'exutoire du bassin de réception, constitué d'une gorge très étroite et profondément entaillée dans des brèches de pentes à ciment de cargneules, lui confère un aspect original (fig. 1). Mais c'est sans doute par son activité torrentielle récente peu marquée sur la partie inférieure du cône de déjection que le Ravin des Sables se distingue le mieux des autres torrents de la basse vallée de la Clarée.

UNE ACTIVITE TORRENTIELLE SANS RISQUE JUSQU'EN 1995

Avec 35% de la superficie totale du bassin versant du Ravin des Sables, les tabliers d'éboulis vifs représentent une source très importante de matériaux disponibles pour alimenter des laves torrentielles. Toutefois, aussi loin que remontent les archives, aucune trace de coulée catastrophique n'a pu être retrouvée avant celle du 24 juillet 1995 (Surell 1841 ; Cézanne 1872 ; Fanthou 1991, 1994 ; Lahousse 1997, Lahousse et Romelé, 2000, Lahousse et Salvador, 2002 ; Lahousse *et al.* 2003). Au cours de son histoire, la commune de Val-des-Prés a pourtant souvent été confrontée au risque torrentiel. Elle fait même partie du peloton de tête des communes les plus touchées dans le département des Hautes-Alpes. Certes, tous les torrents ne sont pas concernés de manière équivalente, mais seul le Ravin des Sables est totalement absent de la liste des 29 débordements torrentiels répertoriés entre 1419 et 1994. Pourtant, il présente bien les caractéristiques morphométriques d'un torrent à coulées de débris : dénivelée spécifique de 1,3⁽¹⁾ et pente moyenne du cône de déjection de 8,9°⁽²⁾ (Aulitzky 1982 ; Kostaschuck *et al.* 1986 ; Jackson *et al.* 1987, Marchi *et al.* 1993, 2000). Les photographies aériennes prises depuis 1939 attestent même de débordements torrentiels récents. Cependant, les épandages de matériaux sont toujours restés cantonnés à la moitié supérieure du cône de déjection, sans créer de réel risque pour les activités humaines (fig. 2). La lave torrentielle du 24 juillet 1995 n'est donc pas un événement totalement isolé du point de vue historique. Les dimensions de la coulée et l'ampleur des volumes de matériaux mobilisés à cette occasion sont en revanche manifestement exceptionnelles à l'échelle des derniers siècles.

Il faut dire que les orages qui ont éclaté autour de la cuvette de Briançon dans la soirée du 24 juillet 1995 étaient particulièrement violents. Entre 18h45 et 21h45, plus de 200 impacts de foudre ont ainsi été enregistrés (Clémenceau 1995). Témoignages et photographies prises au lendemain de l'événement font même état d'une couche de grêlons pouvant atteindre 15 cm d'épaisseur à 2 400 m d'altitude. Mais le caractère inhabituel de cet épisode pluvieux est certainement encore mieux souligné par l'étendu des dégâts constatés à la suite du débordement d'une quinzaine de torrents, tous situés dans un rayon de 15 km autour de Briançon (Lahousse & Salvador 1998a, 1998b, 1999).

Dans la vallée de la Clarée, la surprise fut d'autant plus grande que l'on avait oublié le caractère torrentiel du Ravin des Sables. Le torrent a pourtant bien étalé entre 12 000 et 15 000 m³ de matériaux sur son cône de déjection, provoquant ainsi l'isolement de la commune touristique de Névache pendant plusieurs heures et l'obstruction du lit de la Clarée sur une longueur d'environ 80 m (Lahousse & Romelé 2000). Repoussé dans la ripisylve, la rivière principale a alors emporté un camp de scouts, fort heureusement évacué à temps, y faisant entre 18 500 et 23 000 € de dégâts matériels.

Pour la première fois, l'activité torrentielle du Ravin des Sables a donc été source de risque. Est-il pour autant devenu un torrent à risque ? Certes, la probabilité de retour d'un événement équivalent à celui du 24 juillet 1995 semble très faible si l'on se réfère aux résultats de l'enquête historique.

(1) La dénivelée spécifique est égale à :

$$Ds = [H_{\max} - H_{\min} / 1000] / A_d^{0.5}$$

Où : H_{\max} (m) : Altitude maximale du bassin de réception ;

H_{\min} (m) : Altitude minimale du bassin de réception ;

A_d (km²) : superficie du bassin de réception torrentiel.

Le seuil entre les torrents à charriage et ceux à coulées de débris étant généralement fixé à 0,3

(2) Le seuil entre les torrents à charriage et ceux à coulées de débris étant situé autour de 4°

Pourtant, dans la nuit du 19 au 20 septembre 1999 et le 13 juin 2000, le Ravin des Sables a encore coupé la route départementale reliant Briançon à Névache.

Sans commune mesure avec la lave du 24 juillet 1995, ces coulées torrentielles sont la traduction de changements importants dans le comportement hydrogéomorphologique de ce torrent. Désormais, les transferts de matériaux vers la Clarée font à nouveau partie du fonctionnement normal du Ravin des Sables.

II. UN TORRENT DESORMAIS A RISQUE

DES LAVES TORRENTIELLES POURTANT RALENTIES DANS LEUR COURSE

Torrent sans histoire, le Ravin des Sables est resté pendant longtemps à l'écart des préoccupations de tous. Pourtant, les caractéristiques géomorphologiques de son bassin versant sont assez comparables à celles de torrents alentours bien plus capricieux. C'est même le ravin limitrophe de la Pinatelle qui, en ayant coupé la route départementale 994g à sept reprises depuis 1954, fait figure de torrent le plus menaçant de la basse vallée de la Clarée (fig. 1). S'il est vrai que dans les régions de montagne, les phénomènes orageux ont souvent un caractère violent très ponctuel, cet aspect ne peut à lui seul rendre compte d'une activité torrentielle aussi inégale.

En fait, le comportement hydrogéomorphologique jusqu'ici radicalement différent de ces deux torrents s'explique certainement par l'effet dissipateur joué par l'étroite gorge qui ferme le bassin de réception du Ravin des Sables (fig. 1). Celle-ci constitue un véritable obstacle au transit des laves torrentielles qui, ralenties dans leur course, contribuent à l'engraissement de la racine du cône de déjection, jusque vers 1500 m d'altitude (fig. 3). Dépourvu d'un passage en gorge, le torrent voisin de la Pinatelle présente au contraire un profil longitudinal plus tendu (fig. 1 et 3). Sans forcément être plus fréquentes, les laves torrentielles progressent ici plus librement sur le cône de déjection et, par voie de conséquence, assurent un transfert plus efficace des matériaux vers l'aval.

Dire du Ravin des Sables qu'il s'est réveillé après plusieurs siècles d'inactivité serait donc inexact. L'aléa torrentiel y est bien présent depuis longtemps mais l'absence de menace directe pour les activités humaines en a fait un torrent véritablement oublié (Antoine 1988). Ce n'est d'ailleurs pas la coulée torrentielle du 24 juillet 1995 qui allait remettre en cause ce diagnostic dans la mesure où il s'agit d'un événement exceptionnel dont la probabilité de retour a été unanimement admise comme très faible. C'était sans compter l'impact d'une telle lave sur les conditions d'écoulement à la surface du cône de déjection.

UNE CHENALISATION RETABLIE SUR LE CONE DE DEJECTION

Par deux fois déjà depuis le 24 juillet 1995, le Ravin des Sables a coupé la route départementale 994g. La lave torrentielle du 20 septembre 1999 a même complètement obstrué le lit de la Clarée, l'obligeant à abandonner son cours habituel sur environ 300 m. Les volumes de matériaux mobilisés lors de ces événements ont pourtant été relativement modestes. Comment alors expliquer que les laves torrentielles qui s'arrêtaient ordinairement à l'amont du cône de déjection puissent dorénavant atteindre la confluence avec la rivière principale ? En fait, les bourrelets latéraux de la coulée du 24 juillet 1995 ont créé un chenal jusque là inexistant sur le cône de déjection (fig. 4). Cela a pour effet de canaliser les écoulements, et ainsi de favoriser la connexion avec l'hydrosystème de fond de vallée. Les mesures topométriques effectuées depuis septembre 1998 permettent à ce niveau d'apporter quelques précisions.

Lors de l'épisode du 20 septembre 1999, il semble que le bassin de réception ait assez peu participé à l'alimentation de la lave torrentielle.

Celle-ci s'est d'abord nourrie des engravements du 24 juillet 1995. Mais le torrent a également puisé dans la partie supérieure du cône de déjection par incision verticale. Généralement de l'ordre de 1 à 2 m, celle-ci a atteint au maximum 4 m dans la section comprise entre les profils transversaux n° 15 et 16 (fig. 4 et 5).

Les volumes mobilisés sont toutefois restés assez modestes puisqu'ils n'ont pas excédé 2000 m². Ces matériaux ont essentiellement été déposés au-dessous de 1500 m d'altitude (fig. 5). Il s'agit là d'une situation originale pour le Ravin des Sables qui, comme on a pu le souligner auparavant, est plus habitué à une accrétion sur la portion supérieure de son cône de déjection (fig. 3). Faut-il en conclure pour autant que le comportement hydrogéomorphologique du torrent sur le cône de déjection ait été inversé durablement ? L'épisode du 13 juin 2000 apporte à ce propos une réponse claire. Lors de cet événement, les éboulis situés dans la partie médiane du bassin de réception ont effectivement alimenté une lave torrentielle qui, guidée par les bourrelets de la coulée du 24 juillet 1995, est parvenue jusqu'à la route départementale 994g. Les 5 000 à 7 000 m³ de matériaux mobilisés à cette occasion ont permis une remise en charge du lit torrentiel sur toute la portion située sur le cône de déjection (fig. 5 et 6). On est donc loin du scénario de septembre 1999, épisode durant lequel la lave torrentielle a été uniquement initiée par un prélèvement de matériaux sur le cône de déjection. Reste néanmoins un point commun à ces deux événements : l'effet de la chenalisation qui a permis au Ravin des Sables de réinvestir certains espaces de son cône de déjection depuis longtemps abandonnés.

Si cet aspect a pour avantage de contribuer à la recharge sédimentaire de la rivière principale, il amplifie en revanche le risque d'engravement de la route départementale 994g. Dans une vallée où le développement du camping (sauvage ou en camps) dans la plaine alluviale a été très important, l'obturation latérale du lit de la Clarée fait par ailleurs planer un risque de débâcle dont les conséquences pourraient être catastrophiques. C'est pour cette raison que les services de la Direction Départementale de l'Équipement ont procédé à un réaménagement de la confluence avec la Clarée qui, ajouté au désengravement de la route, au curage d'une partie du chenal d'écoulement et aux dégâts occasionnés au camp de scouts en 1995, porte pour l'instant le coût des débordements du Ravin des Sables à plus de 35 000 € (fig. 4 et 7). L'objectif est ici de dévier les laves torrentielles dans l'axe de la Clarée afin qu'elle puisse exporter elle-même la charge détritique fournie par les laves torrentielles du Ravin des Sables. Reste néanmoins que la digue construite en remblai et les quelques blocs servant d'enrochements à la base semblent bien fragiles face à une coulée torrentielle d'un volume équivalent ne serait-ce qu'à celle du 20 septembre 1999, soit à peine 2000 m³ !

CONCLUSION

Au cours de leur histoire, les torrents de la basse vallée de la Clarée se sont souvent manifestés. Nombreux sont d'ailleurs ceux qui ont fait l'objet d'une correction prise en charge par le service de Restauration des Terrains en Montagne (le Mallefosse, la Pinatelle, la Ruine, etc.). Avec une activité torrentielle plus discrète, le Ravin des Sables est resté à l'écart de cette intervention. La lave torrentielle provoquée par les violentes averses orageuses du 24 juillet 1995 en a toutefois rappelé brutalement la dangerosité. Certes, cet événement a unanimement été considéré comme un cas isolé ayant peu de chance de se renouveler dans un avenir proche. Mais face à ce diagnostic plutôt rassurant, force est de constater aujourd'hui que cette lave torrentielle a bouleversé le Ravin des Sables dans son comportement hydrogéomorphologique. Chenalisé sur son cône de déjection par les bourrelets de la coulée du 24 juillet 1995, il est certainement devenu, en l'espace de quelques années, le torrent le plus actif de toute la vallée de la Clarée. Il est en tout cas le seul à avoir coupé 3 fois la route départementale 994g et dévié 2 fois le cours de la Clarée depuis 1995.

Pourtant, une solution peu coûteuse existe bien, mais elle se heurte à des intérêts divergents. Elle consisterait, en amont du cône de déjection, à ouvrir des brèches dans les levées du 24 juillet 1995, de sorte que le torrent puisse à nouveau étaler ses laves torrentielles dans la forêt (effet de peignage).

Si ces aménagements ne suffiraient sans doute pas à se prémunir d'un événement analogue à celui du 24 juillet 1995, ils auraient pour avantage de préserver la route départementale et le lit de la Clarée de l'activité torrentielle ordinaire du Ravin des Sables. Solution satisfaisante pour les uns, ce projet va cependant à l'encontre des intérêts de l'Office Nationale des Forêts car il met en péril une partie des peuplements de pins à crochets dont elle assure l'entretien et l'exploitation sur le cône de déjection. Dans ces conditions, la construction d'une plage de dépôt comparable à celle du torrent de la Pinatelle apparaît pour l'instant comme le seul compromis envisageable, mais pour un coût nettement supérieur.

Pour l'heure, le choix a été porté sur le curage de la partie inférieure du chenal d'écoulement pour réduire le risque d'étalement des laves torrentielles en fond de vallée (travaux déjà réalisés 2 fois, à la suite des événements du 20/10/1999 et du 13/06/2000), et sur l'aménagement de la confluence avec la Clarée pour éviter la création d'un barrage d'obturation latérale (travaux effectués au printemps 2000). Ces efforts paraissent toutefois bien dérisoires car il n'aura fallu que 4 mois et une seule crue, celle du 15 octobre 2000, pour que le lit torrentiel se retrouve une nouvelle fois engorgé de matériaux jusque la route départementale 994g (Lahousse et Salvador, soumis). Gageons qu'à la prochaine crue, le trafic routier risque fort d'être encore interrompu. Ce sera sans doute aussi l'occasion de vérifier l'efficacité, sans doute très aléatoire, du dispositif mis en place à la confluence avec la Clarée pour dévier les laves torrentielles du Ravin des Sables...

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANTOINE J.M. (1988) - Un torrent oublié mais catastrophique en Haute Ariège. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 1 : 73-88.

AULITZKY H. (1982) - Preliminary two-fold classification of torrents. *Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt*, 144: 243-256.

BARFETY J.C., LEMOINE M., (de) GRACIANSKY P.C., TRICART P., MERCIER D. (1996) - *Notice explicative, carte géologique de la France (1/50 000), feuille Briançon (823)*. BRGM, Orléans, 180 pp.

BLAIS J.P. (1978) - *Hydrologie et hydrogéologie du bassin versant de la Clarée (Hautes-Alpes)*. Thèse de doctorat, Université de Grenoble.

BLAIS J.P. (1979) - Comportement hydrogéologique des différentes formations géologiques du bassin versant de la vallée de la Clarée (Hautes-Alpes). *Revue de Géographie Alpine*, 2 : 161-172.

CEZANNE E. (1872) - *Étude sur les torrents des Hautes-Alpes*. Dunod, Paris, t. 2, 382 pp.

CLEMENCEAU Y. (1995) - *Rapport sur les conditions météorologiques du 24 juillet 1995, communes de la Salle-les-Alpes, Saint-Chaffrey, Saint-Martin-de-Queyrières (Hautes-Alpes)*. Rapport Météo France Briançon, inédit, 2 pp.

COUSSOT P. (1996) - *Les laves torrentielles. Connaissances à l'usage du praticien*. Les études du CEMAGREF, série Équipements pour l'eau et l'environnement, Grenoble, 177 pp.

DEMONTZEY P. (1894) - *L'extinction des torrents en France par le reboisement*. Imprimerie Nationale, Paris, t. 2, 463 pp.

FANTHOU T. (1991) - *Fichier départemental des risques naturels, Hautes-Alpes*. Direction Départementale de l'Équipement, Gap, 1 693 références.

FANTHOU T. (1994) - *Les risques naturels dans le département des Hautes-Alpes, chroniques et territoires*. Thèse de doctorat, Université de Paris 7, 189 pp.

JACKSON, L.E., KOSTASCHUCK R.A., MACDONALD G.M. (1987) - Identification of debris flow hazard on alluvial fans in the Canadian Rocky Mountains. *Engineering Geology*, 7: 115-124.

KOSTASCHUK R.A., MCDONALD G.M., PUTNAM P.E. (1986) - Depositional process and alluvial fan-drainage basin morphometric relationships near Banff, Alberta, Canada. *Earth Surface Processes and Landforms*, 11: 471-484.

LAHOUSSE P. (1997) - L'apport de l'enquête historique dans l'évaluation des risques morphodynamiques. *Revue de Géographie Alpine*, 1 : 53-60.

LAHOUSSE P., ROMELE C. (2000) - Le Ravin des Sables (Hautes-Alpes, France) : une nouvelle source de risque dans la vallée de la Clarée. *Géographie Physique et Quaternaire*, 3 : 271-280.

LAHOUSSE P., SALVADOR P.G. (1998a) - La crue torrentielle du Bez (Hautes-Alpes, Briançonnais), 24 juillet 1995. *Geodinamica Acta*, 3 : 163-170.

LAHOUSSE P., SALVADOR P.G. (1998b) - Briançon, 24 juillet 1995 : autopsie et enseignements d'une catastrophe naturelle. *Mappemonde*, 50 : 8-12.

LAHOUSSE P., SALVADOR P.G. (1999) - Eléments de réflexion sur la prévisibilité des crues torrentielles du 24 juillet 1995 dans la vallée de la Guisane (Alpes françaises, Briançonnais). *Revue de Géographie Alpine*, 4 : 25-34.

LAHOUSSE P., SALVADOR P.G. (2002) – Comportement hydrogéomorphologique d'un torrent alpin depuis 1995 : l'exemple du Ravin des Sables (Hautes-Alpes, France). Actes du colloque « *Geomorphologie : from expert opinion to modelling* », CERG, Strasbourg, 167-174.

LAHOUSSE P., SALVADOR P.G. (2003) – Aléa et risque torrentiel dans le Briançonnais (Alpes françaises du Sud). *Cahiers de Géographie*, Université de Savoie, Centre Interdisciplinaire Scientifique de la Montagne, 1 : 191-201.

LAHOUSSE P., SALVADOR P.G. – Contribution de la topométrie à la connaissance de la dynamique torrentielle. L'exemple de la haute vallée de la Durance (Hautes-Alpes, France). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, soumis.

MARCHI L., BROCHOT S. (2000) - Les cônes de déjection torrentiels dans les Alpes françaises. Morphométrie et processus de transport solide torrentiel. *Revue de Géographie Alpine*, 3 : 23-38.

MARCHI L., PASUTO A., TECCA P.R. (1993) - Flow processes on alluvial fans in the Eastern Italian Alps. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 37: 447-458.

SURELL A. (1841) - *Etude sur les torrents des Hautes-Alpes*. Dunod, Paris, 603 pp.

Les cônes de déjection torrentiels de la vallée de la Clarée (Alpes du sud, France) Analyses morphométriques et topométriques

Gilles GARITTE et Lucas THENARD

UPRES EA 3339 - Laboratoire de Géomorphologie et Gestion des Milieux Naturels
Université des Sciences et Technologies de Lille
(gilles_garitte@hotmail.com)

Résumé :

Les cônes de déjection torrentiels constituent un lieu privilégié de l'étude de la dynamique torrentielle car ils correspondent à la fois aux zones de dépôts lors des crues torrentielles et aux principales zones d'aménagement en montagne. A travers l'étude d'une douzaine d'organismes torrentiels, le présent article cherche à mieux cerner les mécanismes à l'origine de la taille et de la forme des cônes de déjection de la vallée de la Clarée. Tout d'abord, l'analyse morphométrique, employée par de nombreux auteurs à travers le monde, a permis de déterminer le mode de transport dominant dans les différents torrents. De plus, la recherche de relations entre les différentes composantes morphométriques permet d'appréhender les principaux facteurs commandant la taille et la forme des cônes de déjection. Enfin, l'analyse topométrique a permis, grâce à une approche à échelle fine, de déterminer différents morphotypes de cônes de déjection avec des effets notables en terme de zones soumises aux crues torrentielles.

Mots-clés : cône de déjection, torrent, morphométrie, topométrie, Alpes du sud.

Abstract :

The alluvial fans constitute a privileged place for the study of debris flow dynamics because they correspond, at the same time, to the depositional area of the debris flow and to the principal place for human settlement in mountains. Through the study of a dozen torrents, the aim of this article is defining the mechanisms which are at the origin of the size and the shape of the alluvial fans of the valley of Clarée. First of all, the morphometric analysis, employed by many authors throughout the world, made it possible to determine the type of transport dominating in the various torrents. Moreover, the relations between the various morphometrics components make it possible to apprehend the principal factors controlling the size and the shape of the alluvial fans. Lastly, the topometric analysis allowed, thanks to an approach on fine scale, to determine various morphotypes of alluvial fans with notable effects in terms of areas subjected to torrential floods.

Key-words : alluvial fan, debris flow, morphometry, topometry, Southern Alps.

INTRODUCTION

Les cônes de déjection torrentiels ont été étudiés de longue date, et cela dès les premiers traités sur les torrents parus au XIX^{ème} (Surrel, 1870). Ils peuvent tout d'abord dévoiler de nombreux indices concernant la dynamique des torrents qui les ont mis en place. De plus, les cônes de déjection torrentiels ont été et demeurent le lieu privilégié de l'aménagement en montagne ; ainsi, une bonne compréhension des processus de transport et de dépôt des matériaux sur les cônes de déjection apparaît nécessaire à la gestion du risque torrentiel.

Cet article traite de l'analyse des cônes de déjection de la vallée de la Clarée qui se situent dans les Alpes du sud et plus précisément dans le Briançonnais (fig. 1). Les bassins versants élémentaires se développent principalement dans les calcaires dolomitiques et les brèches triasiques des nappes de charriage sub-briançonnaises. Par ailleurs, la vallée de la Clarée se trouve à proximité immédiate de la station de Serre-Chevalier. Elle connaît, depuis les années 1970, de profondes mutations socio-économiques liées à l'avènement du tourisme dans une vallée jusqu'alors préservée de toute infrastructure lourde (Benizri, 2000 ; Lahousse et al, 2003). Cette analyse s'attache à étudier les caractéristiques morphométriques et topométriques d'une douzaine d'organismes torrentiels de haute montagne qui se jettent dans la rivière principale entre 1608 et 1330 m d'altitude et dont les bassins versants culminent entre 2250 et 3058 m. Ces torrents sont principalement situés en basse vallée de la Clarée où les aménagements sont les plus nombreux (voies de communication, habitations, terrains de camping).

Le but de cet article est de confronter l'apport des analyses morphométrique et topométrique dans l'appréciation de la dynamique torrentielle et l'évaluation du risque torrentiel sur les cônes de déjection.

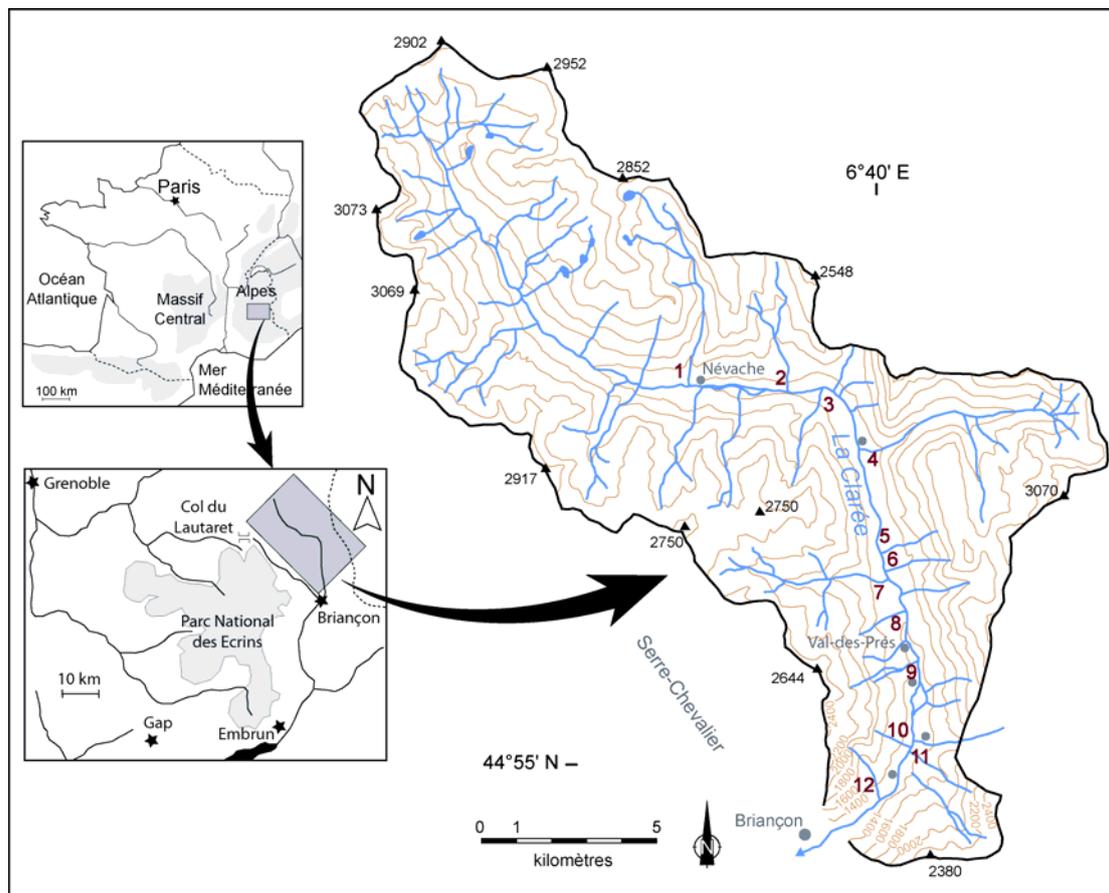


Figure 1 : localisation de la vallée de la Clarée

I. METHODOLOGIE

L'ANALYSE MORPHOMETRIQUE

En ce qui concerne l'analyse morphométrique, le procédé employé correspond aux méthodes développées à partir des années 60 aux Etats-Unis (Melton, 1965) et utilisées depuis par de nombreux auteurs : en Italie (Marchi et al 1993 ; Marchi et Tecca, 1995), au Canada (Kostaschuck et al, 1986 ; De Scally et al, 2001 ; Wilford et al, 2004), en France (Marchi et Brochot, 1995), en Nouvelle-Zélande (De Scally et Owens, 2004).

