



HAL
open science

Les torrents de la vallée de la Clarée (Hautes Alpes, France). Évolution contemporaine, dynamique actuelle et analyse géographique des risques associés

Gilles Garitte

► **To cite this version:**

Gilles Garitte. Les torrents de la vallée de la Clarée (Hautes Alpes, France). Évolution contemporaine, dynamique actuelle et analyse géographique des risques associés. Géographie. Université des Sciences et Technologie de Lille - Lille I, 2006. Français. NNT : . tel-00121513

HAL Id: tel-00121513

<https://theses.hal.science/tel-00121513>

Submitted on 20 Dec 2006

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

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

THÈSE

pour obtenir le grade de
Docteur de l'Université des Sciences et Technologies de Lille
Discipline : Géographie

présentée par

GILLES GARITTE

Les torrents de la vallée de la Clarée

(Hautes-Alpes, France)

**Évolution contemporaine, dynamique actuelle
et analyse géographique des risques associés**



Directrice de thèse : YVONNE BATTIAU-QUENEY, Professeur émérite
Laboratoire *Préhistoire, Géomorphologie, Quaternaire FRE 2941 CNRS* (USTL)

Co-encadrant : PHILIPPE LAHOUSSE, Maître de conférences
Laboratoire *Territoire, Villes, Environnement & Société* (USTL)

Thèse soutenue publiquement le 28 novembre 2006 devant le jury suivant :

YVONNE BATTIAU-QUENEY : Professeur émérite, Université des Sciences et Technologie de Lille
CARMEN DEJONG : Professeur, Université de Savoie, Chambéry (*Rapporteur*)
MONIQUE FORT : Professeur, Université Denis Diderot, Paris 7 (*Rapporteur*)
ALAIN MARNEZY : Professeur, Université de Savoie, Chambéry
PHILIPPE SCHOENEICH : Professeur, Université Joseph Fourier, Grenoble

Les torrents de la vallée de la Clarée

(Hautes-Alpes, France)

Évolution contemporaine, dynamique actuelle et analyse géographique des risques associés

Photos en couverture :



A : La basse-vallée de la Clarée ; B : Versant en rive gauche de la moyenne vallée de la Clarée : les Ravins des Sables et de la Pinatelle ; C : Le chenal du Ravin des Sables après la crue du 13 juin 2000 (photo RTM 05) ; D : Le chenal du torrent de Roubion après la crue du 16 juillet 2006.

À mes parents

Table des matières

AVANT PROPOS	11
INTRODUCTION GENERALE	15
I. PROBLEMATIQUE.....	16
II. LE CADRE CONCEPTUEL.....	18
a) <i>La place des torrents dans le système fluvial</i>	18
b) <i>Les cônes de déjection : l'espace géographique du risque torrentiel</i>	23
c) <i>Les avancées récentes de la recherche scientifique</i>	25
III. LE CADRE GEOGRAPHIQUE.....	37
a) <i>Le contexte géologique et structural</i>	40
b) <i>Le contexte géomorphologique</i>	43
c) <i>Le contexte climatique</i>	49
d) <i>Le contexte biogéographique</i>	50
e) <i>Le paysage : richesse de la vallée de la Clarée</i>	51
IV. LE CADRE CHRONOLOGIQUE.....	53
V. LE CADRE METHODOLOGIQUE.....	54
1. LES CARACTERISTIQUES DES TORRENTS DE LA VALLEE DE LA CLAREE.....	59
1.1. INTRODUCTION DE LA PREMIERE PARTIE	60
1.2. CARACTERISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES DE DEUX BASSINS TORRENTIELS REPRESENTATIFS.....	60
1.2.1. <i>Le torrent des Acles</i>	60
1.2.2. <i>Le ravin de l'Enrouye</i>	65
1.3. L'APPORT DE L'ANALYSE MORPHOMETRIQUE DES CONES DE DEJECTION.....	68
1.3.1. <i>La méthode</i>	68
1.3.2. <i>Les résultats</i>	69
1.4. PROPOSITIONS POUR UNE TYPOLOGIE MORPHOLOGIQUE DES CONES DE DEJECTION DE LA VALLEE DE LA CLAREE.....	73
1.4.1. <i>Les torrents incisés dans leur cône de déjection</i>	76
1.4.2. <i>Les torrents chenalisés sur leur cône de déjection</i>	78
1.4.3. <i>Les torrents divagants sur leur cône de déjection</i>	80
1.4.4. <i>Le rôle majeur des caractéristiques du bassin-versant pour expliquer le morphotype des cônes de déjection</i>	82
1.5. MISE EN EVIDENCE DE DEUX GRANDS TYPES DE SYSTEMES TORRENTIELS DANS LA VALLEE DE LA CLAREE	85

1.5.1. Les systèmes torrentiels élémentaires	86
1.5.2. Les systèmes torrentiels composites	88
1.6. CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE.....	90
2. LA SENSIBILITE DE LA DYNAMIQUE TORRENTIELLE AUX FLUCTUATIONS ENVIRONNEMENTALES CONTEMPORAINES	93
2.1. INTRODUCTION DE LA DEUXIEME PARTIE.....	94
2.2. LA MISE EN PLACE DES CONES DE DEJECTION	94
2.3. L'AJUSTEMENT MORPHOLOGIQUE DES TORRENTS : UN INDICE DE L'EVOLUTION DE LA TORRENTIALITE DEPUIS LE PAG	97
2.3.1. <i>L'observation des changements environnementaux et les mesures de l'évolution des bandes actives torrentielles</i>	97
2.3.1.1. La définition de la bande active des torrents	97
2.3.1.2. L'évolution des cônes de déjection à travers l'analyse diachronique de documents iconographiques	98
2.3.1.3. La méthode de mesure de l'évolution des bandes actives torrentielles.....	104
2.3.2. <i>La diversité des modes de rétraction des bandes actives torrentielles sur les cônes de déjection de la vallée de la Clarée.....</i>	107
2.3.2.1. L'ajustement morphologique du torrent des Ruines	107
2.3.2.2. L'ajustement morphologique du torrent des Acles	110
2.3.2.3. L'ajustement morphologique du torrent de Roubion	111
2.3.2.4. Le cas particulier du torrent de Granon	114
2.4. L'EVOLUTION DES FACTEURS NATURELS ET ANTHROPIQUES INFLUENÇANT L'AJUSTEMENT MORPHOLOGIQUE DES TORRENTS DEPUIS LE PAG.....	116
2.4.1. <i>La perception de la torrentialité à la fin du PAG.....</i>	116
2.4.1.1. La toponymie et les témoignages directs.....	116
2.4.1.2. La perception du paysage au 18 ^{ème} siècle à travers l'étude de la carte de Cassini de 1777.....	117
2.4.2. <i>L'évolution de la pression anthropique.....</i>	120
2.4.2.1. Les premières traces d'occupation humaine et l'habitat traditionnel dans la vallée de la Clarée	120
2.4.2.2. L'évolution de la pression anthropique marquée par la mutation socio-économique de la vallée	122
2.4.2.3. L'évolution de la pression pastorale	123
2.4.3. <i>L'impact limité de la politique RTM dans la vallée de la Clarée.....</i>	126
2.4.3.1. Les origines de la réglementation	126
2.4.3.2. Les premières heures de la RTM et la poursuite des travaux initiaux	127
2.4.4. <i>Les évolutions environnementales spontanées</i>	129
2.4.4.1. L'évolution contemporaine du niveau de base local	129
2.4.4.2. L'évolution du couvert forestier	131
2.5. VERS UN MODELE DE LA MUTATION DES BANDES ACTIVES TORRENTIELLES SUR LES CONES DE DEJECTION DE LA VALLEE DE LA CLAREE	140
2.5.1. <i>Le rôle prépondérant des facteurs bioclimatiques dans l'ajustement morphologique contemporain des torrents de la Clarée</i>	140

2.5.2.	<i>Les facteurs explicatifs du manque de synchronisme de l'ajustement morphologique des torrents de la vallée de la Clarée</i>	144
2.5.3.	<i>Modèle conceptuel de l'ajustement morphologique des torrents de la Clarée aux modifications environnementales post-PAG</i>	149
2.6.	CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE.....	152
3.	LA DYNAMIQUE TORRENTIELLE ACTUELLE	153
3.1.	INTRODUCTION DE LA TROISIEME PARTIE	154
3.2.	CARACTERISTIQUES DE L'ALEA TORRENTIEL DANS LA VALLEE DE LA CLAREE	154
3.2.1.	<i>Les principales sources sédimentaires</i>	154
3.2.1.1.	Les dépôts morainiques.....	155
3.2.1.2.	Les glissements de terrain	156
3.2.1.3.	Les éboulis	157
3.2.1.4.	Le lit torrentiel.....	158
3.2.2.	<i>Les facteurs déclencheurs des crues torrentielles dans la vallée de la Clarée</i>	158
3.2.2.1.	L'apport du recensement des crues torrentielles.....	158
3.2.2.2.	L'importance relative des précipitations orageuses dans le déclenchement des crues torrentielles...163	
3.2.3.	<i>Apports et limites de la prédiction du volume des laves torrentielles</i>	172
3.2.3.1.	Les méthodes disponibles.....	172
3.2.3.2.	Le résultat mitigé de l'estimation du volume des laves torrentielles	175
3.3.	L'EVOLUTION DES LITS TORRENTIELS : L'APPORT DE L'APPROCHE TOPOMETRIQUE	181
3.3.1.	<i>Les modalités du transport sédimentaire dans les torrents</i>	181
3.3.2.	<i>L'utilisation de la topométrie dans l'étude de l'évolution des lits torrentiels : l'exemple du torrent des Ruines</i>	184
3.3.3.	<i>Les résultats de l'analyse topométrique du torrent de Malefosse</i>	188
3.3.4.	<i>Les résultats de l'analyse topométrique du Ravin des Sables</i>	192
3.3.5.	<i>Les résultats de l'analyse topométrique du Ravin de l'Enrouye</i>	195
3.3.5.1.	Les conséquences morphogènes de la crue du 18 juin 2002.....	195
3.3.5.2.	L'évolution du lit torrentiel de 2002 à 2005	197
3.3.6.	<i>Les résultats de l'analyse topométrique du Ravin de Combal</i>	201
3.3.6.1.	La crue du 19 août 2002	204
3.3.6.2.	La crue de juin 2003.....	206
3.3.6.3.	La crue du printemps 2004	208
3.3.6.4.	La crue du 24 juin 2005.....	209
3.3.7.	<i>Les résultats de l'analyse topométrique du torrent de Roubion</i>	212
3.3.8.	<i>Les crues torrentielles du 16 juillet 2006</i>	214
3.3.8.1.	Le ravin de l'Enrouye.....	215
3.3.8.2.	Le torrent de Roubion.....	217
3.3.8.3.	Le torrent de la Ruine.....	220