L'ensemble des mesures nécessaires à cette étude a été obtenu à partir des données cartographiques au 25000^{ème} de l'IGN, en utilisant le logiciel MapInfoTM.

Différents paramètres ont été relevés pour chaque organisme torrentiel :

S_{bv} (km²): surface planimétrique du bassin versant, c'est-à-dire à l'amont de l'apex du cône de déjection,

S_{cd} (km²): surface planimétrique du cône de déjection,

A_{max} (m): altitude maximale du bassin versant,

A_{min} (m): altitude minimale du bassin versant, c'est-à-dire l'apex du cône de déjection,

A_{con} (m): altitude de la confluence du torrent et de la Clarée (rivière principale),

L_{val} (km) : largeur de la vallée,

L_{cd} (km) : longueur radiale du cône,

P_{cd} (°) : pente moyenne du cône de déjection.

Ces paramètres ont permis de calculer le coefficient de rugosité du bassin versant de chaque torrent, selon la méthode de Melton :

$$M_{bv} = \left(\frac{A_{max} - A_{min}}{1000} \right) / \sqrt{S_{bv}}$$

Cet indice de rugosité développé par Melton dans son étude des cônes de déjection de l'Arizona (Melton, 1965), correspond à la dénivelée spécifique. Il s'agit du rapport de la dénivelée du bassin versant, divisée par la racine carré de la superficie du même bassin versant. L'ensemble des caractéristiques morphométriques des organismes torrentiels étudiés en vallée de la Clarée est présenté dans le tableau 1.

Torrent	n° fig. 1	S_{bv}	S_{cd}	A_{max}	A_{min}	A_{con}	L_{val}	L_{cd}	P_{cd}	M_{bv}
Du Vallon *	1	10,62	0,056	2980	1665	1608	0,61	0,29	8,7	0,40
Du Roubion *	2	5,09	0,933	2686	1670	1577	1,05	0,98	4,2	0,45
Du Creuzet *	3	3,78	0,872	2646	1640	1538	0,97	0,80	6,3	0,51
Des Acles *	4	21,37	0,072	3056	1500	1472	0,47	0,35	3,6	0,34
Des Sables #	5	0,82	0,285	2668	1540	1431	0,64	0,55	8,9	1,24
De la Pinatelle #	6	1,22	0,360	2663	1540	1412	0,77	0,59	9,7	1,02
Du Granon *	7	12,89	0,142	2882	1455	1409	0,89	0,43	4,8	0,40
Des Gamattes *	8	0,95	0,597	2326	1520	1397	0,86	0,75	7,3	0,83
De la Ruine #	9	1,16	0,365	2554	1455	1377	0,65	0,47	7,4	1,02
De l'Enrouye #	10	0,23	0,253	2250	1470	1359	0,74	0,47	10,5	1,60
Des Ruines #	11	1,26	0,422	2565	1465	1357	0,94	0,72	6,7	0,98
De Malefosse *	12	1,63	0,581	2567	1475	1330	0,94	0,45	7,6	0,86

Tableau 1 : caractéristiques morphométriques des torrents de la vallée de la Clarée
(type de transport dominant : # torrents à laves ; * torrents à comportement mixte)

L'ANALYSE TOPOMETRIQUE

Si les premiers levés topométriques développés dès la fin du XIX^{ème} siècle manquaient de précision, la présente étude est basée sur l'utilisation d'un tachéomètre infrarouge qui permet d'effectuer des levés de terrain très précis. Différents types de mesures peuvent être effectués pour cerner la mise en place et la dynamique des torrents : profil en long et en travers, modèles numériques de terrain... (Lahousse et al, soumis), mais notre analyse se limitant aux cônes de déjection, est principalement fondée sur l'examen de nombreux profils en travers.

II. APPLICATION DE LA METHODE D'ANALYSE MORPHOMETRIQUE AUX TORRENTS DE LA CLAREE

LES RELATIONS ENTRE LE COEFFICIENT DE MELTON ET LA PENTE DU CONE DE DEJECTION

La relation entre le coefficient de Melton (c'est-à-dire la dénivelée spécifique) et la pente du cône de déjection est une relation classique élaborée pour la première fois en 1965 dans l'étude de la mise en place des cônes de déjection en milieu aride (Melton, 1965). Depuis, de nombreuses études ont été effectuées dans différentes régions en confrontant les observations géomorphologiques et historiques à l'analyse morphométrique (Marchi et al, 1993; Marchi et Tecca, 1995 ; Marchi et Brochot, 2000 ; De Scally et Owens, 2004). Ces dernières semblent démontrer la possibilité de déterminer le type de transport dominant dans un organisme torrentiel, grâce à la relation entre la pente du cône de déjection et le coefficient de rugosité de Melton. Les auteurs distinguent ainsi les torrents à charriage, les torrents à laves et les torrents à comportement mixte (fig. 2). Il apparaît néanmoins difficile de classer de façon formelle les organismes torrentiels dans une catégorie selon le mode de transport car les observations et mesures effectuées sur différents torrents de la Clarée ont clairement prouvées que dans des torrents dits à laves, les transports par charriage ne sont pas inexistant, et cela même au cours d'épisodes de crues générant des laves torrentielles (Lahousse et al, 2002 ; Lahousse et al, soumis). Pourtant, les nombreuses observations et mesures menées en vallée de la Clarée (une quinzaine de profils en long complétés par plus de 200 profils en travers) ainsi que l'étude des différentes archives disponibles (archives départementales, municipales et RTM), et malgré les limites inhérentes à l'utilisation de sources historiques (Lahousse, 1997 ; Tropéano et Turconi, 2004), permettent de classer les torrents étudiés selon la classification généralement admise. La vallée de la Clarée comporte ainsi 5 torrents à laves et 7 torrents à comportement mixte, mais cette classification ne correspond donc qu'à un mode de transport dominant et non exclusif (tableau 1).

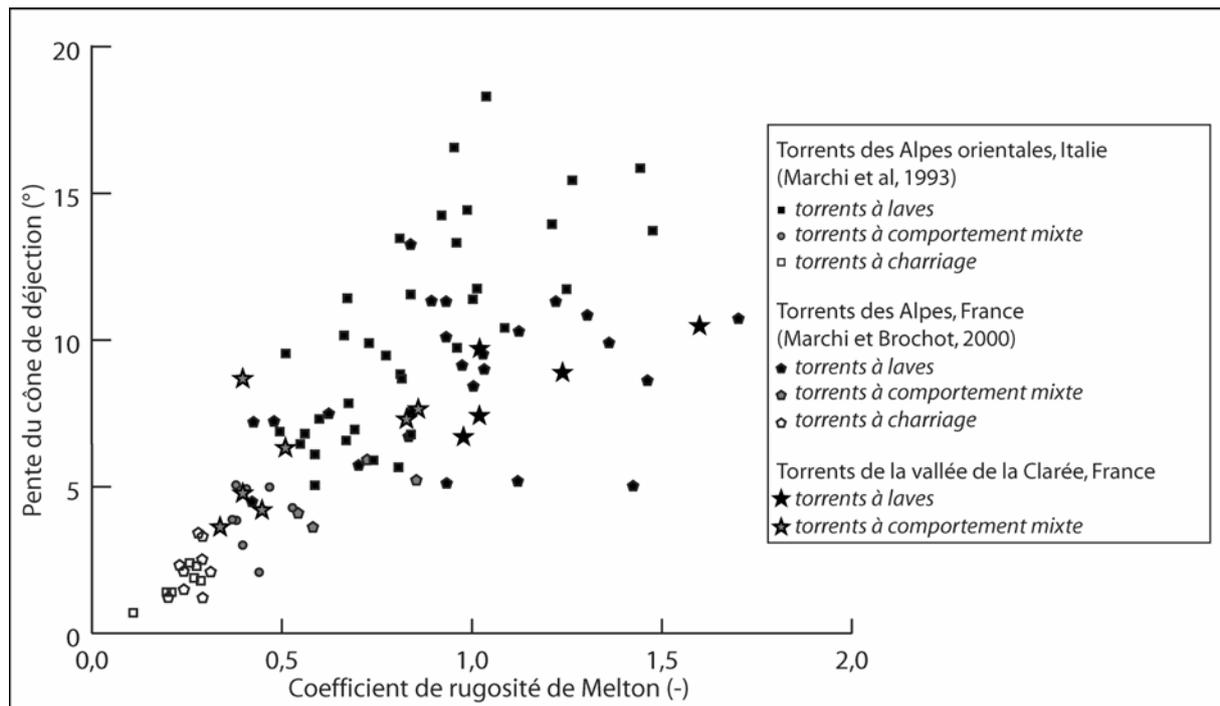


Figure 2 : relations entre P_{cd} et M_{bv} pour différents torrents des Alpes

A échelle des Alpes, on constate qu'il y a effectivement une relation entre les caractéristiques morphométriques P_{cd} et M_{bv} des torrents et le mode de transport dominant observé. En effet, en règle générale, les torrents où dominent les transports par laves torrentielles possèdent une pente du cône de déjection et un coefficient de rugosité plus élevés que les torrents à comportement mixte ou à transport dominant par charriage. Pourtant, il apparaît en figure 2 qu'il est difficile d'établir des limites précises entre les torrents selon leur mode de transport dominant à partir des caractéristiques morphométriques.

L'ANALYSE MORPHOMETRIQUE A L'ECHELLE DE LA VALLEE DE LA CLAREE

L'analyse des relations entre les différents paramètres morphométriques permet de déterminer les principaux facteurs à l'origine de la taille et de la forme des cônes de déjection. Ainsi, il existe un lien entre la pente du cône de déjection et le type de transport dominant dans le torrent (Marchi et al, 1993). Au sein de la vallée de la Clarée on peut effectivement observer que les torrents à transport dominant par laves torrentielles possèdent, en moyenne, un cône de déjection plus pentu (entre $6,7^\circ$ et $10,5^\circ$ pour une moyenne de $8,6^\circ$) que les torrents à comportement mixte (entre $3,6^\circ$ et $8,7^\circ$ pour une moyenne de $6,1^\circ$). Mais, au delà des moyennes, on remarque aussi que les cônes de déjection compris entre $6,7^\circ$ et $8,7^\circ$ correspondent à la fois à des torrents à laves et à torrents à comportement mixte, limitant d'autant l'application d'une observation vérifiée à l'échelle des Alpes ou d'une vallée telle que celle de la Clarée pour l'étude d'un torrent en particulier.

Par ailleurs, l'analyse de la taille des bassins versants (S_{bv}) et de la superficie des cônes de déjection qui leur sont associés (S_{cd}) souligne que, contrairement à ce qui a été observé dans d'autres régions de montagne (Calvache et al, 1997), il n'existe pas en vallée de la Clarée de relation significative entre ces deux paramètres ($r = -0,477$).

En fait, si pour la plupart des organismes de la Clarée il semble effectivement y avoir une relation entre S_{bv} et S_{cd} , on remarque paradoxalement que les torrents possédant les plus larges bassins versants (torrents du Vallon, des Acles et du Granon) ont édifié des cônes de déjection parmi les plus restreints de la vallée (fig. 3).

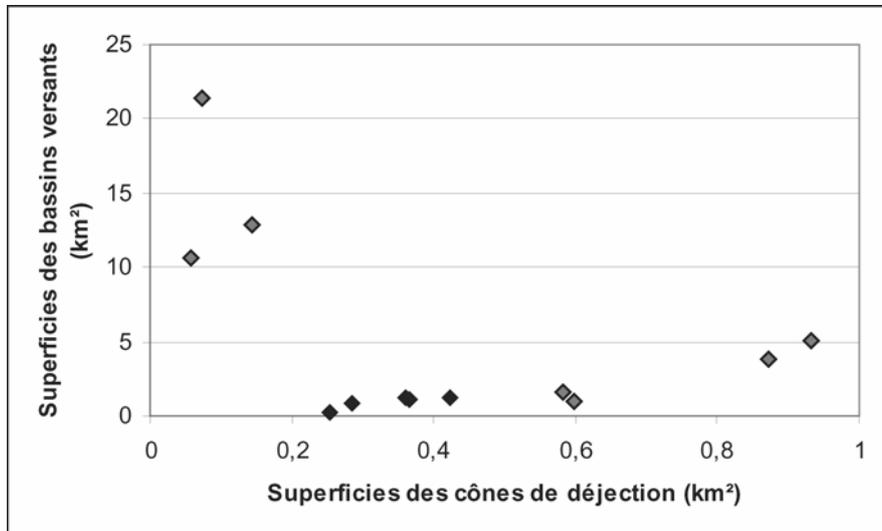


Figure 3 : relations entre S_{bv} et S_{cd} pour les torrents de la Clarée
les torrents à comportement mixte apparaissent en gris

Ce paradoxe ne traduit pourtant pas une dynamique distincte des organismes possédant un plus large bassin versant, mais il est l'illustration du rôle déterminant joué par les conditions topographiques locales. En effet, ces trois torrents confluent avec la Clarée dans des secteurs où le resserrement de la vallée a largement limité l'extension des cônes de déjection (fig. 4).

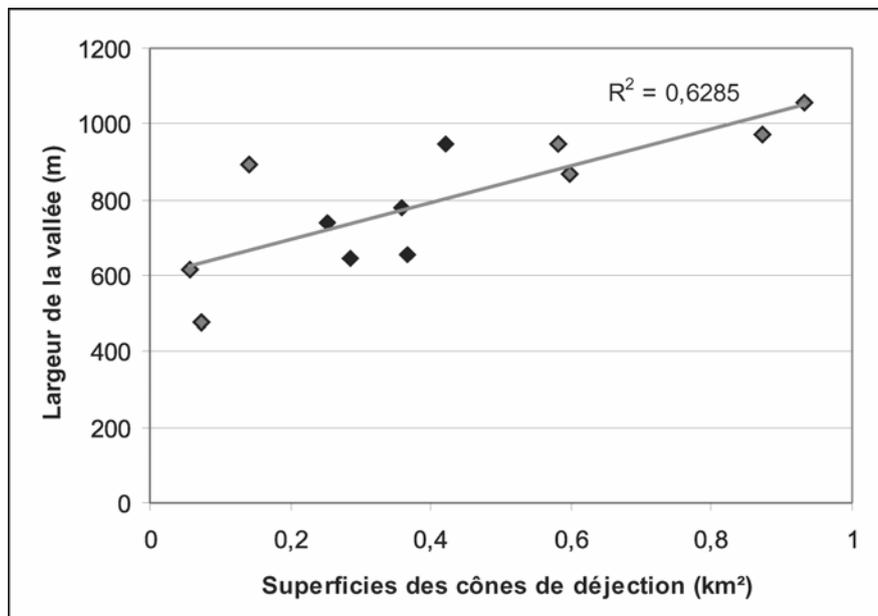


Figure 4 : relations entre L_{val} et S_{cd} pour les torrents de la Clarée
les torrents à comportement mixte apparaissent en gris

Enfin, le calcul de la relation statistique entre les différents paramètres morphométriques pris en considération (tableau 2) montre que la pente des cônes de déjection est principalement influencée par les caractéristiques du bassin versant M_{bv} et S_{bv} . Alors que la superficie ou la longueur radiale de ces mêmes cônes de déjection sont quant à elles en relations fortes avec la largeur de la vallée principale (L_{val}).

	S_{bv}	M_{bv}	P_{cd}	S_{cd}	L_{cd}	L_{val}
S_{bv}		-0,737	-0,654	-0,477	-0,511	-0,443
M_{bv}			0,774	-0,078	-0,001	-0,086
P_{cd}				-0,204	-0,186	-0,183
S_{cd}					0,937	0,793
L_{cd}						0,854
L_{val}						

Tableau 2 : Coefficients de corrélation de Pearson r entre les paramètres morphométriques des torrents de la Clarée (n=12).

En gras apparaissent les relations significatives pour un indice de confiance $p < 0,05$.

La pente et la superficie des cônes de déjection sont donc des paramètres commandées à la fois par les caractéristiques du bassin versant à l'origine du type de transport dominant (Crosta et Frattini, 2004) et par les caractéristiques de la vallée principale dont la largeur est déterminante pour expliquer la superficie des cônes de déjection.

III. L'ANALYSE TOPOMETRIQUE

Les profils en travers levés au tachéomètre sur les cônes de déjection des torrents de la Clarée mettent en évidence la diversité de situations rencontrées au sein même d'une vallée de taille relativement réduite (environ 204 km²). Ainsi, il est possible de distinguer trois grands morphotypes de cône de déjection :

- 1 - les torrents incisés dans leur cône de déjection (fig. 5A),
- 2 - les torrents chenalisés sur leur cône de déjection (fig. 5B),
- 3 - les torrents divagants sur leur cône de déjection (fig. 5C).

Il apparaît que les torrents incisés dans leur cône de déjection sont associés à de larges bassins versants et se caractérisent par un comportement mixte. Cette incision est ancienne comme en témoigne les terrasses héritées de la péjoration climatique du Petit Age de Glace (fig. 5A). Les torrents chenalisés correspondent, d'une part, à des torrents ayant émis une importante lave torrentielle et possédant désormais un chenal circonscrit entre deux bourrelets torrentiels, d'autre part, à des torrents ayant fait l'objet d'aménagements de correction torrentielle sous forme de digues ; dans ce deuxième cas, il s'agit d'organismes actifs menaçant des enjeux anthropiques (zones agricoles, habitations, voies de communication...). Enfin, le troisième morphotype, correspond à des torrents qui ne possèdent pas de chenal fixe mais qui divaguent sur leur cône de déjection.

La situation d'un torrent sur son cône de déjection dépend donc de deux facteurs naturels principaux :

- l'existence ou non d'un écoulement au moins saisonnier responsable de l'incision du torrent ;
- la probabilité de survenue d'une crue basse fréquence-haute magnitude (BFHM) (Arnaud-Fassetta et Fort, 2004) pouvant édifier de larges bourrelets torrentiels.

Ces différences de morphotype vont jouer un rôle capital en terme d'aléa. En effet, les zones d'épandage potentiel des crues seront très différentes selon les cas :

- Restreintes par l'incision dans le cas des torrents incisés dans leur cône de déjection. Dans la vallée de la Clarée cette incision, qui atteint 7 à 8 mètres (fig. 5A), limite naturellement les zones d'épandage potentiel lors des crues hautes fréquences-basses magnitudes (HFBM) (Arnaud-Fassetta et Fort, 2004).

Malgré cela, des aménagements inopportunément construits dans le lit du torrent comme les ponts peuvent favoriser les embâcles et les débordements dans le cas d'une crue BFHM.

- Pour les torrents chenalisés les zones d'épandage potentiel sont a priori limitées sur le cône de déjection par les bourrelets ou les digues qui auront tendance à favoriser le transit des matériaux vers l'aval en augmentant d'autant le risque d'embâcle de la rivière principale. Mais la probabilité d'une crue BFHM submergeant ou endommageant les digues ou les bourrelets n'est pas à exclure, dans ce cas c'est l'ensemble du cône de déjection qui est potentiellement soumis à un risque d'épandage torrentiel.

- Pour les torrents divagants les zones d'épandage potentiel sont étendues à l'ensemble du cône, y compris même lors des crues HFBM qui sont le plus souvent peignées par la végétation forestière qui se développe sur les cônes de déjection.

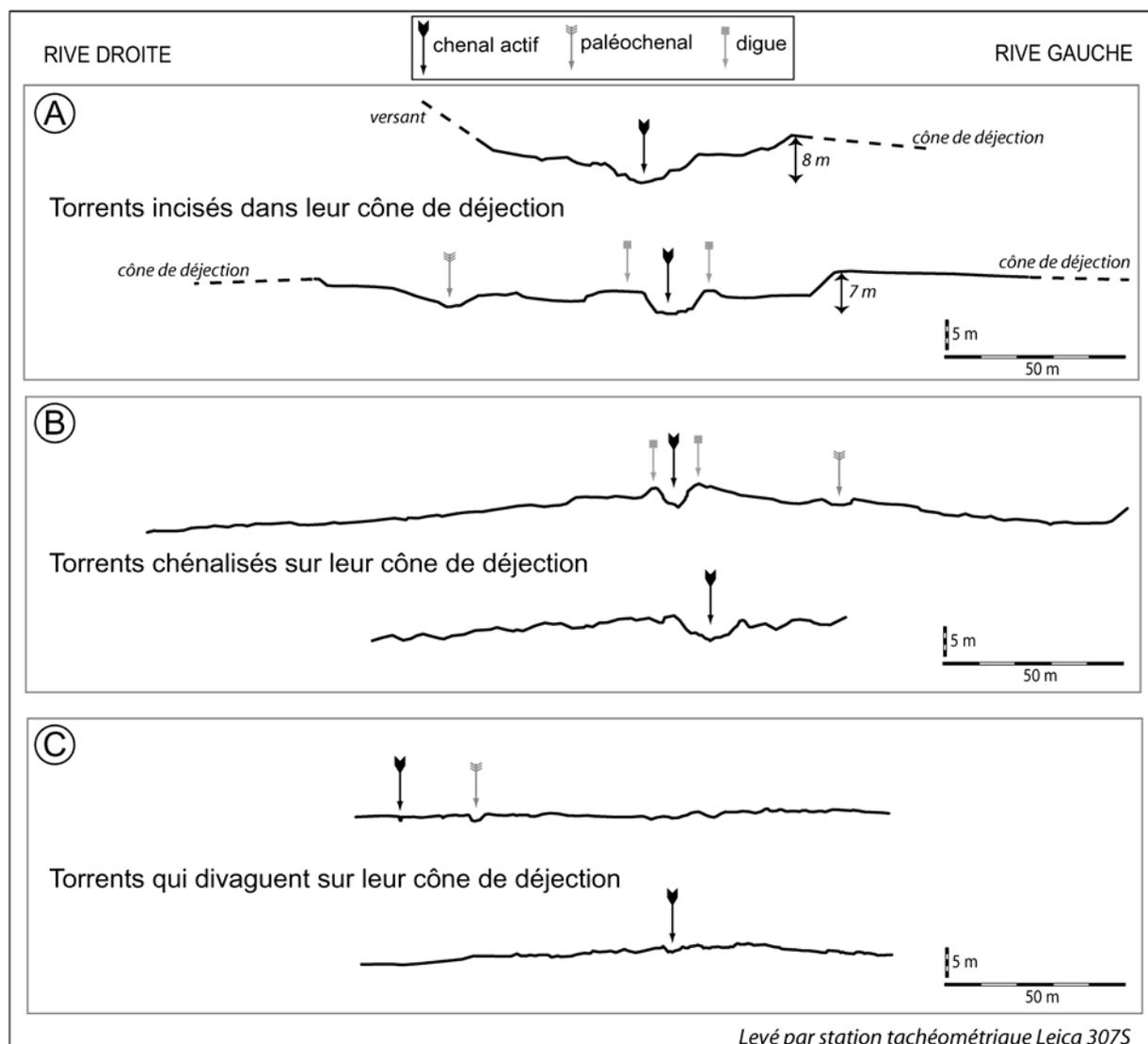


Figure 5 : Les différents morphotypes de cône de déjection torrentiel en vallée de la Clarée

CONCLUSION

L'analyse morphométrique, même si elle se concentre sur l'étude d'une forme en partie héritée (le cône de déjection), permet à l'aide d'outils simples de déterminer, en règle générale, le type de transport dominant dans un torrent. Or, si l'analyse morphométrique est une méthode de diagnostic fiable des modes de transport dominants à échelle régionale, elle ne permet pas d'évaluer la dangerosité d'un torrent. Par ailleurs, les résultats de cette étude tendent aussi à démontrer l'importance de la topographie locale pour expliquer la taille ou la forme des cônes de déjection : il apparaît que la superficie des cônes de déjection est largement influencée par la largeur de la vallée et la pente par le coefficient de rugosité de Melton (la dénivelée spécifique) du bassin versant.

La notion d'échelle spatiale est primordiale dans l'appréciation de la dangerosité d'un torrent : les observations effectuées à échelle régionale sur un grand nombre de torrents ne permettent pas de définir les caractéristiques ou le comportement d'un organisme en particulier. L'analyse topométrique démontre l'intérêt d'une étude in situ, à échelle fine et individuelle des torrents pour en déterminer la dangerosité. En effet, des organismes torrentiels se développant dans le même environnement géologique, sous un climat identique et connaissant le même type de transport dominant, peuvent néanmoins mettre en place des cônes de déjection caractérisés par des morphotypes très différents, avec des conséquences importantes en terme d'aléa torrentiel.

Si la notion d'échelle spatiale apparaît donc déterminante dans l'analyse de la dangerosité d'un torrent, l'échelle temporelle est aussi fondamentale car, selon l'échelle de temps étudiée, la morphologie d'un torrent va plus ou moins évoluer. Ainsi, à échelle historique, les torrents de la vallée de Clarée et en particulier leurs cônes de déjection, ont connu d'importants changements. Ces modifications de la morphologie des torrents sous l'influence des fluctuations climatiques et de l'évolution des facteurs anthropiques qui se traduit entre autre par la rétraction de la bande active des organismes torrentiels des Alpes sont mesurables grâce à l'utilisation des photographies aériennes depuis le milieu du XX^{ème} siècle (Flez et Garitte, 2005). Mais les modifications dans la morphologie des torrents peuvent aussi avoir lieu sur des échelles de temps beaucoup plus fines car le morphotype d'un torrent n'est pas figé dans le temps et peut évoluer lors d'un unique épisode de crue. Lors d'une crue BFHM un torrent divaguant peut se retrouver circonscrit par des bourrelets torrentiels qui affectent dès lors de façon importante la dynamique et la dangerosité du torrent comme se fut le cas pour le Ravin des Sables lors de la crue du 24 juillet 1995 (Lahousse et Romelé, 2000). De même, une crue BFHM peut aussi démanteler les bourrelets qui chenalisent un torrent ; cela pourrait aboutir au passage d'un morphotype chenalisé à un morphotype divaguant avec les effets que cela suppose en terme d'aléa torrentiel.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Mr Philippe Lahousse pour ses remarques pertinentes et constructives.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ARNAUD-FASSETTA G., FORT M., (2004) - La part respective des facteurs hydro-climatiques et anthropiques dans l'évolution récente (1956-2000) de la bande active du Haut-Guil, Queyras, Alpes françaises du sud. *Méditerranée*, tome 102 ; pp. 143-146.

BARDOU E., (2002) - *Méthodologie de diagnostics des laves torrentielles sur un bassin versant alpin*. Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne ; 188 p.