3.4.	LE RISQUE D'EMBACLE DE LA RIVIERE PRINCIPALE	225
3.4.1.	<i>L'exemple du Ravin des Sables</i>	225
3.4.2.	<i>Le cas du Ravin de Combal</i>	228
3.5.	CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE	230
4.	APPROCHE GEOGRAPHIQUE DE LA GESTION DU RISQUE TORRENTIEL DANS LA VALLEE DE LA CLAREE	233
4.1.	INTRODUCTION DE LA QUATRIEME PARTIE	234
4.2.	L'EVOLUTION DE LA VULNERABILITE ET DE LA GESTION DU RISQUE TORRENTIEL DANS LE CONTEXTE DE MUTATION SOCIO-ECONOMIQUE.....	234
4.2.1.	<i>Une « urbanisation » récente des cônes de déjection</i>	234
4.2.1.1.	L'évolution de l'habitat marqué par l'émergence du tourisme	234
4.2.1.2.	L'importance stratégique des axes de communication	240
4.2.2.	<i>L'émergence du risque torrentiel en réponse à la mutation socio-économique de la vallée</i>	242
4.2.3.	<i>La gestion actuelle du risque torrentiel</i>	245
4.2.3.1.	Aperçu de la gestion du risque torrentiel dans le torrent de la Ruine	246
4.2.3.2.	Aperçu de la gestion du risque torrentiel dans le torrent de Roubion	250
4.2.3.3.	Le curage des lits torrentiels comme mode de gestion du risque torrentiel	253
4.2.4.	<i>Les conséquences cyndiniques de l'évolution des bandes actives</i>	258
4.2.4.1.	Ajustement morphologique des torrents et recensement des crues torrentielles	258
4.2.4.2.	L'exemple du torrent des Acles.....	259
4.2.4.3.	L'exemple de l'Isclé du Rosier.....	262
4.3.	QUEL MODE DE GESTION DU RISQUE TORRENTIEL POUR LA VALLEE DE LA CLAREE ?	266
4.3.1.	<i>Le risque torrentiel : un exemple d'interface Nature-Société</i>	266
4.3.2.	<i>Contribution au zonage du risque torrentiel dans la vallée de la Clarée</i>	272
4.3.2.1.	Les enjeux soumis aux crues torrentielles dans la vallée de la Clarée	273
4.3.2.2.	La détermination de l'emprise des torrents sur leur cône de déjection	276
4.3.2.3.	Les limites au zonage du risque torrentiel dans la vallée de la Clarée	279
4.4.	LES MODIFICATIONS ENVISAGEABLES DE LA DYNAMIQUE TORRENTIELLE DANS LE CONTEXTE DU RECHAUFFEMENT GLOBAL	284
4.4.1.	<i>La question du réchauffement global</i>	284
4.4.2.	<i>Des modèles climatiques globaux aux modèles climatiques régionaux</i>	285
4.4.3.	<i>L'évolution récente du climat local dans le secteur étudié</i>	290
4.4.4.	<i>Impacts envisageables du réchauffement climatique annoncé sur le cycle de l'eau</i>	293
4.4.5.	<i>Impacts envisageables du réchauffement climatique annoncé sur la végétation</i>	295
4.4.6.	<i>Impacts envisageables du réchauffement climatique annoncé sur les processus morphoclimatiques</i>	299
4.4.7.	<i>Impacts envisageables du réchauffement climatique annoncé sur la dynamique torrentielle : les limites de la prospective</i>	300

4.4.7.1.	Dans l'hypothèse d'un changement climatique lent	301
4.4.7.2.	Dans l'hypothèse d'un changement climatique rapide	302
4.4.7.3.	Les limites de l'approche prospective	303
4.5.	VERS UNE GESTION DURABLE DU RISQUE TORRENTIEL	306
4.5.1.	<i>Comment appliquer les principes de développement durable pour qu'émerge une gestion durable du risque torrentiel ?</i>	306
4.5.2.	<i>Contribution à la gestion durable du risque torrentiel dans la vallée de la Clarée</i>	308
4.6.	CONCLUSION DE LA QUATRIEME PARTIE.....	315
CONCLUSION GENERALE		317
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		328
ANNEXES		357
	NOTE METHODOLOGIQUE SUR L'UTILISATION DE LA TOPOMETRIE DANS L'ETUDE DES TORRENTS	359
	NOTE METHODOLOGIQUE SUR LA MESURE DE LA RETRACTION DES BANDES ACTIVES TORRENTIELLES.....	367
	NOTE METHODOLOGIQUE SUR L'UTILISATION DES DONNEES ALTIMETRIQUES DE L'IGN	369
	PROPOSITION DE GESTION DU RISQUE TORRENTIEL SUR LES CONES DE DEJECTION DES TORRENTS DE LA VALLEE DE LA CLAREE.....	371
	<i>Propositions pour la gestion du risque torrentiel sur les cônes de déjection de morphotype incisé</i>	371
	<i>Propositions pour la gestion du risque torrentiel sur le cône de déjection des Ravins de la Pinatelle, des Sables, de l'Enrouye</i>	373
	<i>Propositions pour la gestion du risque torrentiel sur le cône de déjection du Ravin de Combal</i>	374
	TABLE DES FIGURES	375
	TABLE DES PHOTOGRAPHIES	380
	TABLE DES TABLEAUX	382
	TABLE DES ENCADRES METHODOLOGIQUES	383
	TABLE DES ABREVIATIONS.....	384
	RESUMES	385

Avant propos

Mon premier contact avec la dynamique torrentielle remonte à ma prime jeunesse. C'est en effet à cette époque, durant mes vacances dans le bucolique village du Reposoir, que j'ai construit mes premiers barrages dans le torrent du Foron. C'était déjà pour moi un plaisir de détourner le courant et de voir se remplir les petits lacs de retenue. Bien plus tard, durant mon année de maîtrise, j'ai eu la chance de pouvoir aborder l'étude d'un milieu de montagne avec ma toute jeune expérience de géographe. Depuis, cette passion ne m'a plus quitté.

Si cet ouvrage est le fruit d'un travail personnel de plusieurs années, il ne serait rien sans tous ceux qui m'ont précédé dans l'étude de la torrentialité et des relations nature-société dans le milieu montagnard.

Je tiens à remercier Madame Yvonne BATTIAU-QUENEY, directrice de l'ancien laboratoire de *Géomorphologie et Gestion des Milieux Naturels* (USTL), qui a accepté de diriger cette thèse ; son soutien renouvelé ainsi que ses conseils et critiques m'ont permis d'améliorer cet ouvrage.

J'adresse toute ma reconnaissance à Monsieur Philippe LAHOUSSE, qui a encadré ce travail et su me donner le goût de la géomorphologie en montagne depuis mon étude du glacier d'Arsine ; les journées passées ensemble sur le terrain m'ont été des plus formatrices. Qu'il trouve ici le témoignage de ma sincère gratitude pour son engagement et l'intérêt qu'il a porté à mon travail

Je remercie aussi Mesdames Carmen DE JONG et Monique FORT, Messieurs Alain MARNEZY et Philippe SCHOENEICH qui ont accepté de faire parti de mon jury de thèse.

Par ailleurs, ce travail, débuté au sein du laboratoire de *Géomorphologie et Gestion des Milieux Naturels*, a été achevé dans le cadre du laboratoire *Territoire, Villes, Environnement & Société* à l'*Université des Sciences et Technologies de Lille*. Je remercie leurs membres pour l'assistance qu'ils ont pu m'apporter.

Je remercie aussi tous ceux qui m'ont aidé à mener à bien ce travail :

- Le Service de Restauration des Terrains de Montagne des Hautes-Alpes, et plus particulièrement Messieurs Patrick VAUTERIN et Gilles ASTIER
- La municipalité de l'ARGENTIERE-LA-BESSEE et son député-maire Monsieur Joël GIRAUD pour m'avoir gracieusement offert un hébergement ainsi que l'ensemble du personnel du Service Culturel pour leur chaleureux accueil.
- Les municipalités de VAL-DES-PRES et de NEVACHE.

- L'Association Géologique et Minière du Briançonnais et son président Raymond LESTOURNELLE.
- L'Office de Tourisme et le Service du Patrimoine de la vallée de la Clarée.
- M^{lle} G. HODGES de l'entreprise QUEYRAS Travaux Publics
- La Direction Départementale de l'Équipement des Hautes-Alpes
- Le Capitaine NAGEL du Centre d'Aguerrissement au Combat en Montagne pour m'avoir donné accès aux archives du 159^{ème} Régiment de la Montagne.
- Ainsi que Nicole CUNAT-BOGE, ingénieur d'étude du Laboratoire de Géomorphologie et Gestion des Milieux Naturels.

Je suis reconnaissant aux personnes qui ont accepté de lire et de critiquer certaines parties de cet ouvrage :

Jean-Jacques DUBOIS (USTL) et Virginie VERGNE (USTL), qui ont accepté de relire les chapitres portant sur la dynamique de la végétation.

Frédéric LIEBAULT (CEMAGREF, Grenoble), dont les remarques m'ont permis d'améliorer la partie consacrée à l'ajustement morphologique des torrents. Je le remercie aussi pour son accueil chaleureux et ses conseils lors de mon séjour à Die.

Bien sûr, j'adresse mes plus chaleureux remerciements à l'ensemble des personnes qui m'ont apporté une aide ô combien indispensable lors des campagnes de terrain par mont et par vaux, sous le soleil, la pluie ou la neige, pour porter le matériel, participer aux mesures, faire l'échelle sur les photographies ainsi que pour les longues et fructueuses discussions autour d'un café : Marion ALMARIC, Samuel DESOUTTER (*à toi maintenant de m'emmener dans tes aventures lointaines*), Cédrine FIXARD (*la sonde de Pressler n'a plus de secret pour toi*), Christophe FLEZ (*merci pour ton inestimable aide sur le terrain et bien le bonjour à ton confortable ami luigi*), Christophe LAGAE (*tu te souviendra de l'Enrouye sous la neige dès potron-minet*), Caroline LAMY, Eric MASSON (*merci de m'avoir éveiller aux joies de la géomatique*), Olivier NINOT (*merci pour ton aide logistique et syntaxique*), Julie PAREJA (*docteur es Illustrator*), Lucas THENARD (*tant de kilomètres parcourus, tant de mesures effectuées, tant de mauresques avalées...*) et aussi Septimus que j'ai quelque peu délaissé ces derniers mois, sans oublier l'ensemble de ma famille et de mes amis qui ont su me supporter et me soutenir tout au long de ces années.

Enfin, je remercie Claude et Michel, mes parents, pour leur soutien inconditionnel depuis mes premiers pas de géographe sur le glacier d'Arsine, jusqu'à l'aboutissement de mes recherches.