- BENIZRI C., (2000) - *L'aménagement d'une vallée préservée des Alpes du sud : la vallée de la Clarée*. Mémoire d'IEP, Université de Bordeaux 4 ; 223 p.
- BONNET STAUB I., (1998) - *Mécanismes d'initiation des laves torrentielles dans les Alpes françaises, contribution à la maîtrise des risques*. Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, 2 volumes, 391 p.
- CALVACHE M.L., VISERAS C., FERNANDEZ J., (1997) - Controls on fan development – evidence from fan morphometry and sedimentology ; Sierra Nevada, SE Spain. *Geomorphology*, t. 21 ; pp. 69-84.
- CROSTA G.B., FRATTINI P., (2004) - Controls on modern alluvial fan processes in the central Alps, northern Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 29 ; pp. 267-293.
- DE SCALLY F.A., OWENS I.F., (2004) - Morphometric controls and geomorphic responses on fans in the southern Alps, New Zealand. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 29 ; pp. 311-322.
- DE SCALLY F.A., SLAYMAKER O., OWENS I.F., (2001) - Morphometric controls and basin response in the Cascade Mountains. *Geografiska Annaler*, vol. 83A, n°3 ; pp. 117-130.
- FLEZ C., GARITTE G., (2005) - Contribution à la connaissance des facteurs responsables de la rétraction contemporaine des bandes actives torrentielles ; tentative de régionalisation à travers l'exemple de quatre bassins versants élémentaires (Ubaye et Haute Durance). *Actes du colloque « L'érosion entre société, climat et paléoenvironnement » Clermont-Ferrand 25-27 mars 2004*, sous presses.
- KOSTASCHUCK R.A., MACDONALD G.M., PUTMAN P.E., (1986) - Depositional process and alluvial fan-drainage basin morphometric relationships near Banff, Alberta, Canada. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 11 ; pp. 471-484.
- LAHOUSSE P., (1997) - L'apport de l'enquête historique dans l'évaluation des risques morphodynamiques : l'exemple de la vallée de la Guisane (Hautes-Alpes, Briançonnais). *Revue de Géographie Alpine*, n° 1, p. 53-60.
- LAHOUSSE P., ROMELE C., (2000) - Le Ravin des Sables (Hautes-Alpes, France) : un nouveau risque torrentiel dans la vallée de la Clarée. *Revue de Géographie Physique et Quaternaire*, n°1 ; pp. 271-280.
- LAHOUSSE P., GARITTE G., THENARD L., (2003) - Aléa et risque torrentiel dans le Briançonnais (Alpes françaises du sud). *Cahiers de Géographie*, n°1, collection EDYTEM, Université de Savoie ; pp. 191-201.

- LAHOUSSE P., SALVADOR P.G., FLEZ C., (2002) - Comportement hydrogéomorphologique d'un torrent alpin depuis 1995 : l'exemple du Ravin des Sables (Hautes-Alpes, France). In « *Geomorphology: from expert opinion to modelling* », éd. CERG, Strasbourg, pp. 167-174.
- LAHOUSSE P., GARITTE G., SALVADOR P.G., Contribution de la topométrie à la connaissance de la dynamique torrentielle. L'exemple de la haute vallée de la Durance (Hautes-Alpes, France). Soumis à *Géomorphologie : relief, processus, environnement*.
- MARCHI L., BROCHOT S., (2000) - Les cônes de déjection torrentiels dans les Alpes françaises – Morphométrie et processus de transport solide torrentiel. *Revue de Géographie Alpine*, n°3 ; pp. 23-35.
- MARCHI L., TECCA P.R., (1995) - Alluvial fans of the Eastern Italian Alps : morphometry and depositional processes. *Geodinamica Acta*, 8, 1 ; pp. 20-27.
- MARCHI L., PASUTO A., TECCA P.R., (1993) - Flow processes on alluvial fans in the Eastern Italian Alps. *Zeitschrift für Geomorphologie*, vol. 37, n°4 ; pp. 447-458.
- MELTON M.A., (1965) - The geomorphic and paleoclimatic significance of alluvial deposit in Southern Arizona. *Journal of Geology*, vol 73 ; pp. 1-38.
- SURELL A., (1870) - *Etude sur les torrents des Hautes-Alpes*. 2ème édition, 2 tomes avec une suite de CEZANNE E., Dunod, Paris ; 699 p.
- TROPEANO D., TURCONI L., (2004) - Using historical documents for landslide, debris flow and stream flood prevention in Northern Italy. *Natural Hazards*, n°31 ; pp. 663-679.
- WILFORD D.J., SAKALS M.E., INNES J.L., SIDLE R.C., BERGERUD W.A., (2004) - Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. *Landslides*, n°1 ; pp. 61-66.

La Crue de la rivière torrentielle Clarée du 15 octobre 2000 (Hautes-Alpes. France)

Lucas THENARD et Gilles GARITTE

UPRES EA 3339 – Laboratoire de Géomorphologie et Gestion des Milieux Naturels
(lucas.thenard@voila.fr)

Résumé :

La vallée de la Clarée fut, jusque très récemment, la plus enclavée et la plus discrète des vallées du Briançonnais. Longtemps exclues, et donc, préservées du tourisme de masse et de ces aménagements, les communes de la vallée de la Clarée ont récemment optées en faveur d'un développement touristique « maîtrisé » [LAHOUSSE, GARITTE, THENARD ; 2003] ; ceci pour conserver et valoriser l'image d'un environnement préservé et une authenticité montagnarde inscrite dans ses traditions et ses paysages [THENARD – 2002]. Aujourd'hui, la vallée de la Clarée est un des fleurons du tourisme « vert » du Briançonnais, et le développement touristique, d'abord balbutiant, se présente désormais comme une véritable reconversion économique pour les communes de Névache et Val-des-Prés [LAHOUSSE, GARITTE, THENARD ; 2003].

Dans cette vallée, les crues violentes et récurrentes de torrents tel que « le Malefosse », « la Pinatelle » ou encore « le Roubion » ont, depuis toujours inspiré aux populations riveraines une grande méfiance à l'égard de ces organismes torrentiels particulièrement actifs. En revanche, l'aléa inondation par la rivière torrentielle de fond de vallée, la Clarée, est quant à lui bien plus négligé car nettement moins récurrent. Depuis une trentaine d'années, et même si le développement des infrastructures touristiques apparaît comme relativement limité, des implantations parfois hasardeuses comme 3 camps de camping en bordure immédiate de la rivière génèrent une vulnérabilité croissante.

En effet, des précédents historiques prouvent que les crues de la Clarée pouvaient être particulièrement destructrices, et engendrer des impacts financiers conséquents pour les communes. D'ailleurs, le 15 octobre 2000, suite à des retours d'Est (« coup de Lombarde ») la Clarée est entrée en crue. Plus préoccupante que dommageable, cet évènement a au moins eu le mérite de rappeler que la morphodynamique de cette rivière torrentielle était loin d'être annihilée, et donc que le risque de submersion des camps de camping était avéré...

Mots-clés : Briançonnais, basse vallée de la Clarée, risques naturels, crues torrentielles.

Introduction

Nichée au cœur de l'arc alpin occidental, la vallée de la Clarée est la vallée la plus septentrionale des Hautes-Alpes. Proche de Briançon et adjacente à la vallée de la Guisane (station de Serre-Chevalier), la Clarée s'étire sur une trentaine de kilomètres, et s'écoule à travers les communes de Névache, Val des Prés (*hameaux de Pra Premier, Le Rosier et La Vachette*) et Montgenèvre (*par le hameau des Alberts*) [fig. 1.a et 1.b].

Si ce secteur est depuis toujours un point de passage privilégié pour l'Italie, grâce aux cols de Montgenèvre et de l'Echelle, la Clarée est tout de même longtemps restée la plus enclavée des vallées du Briançonnais. Jadis à la traîne du développement touristique, la vallée de la Clarée est aujourd'hui l'un des fleurons du tourisme « vert » en Briançonnais. Désormais, elle peut se targuer de l'image d'une nature préservée et d'une authenticité montagnarde inscrite dans ses traditions et ses paysages. En effet, les communes de la Clarée préservées du tourisme de masse – de ces aménagements mais aussi de ces investissements – ont fait le choix d'un développement touristique « maîtrisé », en favorisant les camps de campings et l'habitat traditionnel [LAHOUSSE, GARITTE, THENARD; 2003.].

Ce caractère « sauvage » tient également en grande partie à la dynamique de son milieu, et tout comme celles de son illustre voisine, les communes de la Clarée ont depuis toujours été soumises à un certain nombre d'aléas naturels, et, en particulier, aux crues torrentielles.

Si le risque généré par les crues récurrentes des torrents du « Le Malefosse », de la « Pinatelle », et plus récemment du « Ravin des Sables » [LAHOUSSE & SALVADOR ; 1998. LAHOUSSE & ROMELE ; 2000. LAHOUSSE & al ; 2002. LAHOUSSE & al ; 2003], est un fait établi, connu, et depuis peu étudié, le risque d'inondation torrentielle par la rivière principale est resté, jusqu'en octobre 2000, bien plus négligé.

La basse vallée regroupe trois camps de campings immédiatement en bordure de la rivière ; ce mode d'hébergement se présente comme une alternative aux aménagements lourds des grandes stations touristiques. La création entre 1970 et 1990 de ces campings s'est effectuée pour mieux contrôler le flux touristique croissant et souvent anarchique de la période estivale.

Or, si la proximité de la rivière est un atout touristique majeur, elle se présente également comme un élément de vulnérabilité indiscutable. Loin d'être une vue de l'esprit, cette affirmation s'est d'ailleurs confirmée le 15 octobre 2000 lorsque la Clarée est entrée en crue, provoquant peu de dégâts, mais rappelant qu'elle est avant tout, une rivière torrentielle dont la morphodynamique est essentiellement régie par ses crues [THENARD ; 2002]...

L'enjeu est donc de taille pour ces communes, car se priver des retombées socio-économiques du tourisme est désormais inconcevable ; mais, la réalité d'une vulnérabilité croissante et une tolérance aux aléas naturels de plus en plus restreinte, font de la gestion des risques un élément presque incontournable de tout projet de développement...

Contextes géographiques et hydrologiques de la basse vallée de la Clarée.

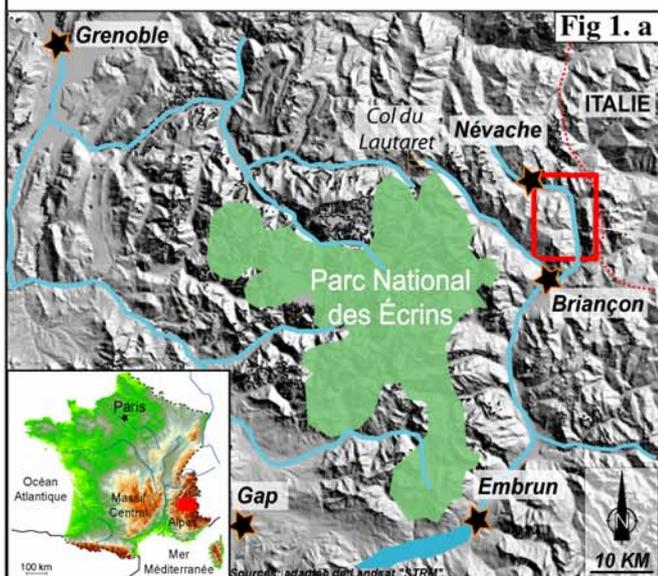
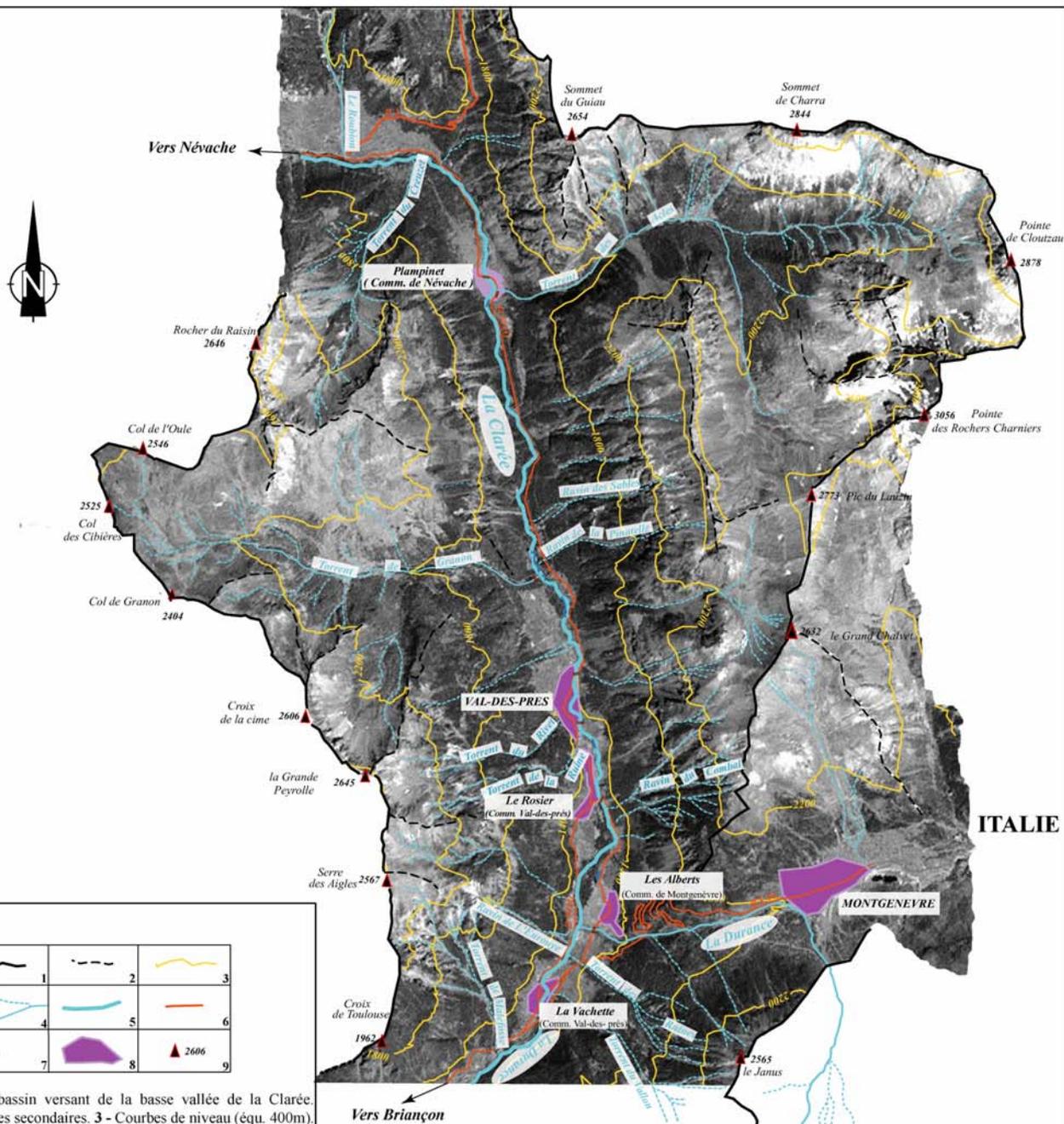


Fig 1. b



Légende :

1	2	3
4	5	6
7	8	9

- 1 - Limites du bassin versant de la basse vallée de la Clarée.
- 2 - Lignes de crêtes secondaires.
- 3 - Courbes de niveau (équ. 400m).
- 4 - Organismes torrentiels.
- 5 - Rivière de fond de vallée (La Clarée).
- 6 - Routes principales.
- 7 - Ponts & passerelles.
- 8 - Villages et hameaux.
- 9 - Principaux sommets de lignes de crête.

I. La Clarée au cœur du Briançonnais

CONTEXTE HYDRO GEOMORPHOLOGIQUE DE LA BASSE VALLEE DE LA CLAREE

La vallée de la Clarée se situe dans la zone interne des Alpes franco piémontaises, sous le 45^{ème} parallèle (BLAIS, 1979). Avec ses 200 km² de bassin versant, ses 1290 mètres de dénivelé et une pente moyenne de 3,8% (FANTHOU, 1994), la Clarée peut se classer parmi les rivières torrentielles de moyenne montagne. Prenant sa source dans le massif des Rochilles (2650 mètres), elle chemine tout d'abord d'ouest en est sur la commune de Névache (environ 20 Km), puis bifurque brusquement à la hauteur de Plampinet, pour s'écouler du nord au sud dans la Basse vallée, sur une dizaine de kilomètres (commune de Val des Prés).

La Clarée est un affluent direct de la Durance, la confluence s'effectuant entre le hameau du Rosier et celui de la Vachette. Plus exactement, il nous faut remarquer que, dévalant le col de Montgenèvre, la Durance, loin de ressembler à une rivière, est en fait un petit torrent aussi discret que bucolique. Donc, géomorphologiquement parlant, la Durance est un affluent de la Clarée ! Cette aberration géographique remonte à l'Antiquité et a perduré jusqu'à nos jours, car la brèche topographique naturelle du col de Montgenèvre vers les contrées lombardes, en fait une position éminemment stratégique (Fig. 1.a & 1.b)

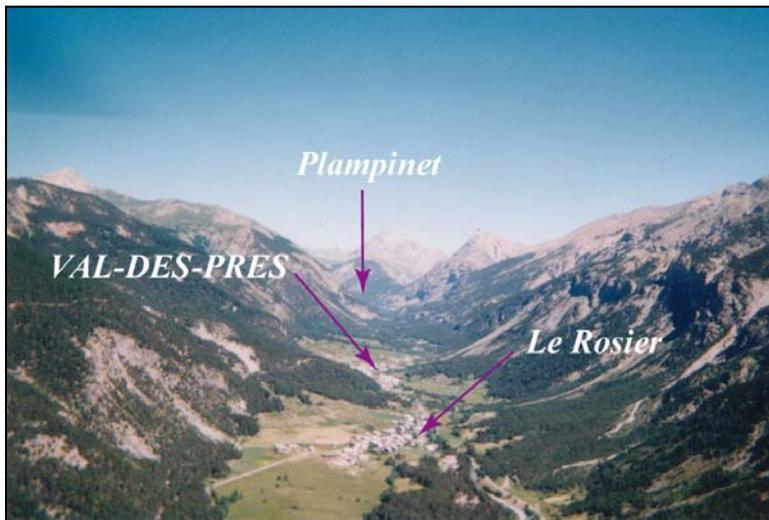


Photo n° 1

A l'instar de la plupart des vallées alpines, l'empreinte des glaciations quaternaires marque profondément les paysages de l'ensemble de la vallée, tant par l'importance des dépôts que par les modèles d'érosion. En effet, les moraines et autres tabliers d'éboulis sont autant de sources sédimentaires pour les organismes torrentiels.

De ce fait, la vallée de la Clarée dispose d'une classique forme en auge et d'un encaissement sévère qui s'exprime par la raideur extrême de ces versants (LAHOUSSE, ROMELE ; 2000). [Cf. photo n°1]

Cette vallée étroite se caractérise aussi et surtout, sur ces versants, par la densité des organismes torrentiels. Tout au long de l'holocène, ces torrents ont édifié des cônes de déjections, parfois suffisamment vastes, pour contraindre la rivière de fond de vallée, et donc le style fluvial (THENARD -2002). (Fig. 1.b)

Au l'échelle régional et sur le plan géologique, la vallée de la Clarée fait partie de la zone briançonnaise. Globalement, les terrains de la haute vallée se composent pour beaucoup de séries du Carbonifère (grès et conglomérats du houiller) ; tandis que la moyenne et la basse vallée se caractérisent par une prédominance des substratums du Mésozoïque inférieur et moyen (Trias et Jurassique). En fait, ces assises se subdivisent en nappes superposées et les déformations liées au charriage expliquent la grande complexité des affleurements (LAHOUSSE, ROMELE ; 2000).

En simplifiant, jusqu'à 2000 mètres d'altitude, les séries triasiques caractérisent assez largement le cadre géologique de la basse vallée.

Caractéristiques climatiques et hydrologiques

La vallée de la Clarée occupe une position refuge car elle s'abrite entre le Massif des Ecrins à l'ouest et les contreforts Lombards à l'est. En effet, les climatologues s'accordent à parler, pour la Haute Durance, d'une zone de transition à influence méditerranéenne et à tendance continentale. Ce climat se caractérise essentiellement par la sécheresse intra alpine et par l'extrême variabilité inter annuelle des précipitations (BARAILLE, 2001). En outre, l'influence prédominante est probablement celle d'origine méditerranéenne, qui remonte « loin vers le nord grâce à l'ensellement Durancien » (PEGUY, 1947). Notons tout de même, que la vallée de la Clarée peut être touchée par « un coup de lombarde » grâce aux échancrures du col de Montgenèvre et du col de l'Echelle (*retours d'est d'origine méditerranéenne*).

Pour résumer, le climat du Briançonnais et de la vallée de la Clarée se caractérise par un « essoufflement des systèmes pluvieux » (BARAILLE, 2001), d'où une continentalité assez marquée. Cette position d'abri fait même de Névache la commune la plus continentale et la plus froide du département des Hautes Alpes.

A Briançon, sur la période 1951-2003, la moyenne pluviométrique annuelle est de 784 mm, mais elle se caractérise par une grande variabilité inter annuelle. Celle-ci trouve son origine dans la position géographique de la vallée, à la transition des influences océaniques, méditerranéennes et continentales. Sur la même période (1951-2003), le régime pluviométrique se caractérise par une sécheresse estivale marquée (45,5 mm en moyenne pour le mois de juillet) ; le mois de novembre est le plus humide, recevant en moyenne 91,2 mm. Au niveau saisonnier, la distribution des précipitations apparaît bimodale car si l'automne est de loin la saison la plus humide, le printemps tient également son rang avec respectivement 66 ,7 mm et 62 mm pour les mois de mai et juin.

Un régime hydrologique typiquement nival

Avec un module (*période 1950-1996, 38 années complètes effectives ; limnigraphe du hameau de la Vachette*) de 5,5 m³/s (BARAILLE, 2001), la Clarée peut se classer parmi les régimes hydrologiques simples (un seul maximum, un seul mode d'alimentation) ; c'est à dire un régime typiquement nival.

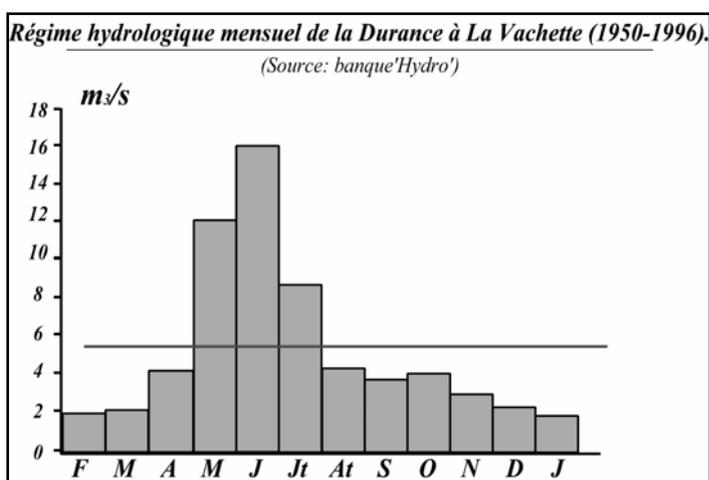


Figure 2

La vallée de la Clarée ne peut compter sur l'apport d'un quelconque système glaciaire dans son mode d'alimentation. Ce qui se traduit par une chute rapide du débit pendant la période estivale.

D'autre part, l'altitude relativement élevée du Bassin versant permet l'apparition d'un étiage hivernal caractéristique dès le mois de novembre (jusqu'en mars) grâce à la rétention nivale.

Le maximum se situe au printemps durant les mois de mai et de juin, correspondant essentiellement à la fonte des neiges mais aussi à une pluviométrie plus abondante. Pour résumer, le régime hydrologique de la Clarée, et ses variations saisonnières, ont essentiellement pour origine la rétention ou au contraire la fusion nivale.

Mais, tout ceci reste tout de même à nuancer car il se détache un palier, voire un léger maximum secondaire en octobre (BLANCHARD, 1950). Ce qui montre que la pluviométrie reste un paramètre à prendre en compte, poussant certains à considérer le régime hydrologique de la Clarée comme nival de transition. (BARAILLE, 2001).

UNE «VALLEE CONVOITEE » (MARCHELLO, SIESTRUNCK – 1991)

L'entrée de la Clarée dans l'ère touristique s'est réalisée relativement tardivement et de manière progressive. Pourtant, la déprise agricole ayant fait son œuvre, la proximité des stations de Serre-Chevalier et de Montgenèvre aurait pu entraîner la Clarée, et ses communes, dans la voie du tourisme de masse. Mais ce n'est qu'à partir de 1971, que Névache et Val des Prés s'engagent clairement à tourner leur développement vers l'activité touristique (LAHOUSSE, GARITTE, THENARD; 2003). Cela se traduit donc en juillet 1972, par l'ouverture à Val des Prés d'un premier camping municipal. Depuis, la basse vallée de la Clarée compte trois campings : un camp municipal et un camp privé, respectivement l'Isclé du Rosier et les Gentianes pour la commune de Val des Prés, et, le camping municipal du Bois des Alberts pour la commune de Montgenèvre. Au plus fort de la saison touristique, ces campings offrent une capacité d'accueil de l'ordre de 1300 à 2000 personnes, et tous trois se situent à proximité immédiate de la Clarée.

Même si le développement touristique de la Clarée reste très éloigné du schéma d'urbanisation exponentielle des stations de Serre Chevalier et de Montgenèvre, la vocation touristique de la Clarée est désormais clairement affichée. Après les balbutiements des années 1970, les convoitises et les propositions immobilières spéculatives se font aujourd'hui de plus en plus pressantes, pour des communes ne pouvant que substituer la reconversion touristique à l'enclavement et à la désertification.

La manne touristique représente pour ces communes un « renouveau » tant économique que social. Pour preuve, en 2002 les rentes du camping de l'Isclé du Rosier représentaient un gain de 129 890 Euros, soit environ 12% des recettes du budget prévisionnel de Val-des-Prés (THENARD. 2002). En parallèle, la population permanente de Val de Prés est passée de 217 personnes en 1968 à 479 en 1990 (MARCHELLO, SIESTRUNCK, 1991).

Par ailleurs, l'étroitesse de la vallée et le caractère abrupt de ses versants, n'ont pas permis une grande extension du réseau routier. En effet, à partir du Rosier, seule la RD 994g, permet la liaison Val des Prés - Névache. Ceci la rend particulièrement vulnérable aux aléas naturels car, en cas de coupure (inondations, laves torrentielles ou avalanches), l'isolement d'une partie de la vallée pourrait sérieusement compliquer l'organisation des secours.

Pour résumer tout ceci, le développement progressif du tourisme offre une possibilité de reconversion économique aux municipalités (LAHOUSSE, GARITTE, THENARD; 2003), tout en maintenant la volonté de préserver l'aspect naturel et sauvage de la vallée. Mais la concentration et le développement d'infrastructures liés au tourisme en fond de vallée, sont facteur d'une vulnérabilité toujours plus grande vis à vis des aléas naturels.

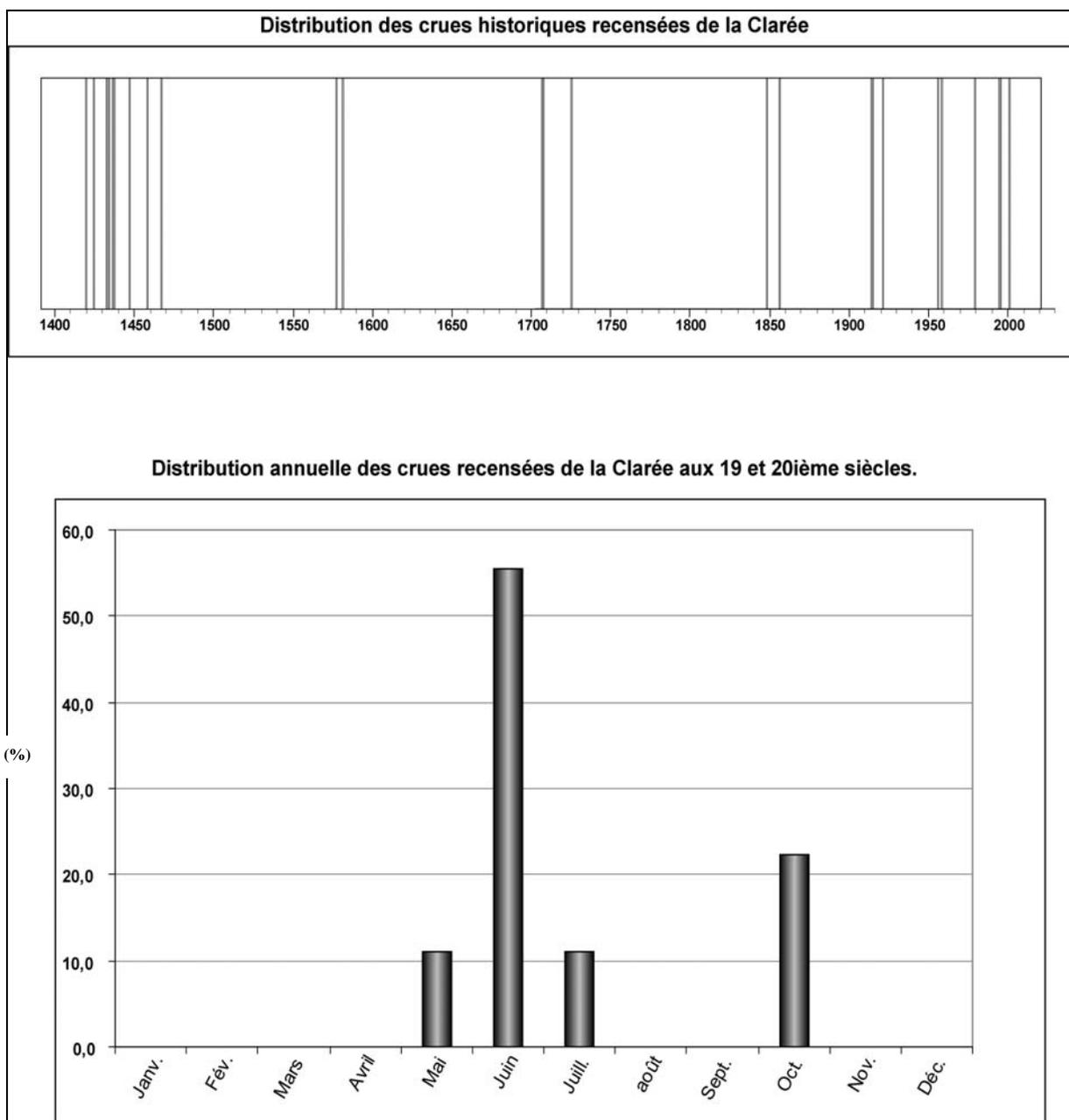
LA CLAREE : UN HISTORIQUE TORRENTIEL « LOURD » ET MECONNU...

Au total, l'enquête historique nous a permis de répertorier 25 crues dommageables sur l'ensemble de la vallée de la Clarée (FANTHOU, 1994. BARAILLE, 2001. THENARD, 2002) sur une période de 581 ans (Fig. 3).

Dès à présent, la distribution séculaire des événements amène à émettre les plus grandes réserves quant à la fiabilité des données archivistiques. En effet, les XV^{ème} et XX^{ème} siècles représentent près de 72% des crues répertoriées (soit 18 événements).

Plus révélateur encore d'une déficience documentaire (LAHOUSSE, 1997), est l'absence totale de crues au XVII^e siècle, c'est-à-dire au cœur du PAG (Petit Age Glaciaire). A moins d'admettre une annihilation totale de la rivière, cette discontinuité dans les données s'apparente clairement à la perte ou la destruction de documents d'archive entre le XV^{ème} et le XVIII^{ème} siècle (THENARD, 2002). En découle nécessairement une surreprésentation statistique des XV^{ème} et XX^{ème} siècles. Ce hiatus historique ne semble pas être un phénomène unique dans le Briançonnais puisqu'elle a également été soulignée dans des recherches en vallée de la Guisane (LAHOUSSE, 1994 ; 1997).

Figure 3



Par ailleurs, la répartition mensuelle des évènements (figure 3) -lorsque les fiches recensées précisent le mois de l'évènement- présente une distribution bimodale des crues de la Clarée. Le mois de juin se démarque nettement comme étant le mois des inondations, puisque sur les XIX^{ème} et XX^{ème} siècles, il rassemble près de 56% des crues.

Si les crues de juin sont les plus fréquentes, elles semblent être également les plus dévastatrices (cf. figure 3).

Par exemple, et à l'instar de la vallée du Guil, les crues de juin 1955 et 1957 ont durement frappé la vallée de la Clarée. L'adjonction d'une pluviométrie printanière abondante et de la saturation des sols par la fusion nivale est, probablement, le facteur déterminant la récurrence et le caractère dommageable des crues de juin dans les bassins versants frontaliers de la Haute Durance (Clarée, Guil).

Aussi, se détache le maximum secondaire du mois d'octobre (Fig.3) qui se présente également comme une période sensible aux crues des rivières torrentielles (près de 23% des évènements recensés aux XIX^{ème} et XX^{ème} siècles). Fort logiquement, la corrélation entre la répartition mensuelle des crues et le régime hydrologique de la Clarée apparaît évidente. En revanche, « la variabilité inter annuelle des précipitations ne semble pas avoir d'influence fondamentale sur le déclenchement des crues » (LAHOUSSE, 1997). En résumé, les crues printanières semblent avoir une origine "pluvio nival", ce qui explique leur violence et leur soudaineté. Tandis que les crues d'octobre sont à mettre plus en relation avec la seule pluviométrie.

Donc, cette approche diachronique montre tout d'abord que l'interprétation des données archivistiques doit se réaliser avec la plus grande prudence, car, par exemple, si le XX^{ème} siècle représente près de 36% de l'ensemble des évènements recensés, cela n'est pas forcément synonyme d'un surcroît d'inondations. En effet, la "traçabilité" et le caractère contemporain des données (sources types Archives Départementales, R.T.M, D.D.E, etc.) est un élément fondamental pour apprécier leur qualité et permettre leur interprétation. Dans le même esprit, il semble assez manifeste que l'aspect qualitatif des données « est entièrement subordonné à l'ampleur des dégâts occasionnés » (LAHOUSSE, 1997). Cette affirmation prend toute son évidence lors de l'observation attentive du XX^{ème} siècle pour constater un regain de l'activité torrentielle ; ceci correspondant de manière flagrante, au développement des infrastructures touristiques en fond de vallée. Les campings -tous situés en bordure immédiate de la bande active- ont été régulièrement menacés depuis leur création. Ils apparaissent clairement comme les nouvelles sources de vulnérabilité, ce qui explique la recrudescence récente de crues dans les archives. Donc, dans le cadre d'une enquête historique, le degré d'intensité d'une crue se détermine essentiellement en fonction de la gêne ou des dommages qu'elle génère (THENARD, 2002).

II. LA CRUE TORRENTIELLE DU 15 OCTOBRE 2000 OU LA PRISE DE CONSCIENCE D'UNE VULNERABILITE CROISSANTE

Loin d'une métamorphose, la Clarée connaît plutôt un ajustement de son système fluvial, lié en grande partie à une morphodynamique moins active depuis les 50 dernières années (THENARD; 2002). Cela se traduit par une emprise de la Clarée moins importante sur ses marges, et dans la continuité, par un développement de la végétation alluviale.

Dans le cas des rivières torrentielles comme la Clarée, la morphodynamique est principalement régie par les crues.

Or, si l'enquête historique donnait faussement l'impression d'une plus grande récurrence des crues durant la seconde moitié du 20^{ème} siècle, l'analyse des photographies aériennes et les données de terrain a démontré que l'intensité de ces événements importait tout autant, et même plus, que leur récurrence (THENARD , 2002). Les crues de type Basse Fréquence - Haute Magnitude [BFHM] (ARNAUD-FASSETA , FORT, 2004) apparaissent comme fondamentales dans l'évolution des bandes actives des rivières torrentielles de moyenne altitude. Restée plus discrète dans la mémoire collective, car nettement moins cataclysmique que dans le bassin du Guil, la dernière crue de ce type pour la Clarée remonte au fameux 14 juin 1957.

Depuis la fin des années 1950, seules 2 crues de la Clarée ont été recensées (quelques débordements très localisés); celles de juin 1978 et du 26 juin 1994. Ces crues, de faible intensité, n'ont été répertoriées que pour leur caractère menaçant pour les infrastructures touristiques de fond de vallée (campings et piste de ski de fond) ces événements se sont d'ailleurs très rapidement effacés de la mémoire collective...

DES CUMULS PLUVIOMETRIQUES IMPORTANTS ET UN « COUP DE LOMBARDE » A L'ORIGINE DE LA CRUE

Le 15 octobre 2000, suite à des retours d'Est (« coup de lombarde »), et donc d'importants cumuls pluviométriques sur les bassins versants frontaliers, la Clarée est entrée en crue et a rappelé, plus qu'un atout touristique, que sa proximité était avant tout une importante source de vulnérabilité. Si la vigilance des autorités publiques et des populations montagnardes porte le plus souvent sur l'instabilité des versants (torrents, chutes de blocs, avalanches, etc.) –car ce sont des aléas récurrents et relativement connus– le danger inhérent à la rivière torrentielle de fond de vallée est apparu comme largement sous estimé. Sans avoir fait de victimes, la crue du 15 octobre 2000 a au moins eu le mérite de réveiller les consciences, puisque depuis un Plan de Prévention du Risque Inondation a été réalisé, et en cours d'approbation.

Pour commencer, à l'échelle du XX^{ème} siècle, les crues du mois d'octobre semblent relativement exceptionnelles, puisqu'il faut remonter en octobre 1920 pour trouver un précédent. Cette faible récurrence des crues d'automne en Clarée trouve probablement son origine dans l'altitude relativement élevée de son Bassin Versant, en moyenne 2190 mètres [BARAILLE , 2001]. Donc, fort logiquement, la rétention nivale apparaît généralement dès le mois d'octobre, ce qui limite sérieusement les écoulements.

Mais, avec 168,8 mm de précipitations enregistrées à la station de Briançon, ce mois d'octobre 2000 fût particulièrement pluvieux, sans pour autant être exceptionnel. En effet, sur la période 1951-2000, et à Briançon, le mois d'octobre est traditionnellement le plus « humide » de l'année, avec une moyenne de 91,2 mm. En revanche, il faut tout de même nuancer ces valeurs en les majorant quelque peu pour le bassin versant de la Clarée. En effet, la station météorologique de Briançon est située à plus basse altitude (1400m) et donc, ne peut refléter la réelle pluviométrie en Clarée. D'autre part, il a été démontré que « dans la grande majorité des cas, les débordements torrentiels sont liés à l'apport d'une très grande quantité d'eau pendant un laps de temps réduit » (Lahousse, 1997). Ceci se vérifie effectivement, car en Clarée, en quelques jours, d'importants abats pluviométriques sont à l'origine du déclenchement de la crue du 15 octobre 2000.

Pour preuve, entre le 10 et le 15 octobre, 139 mm de précipitations se sont abattus en briançonnais. Autrement dit, 83% des précipitations du mois d'octobre sont survenues en 5 jours ! La seule journée du 15 octobre 2000 a vu précipiter près de 53 mm, c'est à dire près d'un tiers des précipitations mensuelles. Or, pour la vallée de la Clarée, ces cumuls pluviométriques peuvent être revus à la hausse, du fait de l'altitude de son bassin versant. Ces averses de type orageuses sont manifestement à l'origine de la crue de la Clarée ; souvent la cause de la saturation des sols et des crues printanières, la neige tombée en altitude dans la nuit du 15 au 16 octobre fut cette fois salvatrice. En effet, la rétention nivale a permis de limiter les apports liquides au drain principal, ce qui a largement limité l'extension des débordements en cours...

UNE CRUE FINALEMENT PLUS MENAÇANTE QUE DOMMAGEABLE : DEROULEMENT ET MANIFESTATIONS

Tout d'abord, précisons cette crue n'est manifestement pas la « crue du siècle » dans la vallée de la Clarée. En tout cas, elle n'a pas été la plus dévastatrice, car à bien y regarder, les quelques dommages recensés, concernent essentiellement les ponts et passerelles.

Par exemple, la Clarée a fragilisé le « Pont de Serre » au cœur de Val-des-Prés, en endommageant les culées, et a sérieusement instabilisé la passerelle de liaison entre les campings de l'Isclé du Rosier et du Bois des Alberts. Depuis, les services municipaux ont procédé à son démantèlement (Cf. Photo n° 2)



Photo n°2

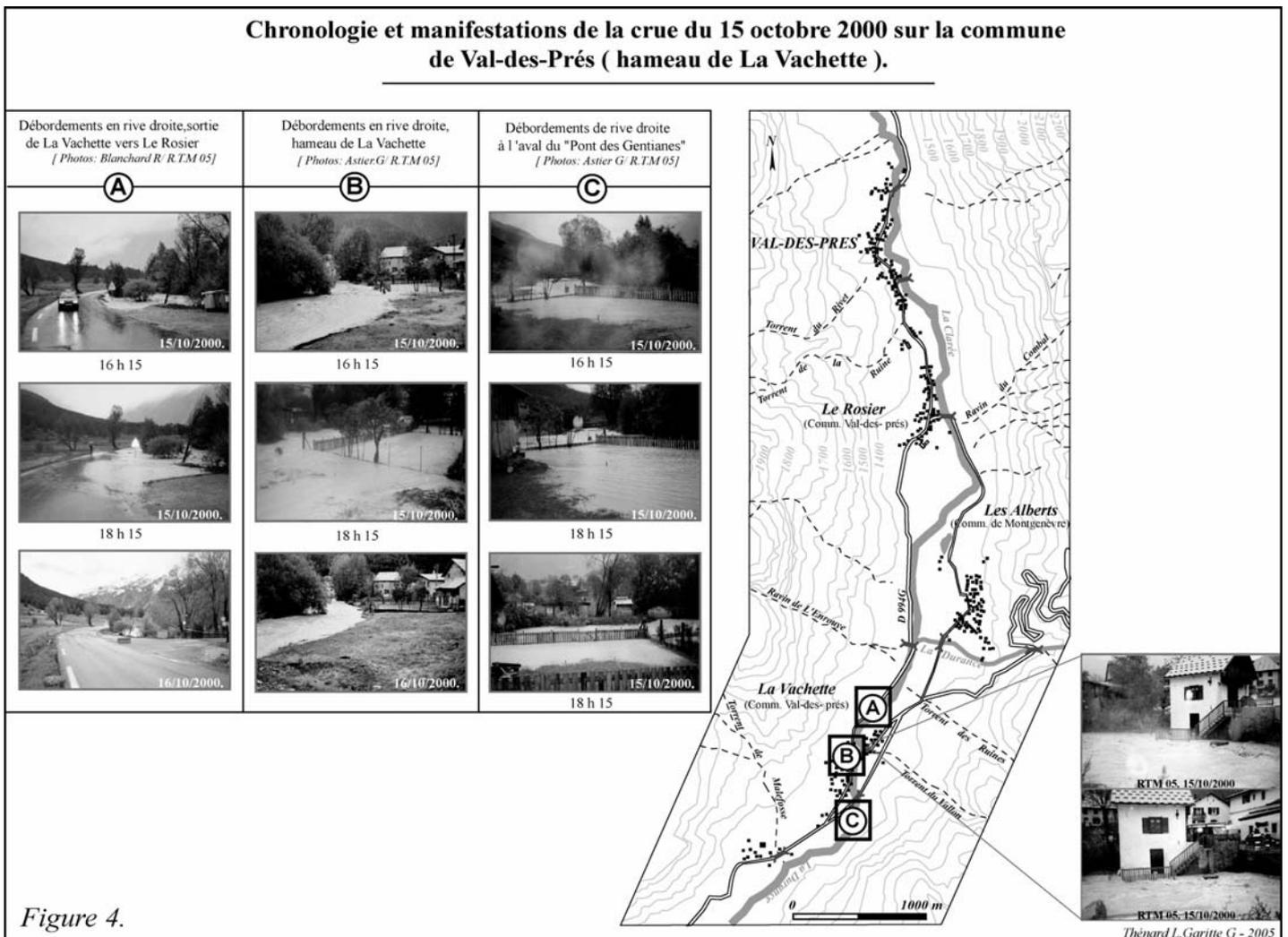
A priori, les campings n'ont pas été inondés et n'ont subi aucun dommage direct, pour autant l'alerte était sérieuse. Il semble que la plupart des perturbations recensées en basse vallée résultent des débordements de la Clarée sur la route départementale (RD994 G). En particulier, entre les hameaux du Rosier et de la Vachette (Fig. 4). Ce dernier a, semble-t-il, connu les débordements les plus sérieux.

Le lit de la rivière est, sur ce secteur, particulièrement étroit, ce qui favorise naturellement la concentration des écoulements et donc, une élévation rapide de la ligne d'eau. Certains riverains sont d'ailleurs passés très près de l'inondation, même si les dégâts sont restés très limités, voir anecdotiques. Par exemple, à la Vachette, la maison de chasse (ONF), située en rive gauche et au cœur du hameau, a été partiellement inondée, avec 60 cm d'eau dans la cave. Notons également qu'à 18H15, le tirant d'air atteignait à peine 0,5 mètreau pont de la Vachette.

D'après les documents rassemblés (fond R.T.M 05 ; Société Géologique et Minière du Briançonnais) et les différents témoignages (Fig. 4), sur les secteurs où la rivière est chenalisée (de manière naturelle ou artificielle) il apparaît clairement que le dépassement du débit à pleins bords et le pic de crue sont survenus très rapidement, puisque l'essentiel des débordements s'est concentré entre 16 et 18 heures. Ce qui, compte tenu de l'encaissement de la vallée et surtout des 168,8 mm de précipitations entre le 10 et le 15 octobre 2000, n'a rien de très étonnant.

Durant ces deux heures critiques, le charriage sédimentaire a été manifestement intense car les remaniements et les divagations du lit ont été assez nombreux. Par endroit, et en particulier dans les aires de respiration de la rivière, cette crue a provoquée la dénudation de bancs de galets en cours d'anastomose, voir même la création de nouveaux chenaux d'écoulements (THENARD, 2002). D'ailleurs plusieurs mois après l'évènement, des dépôts de type inondites restaient visibles sur les marges du lit ordinaire de la rivière, parfois éloignés de 10 à 20 mètres de la bande active actuelle (THENARD, 2002).

Si cette crue n'a rien d'exceptionnelle, la grande compétence développée et les ajustements géomorphologiques observés dans la bande active rappellent, au passage, le caractère torrentiel d'une rivière d'ordinaire paisible.

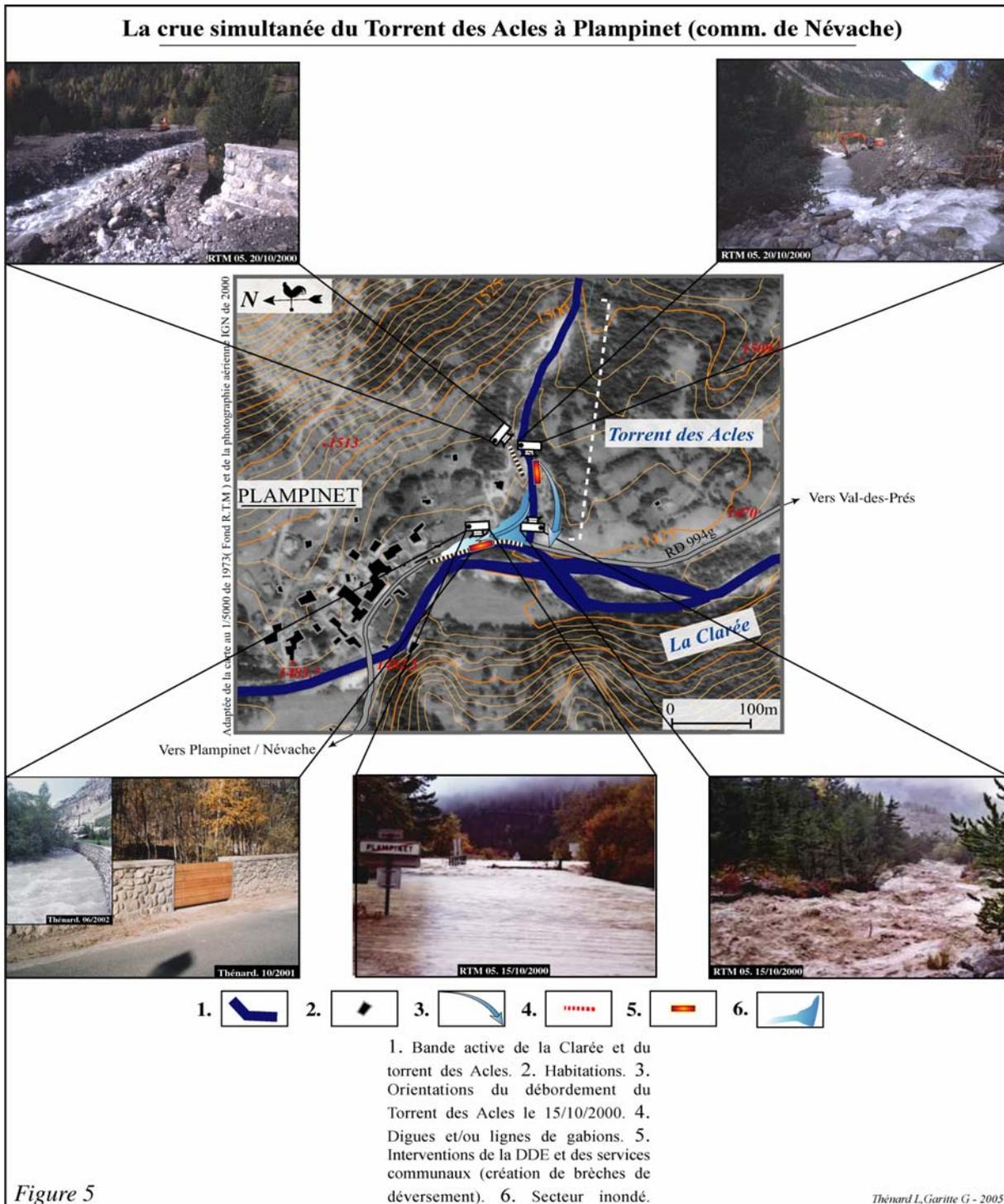


La rapidité et la chronologie de la crue du 15 octobre 2000 mettent un peu plus en relief, la grande vulnérabilité des infrastructures touristiques bien souvent implantées sur les marges directes de la bande active. Ce facteur « temps » réduit encore un peu plus les possibilités d'évaluation de la gravité de l'évènement et, éventuellement, d'évacuation des résidents ; d'autant qu'à l'époque les procédures d'urgence étaient très théoriques, ou au mieux à un stade « embryonnaire »... En outre, la survenue tardive dans la saison de cette crue, amène tout de même à relativiser le risque encourue par des campeurs probablement fort peu nombreux. La décrue, quant à elle, semble s'être amorcée assez rapidement, probablement lorsque la neige s'est substituée à la pluie.

La chute des températures de la fin de soirée et de la nuit a provoqué l'abaissement de la limite pluie-neige, ce qui a permis de réduire l'alimentation de la Clarée. Sans la rétention nivale, la crue du 15 octobre 2000 aurait pu être bien plus dévastatrice ; son déclenchement tardif dans la journée a probablement permis d'éviter des dommages bien plus conséquents...

LA CRUE SIMULTANEE DU TORRENT DES ACLES A PLAMPINET : ENSEIGNEMENTS ET PERSPECTIVES. (FIG. 5)

Si la crue de la Clarée n'a eu que peu de conséquences, un autre événement, daté lui aussi du 15 octobre, a suscité de bien plus vives inquiétudes : la crue simultanée du Torrent des Acles. S'écoulant sur près de 6700 mètres et avec environ 21km², ce dernier possède l'un des plus grand bassin de réception de la basse vallée. Sur son cône de déjection, son chenal se présente comme étroit et incisé, la confluence avec la Clarée (rive gauche) s'effectuant juste à l'aval du hameau de Plampinet (commune de Névache).



De récentes études —basées sur les caractéristiques morphométriques des cônes de déjection— le classeraient parmi les torrents dits « mixtes », avec toutes les réserves et incertitudes qu'il faut adjoindre à ce genre de typologie (GARITTE, THENARD ; 2005). D'autant qu'en terme de prévention et de gestion du risque torrentiel, la plupart des études portent sur le comportement contemporain des torrents ; or, la majorité des cônes torrentiels de la vallée procède d'héritages...

L'altitude, la surface du bassin récepteur, la pente (≈ 1000 mètres de dénivelé, soit $\pm 14\%$ de pente moyenne) et les cumuls pluviométriques évoqués précédemment expliquent la survenue, entre 14 et 15 heures de la crue de ce torrent, soit quelques heures avant celle de la Clarée. Cette crue, à la fois soudaine et particulièrement violente (Fig. 5), a nécessité en urgence l'évacuation des occupants d'une maison récemment construite sur le cône de déjection, à quelques dizaines de mètres seulement du chenal torrentiel. Sans développer de lave torrentielle, le charriage sédimentaire a tout de même été très intense, ce qui a naturellement contribué à une aggradation rapide du lit sur le cône de déjection. Cela n'a rien de très original puisque ce n'est que la description classique d'un torrent en crue.

Or, ce scénario va évoluer pour devenir, très rapidement beaucoup plus inquiétant, et particulièrement riche d'enseignements. En effet, sous le « Pont des Acles » (RD 994 G), cette aggradation rapide du lit s'est logiquement accompagnée d'une diminution tout aussi rapide du tirant d'air. Et cela, jusqu'à ce que le niveau du lit soit également celui du pont, provoquant du même coup un phénomène d'embâcle et de débordement des eaux du torrent. Mis en alerte, les services de la mairie de Névache ont immédiatement fait appel aux services de la D.D.E de Briançon, pour entreprendre un curage d'urgence dans le lit du Torrent des Acles.