Introduction générale

Introduction générale

Le nombre d'articles scientifiques qui traitent du risque connaît une forte progression depuis maintenant 20 ans. L'analyse de la bibliographie internationale, à travers la base de données Scopus®¹, permet de noter l'augmentation du nombre d'articles dans lesquels on retrouve le terme *risk* dans le titre, les mots clefs ou le résumé, durant ces deux dernières décennies (fig. 1). Cette recherche a été effectuée en se limitant aux quelques 2500 titres référencés dans la catégorie *Earth and Environmental Sciences*.

Ce foisonnement d'articles scientifiques est à la fois le signe d'une multiplication du nombre de revues scientifiques et de leur meilleur référencement depuis une dizaine d'années ; mais il est surtout la marque de l'intérêt croissant de la communauté scientifique pour ce vaste thème de recherche qu'est le risque. Ce constat est aussi un signe de l'évolution des attentes de la société dans son ensemble, qui n'accepte plus la fatalité et rejette de plus en plus l'idée même de prise de risque. C'est d'autant plus paradoxal que les progrès des sciences et techniques ne cessent d'accroître l'espérance de vie dans nos sociétés occidentales. Pourtant, « *ces progrès ne semblent pas satisfaire les populations qui demandent toujours plus et supportent mal les risques résiduels* » (Peretti-Watel P., 2001).

¹ Scopus® (www.scopus.com) est une base de données développée par les éditions Elsevier qui référence plus de 27 millions de résumés et notes bibliographiques provenant de plus de 15 000 revues internationales à comité de lecture (dont 300 françaises).

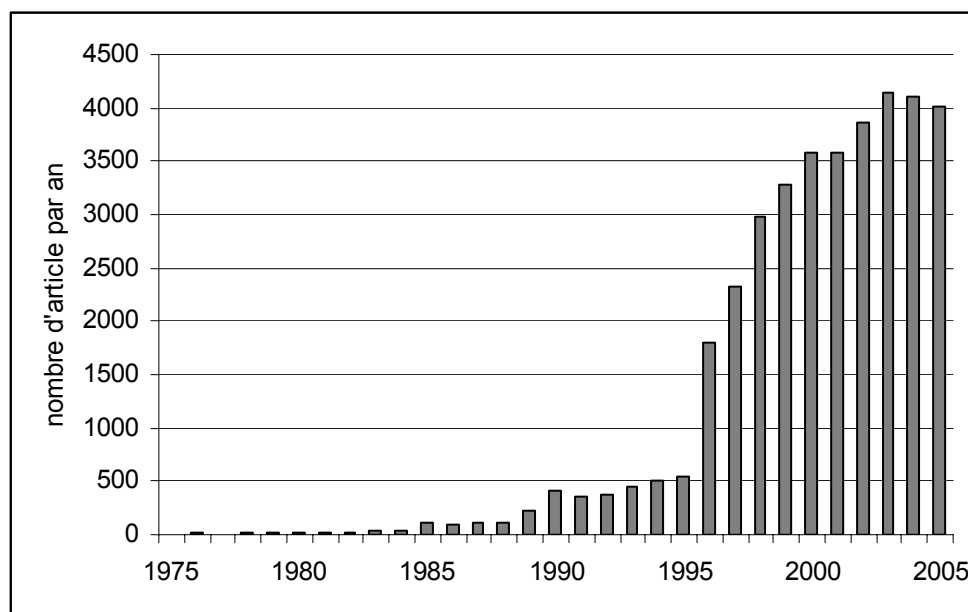


Figure 1 : évolution du nombre d'articles scientifiques portant sur les risques²
 (source : base de données Scopus® ; articles de la catégorie *Earth and Environmental Sciences* comportant le mot *risk* dans le titre, les mots clefs ou le résumé)

I. Problématique

C'est dans ce contexte marqué par l'émergence d'une « société du risque » (Beck, 2001), que les sciences du danger –les cindyniques– ont connu leur essor (Kervern, 1995). Désormais, c'est l'ensemble des périls qui menacent la société qui est devenu un objet d'étude : risques technologiques, risques sanitaires, risques sociaux dans lesquels le rôle de l'Homme est clairement défini en opposition aux risques qualifiés de naturels.

Parmi l'ensemble des régions habitées, les zones de montagne concentrent de nombreux risques naturels ; l'énergie du relief explique en effet l'occurrence des phénomènes gravitaires (*i.e.* chutes de blocs, écroulements, glissements de terrain, avalanches, crues torrentielles) (Deshaies, 2003).

² La conception des figures et le traitement des photographies de cet ouvrage ont été optimisés afin de permettre la reproduction en 256 niveaux de gris, cependant pour faciliter leur lisibilité, certaines figures ou photographies sont présentées en couleur.

Cependant, l'étude des risques naturels et des moyens d'y remédier intéresse de nombreuses disciplines, et il convient de replacer la présente étude dans son cadre disciplinaire qu'est la géographie³. L'étude des organismes torrentiels et des risques qu'ils génèrent intéresse tout autant les ingénieurs, qui cherchent à comprendre et à modéliser le comportement de leurs écoulements, que les aménageurs, dont le but est principalement de délimiter précisément les zones à risque. Il s'agit dans ce travail de recherche de donner le point de vue d'un géographe sur le fonctionnement des torrents, leur évolution et leurs relations avec la société à partir de l'étude d'une vallée de montagne.

Pourquoi étudier le risque torrentiel en vallée de la Clarée ?

Plusieurs facteurs ont motivé le choix du secteur d'étude. Tout d'abord, les crues torrentielles apparaissent comme le phénomène naturel générateur de risque le plus courant en vallée de la Clarée (fig. 2).

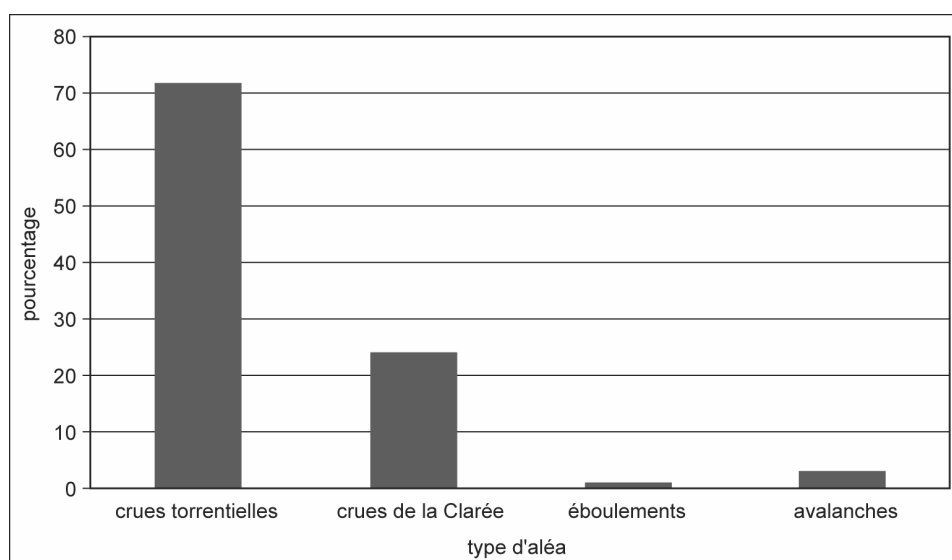


Figure 2 : recensement des différents types d'aléas dans la vallée de la Clarée (source : RTM 05, période : 1419-2005)

De plus, la vallée de la Clarée était encore récemment faiblement aménagée : « peu de vallées ont conservé autant que celle-ci son charme naturel » (Avocat, 1979). Néanmoins, elle connaît depuis maintenant 30 ans une lente mutation socio-économique, entraînant une « urbanisation » mesurée mais bien réelle de la vallée, ayant des répercussions importantes en terme de prise en compte du risque torrentiel.

³ Géographie : « Science qui a pour objet l'étude des phénomènes physiques, biologiques, humains localisés à la surface du globe terrestre et spécialement l'étude de leur répartition, des forces qui les gouvernent et de leurs relations réciproques » Dictionnaire Le Robert, 2003. Cette définition de la géographie souligne le caractère holiste de l'approche géographique qui concerne tout autant l'analyse du cadre physique que ses rapports mutuels avec la société.

Pour proposer des éléments de gestion du risque torrentiel, il convient de répondre à de nombreuses questions permettant de cerner au mieux le fonctionnement des systèmes⁴ torrentiels ainsi que les relations entre torrents et population locale dans la vallée de la Clarée. Nous serons ainsi amené à nous demander quelles sont les caractéristiques de la dynamique des torrents de la vallée de la Clarée. Mais aussi quels sont les facteurs qui influencent leur comportement et comment les torrents évoluent-ils en réponse aux changements environnementaux. Enfin, l'analyse du risque torrentiel nécessite d'apprécier comment a évolué la prise en compte de l'aléa torrentiel en réponse à la mutation socio-économique de la vallée. Répondre à ces différentes questions nécessite l'emploi de différents outils et méthodes d'analyses intégrant tout autant une étude du cadre physique et biogéographique que des influences anthropiques sur le milieu.

Toute tentative d'apporter des solutions locales requiert une vision globale des phénomènes qui entrent en jeu. C'est pourquoi, compte tenu des nombreux facteurs qui influencent le risque torrentiel, la présente étude se propose d'effectuer un panorama des différents éléments composant l'environnement des organismes torrentiels en s'intéressant tout particulièrement à leurs évolutions. Le but étant d'étudier l'aléa torrentiel et ses conséquences en terme de risque, dans le contexte environnemental et socio-économique de la vallée de la Clarée.

II. Le cadre conceptuel

a) La place des torrents dans le système fluvial

De nombreuses définitions du terme « torrent » ont été proposées depuis que ces derniers ont été largement étudiés à partir du milieu du 19^{ème} siècle. La plupart des auteurs le définissent par la pente de son chenal, le caractère spasmodique de son écoulement et la présence de trois secteurs au comportement morphodynamique distinct.

Surell, 1870 : « *Les torrents coulent dans des vallées très courtes, qui morcellent les montagnes en contreforts ; quelque fois même, dans de simples dépressions. Leurs crues sont courtes et presque toujours subites. Leur pente excède 6 centimètres par mètre, sur la plus grande longueur de leur cours : elle varie très vite, et ne s'abaisse pas en dessous de 2 centimètres par mètre. Ils affouillent dans la montagne ; ils déposent dans la vallée ; et ils divagent ensuite, par suite de ces dépôts.* »

⁴ Un système se définit comme étant « *un ensemble cohérent d'éléments liés entre eux* » (Baud *et al.*, 1995)

Derruau, 1970 : « Les torrents sont des cours d'eau à régime spasmodique, à forte pente et qui travaillent dans des matériaux faciles à affouiller. »

Peiry, 1990 : « Le bassin versant torrentiel se caractérise par la vigueur des pentes sur les versants, la raideur du profil en long et la présence de zones individualisées : le bassin de réception, le chenal d'écoulement et le cône de déjection. »

Coque, 1998 : « Le torrent est un cours d'eau épisodique de montagne. L'organe d'écoulement présente trois éléments distincts de l'amont vers l'aval. Au bassin de réception, en forme d'entonnoir, succède le canal d'écoulement inscrit au fond d'une gorge, puis le cône de déjection où l'eau se répartit dans des chenaux divergeant le long de génératrices. »

Valadas, 2004 : « Un torrent est un cours d'eau épisodique de montagne caractérisé par un bassin de réception le plus souvent en éventail, un chenal d'écoulement bien incisé et un cône de déjection. Les eaux ravinent à l'amont, creusent le chenal et déposent à l'aval les matériaux arrachés en cours de trajet. »

Le point commun de ces différentes définitions qui couvrent plus d'un siècle d'étude des organismes torrentiels, est tout d'abord de décrire les torrents comme des cours d'eau de montagne et de les diviser en trois secteurs selon les processus morphogéniques dominants. Si l'on essaie de définir le torrent dans un cadre plus large, il se situe tout à l'amont du système fluvial tel qu'il est défini par Schumm (1977). Ce concept met l'accent sur les relations du cours d'eau avec son bassin versant et propose, lui aussi, une organisation en trois zones distinctes : la zone de production, regroupant les versants qui fournissent les matériaux sédimentaires au système fluvial, la zone de transfert qui fait circuler les sédiments vers l'aval et la zone de stockage où dominent les formes d'accumulation (fig. 3).

Ces définitions, fondées sur des critères géomorphologiques, décrivent bien le fonctionnement morphodynamique des torrents mais elles ne suffisent pas à rendre compte de la complexité de la dynamique des organismes torrentiels. A une autre échelle, le système torrentiel correspond lui-même à un système fluvial dans lequel on retrouve une zone de production (le bassin de réception), une zone de transfert (chenal d'écoulement) et une zone de stockage (le cône de déjection). Néanmoins, compte tenu de la taille réduite du système torrentiel, l'influence des versants est primordiale alors qu'elle a tendance à se réduire de l'amont vers l'aval dans le système fluvial.

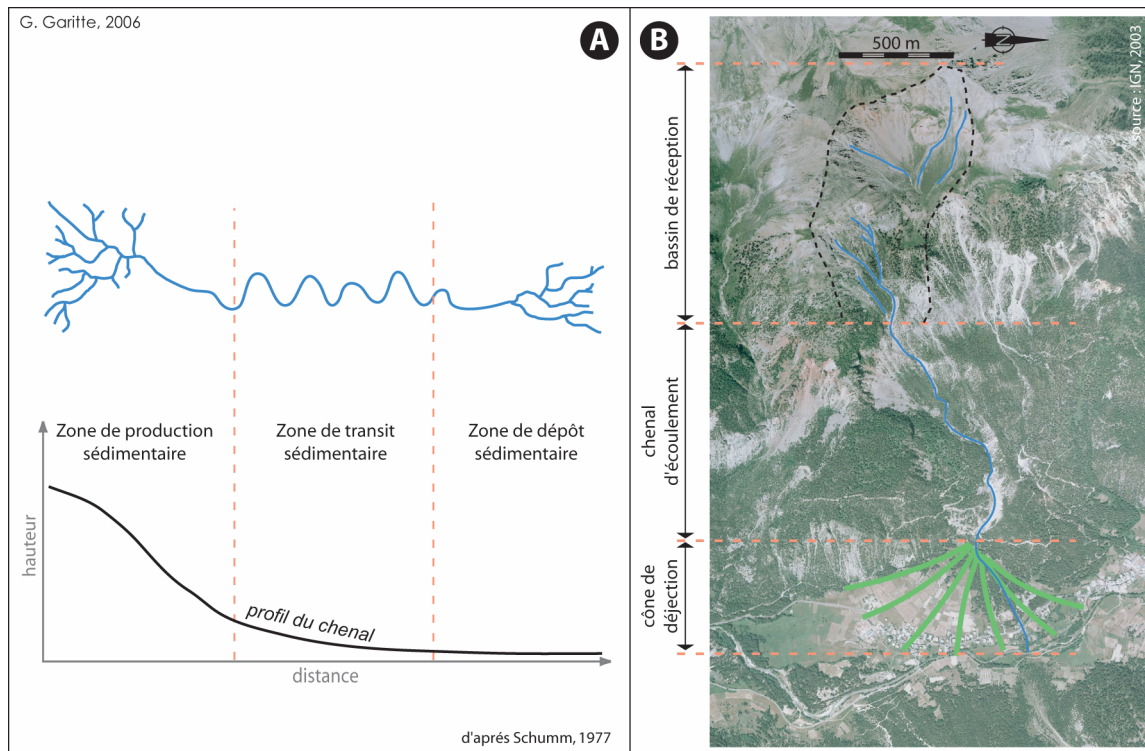


Figure 3 : les éléments constitutifs des systèmes torrentiels
 A : le système fluvial selon Schumm (1977)
 B : les 3 secteurs constitutifs du torrent (torrent des Ruines)

Un système torrentiel est un système ouvert : la morphologie d'un torrent est le fruit de l'évolution dans le temps de nombreuses interactions entre les différentes composantes du milieu. Il est possible de conceptualiser l'ensemble de ces relations sous la forme d'un schéma (fig. 4) qui comporte :

- L'atmosphère qui correspond à la couche gazeuse qui entoure la planète et dont le rôle est majeur dans le cycle de l'eau.
- La lithosphère qui correspond au cadre physique caractérisant les conditions géologiques à l'origine du contexte lithologique et structural.
- L'hydrosphère qui rassemble l'ensemble de l'eau sous toutes ses formes. Elle réunit toutes les relations qui interviennent dans le cycle de l'eau à l'échelle globale ; elle s'inscrit dans le cadre physique constitué de la géosphère et de l'atmosphère.
- La biosphère qui regroupe l'ensemble du vivant. Parmi les éléments de la biosphère qui agissent le plus sur la dynamique torrentielle se trouvent la végétation et l'Homme en société ; tous deux ont une influence sur l'hydrosystème, l'atmosphère et la géosphère.

C'est au sein de ces éléments, qui forment leur environnement, que se situent :

- Le système fluvial, au sein duquel est rassemblé l'ensemble des relations entre le cours d'eau et son bassin versant.
- Le système torrentiel qui constitue un sous-système du système fluvial. Dans les milieux de montagne, la place du système torrentiel à l'amont du système fluvial implique qu'il va largement agir sur la rivière principale en lui fournissant une large partie de sa charge sédimentaire, mais la rivière principale va aussi elle-même influencer le système torrentiel notamment en déterminant le niveau de base local.

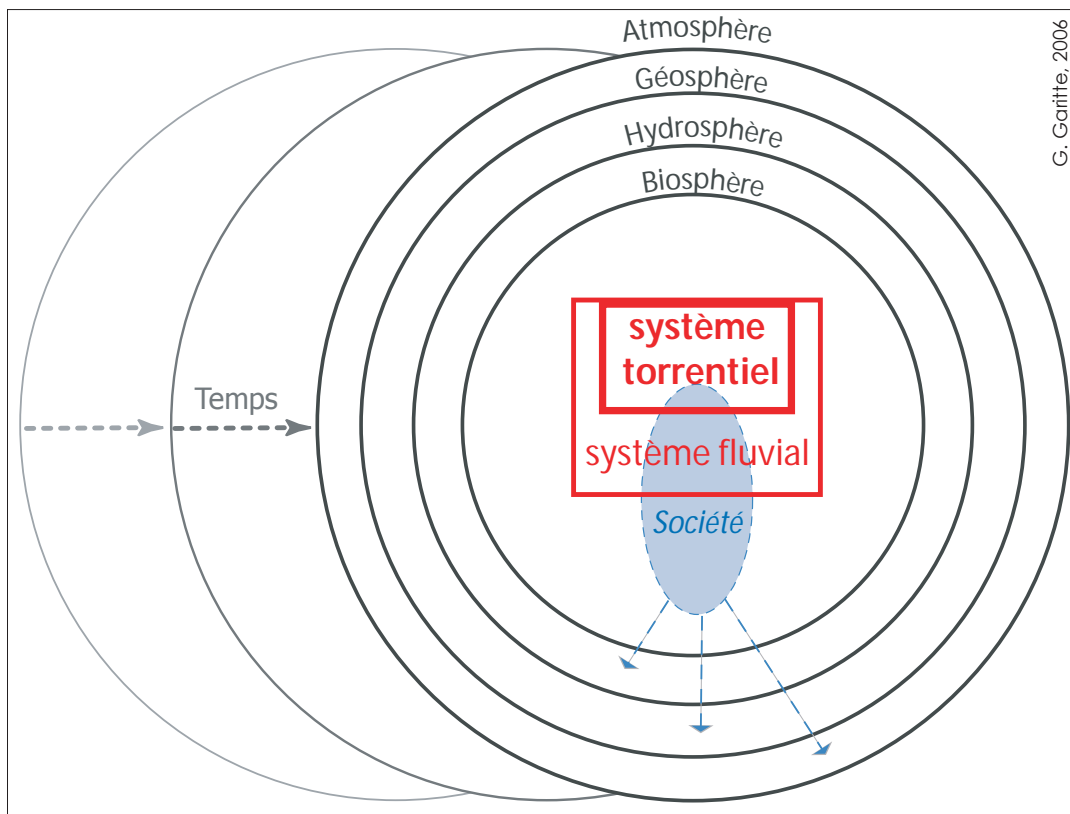


Figure 4 : schéma conceptuel de la place du système torrentiel dans son environnement

Enfin, le modèle conceptuel (fig. 4) décrivant la place et le fonctionnement du système torrentiel proposé ici intègre aussi les relations réciproques très fortes qui existent entre nature et société (Frazer *et al.*, 2003). Il ressort de l'analyse conceptuelle de la place des systèmes torrentiels dans leur environnement (fig. 5) que ceux-ci vont être influencés par de nombreux facteurs tant climatiques, lithologiques que biologiques (Amoros et Petts, 1993). Cela signifie que l'étude des organismes torrentiels doit nécessairement intégrer la multiplicité des agents ainsi que leurs interrelations qui déterminent *in fine* le fonctionnement des torrents.