Entre temps, l'écoulement des eaux de crues -ne pouvant plus se réaliser dans le lit du torrent- a submergé la route départementale rendant impossible toute circulation entre Névache et Val-des-Prés. Aussi, juste en amont de la confluence (vers Plampinet et Névache) en longeant la route, a été mis en place dès la fin des années 1950, une digue destinée à protéger le hameau de Plampinet et la RD 994 G des eaux de la Clarée.

Or, dans le cadre de la crue du torrent des Acles, cet édifice de protection a eu un effet « pervers ». En effet, le passage du pont étant intégralement obstrué, la lame d'eau en provenance du torrent s'est en partie déversée sur la route, vers Plampinet. Mais, la digue de protection, empêchant l'évacuation de ces eaux vers la Clarée, a canalisé le flux liquide ; provoquant une inondation à rebours et une belle frayeur des riverains (Fig. 5). Devant la tournure des événements, et face à l'urgence, la parade des autorités compétentes fut de créer tout d'abord une brèche en rive gauche du torrent, pour rétablir le déversement de ces eaux dans la Clarée en aval du pont, puis de détruire un tronçon de la digue pour éviter l'inondation d'une bonne partie du hameau (THENARD, 2002). Ces procédures d'urgence ont, semble-t-il, été suffisamment efficaces pour éviter des dommages aux habitations, qui s'annonçaient considérables. En outre, la route départementale, seule voie de circulation entre Névache et Val-des-Prés, fut tout de même impraticable durant environ 24 heures (BARAILLE, 2001). Cette simultanéité des crues fait ressortir un paradoxe dans l'approche trop souvent compartimentée du risque torrentiel. Manifestement la digue de Plampinet fut érigée pour se prémunir des débordements de la Clarée, mais sans prendre en compte le risque de débordement du Torrent des Acles. Ce qui s'est traduit ce 15 octobre 2000, par la canalisation des eaux du torrent vers Plampinet.

CONCLUSION

Ces évènements du 15 octobre 2000 n'ont finalement eu que peu de conséquences sur les activités ou les infrastructures anthropiques, mais ils offrent un exemple, presque un avertissement. Et cela n'a rien de très rassurant, car par exemple au niveau des trois campings, la destruction des ponts et passerelles de liaison pourrait sérieusement compliquer les procédures d'évacuation et/ou de secours. On ose à peine imaginer les dégâts matériels et surtout humains qu'aurait pu provoquer une crue telle que celle de juin 1957.

D'autre part, il faut noter que cette crue de la rivière Clarée du 15 octobre 2000 n'a rien d'un phénomène ponctuel ou isolé dans l'arc alpin occidental. En effet, la même situation météorologique est à l'origine de plusieurs crues de rivières torrentielles, et exclusivement dans les bassins versants les plus élevés, mais surtout frontaliers ou transfrontaliers (Guil, Doire Baltée, Doire Ripaire, Chisone). Les crues torrentielles du Val d'Aoste (*Doire Baltée*) et de la vallée de Suse (*Doire Ripaire*) ont débuté fort logiquement 24 à 48 heures avant celle de la Clarée (TROPEANO, TURCONI ; 2000). Cette corrélation est indiscutable puisqu'elle avait déjà été observée dans les mêmes bassins versants lors des crues de juin 1955 et de juin 1957.

Pourtant elle n'a jamais réellement fait l'objet d'études pour une approche transfrontalière de la prévention ou même de la prévision du risque d'inondation torrentielle. Tout ceci met en avant l'intérêt –tant du point de vue de la sécurité civile que d'un point de vue scientifique– d'une réflexion sur la pertinence d'une « mise en réseau » de la connaissance scientifique sur la torrentialité de part et d'autre de la frontière, et surtout des moyens d'alertes et de prévisions à l'échelle des bassins versants transfrontaliers. Les perspectives d'une telle approche sont prometteuses et probablement à la hauteur d'enjeux désormais considérables dans les vallées intra alpines.

Lors de la crue de la Clarée d'octobre 2000, si aucun enjeu vital n'était en cause et que les coûts tant matériels que financiers sont restés relativement limités, les crues simultanées de la Clarée et du torrent des Acles ont démontré que si les interactions torrents-rivière sont évidentes d'un point de vue dynamique, elles constituent surtout en terme de risque un facteur très aggravant. Et ceci, essentiellement par l'impérieux danger que constitue une rupture d'embâcle lié à l'obturation de la rivière de fond de vallée. La déferlante torrentielle qui pourrait s'en suivre relèguerait à l'anecdotique les crues ordinaires et indépendantes de la rivière ou des torrents. Compte tenu de leurs implantations, les campings seraient sans aucun doute les premières infrastructures à être laminées par une telle débâcle. D'ailleurs, le 15 octobre 2000, les habitants du hameau de Plampinet ont pu se rendre compte que ce scénario était loin d'être une abstraction, d'autant que dans cette vallée des précédents récents corroborent et justifient ces craintes. Pour preuve, les laves torrentielles du torrent « le ravin des Sables » des 24 juillet 1995 et du 20 septembre 1999 ont coupé la RD994g et totalement obturé le lit de la Clarée, créant une retenue d'obturation conséquente en amont de la confluence. Fort heureusement, les eaux de la rivière ont contourné cet embâcle par la reprise d'un paléo chenal fluvial et par de multiples débordements en ripisylve ; ceci a permis, grâce à la providence, d'éloigner le risque d'une rupture d'embâcle (LAHOUSSE , ROMELE ; 2000. LAHOUSSE & AI ; 2002. LAHOUSSE & AI ; 2003. LAHOUSSE & SALVADOR ; soumis).

Donc, compte tenu de la configuration hydro géomorphologique de la basse vallée de la Clarée (versants abrupts et étroitesse liés à la contrainte structurale, densité des torrents et leurs confluences récurrentes avec la rivière), il apparaît à l'évidence que la prévention et la gestion du risque torrentiel, doivent nécessairement passer par une analyse couplée des morphodynamiques de la rivière Clarée et des organismes torrentiels latéraux.

Or, l'ensemble des études (hors universitaires) portant sur la dynamique torrentielle et les risques associés omettent systématiquement cet emboîtement, somme toute très logique dans le système morphogénique torrentiel actuel de cette vallée, mais démultipliant la vulnérabilité des personnes et des biens. Notons tout de même que le PPR récemment élaboré précise que « ces torrents [...] peuvent brutalement constituer d'importants apports latéraux et modifier en partie le fonctionnement hydrologique naturel de la rivière collectrice ». Mais, les conséquences cyndiniques ne sont pas précisées ou évaluées outre mesure...

REMERCIEMENTS : Les auteurs tiennent à remercier sincèrement Mr Philippe LAHOUSSE pour ses remarques et commentaires avisés et constructifs. Ces remerciements s'adressent également à Mme Yvonne BATTIAU-QUENEY pour ses conseils et une relecture pertinente, ainsi que Mr Philippe DEBOUDT pour son soutien et sa patience.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BARAILLE S., (2001) - *Les crues dommageables dans le bassin de la Haute Durance (Hautes-Alpes, France) : recensement depuis le XIV^{ème} siècle, signification climatique, facteurs météorologiques et prévision*. Thèse de doctorat, Université de Savoie, 604 p.

BLAIS J-P, (1979) - Comportements hydrogéologiques des différentes formations géologiques du bassin versant de la Clarée (Hautes-Alpes). *Revue de Géographie Alpine*, tome LXVII, n°2, p : 161-172.

BLANCHARD RAOUL, (1950) - *Les Alpes occidentales Tome V : Les grandes Alpes françaises du sud* - Edition Arthaud, Grenoble, Paris, 2 volumes, 1018p

BOURRELIER P.H., (1997) - *La prévention des risques naturels, rapport d'évaluation*. La Documentation Française, Paris, 702 p.

CHARDON M., (1990) - Quelques réflexions sur les catastrophes naturelles en Montagne. *Revue de Géographie Alpine*, n° 1,2,3, p : 193-213.

DUPRAT M. (1994) - *De la Guisane à Serre-Chevalier. Evolution d'une vallée briançonnaise au XX^e siècle*. Mémoire de l'Institut d'Etudes Politiques, Université d'Aix-Marseille 3, 108 p.

FANTHOU T., (1991) - *Fichier départemental des risques naturels*, Hautes-Alpes. Préfecture et Conseil Général des Hautes-Alpes, Direction Départementale de l'Équipement, Gap, base de données smart, 100 p et 1 693 fiches.

FANTHOU T., (1994) - *Les risques naturels dans le département des Hautes-Alpes, chroniques et territoires*. Thèse de doctorat, Université de Paris 7, 225 p.

FLEZ C., LAHOUSSE P., (2001) - Interactions entre gestion du risque torrentiel et extension urbaine dans une station touristique de montagne : l'exemple de St-Chaffrey (Serre-Chevalier, Hautes-Alpes, France). *Actes du colloque « Risques et Territoires »*, Lyon (17-18 mai), t. 2, p : 275-288.

FLEZ C., LAHOUSSE P., (2002) - La gestion du risque torrentiel à Serre-Chevalier : acteurs et enjeux. *L'Espace Géographique*, n 2, p : 163-173.

GARITTE G ET THENARD L, (2005).- Les cônes de déjection torrentiels de la vallée de la Clarée (*Alpes du sud, France*), *Cahiers de Géographie Physique*, sous presse.

LAHOUSSE P, (1994) - *Recherches géomorphologiques et cartographie des aléas naturels dans la vallée de la Guisane (Hautes-Alpes, Briançonnais)*. Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, 431 p.

LAHOUSSE P., (1997) - L'apport de l'enquête historique dans l'évaluation des risques morphodynamiques : l'exemple de la vallée de la Guisane (Hautes-Alpes, Briançonnais). *Revue de Géographie Alpine*, n° 1, p : 53-60.

LAHOUSSE P. (1998) - Essai de cartographie intégré des aléas naturels en zone de montagne. L'exemple de la vallée de la Guisane (Hautes-Alpes, France). *Annales de Géographie*, n° 603, p : 467-486.

LAHOUSSE P., SALVADOR P.G., (1998a.) - Briançon, 24 juillet 1995 : autopsie et enseignements d'une catastrophe naturelle. *Mappemonde*, n° 50, p : 8-12.

LAHOUSSE P., SALVADOR P.G., (1999) - Éléments de réflexion sur la prévisibilité des crues du 24 juillet 1995 dans la vallée de la Guisane (Alpes françaises, Briançonnais), *Revue de Géographie Alpine*, n° 4, p : 25-34.

LAHOUSSE P., ROMELE C., (2000) - Le ravin des Sables (Hautes-Alpes, France) : un nouveau risque torrentiel dans la vallée de la Clarée. *Geogr. Phys. et Quaternaire*, n° 3, p : 271-280.

LAHOUSSE P., SALVADOR P.G., FLEZ C., (2002) - Comportement hydrogéomorphologique d'un torrent alpin depuis 1995 : l'exemple du Ravin des Sables (Hautes-Alpes, France). *Actes du colloque « Géomorphologie : from expert opinion to modelling »*, éd. CERG, Strasbourg, p : 167-174.

LAHOUSSE P., GARITTE G., THENARD L., (2003) - Aléa et risque torrentiel dans le Briançonnais (Alpes françaises du sud). *Cahiers de Géographie*, n°1, collection EDYTEM, Université de Savoie ; pp. 191-201.

LAHOUSSE P., SALVADOR P.G. – Conséquences d'une lave torrentielle majeure sur le fonctionnement d'un torrent alpin. *Zeitschrift für Géomorphologie*, soumis.

MARCHELLO L., SIESTRUNCK R.,v (1991) - *La Clarée, une vallée convoitée*. Ed. Transhumances, Val-des-Prés, 42 p.

MERLE R. , (1991) - *Images du Briançonnais, 1750-1950*. Tome 2 : « Les hommes », éd. Édisud, Aix-en-Provence, 139 p.

MEYZENQ C., (1984) - *Hautes-Alpes, Ubaye, Haut-Drac, Préalpes Drômoises*. Ed. Ophrys, Gap, 954 p.

MOUGIN P., (1931.) - *La restauration des Alpes*. Imprimerie Nationale, Paris, 584 p.

PEGUY CHARLES-PIERRE, (1947) - *Haute Durance et Ubaye. Esquisse physique de la zone intraalpine des Alpes françaises du sud* – Edition Arthaud, thèse, 1947, Grenoble, 314p

PIEGAY H., SALVADOR P.G., (1997) - Contemporary flood forest evolution along the middle Ubaye River, Southern Alps, France. *Global Ecology and Biogeography Letters*, n°6, p: 397-406.

PIEGAY H., SALVADOR P.G., Astrade L, (2000) - Réflexions relatives à la variabilité spatiale de la mosaïque fluviale à l'échelle d'un tronçon. *Z. Geomorph. N. F*, tome 44, n°2.

SURELL A., (1841) - *Etude sur les torrents des Hautes-Alpes*. Dunod, 1^{ère} édition, Paris, 603 p.

THENARD L., (2002) – *Morphodynamique récente d'un système fluvial alpin : l'exemple de la basse vallée de la Clarée [France, Hautes-Alpes-05-]*. USTL, U.F.R de Géographie et d'Aménagement, mémoire de D.E.A réalisé sous la direction de Mr Lahousse P, Villeneuve d'Ascq, 130 p.

TROPEANO D., TURCONI L., (2000) - *Sintesi degli eventi di piena e frana avvenuti nell'anno 2000 in Italia Nord-Occidentale*. GEAM-Geingegneria Ambientale e Mineraria, anno XXXVII, n.4, p 217- 224.

TROPEANO D., TURCONI L., (2004) - Using historical documents for landslide, debris flow and stream flood prevention in Northern Italy. *Natural Hazards*, n°31; pp. 663-679.

VIDAL-FONTILLE C., (1988) - *La population des Alpes du Sud de 1860 à nos jours*. Ed. Ophrys, Gap, 660 p.

Synthèse et perspectives nouvelles pour l'étude du risque torrentiel (Torrent du Verdarel, vallée de la Guisane, Hautes-Alpes)

Nicolas BEAUGENDRE

UPRES EA 3339 – Laboratoire de Géomorphologie et Gestion des Milieux Naturels

Résumé :

Le torrent du Verdarel, qui a formé une lave torrentielle dévastatrice le 9 juillet 1981, a connu une urbanisation importante de son cône de déjection jusqu'en 1995 date où le R.T.M., service déconcentré de l'Etat, décide d'imposer une zone inconstructible pour empêcher l'augmentation des enjeux socio-économiques à protéger. Cet article cherche à mettre en évidence la pertinence de l'utilisation d'un S.I.G. pour l'étude de la torrentialité à travers cet exemple. Combinant une synthèse de données issues de diverses publications et de nouvelles perspectives issues de l'outil S.I.G., telle que l'étude sur la superficie de la zone d'emprise du torrent (reflet de l'activité hydrologique), nous tâchons de démontrer l'efficacité d'un tel outil dans les recherches sur le risque torrentiel.

Mots-clés : Torrent, Risque naturel, Lave torrentielle, S.I.G., Vulnérabilité, Correction torrentielle, St-Chaffrey, Alpes Françaises.

Abstract : *Synthesis and new perspectives to study torrential risks (Verdarel Torrent, Guisane Valley, Hautes-Alpes, France).*

The alluvial fan of the Verdarel torrent, which created a devastating channelled debris flow on the ninth of July 1981, was highly urbanized until 1995. From this time a building free zone was imposed by the decentralized State service, called "Restauration des Terrains en Montagne" (R.T.M), to avoid vulnerability increasing.

This survey aims to bring to the fore the usefulness of G.I.S. (Geographic Information System) to study torrential risks. It is based on a synthesis of data from different papers and new perspectives offered by G.I.S, like the evolution of the area affected by torrential activity.

Key-words : Torrent, Natural hazards, Debris flow, G.I.S., Vulnerability, Torrent regulation system, St-Chaffrey, French Alps.

INTRODUCTION

Le but de cet article, qui résume un mémoire de DEA, est de montrer comment un outil de type Système d'Information Géographique (S.I.G) permet d'améliorer la connaissance du risque torrentiel.

Le choix du lieu d'étude s'est porté sur les Hautes-Alpes et plus précisément sur le Briançonnais (nord-est du département), dont le territoire est fortement affecté par la torrentialité. Il est peut être utile de rappeler la définition d'un torrent : « *il s'agit d'un organisme court, à pente forte (> 6%), travaillant dans une région de terrain affouillable, avec des écoulements spasmodiques (des maigres débits alternant avec des crues soudaines)* » (Derruau, 1988). Le torrent choisi pour ce travail est celui du Verdarel, affluent de la Guisane. Déjà étudié auparavant, il a fait l'objet de nouvelles investigations pour la préparation de ce DEA.

La première partie montre l'intérêt de ce choix, à travers les caractéristiques du torrent et celles de son contexte environnant, aussi bien naturel qu'« urbain ». La méthodologie employée y est brièvement présentée. La seconde partie analyse les dynamiques naturelles du torrent (évolution de la zone d'emprise, du couvert forestier, étude diachronique du profil en long). Enfin, la troisième partie expose l'évolution de l'urbanisation sur le cône du Verdarel et ses conséquences actuelles sur la commune de St-Chaffrey, ainsi que la nouvelle orientation politique concernant la gestion du risque naturel.

I. PRESENTATION GENERALE

SUR LE BRIANÇONNAIS ET LA VALLEE DE LA GUISANE

Situé à la charnière des Alpes du Nord et des Alpes du Sud, à l'extrémité Nord-Est des Hautes-Alpes et de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, le Briançonnais est un carrefour à la rencontre de quatre vallées principales : la Guisane, la Clarée, la Haute Durance et la Cerveyrette. Dans cette région de haute montagne, les altitudes des lignes de crêtes s'abaissent rarement sous les 2500 mètres, avec pour le bassin de la Guisane un point culminant à 3664 mètres au sommet des Agneaux, dans le massif des Ecrins. La présence de ce massif montagneux est primordiale : il protège la région Briançonnaise des dépressions atlantiques. Cette caractéristique explique en partie l'agréable climat du Briançonnais, les hautes montagnes provoquant un épuisement des systèmes pluvieux (Baraille, 2001). De même, la position « intra-alpine » du Briançonnais attise le caractère continental des lieux par un climat sec. Les influences méditerranéennes, notamment dans le régime des précipitations (violents orages), se font également sentir grâce à l'échancrure Nord-Sud de la vallée de la Durance.

Au vu des quelques éléments cités précédemment, le climat du Briançonnais peut être qualifié de *montagnard à influence méditerranéenne et continentale*. L'étude du régime pluviométrique montre que 30% des précipitations annuelles environ s'abattent en automne. Le mois de novembre est le plus pluvieux (80mm en moyenne). On remarque également une reprise des précipitations au printemps. L'été est la saison la plus sèche ; les orages estivaux, parfois extrêmement violents, sont une autre particularité du Briançonnais. Si les précipitations annuelles apparaissent en moyenne relativement faibles dans le Briançonnais (756 mm à Briançon), leur rythme saisonnier est en revanche éminemment favorable aux déclenchements de mouvements de terrain au printemps et en début d'été. En effet, à la fonte des neiges succède une période marquée par un allongement sensible de séquences pluvieuses. Durant ces mois de mai et juin, les longues pluies fines pénètrent abondamment des terrains déjà saturés par la fonte des neiges. Puis, interviennent les averses orageuses estivales, susceptibles d'apporter des concentrations suffisantes au déclenchement de laves torrentielles catastrophiques, notamment si elles s'abattent sur des sols encore gorgés d'eau.

La vallée de la Guisane se situe entre le col du Lautaret et la ville de Briançon. La superficie de son bassin versant est de 201 Km² pour une altitude moyenne de 2188 mètres. La Guisane est une rivière torrentielle, qui s'écoule sur plus de 25 Km vers le Sud-Ouest en direction de Briançon ; sa confluence avec la Durance s'opère à proximité de la ville fortifiée, à 1196 mètres d'altitude. La pente moyenne de son cours est de 4%. Englacée au Quaternaire, la vallée en a hérité sa forme en auge, ainsi que d'importants dépôts quaternaires, le plus souvent d'origine morainique, affleurant sur près de 80% de la superficie totale de la vallée. Ceux-ci constituent une source quasi-inépuisable de matériaux souvent sujets à l'instabilité (Lahousse, 1996).

La vallée de la Guisane présente de nombreux organismes torrentiels. L'inventaire des crues et autres phénomènes naturels (avalanches etc.) place cette vallée dans le peloton de tête de celles soumises aux « risques naturels », avec plus de 16% des événements répertoriés. Les crues torrentielles semblent y être la menace la plus importante, puisqu'elles constituent près de 74 % des événements répertoriés (Fanthou, 1994 ; Baraille, 2001). La commune de St-Chaffrey a subi plus du tiers des « catastrophes naturelles » inventoriées en Guisane. Le torrent du Verdarel représente à lui seul près de 37 % des événements de cette commune : cela justifie de l'avoir choisi dans cette étude.

LE TORRENT DU VERDAREL : CARACTERISTIQUES GENERALES ET PARTICULARITES

Généralités

Le torrent du Verdarel¹ est situé sur la rive gauche de la Guisane. Ses différents tributaires naissent entre le Grand Meyret (2516m) et la Croix de la Cime (2606m), point culminant du bassin versant (Fig. 3). La pente moyenne du torrent est de 25 %. De forme allongée vers le sud-ouest, le bassin versant du Verdarel couvre une surface de près de 420 ha. On peut le subdiviser en 3 sous-bassins. Depuis les pelouses alpines de la « Côte de la Fleur », l'écoulement, d'abord diffus, s'individualise peu à peu vers 2000 m d'altitude en trois organismes distincts : de l'ouest à l'est, le Malatra, le Grand Verdarel et le Petit Verdarel (Cocheteau *et al.*, 1990).

Le cône de déjection naît vers 1450 mètres d'altitude. Une des particularités de ce torrent vient du fait que le Petit Verdarel conflue avec le Grand Verdarel *sur* le cône de déjection, au niveau des premières habitations. La délimitation du cône de déjection du Verdarel sur sa rive gauche est rendue difficile par la proximité du torrent de Ste-Elisabeth : les deux cônes se confondent aux approches de la confluence avec la Guisane. Celle-ci se réalise à 1308 mètre d'altitude pour le Verdarel.

Géologie du bassin versant

Au niveau régional, le versant oriental de la vallée de la Guisane, auquel le bassin du Verdarel appartient, fait partie de la « zone briançonnaise » des géologues. Au plan lithologique, le bassin versant du Verdarel est relativement « simple ». Sous les formations superficielles, on trouve :

- au-dessus de 2100 m, le Trias composé de quartzites et de grès conglomératiques.
- dans le chenal et en-dessous de 2000 m, le Carbonifère composé de conglomérat, de grès grossiers et de schistes, le tout atteignant près de 800 m d'épaisseur (Rapport C.E.T.E, 1982).
- Le faciès dit « Verrucano briançonnais » du Permo-Trias, épais de 100 m environ, constitué de grès grossiers et de conglomérats, galets de quartz et de rhyolite, s'intercale entre le Trias et le Carbonifère, entre 2000 et 2100 m d'altitude (Rapport C.E.T.E, 1982 ; Colas, 1987 ; Cocheteau *et al.*, 1990).

La structure géologique est une série renversée, avec un pendage de l'ordre de 60° vers le sud-ouest. Ce substratum est recouvert sur la majorité de sa superficie (76%) par des dépôts glaciaires, composés d'éléments hétérogènes tant au plan lithologique que granulométrique (blocs de 3 à 4 m³ insérés dans une matrice sableuse ou argileuse) (Rapport C.E.T.E, 1982). Suite à l'étude menée par le C.E.T.E en 1982 et la réalisation de profils sismiques, on a pu évaluer l'épaisseur de ce manteau morainique : il peut atteindre 30 m sur les rives du Malatra, mais son épaisseur moyenne est de 15 m sur le reste du bassin versant. Les dépôts quaternaires sont une source quasi-inépuisable de matériaux, directement mobilisables par le torrent qui y façonne son chenal d'écoulement et ses berges.

Types d'écoulement

Selon le type d'écoulement torrentiel, le transport des matériaux se fait de différentes façons, classiquement en suspension ou par charriage, mais aussi selon deux autres modalités à impact morphologique important :

- par *charriage hyperconcentré*, lorsque la concentration en matériaux transportés par charriage est telle que le transport solide a une influence notable sur les conditions d'écoulement (Koulinisky, 1994 ; Coussot, 1996).
- en *laves torrentielles* ou *coulées de débris*, un mécanisme intermédiaire entre le charriage et le glissement de terrain. Ses caractéristiques principales sont un large spectre granulométrique allant des argiles (< 0,004 mm) aux blocs (> 256 mm, voire plurimétriques), une concentration de la phase solide pouvant atteindre 80% et un déplacement en masse par bouffées successives (Coussot, 1996).

Cependant il est restrictif de différencier les « torrents à laves » des « torrents à charriage ». Si de nombreux torrents ne sont pas réputés pour engendrer des laves torrentielles, les « torrents à laves » connaissent eux, dans la plupart des cas, un mode mixte (charriage et lave) (Coppin, 2003 ; Marchi et Brochot, 2000). Dans les Alpes françaises, la disponibilité de données historiques sur les torrents (Mougin, 1931 ; Fanthou, 1994 ; Baraille, 2001) permet de les classer sur la base de leur comportement (Marchi et Brochot, 2000). Ainsi, à travers l'inventaire des crues effectué sur le Verdarel, il apparaît que ce torrent se comporte d'avantage comme un « torrent à laves » que comme un torrent à charriage, du moins jusqu'en 1988.

L'EXPANSION DU TOURISME EN GUIANE : ST CHAFFREY SYMBOLE DE CE DEVELOPPEMENT

L'agréable climat du Briançonnais a fait du tourisme le pilier de l'économie locale. Les prémices remontent aux années 30 et aux lois de 1936 instituant les congés payés (Moyrand-Gattefossé, 1982). L'inauguration d'un téléphérique reliant le hameau de Chantemerle au sommet de Serre-Chevalier, le 20 décembre 1941, marque le début du tourisme hivernal dans la vallée de la Guisane. Le complexe de Serre-Chevalier est né de l'association des communes de la vallée (Monétier-les Bains, La Salle-Les Alpes, St Chaffrey entre autres).