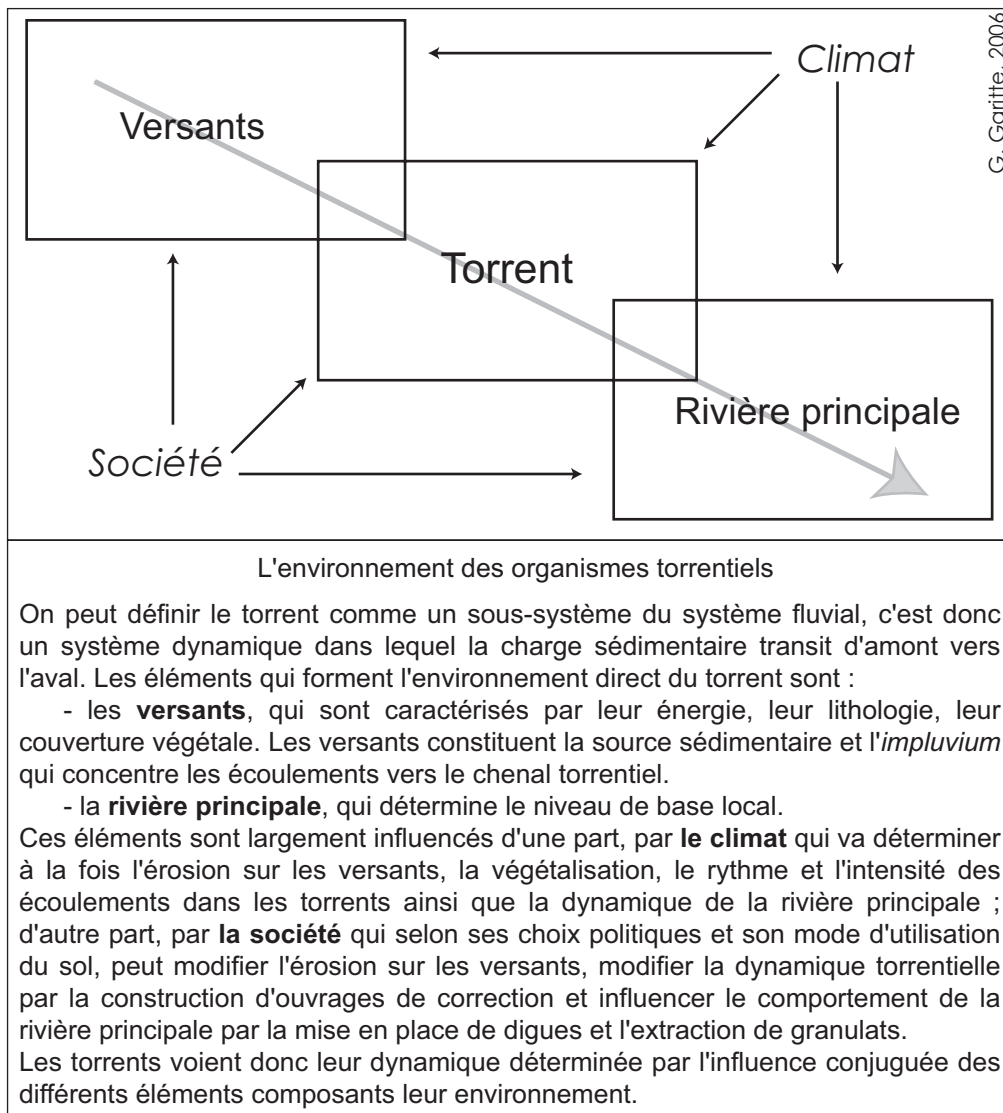


Figure 5 : l'environnement des organismes torrentiels

Au final, il est possible de proposer une définition du torrent qui tienne compte des différents agents déterminants la dynamique de ces cours d'eau spécifiques :

Un torrent est un cours d'eau de montagne caractérisé par une forte pente et un écoulement parfois épisodique. Le torrent se divise en 3 secteurs aux comportements morphodynamiques distincts : une zone dominée par l'érosion (le bassin de réception), une zone dominée par le transit sédimentaire (le chenal d'écoulement) et une zone de ralentissement dynamique propice à l'accumulation (le cône de déjection). La taille réduite des torrents à l'échelle des systèmes fluviaux, attribuée au bassin de réception torrentiel une influence déterminante sur la morphologie des lits et des cônes de déjection et confère aux torrents une

grande sensibilité aux modifications spontanées⁵ ou anthropiques de leur environnement.

b) Les cônes de déjection : l'espace géographique du risque torrentiel

La définition du risque, dans son acception actuelle, se fonde sur un modèle conceptuel (fig. 6 A) articulé autour de deux composantes qui ont toutes deux une dimension spatiale, à savoir : l'aléa qui correspond au phénomène physique potentiellement destructeur, et la vulnérabilité qui rend compte de l'ensemble des facteurs physiques, sociaux, économiques et environnementaux et qui détermine la sensibilité des objets géographiques soumis à l'aléa. Le risque est représenté par la jonction entre l'aléa et la vulnérabilité. Les enjeux, qui correspondent à l'ensemble des personnes et des biens susceptibles d'être affectés par l'aléa (MATE, 1997), sont donc un des éléments qui déterminent la vulnérabilité.

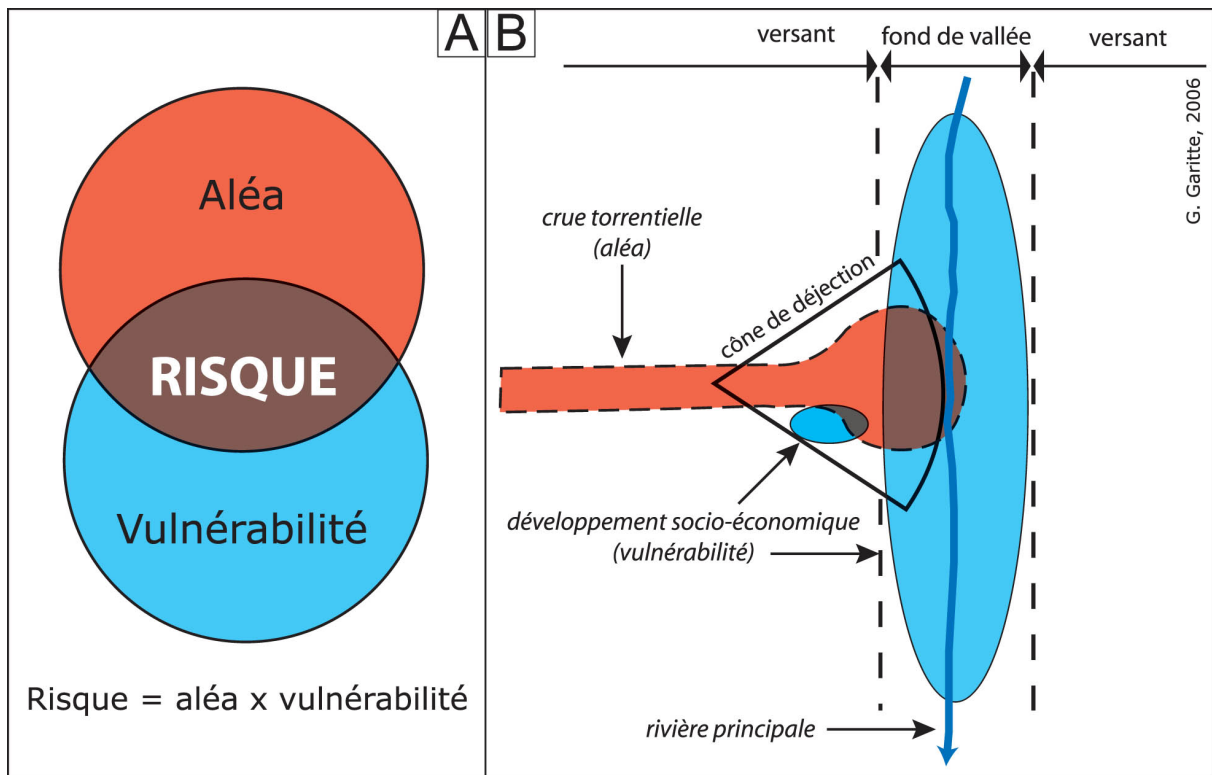


Figure 6 : la définition du risque torrentiel
 A : la définition classique du risque,
 B : le cône de déjection : l'espace géographique du risque torrentiel

⁵ Ici le terme « spontané » a été préféré à celui de « naturel » afin de rendre compte de l'ubiquité de l'influence anthropique.

Lorsque l'on cherche à définir plus spécifiquement le risque torrentiel, il apparaît qu'une de ses particularités est d'avoir une zone d'impact relativement facile à définir *a priori*, et ce par rapport à des aléas tels que les séismes ou les tempêtes. Dans les vallées alpines, les secteurs où se localise le risque torrentiel correspondent surtout aux cônes de déjection torrentiels. Les cônes de déjection peuvent être définis comme « l'espace géographique du risque torrentiel » car ils correspondent à la fois au principal secteur de ralentissement dynamique des crues torrentielles et au lieu privilégié du développement socio-économique. Autrement dit, ils sont à la jonction entre l'aléa et la vulnérabilité (fig. 6 B).

Cependant, cette conception classique du risque autour de ces deux composantes pose un problème de méthode d'analyse. Ainsi, P. Pigeon (2003) souligne que les limites de cette définition duale dans l'étude des risques naturels « peuvent aller jusqu'à isoler une géographie des aléas et une géographie de la vulnérabilité ». Or, l'Homme intervient sur l'évolution des torrents à travers la pression qu'il exerce sur le milieu naturel ou la construction d'ouvrages de correction torrentielle ; surtout, il agit sur la localisation des aménagements soumis aux crues torrentielles et donc sur la vulnérabilité. Cela signifie que l'étude du fonctionnement des torrents –qui peut permettre à terme d'évaluer le comportement des différents organismes– doit nécessairement être complétée par l'analyse des impacts et des comportements anthropiques. En effet, les actions anthropiques de mise en valeur du territoire sont déterminantes dans l'étude du risque, comme le souligne Y. Manche (1997) : « le risque est une notion relative qui dépend de la perception qu'a le groupe social de l'aléa et de sa vulnérabilité ».

Chaque type d'aléa possède des particularités en terme d'origine, de mode de déclenchement, de durée, de surface concernée. L'aléa torrentiel est un phénomène exogène hydrogéomorphologique, les précipitations en constituent le principal mode de déclenchement et les conditions géologiques et géomorphologiques vont largement influencer la magnitude de l'aléa. Par rapport à d'autres aléas naturels, l'extension de l'aléa torrentiel est relativement limitée ; en effet, sa zone d'impact se localise principalement sur les cônes de déjection, même s'il existe de possibles interactions avec la rivière principale. La courte durée des crues torrentielles ne diminue pas leur caractère impétueux qui peut s'avérer destructeur à cause des matériaux qu'elles transportent. Or, les cônes de déjection sont les lieux privilégiés du développement socio-économique des vallées alpines, d'où l'intérêt de la prévention qui consiste à déterminer les zones susceptibles d'être concernées par l'aléa torrentiel avant qu'elles ne soient aménagées.

Par ailleurs, même si le découpage entre aléa et vulnérabilité ne correspond pas à la réalité –puisque'il existe de longue date des interactions entre les torrents et la société– il semble important de souligner que l'approche distincte de l'aléa torrentiel et de la vulnérabilité offre des avantages méthodologiques indéniables. En

effet, bien que l'on utilise parfois les mêmes outils pour les apprécier (cf. Introduction IV), les mécanismes qui régissent l'évolution de la dynamique torrentielle et la multiplication des enjeux sont très différents ; cela justifie qu'ils soient abordés de façon distincte. Par ailleurs, pour éviter une analyse du risque qui ne consisterait qu'à fusionner de manière artificielle les résultats de l'étude de l'aléa torrentiel et de la vulnérabilité actuelle ; il convient de se souvenir que l'espace géographique du risque torrentiel évolue dans le temps sous l'influence conjointe de facteurs anthropiques et naturels.

L'étude des torrents et de la menace qu'ils représentent apparaît donc à l'interface nature-société, c'est pourquoi « *la géographie des risques devrait donc se présenter comme une géographie globale, au-delà des clivages entre géographie physique et géographie humaine* » (Pigeon, 2005).

c) Les avancées récentes de la recherche scientifique

S'il n'existe que peu de publications traitant spécifiquement des aspects géographiques de la vallée de la Clarée (Blais, 1978 ; Clément, 2000 ; Benizri, 2000), de nombreuses publications rendent compte des efforts menés par des chercheurs de différentes disciplines dans la description, la compréhension et la prévision des phénomènes qui influencent la dynamique des systèmes torrentiels de montagne.

En effet, la littérature scientifique, qu'elle soit francophone ou anglophone, constitue une source d'information indispensable qui permet de croiser les résultats de recherches menées dans différentes disciplines (botanique, climatologie, géomorphologie, rhéologie, hydrologie, sociologie...) afin d'avoir une vision holiste des phénomènes en jeu et des progrès réalisés dans leur compréhension. Les thèmes abordés sont en effet très divers. Ils concernent à la fois les progrès effectués dans l'étude et la compréhension des écoulements torrentiels, de l'évolution de l'environnement ou des cours d'eau alpins, de même que les progrès dans l'analyse des impacts probables, à l'échelle des Alpes, du réchauffement global annoncé.

Les sources d'information sont multiples. En plus des thèses universitaires (Baraille, 2001 ; Bardou, 2002 ; Liébault, 2003), des ouvrages thématiques traitant des milieux alpins (De Jong *et al.*, 2005) et plus spécifiquement des organismes torrentiels (Jakob et Hungr, 2003) ou encore des actes de colloques (Rickenmann et Chen, 2003), de très nombreux articles abordent des sujets connexes à l'étude des torrents et des risques qu'ils génèrent. Compte tenu du nombre de phénomènes en jeu dans

l'évolution des torrents et du risque torrentiel, les revues scientifiques consultées couvrent un large éventail thématique ; parmi l'ensemble de ces revues citons quelques références :

- Revues généralistes : Annales de Géographie ; Annales des Ponts et Chaussées ; Bulletin de l'Association de Géographes Français ; Revue de Géographie Alpine ; Revue de Géographie de Lyon – Géocarrefour.
- Hydrologie : La Houille Blanche ; Hydrological Processes ; Journal of Hydraulic Research.
- Géosciences et géomorphologie : Bulletin of Engineering Geology and Environment ; Canadian Geotechnical Journal ; Catena ; Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Geosciences ; Earth-Science Reviews ; Earth Surface Processes and Landforms ; Engineering Geology ; Environmental Management ; Geodinimica Acta ; Géographie Physique et Quaternaire ; Géomorphologie : relief, processus, environnement ; Geomorphology ; Geophysical Research Letters ; Geografiska Annaler ; Ingénieries ; Physic and Chemistry of the Earth ; Quaternaire ; Quaternary Science Review ; Zeitschrift für Geomorphologie.
- Revues traitant des risques : Natural Hazards and Earth System Sciences ; Natural Hazards Review ; Natural Hazards ; Risk Analysis.
- Climatologie et changements environnementaux : Climatic Change ; Climate Research ; Global and Planetary Change ; Global Environmental Change ; International Journal of Climatology ; Regional Environmental Change ; Theoretical and Applied Climatology.

Les risques naturels se situent à l'intersection entre des dynamiques naturelles et sociales qui évoluent largement dans le temps (Hufschmidt *et al.*, 2005). Leur étude doit nécessairement tenir compte de cette dualité. De fait, de nombreuses études soulignent l'importance de la perception et de la représentation du risque dans les comportements sociaux (Manche, 1997 ; Schoeneich et Busset-Henchoz, 1998 ; Reyt, 2000a, 2000b ; Peretti-Watel, 2001 ; Duchêne *et al.*, 2003 ; Heiderich, 2005), alors que d'autres valorisent une approche « physique » de l'aléa en considérant que la géomorphologie est une discipline stratégique dans la réduction de la vulnérabilité (Alcántara-Ayala, 2002 ; Glade, 2005 ; Seijmonsbergen et Graaff, 2006). En fait, si l'analyse des risques dits naturels ne peut s'affranchir de cette distinction traditionnelle entre géographie humaine et géographie physique (Pigeon, 2005), notre approche a consisté à intégrer les différents facteurs physiques, climatiques et anthropiques influençant l'aléa et le risque torrentiel. Ce paragraphe est destiné à replacer notre étude au cœur des préoccupations de la recherche actuelle. Il présente une sélection parmi les nombreuses parutions récentes concernant directement ou indirectement l'étude des risques naturels en général et du risque torrentiel en particulier.

Compte tenu de leur sensibilité aux crues (cf. Introduction II b), les cônes de déjection sont largement étudiés. Ces études concernent les modalités de la mise en place des cônes de déjection à partir d'une approche stratigraphique et sédimentologique (Amelot *et al.*, 2003) ou de modèles physiques de la mise en place des cônes (Tsai, 2006).

Par ailleurs, nombreuses sont les études basées soit sur l'analyse des facteurs morphologiques, géologiques et géomorphologiques des bassins-versants torrentiels contrôlant la mise en place des cônes de déjection (Crosta et Frattini, 2004), soit sur l'analyse des caractéristiques morphologiques des cônes de déjection et des bassins de réception. Ces dernières se fondent sur l'examen d'un grand nombre d'organismes torrentiels en Europe, au Canada ou en Nouvelle-Zélande (Kostaschuck *et al.*, 1986 ; Marchi *et al.*, 1993 ; Marchi et Tecca, 1995 ; De Scally *et al.*, 2001 ; De Scally et Owens, 2004 ; Harvey, 2002 ; Marchi et Brochot, 2000 ; Wilford *et al.*, 2004 ; Garitte et Thénard, 2005). Pour la plupart, ces études soulignent la corrélation qui existe entre la superficie du bassin-versant et les caractéristiques du cône de déjection ; mais aussi l'importance des caractéristiques sédimentologiques des matériaux mobilisables qui peuvent être influencées par le contexte géologique ou l'activité tectonique (Calvache *et al.*, 1997)

Dans notre travail, nous avons confronté les principales caractéristiques morphométriques des bassins-versants torrentiels avec la superficie et la pente des cônes de déjection. Cette approche a permis de déterminer quels sont les paramètres (*i.e.* taille du bassin-versant, largeur de la vallée principale...) qui contrôlent la mise en place des cônes de déjection (cf. 1.3.2.). De plus, notre étude des cônes de déjection s'est aussi enrichie d'une analyse morphologique fine de laquelle ressort la mise en évidence de 3 grands morphotypes distincts de cône de déjection dans la vallée de la Clarée (cf. 1.4.).

L'analyse à échelle fine des indices morphologiques présents à la surface des cônes de déjection révèle de profondes transformations dans la physionomie des torrents. De nombreux auteurs à travers le monde étudient l'évolution contemporaine de la morphologie des cours d'eau. Certaines de ces études portent sur la mutation des rivières de plaine en Europe (Lach et Wyzga, 2002 ; Rinaldi, 2003 ; Owens et Walling, 2002 ; Keesstra *et al.*, 2005) ou plus spécifiquement des rivières des Alpes françaises (Bravard et Peiry, 1993 ; Piégay *et al.*, 2000 ; Bravard, 2002 ; Descroix et Gautier, 2002). Ces travaux soulignent l'ajustement morphologique des rivières caractérisé par l'abandon du tressage au profit d'une morphologie plus rectiligne

commandée par la réduction de la charge sédimentaire transportée par les cours d'eau. Ces évolutions sont le fruit de l'ajustabilité des formes fluviales aux modifications des flux liquides et solides. Différentes relations empiriques ont été proposées pour décrire le comportement morphodynamiques des cours d'eau face aux variations respectives des flux liquides et solides (Bravard et Peiry, 1997 ; Knigton, 1998).

La part des facteurs naturels et anthropiques dans le phénomène de contraction et d'incision des lits demeure une question centrale des recherches récentes. Les facteurs naturels résident principalement dans l'influence du climat sur la forme des rivières. Vandenberghe (2003) souligne l'importance du forçage climatique sur la morphologie des systèmes fluviaux. Cette influence peut être directe, de part la modification de l'intensité et la répartition des précipitations, ou indirecte car le climat aura aussi des effets sur les systèmes fluviaux en contrôlant, par exemple, le développement de la végétation.

Cependant les facteurs anthropiques apparaissent souvent déterminants dans la mutation des cours d'eau alpins depuis le 19^{ème} siècle. Les perturbations anthropiques, et, en particulier, l'extraction de granulats dans le lit des rivières, apparaissent comme un élément décisif de l'incision de certaines rivières alpines (Piégay et Peiry 1997 ; Marston *et al.*, 2003 ; Rinaldi *et al.*, 2005 ; Rovira *et al.*, 2005).

D'autres études décrivent la mutation de rivières torrentielles de moyenne montagne, en particulier dans les Alpes et Pré-Alpes du sud (Friedman *et al.*, 1996 ; Warner, 2000 ; Liébault et Piégay, 2001 ; Liébault *et al.*, 2002 ; Liébault, 2003 ; Arnaud-Fassetta et Fort, 2004 ; Piégay *et al.*, 2004 ; Liébault *et al.*, 2005). Le résultat de ces recherches démontre une nouvelle fois la complexité des phénomènes à l'origine de la rétraction des bandes actives dans lesquelles la part respective des facteurs naturels (reboisement spontané, modification du régime et de l'intensité des précipitations) et anthropiques (modification des modes de mise en valeur des territoires, extraction de granulats, mise en place d'ouvrages de correction) est difficile à préciser.