Cependant, la population de St-Chaffrey continue à diminuer jusqu'aux années 50. C'est à ce moment là que la reconversion vers l'économie touristique va réellement s'engager (Moyrand-Gattefossé, 1982 ; Merle, 1989 ; Lahousse *et al.*, 2003). Dès lors la population de la vallée va s'accroître très rapidement. Depuis 1960, celle de St Chaffrey a quasiment doublé en 40 ans ! (Fig. 7). En quelques décennies, le visage de la vallée de la Guisane a radicalement changé. L'urbanisation est aujourd'hui continue dans la basse vallée et la plupart des cônes de déjection, encore cultivés au milieu du XX^{ème} siècle, sont désormais bâtis (Lahousse *et al.*, 2003). La capacité d'accueil de la station de Serre-Chevalier est passée de 3000 lits en 1960, à 20 000 lits au début des années 1980 (Meyzenq, 1984). Elle serait aujourd'hui de l'ordre de 30 000 lits (Duprat, 1994).

Avec 75 remontées mécaniques, 111 pistes de ski et 250 km de pistes, Serre-Chevalier se positionne au sixième rang des stations touristiques françaises de montagnes et au premier pour les Alpes du Sud (Lahousse *et al.*, 2003).

Les caractéristiques physiques du milieu (climat, hétérogénéité des formations géologiques, important manteau morainique, pentes raides et réseau hydrographique dense) font de l'ensemble du Briançonnais une zone propice à une forte torrentialité. La Vallée de la Guisane se distingue des autres vallées de cette région par l'ampleur de son développement touristique. C'est ce qui fait l'intérêt du site choisi, le bassin versant du Verdarel, où l'on peut étudier l'impact de l'aléa torrentiel sur une commune qui a connu un développement touristique fulgurant et où les relations entre l'homme et le milieu se sont transformées (Vidal-Fontille, 1988). L'aléa torrentiel est aujourd'hui devenu source de risque, car l'urbanisation de la vallée de la Guisane et, en particulier celle du cône de déjection du Verdarel, s'est faite sans véritablement tenir compte de l'activité des torrents (Lahousse *et al.*, 2003).

MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DE L'ÉTUDE

Les différentes sources utilisées

-Les documents d'archives (correspondances entre services, anciens POS etc.) émanent principalement de trois « organismes » : le service départemental de « Restauration des Terrains en Montagne » des Hautes-Alpes situé à Gap, les Archives Départementales des Hautes-Alpes et les archives communales de St-Chaffrey.

-Les photographies aériennes constituent les documents fondamentaux pour l'étude de l'évolution de la bande active ou plus généralement de la zone d'emprise du torrent. Elles ont permis également d'établir une chronologie relative de la construction du bâti sur le cône de déjection.

-Les mesures topométriques (profils en long etc.) ont été réalisées avec une station tachéométrique de type Leica® TC 307 S.

La mise en place d'un Système d'Information Géographique

Les logiciels de S.I.G. ont plusieurs fonctionnalités, dont deux essentielles :

- la capacité de gérer et de traiter les relations spatiales entre objets ou phénomènes, ce qui implique des fonctions *d'analyse spatiale* (non courantes dans les traitements d'information classiques) et de *synthèse* pour l'aide à la décision.
- La représentation de cet espace sous la forme d'une *carte* ou d'un *plan*, ce qui implique des fonctions de conception et de production cartographiques.

Plusieurs étapes ont été nécessaires pour la création d'un S.I.G. sur le torrent du Verdarel :

- Il y a la phase de collecte et de transcription des données. Les différents documents recueillis doivent être traités dans un référentiel commun (SCAN25) en vue d'être aisément complétés et comparés.
- Il y a ensuite l'étape d'analyse des données et de production d'informations.
- Vient enfin l'étape de présentation des résultats sous forme de cartes ou de graphiques.

Le S.I.G. offre 3 principales possibilités d'utilisation pour une étude sur le risque torrentiel :

- Un S.I.G. de type inventaire : c'est un moyen de faire un « état des lieux » grâce au recensement, à l'intégration et à la mise à jour des informations décrivant le domaine de travail (ex : archiver les différents relevés topométriques, répertorier les événements d'un torrent, inventorier les ouvrages de protection...).

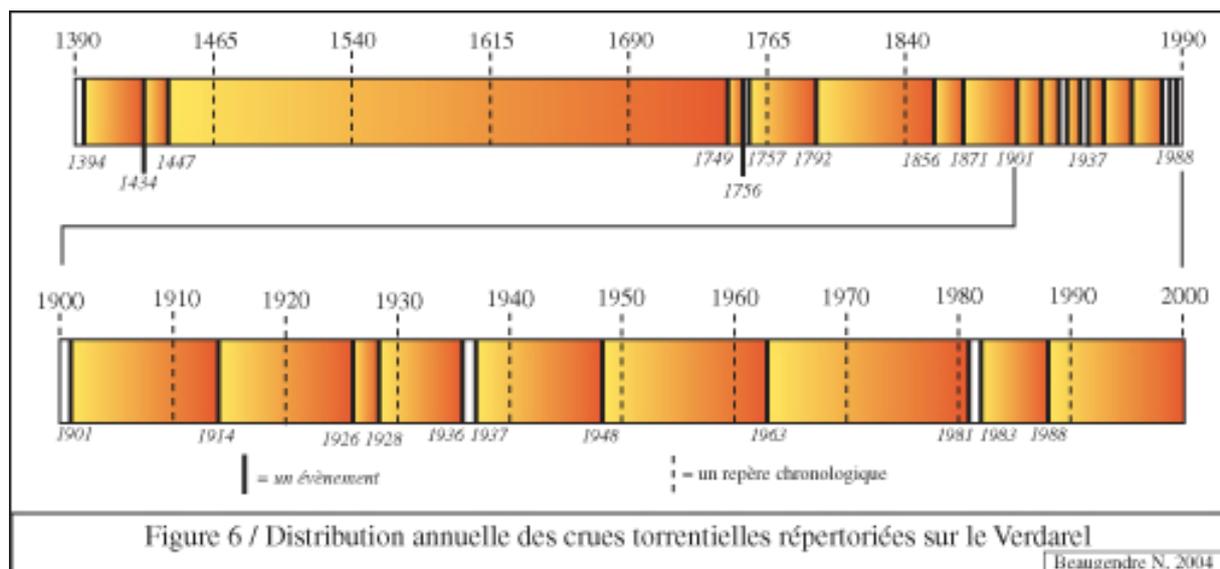
- Un S.I.G. de type « étude » a pour objet de mettre en évidence des faits spatialisés (ex : évaluation des changements morphométriques des bassins de réception), de réaliser des analyses, de chercher des solutions à des problématiques, de comparer des scénarios etc.
- Un S.I.G. comme outil d'aide à la gestion et à l'information, vient compléter les autres et ne peut être envisagé de façon totalement isolée. En effet, après avoir repéré un phénomène spatial, l'avoir analysé, après pris des décisions pour la mise en place de son suivi, il s'agit généralement de présenter des résultats (Corbin, 2002).

La deuxième partie de cet article va montrer comment cet outil permet d'étudier quelques aspects de la dynamique naturelle du Verdarel.

II. EVOLUTION DES DYNAMIQUES NATURELLES DU TORRENT DU VERDAREL

SUR L'ACTIVITE HISTORIQUE DU TORRENT

Le Verdarel, avec 20 événements répertoriés, est un des torrents les plus actifs de la vallée de la Guisane. La répartition annuelle des crues torrentielles montre une importante discontinuité entre le milieu du XV^{ème} siècle et le milieu du XVIII^{ème} : en plus de 300 ans, aucun événement n'a été répertorié. (Fig.6).



A travers l'étude historique des crues torrentielles du Verdarel, nous avons la confirmation de sa dangerosité ancienne, qui remonte dès la fin du XIV^{ème} siècle. Pourtant le torrent du Verdarel, contrairement à d'autres torrents de menace équivalente, n'a pas été intégré à une série R.T.M (terrains domaniaux faisant l'objet de travaux de correction torrentielle). L'hypothèse, la plus plausible, est que la faiblesse des enjeux sur le cône de déjection du Verdarel ne nécessitait pas l'intervention et la correction massive du torrent. L'examen du cadastre de 1809 et l'analyse des cartes d'état-major de 1928 n'indiquent aucune habitation, ni aucune infrastructure particulière sur le cône à cette époque.

Le 9 juillet 1981, un violent orage éclate sur le sommet du bassin versant du Verdarel. Cet épisode climatique a provoqué une crue d'ampleur majeure. « *De mémoire d'homme et nulle part dans les archives n'ont été retrouvés de récits de crues aussi violentes pour la commune de St-Chaffrey* » (Lahousse, 1998). Cette crue n'est pas uniquement le fait d'un épisode orageux exceptionnel, l'ampleur du phénomène vient également des précipitations massives qui ont précédé le 9 juillet 1981. Ainsi en l'espace d'une dizaine de jours, la région a reçu 85% des précipitations réparties sur deux mois (Colas, 1987).

L'averse orageuse du 9 juillet 1981 a amené l'apport d'eau supplémentaire et suffisant pour le déclenchement de la lave torrentielle. Les dégâts sur le cône de déjection sont considérables, près de 980 000 euros au total (Flez et Lahousse, 2002).

L'évolution contemporaine de la zone d'emprise du torrent laissait-elle présager une crue d'une telle ampleur ?

EVOLUTION DE LA ZONE D'EMPRISE DU VERDAREL SUR SON CONE DE DEJECTION (1939-1993)

Précisions sur la terminologie employée

La bande active est définie comme « l'espace fluvial constitué par les chenaux et les bancs de galets actifs, fréquemment remaniés lors des crues » (Bravard et Petit, 1997 in Liebault et Taillefumier, 2000). Cette définition, si elle est adaptée à l'étude des rivières torrentielles, l'est beaucoup moins pour celle des torrents de versant. La désignation et l'utilisation de la « zone d'emprise » comme étant la « surface maximale soumise à l'action torrentielle » nous semble préférable, car plus proche de la réalité de terrain. Ainsi définie, la zone d'emprise comprend :

- le chenal d'écoulement (désigné par le terme de bande active pour le confort de l'analyse)
- les zones de débordement principal (chenaux de crues, digitations de laves torrentielles récentes)
- les zones de débordement secondaire (engravement, débordement liquide et dépôts de fines, basses terrasses) (Coppin, 2003). Ces secteurs conservent des marques d'épanchement de lave antérieure, mais ils ne sont plus systématiquement réempruntés par le torrent lors des crues, sauf en cas d'événement majeur.

Une zone d'emprise en réduction jusqu'à la crue du 9 juillet 1981

De 1939 jusqu'à 1981, on remarque une constante diminution de la zone d'emprise du torrent. Cette rétraction s'explique principalement par la reconquête végétale et arbustive des anciennes zones de débordement. On passe ainsi d'un indice 100 en 1939 à un indice de 53 en 1971 (derniers clichés aériens disponibles avant la crue de 1981).

La figure 7e, illustrant la crue de 1981, montre que la zone d'emprise du torrent a considérablement augmenté, sa superficie ayant été multipliée par 2 par rapport à 1939 ! On est passé en quelques heures d'un indice de superficie proche de 53 (la rétraction a sûrement continué après 1971, mais notre analyse ponctuelle ne peut pas nous le garantir) à un indice de 217 !! La lave torrentielle a débordé sur les secteurs que nous avons qualifiés de zones de « débordement principal et secondaire ». Ainsi en un temps très bref, le torrent a réoccupé les terrains qui, au fil du temps, avaient été empruntés de moins en moins fréquemment. Or, rien ne laissait présager l'augmentation brutale et ponctuelle de l'emprise du torrent en 1981 : on se trouvait dans un contexte de réduction continue de la zone d'emprise du Verdarel depuis 1939.

Suite à cette crue du 9 juillet 1981, de nombreux travaux de correction torrentielle eurent lieu, et l'on a pu observer que la rétraction de l'influence du torrent sur le cône a repris très vite (dès 1989 et encore plus en 1993). L'impact des aménagements dans cette évolution est indéniable (Fig. 4).

Figure 15 / Indice de superficie de la zone d'emprise du Verdarel

Année	1939	1952	1961	1971	1981	1989	1993
Indice	100	82	74	53	217	52	16

Bien que l'hypothèse d'une diminution du couvert boisé sur le haut du bassin versant, pour expliquer cette recrudescence soudaine de l'activité hydrologique du torrent, semble peu crédible, il convient toutefois de s'y intéresser pour écarter de manière certaine cette proposition.

EVOLUTION DU COUVERT FORESTIER

D'après le cadastre de 1809, le couvert boisé représentait 25% de la superficie du bassin versant du Verdarel, soit une surface de près de 106 ha. Plus d'un siècle après, les surfaces boisées atteignaient 116 ha en 1912 (soit 28% de la superficie). En 113 ans, la surface du couvert boisé a augmenté de 8% (Fig. 10). Par rapport à 1809, certaines zones sont déboisées au profit des pâturages ou de terres cultivées, mais globalement la forêt progresse vers le haut du bassin versant. A l'heure actuelle, le couvert forestier représente 33% de la superficie du bassin versant du Verdarel, soit près de 140 ha. En l'espace d'un siècle environ, la superficie forestière a crû de 17%, principalement en raison de la déprise rurale (abandon des terres cultivées et des lieux de pacage). La ripisylve a également progressé sur la rive gauche du Petit Verdarel, signe d'une accalmie hydrologique de cet affluent. Ce taux de « boisement » impressionnant n'a pourtant pas empêché la formation de lave torrentielle en 1981 et 1988. Il n'est donc pas le gage d'un torrent assagi. L'un des paramètres majeurs qui contrôlent la formation des laves torrentielles est la disponibilité en matériaux. Le torrent du Verdarel tire principalement sa charge des terrains morainiques qu'il traverse tant en incisant son chenal, qu'en affouillant latéralement ses berges.

ETUDE DIACHRONIQUE DE LA PARTIE SUPERIEURE DU PROFIL EN LONG DU TORRENT

L'étude du profil en long peut apporter des éléments sur les transferts sédimentaires (Fig. 11). Une comparaison des relevés topométriques de juillet 1996 et juillet 2000 avait été effectuée sur une section du profil en long du torrent (Lahousse et Salvador, 2002). Elle avait mis en évidence un secteur privilégié d'accumulation, entre 1810 et 1850 m d'altitude. Il a semblé intéressant de prolonger cette analyse pour la période récente. Pour ce faire, en mai 2004, un relevé topométrique a été réalisé du sommet du barrage Blanchard (vers 1700 m d'altitude) jusqu'à 2000 mètres d'altitude environ (Fig.).

Lahousse et Salvador (2002) ont montré que, depuis 1988, le transit sédimentaire s'effectuait par charriage, en apportant des retouches ponctuelles au profil en long lors des épisodes de crues. La comparaison des profils de juillet 2000 et mai 2004 précise la nature de ces retouches :

- sur près de 18% du tracé total, le profil de 2000 est resté inchangé : ce sont les plages d'atterrissement des barrages, les tronçons où le torrent s'écoule directement sur le substrat carbonifère et ceux qui n'ont pas subi de changements morphogéniques.
- le résultat le plus remarquable de la comparaison des deux profils est que près de 50 % du chenal s'est incisé entre 2000 et 2004. L'incision la plus importante, plus de 4m, s'est effectuée entre 1810 et 1850 m d'altitude, secteur qui avait connu une accumulation entre 1996 et 2000, avec exhaussement du lit, infléchissement de la pente du chenal et dégradation latérale des berges (Lahousse et Salvador, 2002). Entre 2000 et 2004, sur ce même tronçon, l'incision s'est faite dans des formations détritiques qui ont été évacuées vers l'aval. On peut estimer entre 4000 et 5000 m³ le volume de matériaux purgés vers l'aval. L'incision du chenal, à terme, peut déstabiliser les berges, dont les matériaux iront s'accumuler à nouveau dans le lit, en aval. Le mécanisme en cause est une *substitution de charge*. Dans l'éventualité de futurs travaux de correction torrentielle sur le chenal d'écoulement du Verdarel, ce site devra être fixé préférentiellement.

Le taux d'accumulation est de 32% sur l'ensemble du linéaire étudié, les zones en accrétion sont logiquement et majoritairement situées à l'aval du principal secteur en incision. L'estimation globale de la charge sédimentaire susceptible d'être livrée au chenal d'écoulement, pour la formation de lave torrentielle, est de 50 000 à 60 000m³ (Lahousse, Salvador, 2002). Cette étude diachronique d'une portion du linéaire du Verdarel montre l'intérêt de réaliser un suivi longitudinal du tracé d'un torrent dans le temps et de gérer ces données à l'aide d'un outil de type S.I.G.

En effet, avec la réactualisation de la base de données tous les 2 ou 4 ans, la comparaison des relevés topométriques permettrait d'indiquer les endroits du torrent à corriger ou fixer en priorité. La facilité à récupérer les informations sur les profils en long, une fois intégrées dans un S.I.G. commun, est l'un des points forts de cet outil.

Finalement, le traitement avec un logiciel S.I.G. de l'ensemble des données obtenues par l'analyse et l'étude des photographies aériennes (mesure de la superficie de la zone d'emprise, photo-interprétation...) et des anciens documents (cadastres, procès verbal de reconnaissance etc.) a permis de préciser certaines caractéristiques de l'évolution naturelle du torrent (zone d'emprise en réduction, augmentation spontanée de la végétation etc.). La réalisation systématique de ce type de travail, sur chaque torrent étudié, permettrait de déterminer des tendances à l'échelle des vallées et de comparer, par exemple, l'évolution des bassins versants boisés artificiellement avec ceux qui n'ont pas connu d'interventions anthropiques.

A la question précédemment posée « la crue du 9 juillet 1981 était-elle prévisible ? », l'étude de la zone d'emprise du torrent sur son cône et du couvert forestier sur le bassin versant suggère une réponse négative : rien ne laissait présager une telle crue. Mais l'étude du profil en long a montré que, sur un temps relativement bref, le torrent peut accumuler un volume important de matériaux dans son chenal puis les transporter par charriage plus en aval.

Bien que n'ayant plus émis de lave torrentielle depuis 1988, le torrent du Verdarel présente toujours un caractère menaçant, rien qu'en évaluant le volume de matériaux susceptible d'être mobilisé. Il convient donc maintenant de se pencher; dans la dernière partie, sur la vulnérabilité du cône de déjection du Verdarel.

III. EVOLUTION ET CONSEQUENCES DE L'URBANISATION DU CONE DE DEJECTION DU VERDAREL

CONSEQUENCES DE LA CRUE DE 1981 DANS L'URBANISATION DE ST CHAFFREY

Avant 1981, l'urbanisation de la commune de St-Chaffrey a connu deux phases :

- de 1939 à 1961, elle se concentre autour du noyau ancien du village. Les terrains proches du torrent du Verdarel sont évités. Il semble évident que le poids de la « mémoire collective et vernaculaire du risque » restait important dans les mentalités.
- les premières constructions, à proximité du torrent, datent de 1961, parallèlement à l'essor du tourisme. La population de St-Chaffrey change et la culture du risque est peu à peu oubliée. De 1961 à 1981, on aménage le cône de déjection et de nombreuses constructions se font tout près du chenal d'écoulement du Verdarel... Cependant il est important de replacer ces constructions dans le contexte réglementaire de l'époque : avant la catastrophe de 1981, nul document ne faisait mention du Verdarel comme un facteur de risques (Fig. 12).

Au lendemain de la crue de 1981, la commune de St-Chaffrey souhaite une révision de son P.O.S pour y intégrer les données du P.Z.E.R.N (Plan des Zones Exposées aux Risques Naturels) établi par le R.T.M à partir des conclusions du rapport du C.E.T.E. Le nouveau P.O.S de St-Chaffrey est approuvé le 7 juin 1988, soit 7 ans après le début de sa révision. Pour la première fois, on fait référence au Verdarel comme une menace potentielle pour la commune. D'un autre côté, les investissements massifs consentis par la commune de St-Chaffrey et l'Etat dans les ouvrages de correction torrentielle, notamment une plage de dépôt capable de retenir 50 000 m³ (Colas, 1987 ; CochetEAU *et al.*, 1990), ont contribué à restaurer un climat de confiance au sein de la population.

Ainsi, paradoxalement, l'urbanisation du cône de déjection s'est poursuivie à un rythme élevé, avec la construction d'habitations sur des terrains engravés lors de la dernière crue (Fig. 12 et 13).

LES CONSEQUENCES DE LA NOUVELLE POLITIQUE SUR LES RISQUES NATURELS

Le service R.T.M, suite à la crue de 1988, s'interrogea sur l'efficacité de la plage de dépôt. En effet, cette crue, avec un volume de matériaux estimé a posteriori entre 8 000 et 12 000m³ (Gruffaz, 1997), a causé des dégâts sur le cône, en dépit de la plage de dépôt susceptible théoriquement de retenir une lave de 50 000m³ (volume estimé de la lave de 1981).

Après une visite de terrain, le 20 juillet 1993, le service R.T.M propose à la commune un projet de modélisation physique de la plage de dépôt par la SOGREAH. L'étude ne fut réalisée qu'en 1997, en raison du coût de l'opération et des doutes émis par une partie du conseil municipal sur son utilité, mais dès mars 1995, le R.T.M prévoyait la mise en place d'un P.Z.E.R.N pour « geler » temporairement l'urbanisation sur le cône de déjection du Verdarel. L'événement climatique qui frappa le Briançonnais le soir du 24 juillet 1995 (débordement d'une quinzaine de torrents), ne fit que précipiter la mise en place des nouvelles dispositions législatives vis-à-vis des risques naturels : le contexte était alors favorable au gel des terrains en vertu du « principe de précaution », leitmotiv de la loi Barnier du 2 février 1995.

Comme le bassin versant du Verdarel n'avait pas été touché par l'orage de juillet 1995, l'efficacité du dispositif de correction torrentielle n'avait pu être démontrée. Aussi, la sécurité sur le cône ne pouvait-elle être considérée comme acquise (Lahousse et Salvador, 2002), d'où l'imposition d'une zone inconstructible par le R.T.M et l'annexion du PZERN au P.O.S, dans l'attente d'une étude rigoureuse sur la fiabilité des aménagements existants.

L'étude finalement réalisée par la SOGREAH confirma les doutes du R.T.M : les simulations démontraient que les aménagements de correction torrentielle étaient incapables de contenir une lave torrentielle semblable à celle de 1981. Face à cet état de fait, le R.T.M profita de la révision du P.O.S (prescrite en 1996) pour imposer une zone « UR » inconstructible sur le cône de déjection du Verdarel, et engagea la commune de St-Chaffrey à continuer les investissements dans le dispositif de correction torrentielle.

Le nouveau P.O.S fut approuvé en juin 1999, mais, compte tenu des investissements massifs déjà consentis dans la correction torrentielle, la commune de St-Chaffrey eut le sentiment d'avoir été « lésée ». Un renforcement du dispositif de protection fut préconisé par le RTM pour protéger l'existant. On arrive au paradoxe que le financement du programme de correction torrentielle aura bientôt un coût supérieur à celui des dégâts occasionnés par la crue du 9 juillet 1981 (Flez et Lahousse, 2002).

UN ESPOIR D'ASSOULISSEMENT AVEC LA MISE EN PLACE PROCHAINE DU P.P.R ?

Nous avons pu, lors de nos recherches, avoir accès au P.P.R provisoire de novembre 2003 de la commune de St-Chaffrey. Ces Plans de Prévention des Risques (P.P.R) sont établis en application de la loi Barnier du 2 février 1995.

La comparaison du P.Z.E.R.N et du P.P.R provisoire montre une évolution nette du zonage (Fig. 13b et 13c). En effet, la superficie des terrains inconstructibles sur le P.P.R provisoire diminue considérablement par rapport à celle du P.Z.E.R.N, car il prend mieux en compte l'ensemble des protections effectuées par la commune de St-Chaffrey en collaboration avec le R.T.M, depuis 1995. Est-ce à dire qu'il y a diminution de la dangerosité du Verdarel ?

En fait, le Verdarel est et reste un torrent dangereux : il a toujours la capacité de mobiliser un volume important de matériaux susceptible d'alimenter une lave torrentielle. Cependant, il est nécessaire de concilier prise en compte des risques naturels et stratégies locales de développement, particulièrement dans une région vouée au tourisme. Le choix fait par le P.P.R provisoire serait d'associer un dispositif sécuritaire puissant (nombreux aménagements de correction torrentielle réalisés depuis 1981) avec une législation stricte (prescriptions et recommandations architecturales obligatoires pour les nouvelles habitations et mises aux normes pour les bâtiment existants), afin de maîtriser l'urbanisation sur le cône de déjection et de garantir ainsi une protection maximale et la plus efficace possible pour la population.

Le P.P.R provisoire de novembre 2003 n'a aucune valeur juridique, puisqu'il n'a pas encore été approuvé et peut encore faire l'objet de modifications. Cependant l'analyse de ce document provisoire, révèle la volonté de concilier développement de la commune (levée partielle de la zone « UR ») et régulation stricte de l'urbanisation, afin de garantir une sécurité maximale aux habitants du cône, et éviter le retour d'une situation fâcheuse, semblable à celle de 1995 (imposition d'une zone inconstructible). Une urbanisation réfléchie et maîtrisée est l'unique solution pour autoriser la levée de la zone « UR » sur le cône du Verdarel.

CONCLUSION

Depuis la crue du 9 juillet 1981, la dangerosité du torrent du Verdarel sur la commune de St-Chaffrey est connue de tous. Survenue dans un contexte de rétraction de la zone d'emprise du torrent, associé au développement touristique du village, cette crue stupéfia la population par sa soudaineté et sa virulence. La mise en place d'ouvrages de correction restaura la confiance des habitants de St-Chaffrey, et l'urbanisation du cône se poursuivit jusqu'en 1995, date de l'instauration par le R.T.M d'une zone inconstructible sur le cône de déjection en vertu du « principe de précaution » de la loi Barnier. Depuis 1995, la commune de St-Chaffrey se trouve sans autre alternative que d'attendre la levée partielle ou totale de la zone « UR ». La mise en place et l'application dans un avenir plus ou moins proche du futur Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles apportera peut être un compromis viable entre une protection maximale et un risque acceptable.

Sur le plan pratique, cette étude synthétique du risque torrentiel sur la commune de St-Chaffrey a montré l'intérêt de l'outil S.I.G., apte à intégrer des données puisées dans différentes études et d'autres créées par nos soins (zone d'emprise, couvert forestier...). Les perspectives ouvertes par un Système Information Géographique sont nombreuses : outre les capacités d'analyses sur un torrent en particulier, les comparaisons entre différentes vallées seraient facilitées par l'intégration des données dans un référentiel commun. Si l'intérêt d'un S.I.G. pour l'aménageur n'est plus à démontrer, l'utilisation de cet outil dans le domaine de la Recherche, notamment pour l'étude de la torrentialité, est également pertinente : inventaire des profils en long et en travers, M.N.T, quantification de différents paramètres (évolution du couvert forestier, superficie de la zone d'emprise...), évaluation des enjeux socio-économiques *etc.*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BARAILLE ST, (2001) - *Les crues dommageables dans le bassin de la Haute Durance (Hautes-Alpes, France) : recensement depuis le XIV siècle, signification climatique, facteurs météorologiques et prévision*, Thèse de doctorat, Université de Savoie, 604 p.