A l'échelle des Alpes, peu d'études se focalisent spécifiquement sur l'évolution de la bande active des torrents de montagne durant l'Holocène et plus particulièrement depuis le PAG (fig. 7 ; Flez et Lahousse, 2003, 2004b ; Thevenet *et al.*, 2003 ; Flez et Garitte, 2006). Cette lacune renforce l'intérêt de la présente étude. En effet le secteur étudié dans ce travail se situe tout à l'amont du système fluvial et concerne des bassins-versants de taille relativement réduite réagissant rapidement aux modifications environnementales.

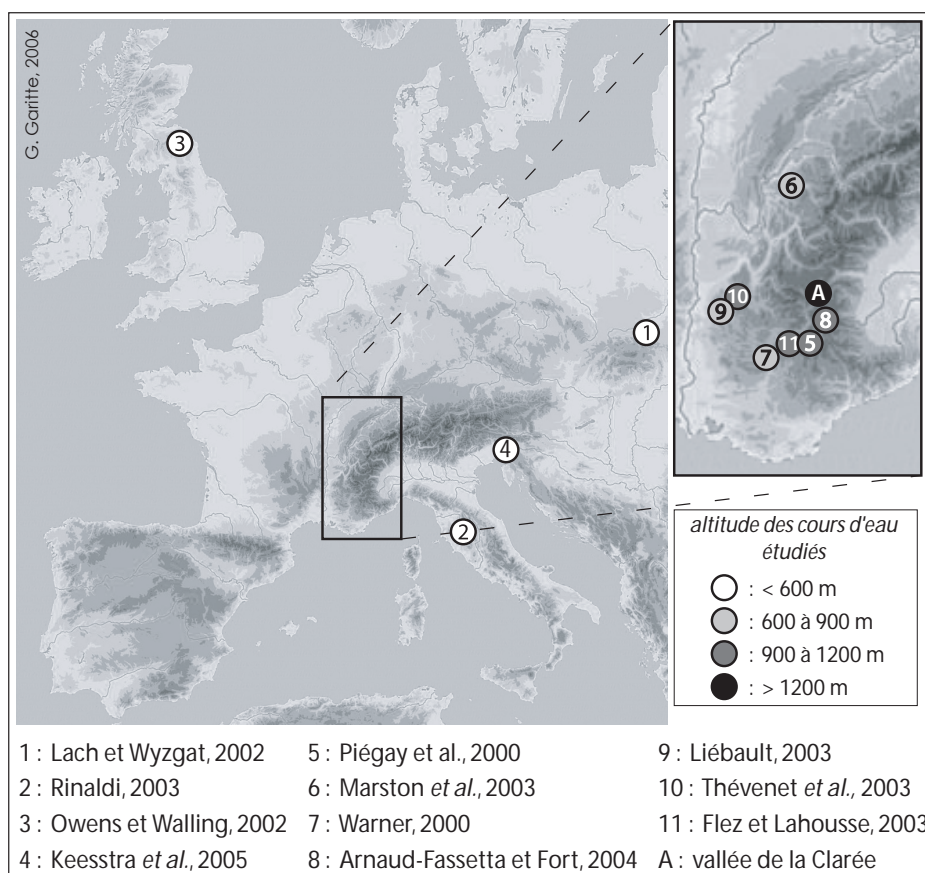


Figure 7 : localisation des publications récentes traitant de l'évolution de la bande active des cours d'eau

Lorsque que l'on cherche à déterminer les mécanismes commandant la mutation de la morphologie des cours d'eau alpins, le rôle de la végétation apparaît central. Différentes études récentes illustrent l'influence primordiale de la végétation sur le transit sédimentaire et sur le comportement hydrologique des cours d'eau (Andréassian, 2002, 2004a, 2004b ; Cheng *et al.*, 2002 ; Cosandey *et al.*, 2005). Cette capacité du couvert végétal à réduire le transit sédimentaire a été largement documentée à travers l'analyse des effets de la végétation sur la quantité de matériaux transportés par les ravines qui se développent dans les Terres Noires des Alpes du sud (Rey, 2002, 2004 ; Rey *et al.*, 2002, 2003, 2004).

D'autres études traitent de l'impact de la déforestation sur la torrencialité. Elles démontrent les conséquences majeures du déboisement par les incendies sur le déclenchement des coulées torrentielles (Cannon et Reneau, 2000 ; Cannon *et al.*, 2001 ; Conedera *et al.*, 2003 ; Shakesby et Doerr, 2006), mais témoignent aussi de l'intérêt de la forêt en tant qu'élément de gestion à part entière des risques naturels (Berger et Rey, 2004).

L'intérêt de l'étude de la végétation est d'autant plus important que, dans les Alpes, la couverture forestière a largement évolué, tant en superficie qu'en composition. Ces modifications plus ou moins rapides au cours des siècles sont principalement commandées par l'influence des modifications climatiques et de l'emprise anthropique. Depuis l'avènement de communautés villageoises dépendantes de l'agriculture, les défrichements ont pu limiter l'extension de la végétation sur les versants. Différentes approches basées sur l'analyse de prélèvements de restes végétaux (charbons, macrorestes, pollen...) ont permis de détailler l'évolution de la couverture végétale dans les Alpes depuis plusieurs dizaines de milliers d'années (Fauquette et Talon, 1995 ; Didier et Brun, 1998 ; Talon *et al.*, 1998 ; Carnelli *et al.*, 2004). Ces études démontrent que, durant la plus grande partie de l'Holocène, la limite supérieure de la forêt était plus haute qu'actuellement (Guiot *et al.*, 1999). Ainsi, durant la période Atlantique (7000-5000 BP), la limite supérieure de la forêt qui occupait les versants de la vallée de la Clarée –à l'époque principalement composée de feuillus tels que le bouleau (*Betula*)– se situait près de 300 m au dessus de sa limite actuelle (Nakagawa *et al.*, 2000). Ces études affirment aussi que l'influence anthropique devient sensible à partir de 3000 BP sous la forme de défrichement par le feu. Cet accroissement de la pression anthropique sur le milieu naturel a pu modifier la dynamique torrentielle en favorisant le transit sédimentaire sur les versants.

A des échelles de temps beaucoup plus courtes, les méthodes d'observation de l'évolution de la couverture forestière sont basées sur d'autres outils tels que l'analyse diachronique à partir de cartes anciennes (Vallauri, 1997), ou de différents inventaires existants (Derioz, 1999). Ces études tendent à démontrer que les conséquences du réchauffement climatique post-PAG conjuguées aux effets de la déprise rurale se traduisent par une large reconquête végétale sur les versants alpins. Ces indices, prouvant la modification de la dynamique végétale, sont parfois interprétés comme étant le résultat des modifications récentes du climat (Keller *et al.*, 2000 ; Dobbertin *et al.*, 2005) pouvant laisser présager des conséquences que pourraient avoir les effets locaux du réchauffement global sur la végétation des Alpes.

Dans le secteur étudié, l'évolution de la couverture végétale a été appréhendée à la fois à l'aide de vieux inventaires des 18 et 19^{ème} siècles mais aussi grâce à l'analyse diachronique de cartes et de photographies obliques pour la période la plus récente.

Toutefois, au-delà de l'analyse fondamentale des organismes torrentiels, l'étude des risques générés par les torrents requiert des connaissances très diverses

sur leur comportement. Par exemple, connaître précisément les facteurs responsables du déclenchement des crues torrentielles est un élément important dans la gestion du risque torrentiel. En fait, l'analyse des situations météorologiques à l'origine des crues torrentielles révèle la diversité des facteurs déclencheurs (Wieczorek et Glade, 2005). Au premier rang des éléments déclencheurs se situent les précipitations liquides. De nombreuses études cherchent à préciser la relation entre les précipitations et le déclenchement des crues. Les auteurs se fondent principalement sur une étude statistique des caractéristiques des précipitations ayant déclenché des crues torrentielles (Crosta et Frattini, 2000 ; Deganutti *et al.*, 2000 ; Bacchini et Zannoni, 2003). Ces études confirment le rôle de la durée et de l'intensité des précipitations dans le déclenchement des crues torrentielles tout en soulignant l'importance du contexte géologique régional dans les seuils de déclenchement obtenus. Par ailleurs, d'autres études soulignent le rôle que peut jouer la fonte rapide du manteau neigeux dans le déclenchement des crues torrentielles (Bardou *et al.*, 2002 ; Bardou et Delaloye, 2004 ; Decaulne *et al.*, 2005).

Dans le Briançonnais, l'étude des situations météorologiques à l'origine des crues dommageables menée par S. Baraille (2001, 2003) définit 4 types d'épisodes météorologiques déclenchant des inondations importantes en Haute-Durance : le retour d'est, la remontée du sud, la perturbation d'ouest à sud-ouest et l'orage. Notre propre étude des facteurs de déclenchement des crues torrentielles dans la vallée de la Clarée s'est appuyée sur une analyse croisée des données pluviométriques journalières et du recensement des crues torrentielles pour la période la plus récente qui offre les données les plus exhaustives. Les résultats de cette approche réaffirment le rôle déterminant des précipitations orageuses estivales dans le déclenchement des crues torrentielles (cf. 3.2.2.2.).

Nombreuses sont les publications récentes qui soulignent l'importance du recensement et du traitement des données historiques dans l'étude des risques naturels (Barnikel et Becht, 2003, 2005 ; Meschinet de Richemond, 2003 ; Petrucci et Polemio, 2003 ; Barnikel, 2004 ; Tropéano et Turconi, 2004 ; Blanchard *et al.*, 2006). Ces données, qui sont autant d'indices renseignant sur la localisation et la fréquence de différents phénomènes physiques générateurs de risque, peuvent être la base d'une cartographie de l'aléa. Ces cartes élaborées à partir de données historiques sont parfois comparées à des zonages effectués sur la base d'observations géomorphologiques. Cela permet de constater une sous estimation du risque sur la carte basée sur des données historiques, et ce en particulier dans les secteurs récemment peuplés (Carrara *et al.*, 2003 ; Decaulne, 2005).

L'utilisation de données historiques pour déterminer l'activité des organismes torrentiels comporte donc plusieurs limites (Lahousse, 1997). Notre étude confirme ainsi que le recensement des crues torrentielles est clairement dépendant de la présence d'enjeux à proximité des torrents ; l'historique des crues torrentielles renseigne finalement plus sur les relations entre torrents et société que sur le fonctionnement paroxystique réel des torrents (cf. 3.2.2.1.).

Les contraintes liées au manque d'exhaustivité des données historiques en limitent la portée pour évaluer la dangerosité de nombre de torrents. L'estimation du volume maximal probable des crues torrentielles apparaît alors comme un élément particulièrement utile à la gestion du risque. Ces estimations sont basées sur différents types d'approches.