BEAUGENDRE N, (2003) - *Contribution à l'évaluation de la dangerosité des torrents de la Juliane et du Rif Paulin. (Vallée de la Vallouise, Hautes-Alpes)*, Mémoire de maîtrise de géographie physique, Université de Lille I, 134 p.

BEAUGENDRE N, (2004) - *Synthèse et perspectives nouvelles pour l'étude du risque torrentiel (Torrent du Verdarel, vallée de la Guisane, Hautes-Alpes)*, Mémoire de DEA de géographie physique, Université de Lille I, 109 p.

C.E.T.E, (1982) - *P.Z.E. St-Chaffrey, étude géologique*, Rapport, 20 p.

COCHETEAU J-C, PIR R, CHARRY J-C, (1990) - *La crue du torrent du Verdarel : zonage et travaux (commune de St-Chaffrey-Hautes Alpes), Géologie Alpine, mémoire h.s (15) : "risques naturels dans le Sud-Est de la France"*, p.35-40.

COLAS G, (1987) - *La crue torrentielle du Verdarel (Hautes-Alpes), 9 juillet 1981, Bull.Liaison.Labo.Ponts et Chaussées:"Risques naturels" 150/151, p.78-83.*

COPPIN B, (2003) - *Conséquences cindyniques de l'évolution récente de l'emprise de deux torrents alpins sur leurs cônes de déjection : L'exemple du torrent de Sachas et du Gros Riou (Briançonnais, Hautes-Alpes, France)*, Mémoire de DEA de géographie physique, Université Lille I, 116 p.

COUSSOT P, (1996) - *Les laves torrentielles-Connaissances à l'usage du praticien*, Edition Cemagref, Collection Etudes, série Equipements pour l'eau et l'environnement, n°23, 177 p.

DUPRAT M, (1994) - *De la Guisane à Serre-Chevalier. Evolution d'une vallée briançonnaise au XXè siècle, Mémoire de l'Institut d'Etudes Politiques, Université d'Aix-Marseille III, 108 p.*

FANTHOU T, (1994) - *Les risques naturels dans le département des Hautes Alpes, chroniques et territoires*, Thèse de doctorat, Université de Paris VII, 189 p.

FLEZ C, LAHOUSSE P, (2002) - *La gestion du risque torrentiel à Serre-chevalier : acteurs et enjeux, L'espace géographique, n°2, p.163-173.*

GRUFFAZ F, (1997) - *Torrent du Verdarel (Hautes-Alpes) : Etude de bassin et de la plage de dépôts torrentiels, Rapport R.T.M/O.N.F, 71 p.*

KOULINSKY V, (1994) - *Etude de la formation d'un lit torrentiel (Thèse), Etudes du CEMAGREF, série équipements pour l'eau et l'environnement, n°15, 538 p.*

LAHOUSSE P, (1996) - *L'instabilité actuelle des versants de la vallée de la Guisane (Hautes-Alpes, Briançonnais), Géomorphologie:relief, processus, environnement, n°4, p. 21-36.*

LAHOUSSE P, (1998) - Essai de cartographie intégrée des aléas naturels en zone de montagne : L'exemple de la vallée de la Guisane (Hautes-Alpes, Briançonnais), *Annales de Géographie*, n°603, p.467-486.

LAHOUSSE P, GARITTE G, THENARD L, (2003)^v - Aléa et risque torrentiel dans le Briançonnais (Alpes Françaises du Sud), *Collection EDYTEM - Cahiers de Géographie n°1*, p. 191-201.

LAHOUSSE P; SALVADOR P-G, (2002) - Evaluation de la dangerosité du torrent du Verdarel (Hautes-Alpes, France), *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n°1, p.93-103.

LIEBAULT F, TAILLEFUMIER F, (2000) - L'évolution contemporaine de la bande active des principaux affluents de la Drôme, de l'Eygues et du Roubion (Préalpes du Sud, France), *Géocarrefour*, volume 75, N°4, p.327-336.

MARCHI L; BROCHOT S, (2000) - Les cônes de déjection torrentiels dans les Alpes françaises Morphométrie et processus de transport solide torrentiel, *Revue de Géographie Alpine*, n°3, p.23-38.

MERLE R, (1989) - *Histoire du ski dans le Briançonnais*, Gap : Ed. Ophrys-Alpes et Midi, 132 p.

MEYZENQ C, (1984) - *Hautes Alpes, Ubaye, Haut Drac, Préalpes Drômoises : pays de transition entre Alpes du Nord et Alpes du Sud*, Gap, éd. Ophrys, 638 p.

MOUGIN M-P, (1931) - *La restauration des Alpes*, Paris, Imprimerie Nationale, 583 p.

MOYRAND-GATTEFOSSE F, (1982) - *Saint-Chaffrey, approche historique et témoignages*, édité par la commune de Saint-Chaffrey, 186 p.

VIDAL-FONTILLE C, (1988) - *La population des Alpes du Sud de 1860 à nos jours*, Gap-Ed : Ophrys, 400 p.

Réflexions sur l'évolution contemporaine de l'aléa et du risque torrentiel dans les bassins de la Guisane et du Guil (Hautes-Alpes, France)

Virginie BOISARD

UPRES EA 3339 – Laboratoire de Géomorphologie et Gestion des Milieux Naturels –

Résumé :

Les bassins de la Guisane et du Guil sont depuis toujours soumis à des aléas naturels, parmi lesquels les crues et laves torrentielles sont les phénomènes les plus souvent recensés dans les archives. Cependant, depuis le début du XX^e siècle, l'activité torrentielle n'est pas constante, et le risque torrentiel a lui aussi évolué avec la reconversion vers l'économie touristique de ses deux sites. L'inventaire des crues et laves torrentielles dommageables recensées entre 1900 et 2003, a ainsi mis en évidence le changement de fonctionnement des torrents, devenu spasmodique depuis la fin du Petit Age Glaciaire (succession de phases d'accalmie et de crises), et la prédominance des débordements de fin de printemps/début d'été. Ce fonctionnement irrégulier des torrents a alors favorisé l'extension de l'urbanisation dans des zones autrefois prudemment délaissées dans les bassins de la Guisane et du Guil. Ainsi, avec l'essor du tourisme au milieu des années 1950-1960, les cônes de déjection ont été colonisés par les constructions en tout genre. Le danger émane ainsi principalement des torrents latéraux, qui menacent d'envahir leurs cônes de déjection densément aménagés. La vulnérabilité de ces sites s'est donc largement accrue, les crues torrentielles occasionnant un plus grand nombre de dégâts que par le passé. Avec des crues et laves torrentielles représentant un aléa majeur, conjugué à une vulnérabilité élevée, le risque torrentiel n'a donc jamais été aussi important.

Mots-clés : Crues et laves torrentielles, risque torrentiel, cônes de déjection, développement touristique, Briançonnais, Queyras.

Abstract :

Since a long time, the Guisane and the Guil basins are prone to natural hazards. Among them torrential floods and debris flows are the most omnipresent in the archives. However, since the beginning of the twentieth century, the torrential activity has not been continuous, and the torrential risk has changed with tourism development. The inventory of torrential floods recorded between 1900 and 2003, shows a change in torrential activity, which became spasmodic for 150 years (a succession of lull and crisis phases), and the predominance of spring and summer floods. Since 1950-1960's, the tourism development has led to a rapid extension of building on the alluvial fans of the Guisane and the Guil valleys. The vulnerability of these sites increased a lot; there are more and more damage. Today, the torrential risk gets more and more important because of considerable torrential hazards on the alluvial fan and higher vulnerability.

Key-words : torrential floods and debris flows, torrential risk, alluvial fans, tourism development, Briançonnais, Queyras.

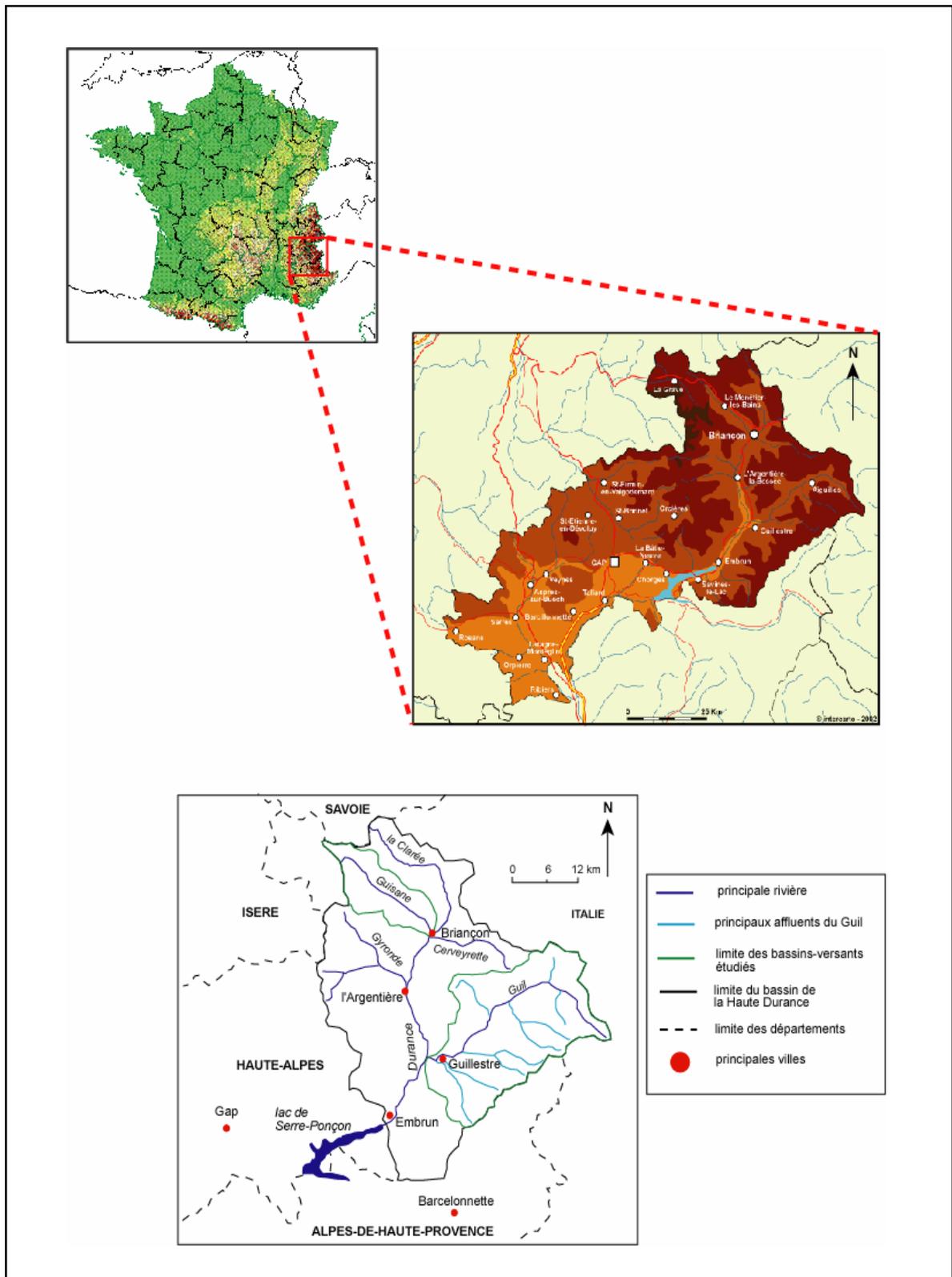


Figure 1 : Localisation des bassins versants de la Guisane et du Guil
(Source : www.rdbmrc.com).

INTRODUCTION

De tout temps, les régions montagnardes ont été exposées à des aléas naturels, et en particulier aux crues et laves torrentielles. Mais avec l'évolution de la société, l'impact de ces phénomènes n'est plus le même aujourd'hui que par le passé. Situés dans le département des Hautes-Alpes, les bassins-versants de la Guisane (195 km²) et du Guil (730 km²) sont deux territoires marqués par la torrencialité (fig.1) (Lahousse, 1994 ; Bourbon, 2002). Les torrents y sont en effet bien développés, et particulièrement vigoureux. Les débordements torrentiels sont ainsi monnaie courante ; leur nombre élevé s'explique notamment par la présence de pentes raides liées à des altitudes élevées (supérieures à 2100 m en moyenne), par la nature des formations géologiques (essentiellement des calcaires et des schistes) et par des conditions climatiques marquées par des orages violents relativement fréquents (Avocat, 1979 ; Meyzenq, 1984 ; Fanthou, 1994).

C'est dans ce cadre que, depuis les années 1950-1960, les aménagements, notamment liés aux sports d'hiver, se multiplient de plus en plus dans ces deux bassins. L'essor de l'urbanisation s'accompagne d'un important besoin d'espaces, mais leur disponibilité est réduite. Des zones autrefois prudemment délaissées en raison de leur sensibilité aux assauts des torrents, et donc dangereuses, vont alors être utilisées pour accueillir les constructions : il s'agit des fonds de vallées, et plus particulièrement des cônes de déjection torrentiels. Le bassin de la Guisane et celui du Guil sont directement concernés. Mais si la vallée de la Guisane, plus ouverte, s'est tournée vers un tourisme de masse (station de Serre-Chevalier), le bassin du Guil, plus enclavé, a vu le développement du tourisme vert. Avec la concentration des enjeux sur des sites sensibles, les crues rapides et violentes que connaissent les nombreux torrents de la zone d'étude, deviennent alors des événements souvent dommageables à divers degrés, et donc générateurs de risque pour les populations et les aménagements.

I. L'EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE L'ACTIVITE TORRENTIELLE DEPUIS 1900

D'après un inventaire essentiellement basé sur les archives du service de Restauration des Terrains en Montagne (R.T.M.), ainsi que sur les bases de données de Baraille (2001) et de Fanthou (1991), 199 crues torrentielles dommageables ont été recensées dans les bassins du Guil et de la Guisane, sur une période de 103 ans (de 1900 à 2003 inclus). L'étude du XX^e siècle a pour avantage d'être mieux documenté que les siècles précédents (Fanthou et Kaiser, 1990) ; les lacunes de l'information étant ainsi moins importantes, cela permet à l'analyse de refléter au mieux la réalité. Cependant, « la qualité de l'information reste entièrement subordonnée à l'ampleur des dégâts occasionnés aux aménagements humains pour chaque crue » (Lahousse, 1997, p.58).

L'EVOLUTION SPATIALE DE L'ALEA TORRENTIEL DEPUIS 1900

Avec 199 crues torrentielles dommageables enregistrées en 103 ans par 71 torrents différents au total, les bassins versants du Guil et de la Guisane sont particulièrement exposés aux assauts rapides et violents des torrents. Sur les 18 communes que comptent les deux bassins, 17 recensent des crues et laves torrentielles dommageables, dont le nombre varie de 1 à 30. Ces communes ne sont donc pas touchées par le phénomène torrentiel avec la même intensité (fig.2).

Les débordements torrentiels ne se répartissent pas de manière homogène au sein de ces deux bassins, et certains secteurs sont plus souvent touchés que d'autres, dans la mesure où certains torrents connaissent une activité plus importante (Saint-Chaffrey, Vars, Arvieux,...).

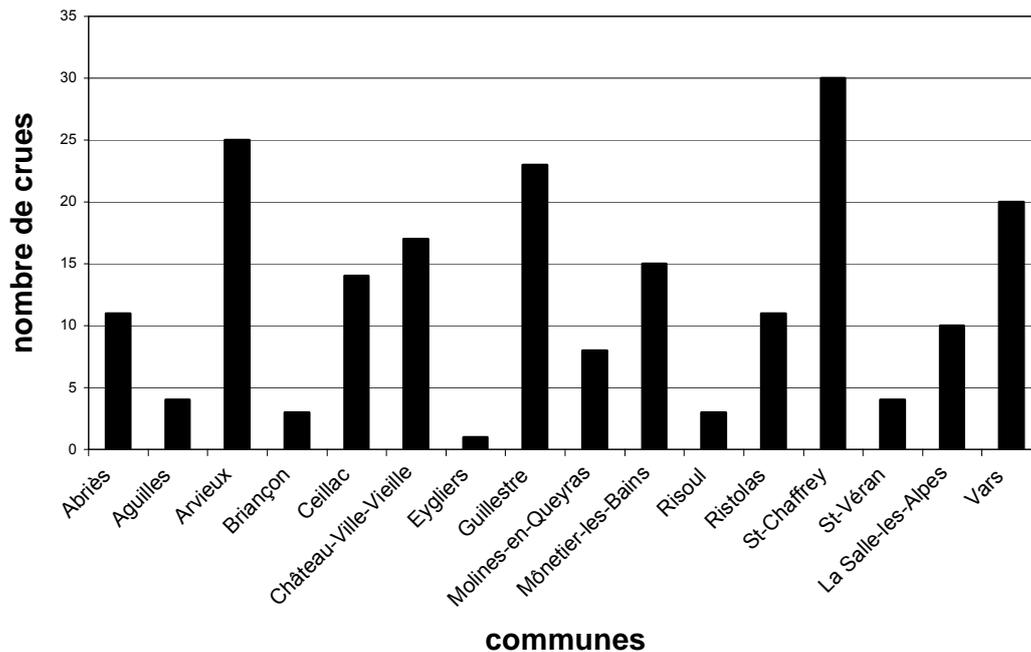


Figure 2 : Nombre de crues torrentielles dommageables répertoriées par commune, depuis le début du XX^e siècle (Source : base de données R.T.M.).

Ainsi, avec ses 30 événements dommageables recensés, la commune de Saint-Chaffrey, située dans la vallée de la Guisane, détient le record de la zone d'étude. Elle rassemble à elle seule plus de la moitié du total des crues torrentielles répertoriées dans la vallée de la Guisane (51,7%). Cette situation est en grande partie liée à la présence de deux torrents particulièrement dangereux (fig.3) (Lahousse, 1997 ; Lahousse et Salvador, 1998b) : le Verdarel, qui a connu 14 crues torrentielles depuis 1900, et le Sainte-Elisabeth, qui en totalise 9. Les torrents du Saint-Bernard, du Bez et du Peytavin sont également particulièrement redoutables, avec 4 crues torrentielles dommageables enregistrées chacun. C'est la partie basse de la vallée de la Guisane (en aval du village du Casset) qui recense le plus grand nombre de crues torrentielles dommageables depuis 1900 : elle rassemble 91,4% des débordements torrentiels recensés dans tout le bassin-versant. Dans le bassin du Guil, ce sont les communes d'Arvieux, de Guillestre et de Vars qui se distinguent, avec respectivement 25, 23 et 20 crues torrentielles dommageables répertoriées depuis le début du XX^e siècle. Les torrents du Chagne, du Rivet et du Bouchet sont particulièrement actifs depuis 103 ans, avec plus de 9 crues torrentielles recensées (fig.4). Mais tous les principaux torrents du bassin, notamment ceux des grandes vallées affluentes du Guil, sont potentiellement dangereux (Bourbon, 2002). D'après l'analyse de la répartition spatiale des crues torrentielles par commune, l'aléa torrentiel affecte sensiblement les villages des communes situées sur les cônes de déjection des organismes torrentiels, ainsi qu'aux confluences de torrents latéraux et des rivières torrentielles de la Guisane et du Guil. Si l'on considère maintenant chaque torrent, on dénombre au total, sur l'ensemble de la zone étudiée, 18 torrents très actifs depuis le début du XX^e siècle sur les 71 au total (25,4%), c'est-à-dire qui ont connu plus de deux crues dommageables importantes pour le bassin de la Guisane et au moins quatre pour celui du Guil. On peut remarquer qu'il s'agit des torrents proches des principaux lieux d'occupation humaine qui rassemblent le plus grand nombre d'événements dans ces deux bassins versants.

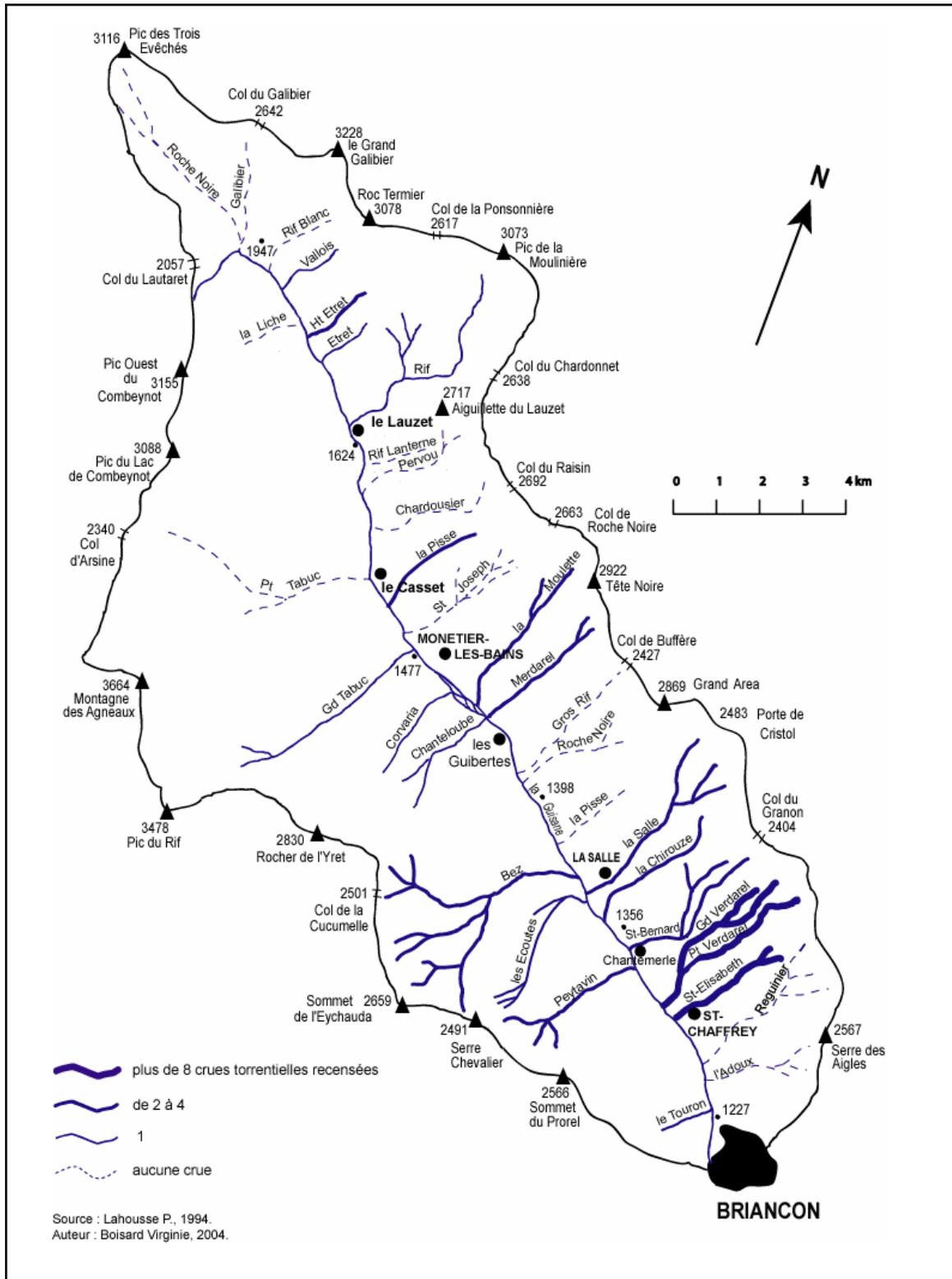
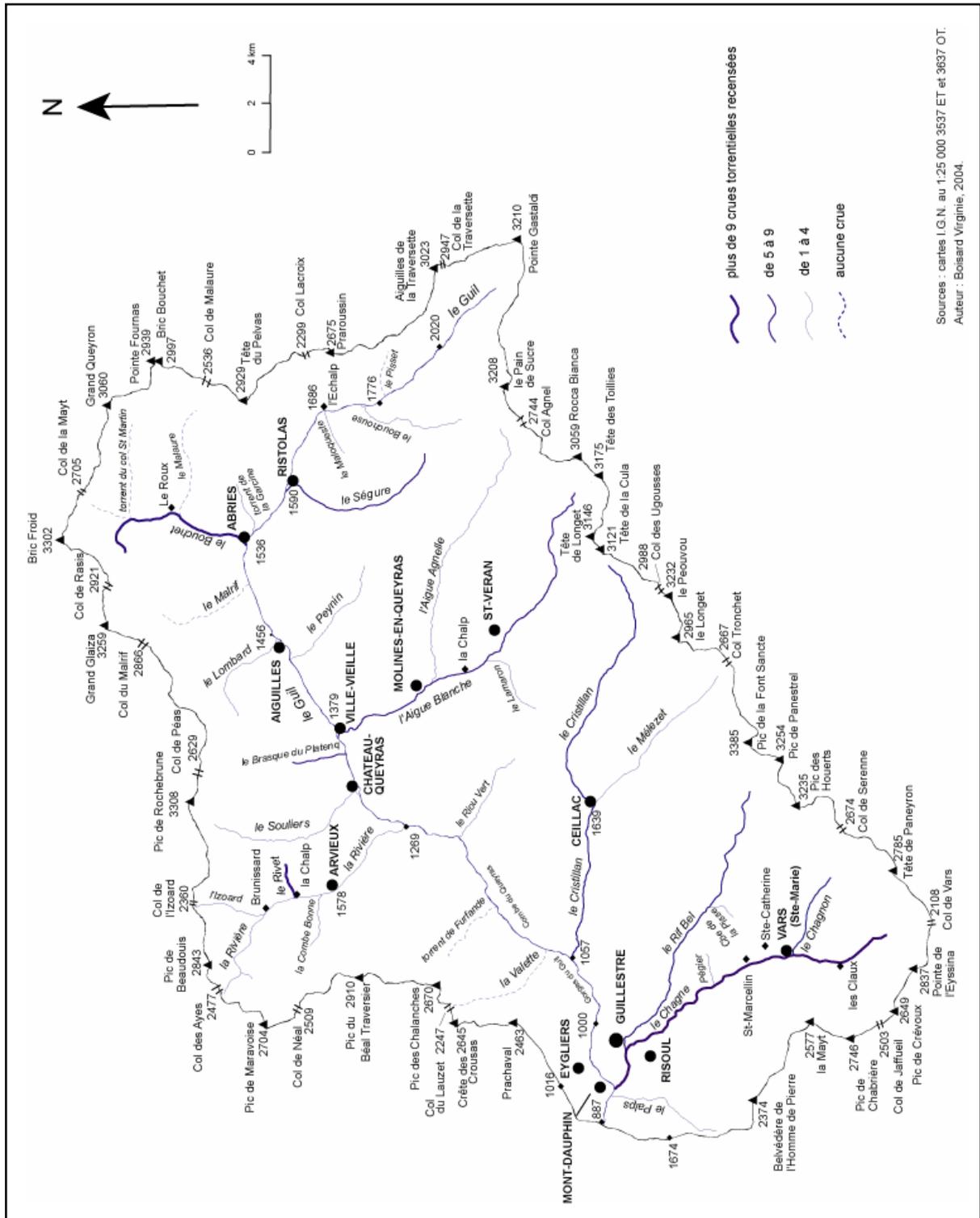


Figure 3 : Nombre de crues répertoriées par torrent dans la vallée de la Guisane (Source : Lahousse P., 1994 et base de données R.T.M.).



Sources : cartes I.G.N. au 1:25 000 3537 ET et 3637 OT.
Auteur : Boisard Virginie, 2004.

Figure 4 :
Nombre de crues
répertoriées par
torrent dans le
bassin du Guil
(Source : Cartes
I.G.N. au 1:25 000
3537 ET et 3637
OT, et base de
données R.T.M.).

L'ÉVOLUTION TEMPORELLE DE L'ALÉA TORRENTIEL DEPUIS 1900

Au regard du nombre élevé de crues et laves torrentielles dommageables qui se sont produites au cours de la période étudiée, on peut dire que ces phénomènes représentent un aléa majeur dans les bassins du Guil et de la Guisane. D'ailleurs, c'est particulièrement le cas depuis la fin des années 1930 et le début des années 1940. En effet, les crues torrentielles dommageables recensées sont plus nombreuses, et pour un même événement, il y a souvent un plus grand nombre de torrents qui déborde. En l'espace d'une soixantaine d'années, 184 crues torrentielles dommageables ont ainsi été recensées sur les 199 au total, soit 92,5%. La majorité de ces débordements (86%) se produit en fin de printemps/début d'été, essentiellement entre les mois de mai et de septembre (fig.5). La fonte des neiges et les épisodes orageux violents jouent donc un rôle majeur dans le déclenchement des crues et laves torrentielles, puisqu'ils apportent une quantité d'eau élevée en un laps de temps court (Besson, 1996 ; Coussot, 1996 ; Lahousse et Salvador, 1999).

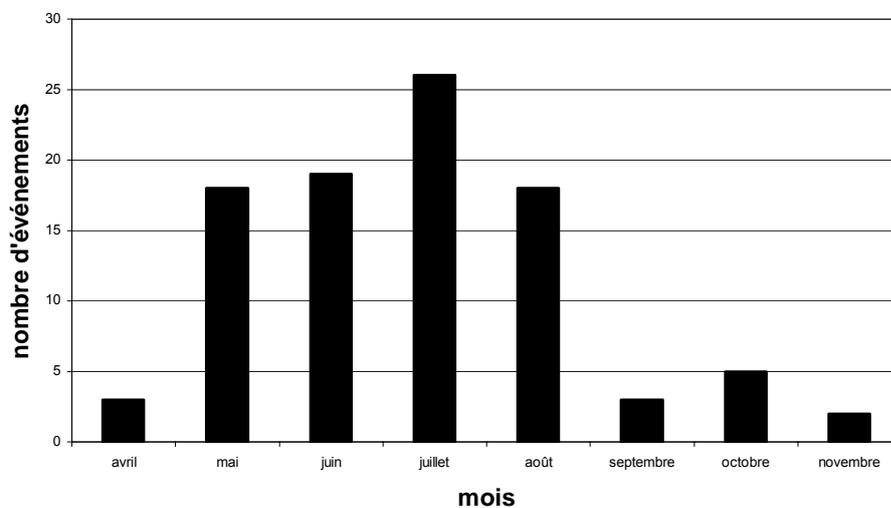


Figure 5 : Répartition mensuelle des événements torrentiels répertoriés entre 1900 et 2003 (Source : base de données R.T.M.).

Ainsi, dans le bassin du Guil, les crues torrentielles recensées se concentrent essentiellement de mai à août inclus (85,2% de la distribution), avec un maximum en juillet/août où 30 débordements torrentiels se sont produits en deux mois, soit quasiment la moitié des crues répertoriées (49%). Dans le bassin de la Guisane, la fin de printemps et le début de l'été rassemblent également la majorité des débordements torrentiels recensés, mais la distribution est plus irrégulière : elle présente un maximum principal en juillet (33,3% des événements recensés), et 45,5% des débordements torrentiels répertoriés ont lieu aux mois de mai et juin.

Cependant, l'importance des crues printanières et estivales varie tout de même depuis 1900 (fig.6). En effet, entre 1935 et 1985, les crues printanières prennent une plus grande importance (maximum en mai), dans la mesure où les débordements enregistrés aux mois de mai et juin représentent à eux seuls environ la moitié (49%) de la distribution. Néanmoins, les crues estivales restent fréquentes, puisqu'elles rassemblent 37,3% des débordements torrentiels répertoriés durant cette période. Au début et à fin du XX^e siècle, c'est l'été qui constitue la période la plus sensible au déclenchement de crues torrentielles (maximum en juillet), avec 17 crues sur les 25 recensées de 1986 à 2003, soit 68%, et 50% de 1900 à 1934. De plus, le maximum secondaire d'automne est moins marqué depuis la fin du XX^e siècle : en l'espace de 18 ans (de 1986 à 2003), une seule crue torrentielle a été recensée en automne, celle du 14 octobre 2000.

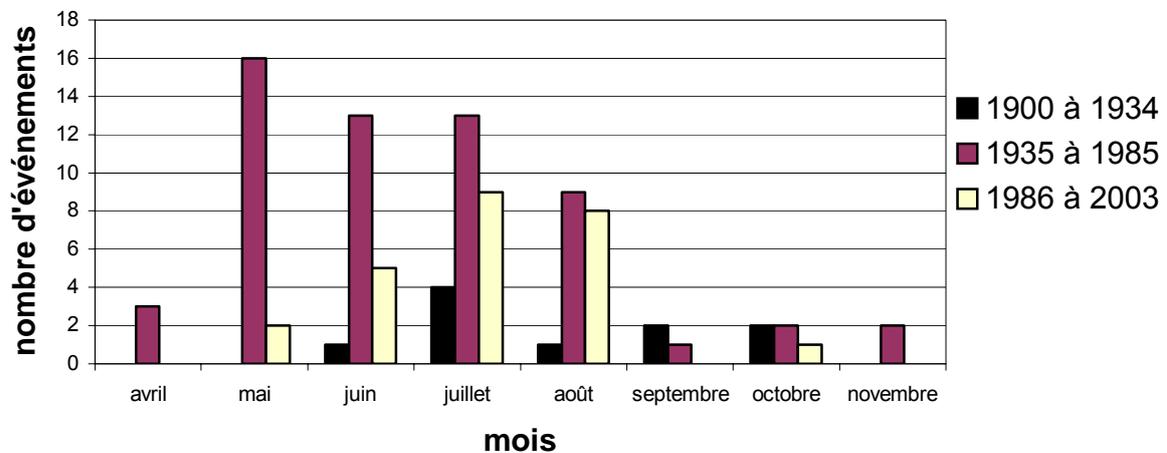


Figure 6 : Evolution de la répartition mensuelle des événements torrentiels dommageables répertoriés dans les deux bassins étudiés, entre 1900 et 2003 (Source : base de données R.T.M.).

La saison des crues débute donc avec la fusion nivale et se prolonge avec les orages d'été et les pluies d'automne. Les crues sont de ce fait capables de se produire durant une bonne partie de l'année, d'avril à novembre inclus : pendant huit mois de l'année, les torrents latéraux représentent une réelle menace. Toutes ces crues ne sont évidemment pas de même intensité ; certaines ont un impact socio-économique important, comme celle du 14 juin 1957 où 29 torrents entrèrent en crue dans le bassin du Guil qui fut isolé à la suite de cet événement.

Pourtant, même si le nombre de crues torrentielles dommageables recensées est élevé, les torrents connaissent une diminution générale de leur activité depuis environ 150 ans, associée à des conditions climatiques devenues plus clémentes depuis la fin du Petit Age Glaciaire (P.A.G.). Cela ne signifie pas pour autant que des torrents ne puissent pas se réveiller brutalement à la faveur d'un événement pluvieux ou orageux exceptionnel. Les 199 crues torrentielles recensées dans la zone d'étude entre 1900 et 2003 sont là pour en témoigner. Ainsi, depuis le début du XX^e siècle, l'activité torrentielle dans les bassins du Guil et de la Guisane est-elle relativement discontinue dans le temps.

L'histogramme de la répartition annuelle des crues torrentielles recensées reflète bien ce caractère discontinu de l'activité des torrents dans la zone d'étude, que ce soit dans le bassin du Guil ou dans celui de la Guisane (fig.7). Au début du XX^e siècle, le nombre de crues torrentielles recensées est d'abord relativement faible, puis l'aléa connaît une recrudescence de son activité à partir du milieu des années 1930 et jusqu'en 1957, qui correspond à l'année où l'activité torrentielle est maximale (29 crues dommageables). La fréquence de l'apparition d'une crue est alors très élevée : plus de quatre crues par an. Puis, la tendance s'inverse brusquement et le nombre de crues torrentielles répertoriées diminue jusqu'en 1985. Enfin, depuis la fin des années 1980 et surtout le début des années 1990, l'aléa torrentiel semble connaître un regain d'activité, avec une fréquence élevée (3 crues par an en moyenne).

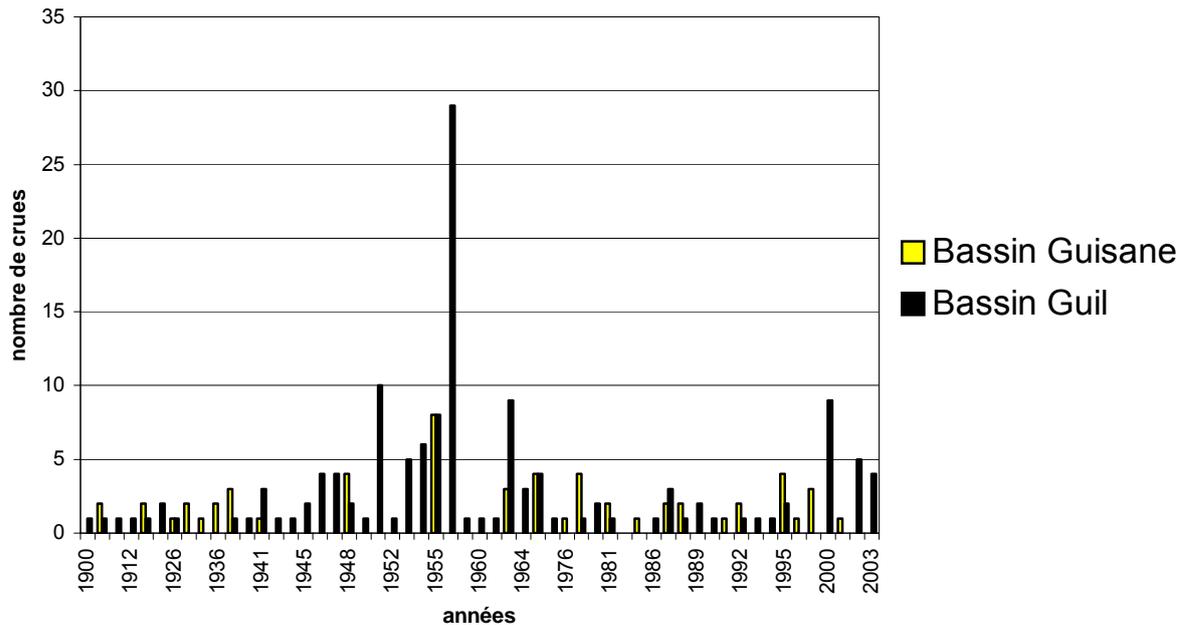


Figure 7 : Répartition annuelle des crues torrentielles dommageables répertoriées pour chaque bassin-versant, entre 1900 et 2003.

Des phases de répit de l'activité torrentielle et de crises, de durée différente, se succèdent depuis 1900. Les deux bassins versants étudiés connaissent ce même type d'évolution par vagues successives (Martin, 1996). Tant dans le bassin de la Guisane que dans celui du Guil, les plus grandes crues ont souvent suivi plusieurs années de faible activité. Ainsi, de relativement régulier au cours du Petit Age Glaciaire (P.A.G.), le fonctionnement des torrents étudiés est devenu spasmodique, et surtout imprévisible : ils fonctionnent globalement par crises qui sont essentiellement soumises à l'activité orageuse, à caractère aléatoire et localisé. De ce fait, même si les torrents des bassins du Guil et de la Guisane sont relativement apaisés depuis le début du XX^e siècle, ils sont toujours susceptibles d'être brutalement réactivés à la suite d'un épisode pluvieux intense ou d'un violent orage.

Ces torrents sont alors devenus plus dangereux que lorsqu'ils entraient régulièrement en crue : la population oublie relativement vite les événements passés (en 2-3 ans) ; la fréquence moins élevée des débordements procure un sentiment de sécurité, accentué par la présence d'équipements de protection sur les torrents. La population n'ayant plus réellement conscience du danger, c'est la voie ouverte à l'urbanisation.

II L'ÉVOLUTION DU RISQUE TORRENTIEL DANS LES BASSINS DE LA GUISANE ET DU GUIL DEPUIS 1900

Ce n'est qu'à la fin des années 1950 que la reconversion vers l'économie touristique dans les bassins de la Guisane et du Guil va réellement s'affirmer (Avocat, 1979 ; Meyzenq, 1984 ; Lahousse, 1994). Cet essor du tourisme s'est accompagné d'une extension de l'urbanisation, qui nécessite la présence d'espaces constructibles. Or, ils sont plutôt réduits en montagne. Les seules zones véritablement propices à accueillir les aménagements se situent en fond de vallées, où les communes doivent " se partager " les espaces disponibles. Ainsi, avec ce besoin d'espaces accru, des secteurs sensibles, autrefois prudemment délaissés, comme les cônes de déjection des torrents, ont été colonisés par les constructions en tout genre (Flez et Lahousse, 2002).

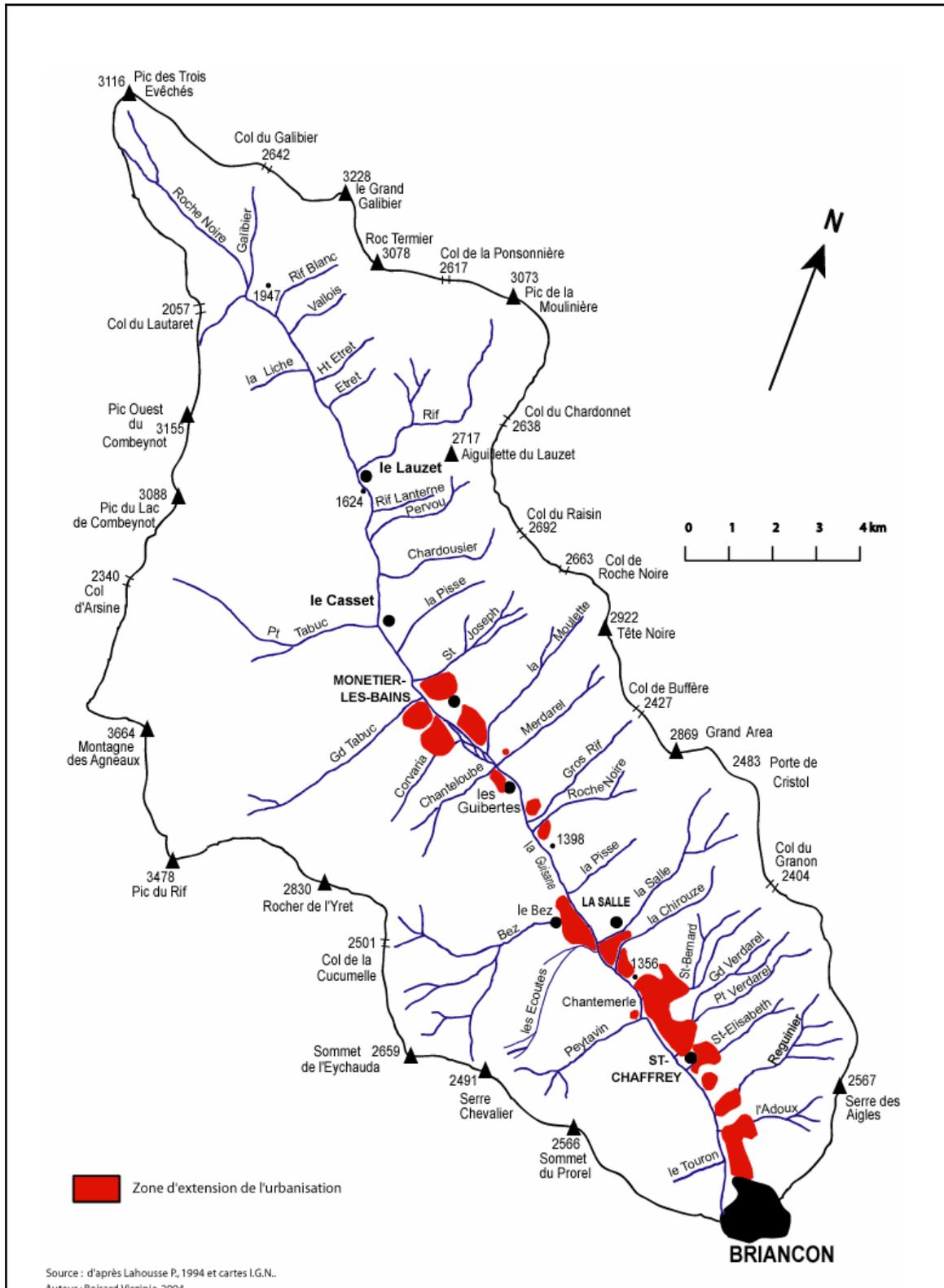


Figure 8 : Evolution de l'urbanisation dans la vallée de la Guisane entre les années 1930 et 1990 (Source : Lahousse P., 1994 et base de données R.TM.).

Dans la vallée de la Guisane, le développement de la station de sport d'hiver de Serre-Chevalier a entraîné une extension rapide du tissu urbain, notamment sur les cônes de déjection des principaux torrents latéraux (fig.8). Aujourd'hui, l'urbanisation de la vallée est quasiment continue entre Môtetier-les-Bains et Briançon. Dans le bassin du Guil, tourné vers le tourisme « vert », l'extension de l'urbanisation a été plus modérée et maîtrisée (fig.9). Les principales zones d'extension de l'urbanisation occupent ponctuellement le bassin, et notamment le fond des principales vallées affluentes du Guil, comme la vallée de Vars ou d'Arvieux ; la haute vallée du Guil, entre Château-Queyras et Ristolas est également concernée. C'est ainsi que le village d'Abriès s'est développé sur le cône de déjection du torrent du Bouchet.

Que ce soit dans le bassin de la Guisane ou dans celui du Guil, la plupart des cônes de déjection des torrents, autrefois cultivés, sont dorénavant en grande partie bâtis. Leur aménagement s'est réalisé sans véritablement tenir compte des contraintes inhérentes à l'activité des torrents. Face à la volonté des communes de se développer et aux besoins d'espaces pour l'urbanisation, la prudence et la connaissance ancestrale de l'activité torrentielle ont été ignorées.

Le cône du torrent du Saint-Bernard en est le meilleur exemple, puisqu'il est aujourd'hui aménagé en quasi totalité avec des installations touristiques.

Le développement économique et touristique qu'ont connu les bassins de la Guisane et du Guil à partir du milieu des années 1950, a donc considérablement augmenté les enjeux socioéconomiques. Les crues et laves torrentielles constituent désormais une menace majeure pour les aménagements et les populations installés sur les cônes de déjection des torrents. En effet, la concentration des enjeux sur ces sites introduit une vulnérabilité, c'est-à-dire une possibilité d'être touché par l'aléa torrentiel, et de subir des dommages plus ou moins importants.

Depuis la seconde moitié du XX^e siècle, les crues torrentielles occasionnent un plus grand nombre de dégâts que par le passé. Cela va du simple désagrément à la catastrophe. Elles détruisent et détériorent de plus en plus de biens matériels : la vulnérabilité s'est accrue, et des événements similaires causent aujourd'hui des dégâts plus élevés que par le passé. Sans les mesures de prévention et les équipements de protection mis en place sur certains torrents, le nombre de dommages recensés aurait sûrement été encore plus important. Les éléments les plus touchés par les débordement torrentiels sont les routes (Fanthou, 1994) : la moitié des crues recensées leur ont causé des dégâts. Viennent ensuite les autres infrastructures linéaires (ponts et réseaux), les terres agricoles et les habitations (fig.10). Les dégâts dépendent de l'ampleur de la crue mais aussi des protections réalisées et des aménagements implantés sur les cônes de déjection et dans le lit majeur des torrents.

La convergence de deux dynamiques est à l'origine de l'augmentation du risque torrentiel depuis 1900 :

- la dynamique naturelle, c'est-à-dire l'aléa engendré par les crues torrentielles ;
- la dynamique anthropique. Le développement des bassins de la Guisane et du Guil est en soi un facteur essentiel dans l'évolution de l'endommagement et par conséquent de la vulnérabilité.

Ces deux bassins conjuguent actuellement un aléa torrentiel fort et une vulnérabilité élevée. Le risque torrentiel n'y a jamais été aussi important.

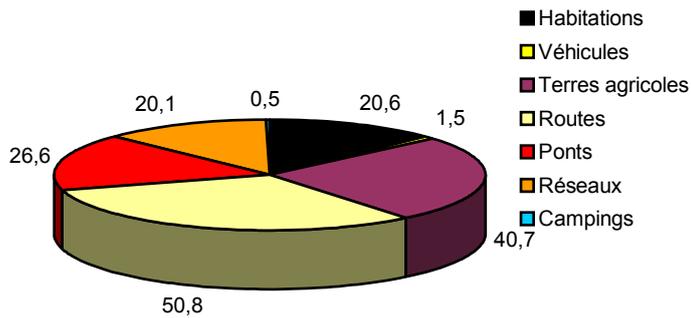


Figure 10 :
Nature des dégâts entre
1900 et 2003 (en %)
(Source : base de
données R.T.M.).

CONCLUSION

Les crues et laves torrentielles font partie des phénomènes qui seront toujours incontrôlables et contre lesquels la meilleure défense est la prévention. Or, le développement économique et touristique des années 1950, qu'ont connu les bassins de la Guisane et du Guil, a conduit à urbaniser des zones sensibles, comme les cônes de déjection des torrents, autrefois délaissés. La connaissance ancestrale des dangers du milieu naturel montagnard a ainsi été oubliée au profit d'une prolifération de constructions en tout genre. Crues et laves torrentielles sont devenues une source de risque majeur dans ces deux bassins. Pour essayer de limiter et de gérer le risque torrentiel, il faut trouver un équilibre entre un développement touristique demandeur d'espaces et les contraintes imposées par l'aléa torrentiel et, donc, tenir compte à la fois de la dynamique naturelle et des enjeux économiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AVOCAT C. (1979) – *Montagnes de lumières (Briançonnais, Embrunais, Queyras, Ubaye). Essai sur l'évolution humaine et économique de la haute montagne intra-alpine*. Imprimerie Fayolle, Villeurbanne, thèse 1978, Grenoble I.G.A., 681 p.

BARAILLE S. (2001) – *Les crues dommageables dans le bassin de la Haute Durance (Hautes-Alpes, France) : recensement depuis le XIV^e siècle, signification climatique, facteurs météorologiques et prévision*. Thèse de doctorat, Université de Savoie, 604 p.

BESNARD A. (1993) – *Etude de l'impact des Aménagements dans la vallée de la Guisane*. Mémoire 3^{ème} année, Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, 250 p.

BESSON L. (1996) – *Les risques naturels en montagne : traitement, prévention, surveillance*. Artès-Publialp, Grenoble, 438 p.

BOURBON C. (2002) – *Dynamique torrentielle et aménagement en région de montagne, le Queyras schisteux. Etude géomorphologique de la crue de juin 2000 sur la partie amont du Guil*. Mémoire de Maîtrise, Université Paris 7-Denis Diderot, 145 p. + annexes.

COUSSOT P. (1996) – *Les laves torrentielles. Connaissances à l'usage du praticien*. Les études du CEMAGREF, série Equipements pour l'eau et l'environnement, 23, 177 p.

FANTHOU T. et KAISER B. (1990) - Evaluation des risques naturels dans les Hautes-Alpes et la Savoie, le recours aux documents d'archives et aux enquêtes. Paris, *Bulletin de l'Association de Géographes Français (AGF)*, n° 4, pp. 323-341.

FANTHOU T. (1991) - *Fichier départemental des risques naturels, Hautes-Alpes*. Gap, DDE-SET, 1 693 références, base de données Smart.

FANTHOU T. (1994) – *Les risques naturels dans le département des Hautes-Alpes, chroniques et territoires*. Thèse de doctorat, Université de Paris VII, 225 p.

FLEZ C. et LAHOUSSE P. (2002) – La Gestion du risque torrentiel à Serre-Chevalier : acteurs et enjeux. *L'Espace Géographique* n°2, pp. 163-172.

LAHOUSSE P. (1994) – *Recherches géomorphologiques et cartographie des aléas naturels dans la vallée de la Guisane (Hautes-Alpes, Briançonnais)*. Thèse de Doctorat, Université de Lille I, 431 p.

LAHOUSSE P. (1997) – L'apport de l'enquête historique dans l'évaluation des risques morphodynamiques : l'exemple de la vallée de la Guisane (Hautes-Alpes, Briançonnais). *Revue de Géographie Alpine*, 1, pp. 53-60.

LAHOUSSE P., SALVADOR P.G. (1998) – Briançon, 24 juillet 1995 : autopsie et enseignements d'une catastrophe naturelle. *Mappemonde*, 50, pp. 8-12.

LAHOUSSE P., SALVADOR P.G. (1999) – Eléments de réflexion sur la prévisibilité des crues torrentielles du 24 juillet 1995 dans la vallée de la Guisane (Alpes françaises, Briançonnais), *Revue de Géographie Alpine*, 4, pp. 25-34.

MARTIN B. (1996) – *Les aléas naturels à Vars (Hautes-Alpes), le rôle des facteurs naturels et des facteurs anthropiques dans leur occurrence et leur évolution de 1800 à nos jours*. Thèse de Doctorat, U.F.R. de Géographie et d'Aménagement, Université Louis Pasteur, 667 p.

MEYZENQ C. (1984) – *Hautes-Alpes, Ubaye, Haut-Drac, Préalpes drômoises : pays de transition entre Alpes du nord et Alpes du sud*. Thèse, Gap, Ophrys, 954 p.