Les méthodes d'estimations empiriques et statistiques sont basées sur l'analyse d'un nombre plus ou moins important de crues torrentielles. De ces observations sont déterminées des relations qui, le plus souvent, relient le volume probable des crues à la superficie du bassin-versant (D'Agostino et Marchi, 2001 ; Franzi et Bianco, 2001 ; Marchi et D'Agostino, 2004). D'autres méthodes d'estimation sont inspirées par les travaux de Hungr *et al.*, (1984). Cette approche géomorphologique consiste tout d'abord à subdiviser le lit torrentiel en biefs ayant des caractéristiques morphologiques et sédimentologiques comparables avant d'appliquer à chacun d'eux un taux de production sédimentaire unitaire (Brochot *et al.*, 2002 ; D'Agostino et Marchi, 2003 ; Conversini *et al.*, 2005).

Récemment, une méthode basée à la fois sur la télédétection et sur des mesures *in situ* a été élaborée (Veyrat-Charvillon, 2005 ; Veyrat-Charvillon et Memier, 2006). Celle-ci base l'estimation du volume disponible dans le lit du torrent sur la comparaison de la surface topographique et d'un niveau d'ablation maximal. Cette approche n'est cependant pas directement applicable aux torrents de la vallée de la Clarée dont les caractéristiques et le comportement sont différents. Dans notre travail, une étude topométrique de certains torrents de la vallée a cherché à décrire l'évolution des lits et de leur état de charge. De plus, nous avons aussi cherché à appliquer les différentes méthodes disponibles (empiriques et géomorphologiques) afin de déterminer le volume maximal probable des crues torrentielles pour différents organismes torrentiels de la vallée de la Clarée. Ces estimations donnent des résultats très disparates mais offrent toutefois des éléments importants en terme de gestion du risque torrentiel (cf. 3.2.3.).

La compréhension de l'aléa torrentiel passe aussi par une meilleure connaissance du fonctionnement intime des différents écoulements torrentiels et des laves en particulier. Coussot et Meunier (1996) définissent les laves torrentielles comme étant un état intermédiaire entre écoulement hyperconcentré et mouvement de terrain. De ce fait, les écoulements torrentiels ne peuvent être abordés à l'aide des lois régissant l'hydraulique ou celles correspondant aux mouvements de terrain. Pour rendre compte de la complexité du phénomène, différentes approches sont employées pour améliorer la compréhension de la dynamique et du comportement des organismes torrentiels. Celles-ci peuvent reposer par exemple sur l'élaboration de modèles physiques qui aident à la modélisation de la mise en mouvement du lit torrentiel (Papa *et al.*, 2004) ou de modèles numériques qui permettent de simuler des écoulements torrentiels (Hübl et Steinwendtner, 2001 ; Berti et Simoni, 2005 ; Pudasaini *et al.*, 2005). Les résultats de ces simulations informatiques sont parfois validés en les comparant avec les zones touchées lors de crues torrentielles récentes (Ghilardi *et al.*, 2001 ; D'Ambrosio *et al.*, 2003).

L'étude des torrents passe aussi par des analyses *in situ*. Au delà des observations de terrain concernant les caractéristiques géomorphologiques ou stratigraphiques qui peuvent se révéler riche d'enseignements (Batalla *et al.*, 1999 ; Coe *et al.*, 2003), différentes approches visant à l'instrumentation d'organismes torrentiels sont appliquées à travers le monde (Lahusen, 2005 ; Itakura *et al.*, 2005).

L'utilisation de capteurs acoustiques et de sismographes (Itakura *et al.*, 2000 ; Arattano et Franzini, 2004 ; Galgano *et al.*, 2005) alliés à l'emploi d'enregistrements vidéo (Arattano et Marchi, 2000 ; Genevois *et al.*, 2001) ou encore de capteurs à ultrasons permet d'obtenir de nombreuses informations sur les écoulements torrentiels : vitesse, estimation du débit (Arattano et Marchi, 2005). Ces données peuvent alors permettre d'élaborer des modèles mathématiques décrivant le fonctionnement du torrent (Arattano et Franzini, 2003).

De fait, certains torrents peuvent faire l'objet d'une instrumentation poussée permettant d'obtenir de nombreuses informations précisant les facteurs déclenchants ainsi que de nombreuses données concernant les caractéristiques de l'écoulement durant la moindre crue. Comme par exemple dans le bassin-versant des torrents de Schipfenbach et de l'Illbach dans les Alpes suisses (Hürlimann *et al.*, 2003), ou à l'instar du torrent de l'Acquabona (Berti *et al.*, 2000 ; Tecca *et al.*, 2003 ; Berti et Simoni, 2005), et du torrent de Moscardo dans les Dolomites italiennes qui sont équipés de capteurs acoustiques et sismiques et de caméras (Marchi *et al.*, 2002) ou encore des bassins-versants expérimentaux de Draix dans les Alpes françaises du sud (Esteves *et al.*, 2005 ; Cosandey *et al.*, 2005).

D'autres approches se focalisent sur l'analyse des dépôts de crue qui permettent de déterminer les caractéristiques des écoulements (Bonnet-Staub, 1998 ; Bardou *et al.*, 2003). En effet, l'analyse granulométrique des dépôts de crue peut fournir des informations sur l'écoulement qui les a mis en place ainsi que sur la zone d'initiation de la crue.

Dans la présente étude l'analyse des lits torrentiels et de leur modification est basée sur une approche morphologique. L'utilisation d'un instrument de topométrie mobile tel que le tachéomètre, permet d'obtenir des mesures précises et aisément renouvelables. Ces levés peuvent aussi être complétés par des données sédimentologiques ou dendrochronologiques (Lahousse et Romelé, 2000 ; Garitte et Lahousse, 2002) et servir à étudier l'évolution des lits torrentiels.

D'autres études se proposent de délimiter le risque torrentiel en utilisant les outils géomatiques. Ces approches sont alors basées sur l'emploi de systèmes d'informations géographiques (SIG) qui permettent de croiser les résultats d'analyses géomorphologiques, topographiques –le plus souvent basées sur l'emploi de modèles numériques de terrain (MNT)– ou géotechniques avec l'examen de la vulnérabilité (Manche, 2000 ; He *et al.*, 2003 ; Chau et Lo, 2004 ; Chen *et al.*, 2004 ; Melelli et Taramelli, 2004 ; Yiu *et al.*, 2006). Différents auteurs ont cherché à utiliser l'analyse coût/bénéfice –issue des sciences économiques– dans la gestion du risque torrentiel. Cependant son utilisation se révèle finalement difficilement applicable à cause de la nécessité de traduire l'ensemble des coûts et des bénéfices éventuels en terme monétaire (Brochot *et al.*, 2003 ; Ganderton, 2005 ; Gamper *et al.*, 2006). Cela l'est d'autant plus dans le cas de la vallée de la Clarée puisque celle-ci est encore peu urbanisée.

Dans notre travail, le diagnostic de l'aléa et du risque torrentiel se fonde sur une approche intégrée (Pasuto et Soldati, 2004) qui tient à la fois compte des résultats d'une analyse géo-historique de l'évolution des organismes torrentiels et de la vulnérabilité ainsi que d'une étude de la morphologie des cônes de déjection torrentiels.

Par ailleurs, comme le rappellent les profondes modifications environnementales qui ont suivi la fin de la péjoration climatique du PAG, nous sommes dans un milieu changeant. C'est pourquoi, dans le contexte actuel de réchauffement à échelle planétaire, les études scientifiques traitant du changement

global sont très nombreuses. Parmi celles-ci, les travaux effectués dans le cadre du GIEC⁶ constituent une base incontournable (IPCC, 2001a, 2001b).

Pourtant, certaines publications relativisent les résultats des simulations informatiques du réchauffement climatique annoncé (Leroux, 2002 ; Vigneau, 2005), alors que d'autres insistent sur les mécanismes qui commandent l'évolution de cette composante essentielle de notre environnement (Jacques et Le Treut, 2004).

Plusieurs auteurs soulignent les risques que pourrait faire peser le réchauffement global sur les sociétés humaines tant du point de vue écologique qu'économique (Mc Mickael et Kjellstrom, 2002 ; Bessat, 2003 ; Loubier, 2004 ; Lorenzoni *et al.*, 2005). Les conséquences locales du réchauffement global pourraient en effet conduire à une modification plus ou moins importante de l'environnement des organismes torrentiels. De fait, un certain nombre d'études se focalisent sur des aspects précis de l'impact prévisible du changement climatique à l'échelle des Alpes :

- Différentes approches cherchent à définir les tendances climatiques récentes dans le but d'appréhender les effets probables du changement global à l'échelle des Alpes. Ces études se fondent soit sur des modélisations des conséquences locales du réchauffement global (Heimann et Sept, 2000 ; Sanchez *et al.*, 2004) soit sur une analyse fine des chroniques météorologiques existantes (Brunetti *et al.*, 2000 ; Brunetti *et al.*, 2001 ; Beniston et Stephenson, 2004). Elles constatent et prévoient, en outre, un accroissement de l'intensité des précipitations.
- L'analyse de l'impact du réchauffement global envisage par ailleurs une baisse de la durée et l'importance de la couverture neigeuse (Hantel *et al.*, 2000 ; Keller et Goyette, 2005). Cette réduction de la couverture neigeuse annuelle pourrait avoir des effets importants sur le fonctionnement hydrologique des cours d'eau ainsi que sur le développement de la végétation (Keller *et al.*, 2005).
- En ce qui concerne la végétation, les conséquences locales du réchauffement global sont complexes. Les observations menées dans les Alpes démontrent que ses effets touchent tout autant la composition des peuplements végétaux que leur répartition dans l'espace (Hättenschwiler et Körner, 1995 ; Guisan et Theurillat, 2000 ; Theurillat et Guisan, 2001 ; Arques, 2005 ; Studer *et al.*, 2005).
- Certains auteurs cherchent à prévoir l'évolution de la dynamique future des mouvements de terrain (Dehn et Buma, 1999 ; Buma et Dehn, 2000 ; Soldati *et al.*, 2004). Cependant, les résultats de ces études se révèlent

⁶ Groupe d'expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat créé en 1988 par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) pour répondre aux préoccupations que soulève le changement du climat à l'échelle globale.

limités par le manque de précision spatiale des modèles informatiques actuels.

- Enfin, nombre de modèles prévoient une intensification des précipitations, dont les conséquences sur la dynamique torrentielle pourraient être importantes. De fait, plusieurs analyses régionales observent un accroissement de l'intensité des précipitations (Rebetez *et al.*, 1997 ; Brunetti *et al.*, 2001 ; Jomelli *et al.*, 2004), même s'il n'existe pas de lien direct entre l'évolution de l'intensité des précipitations et de la fréquence des crues torrentielles dans le secteur étudié. Cette contradiction souligne l'importance du rythme de recharge sédimentaire du lit dans l'occurrence des crues torrentielles (Bovis et Jakob, 1999 ; Jacob *et al.*, 2005).

Ces différentes approches permettent d'envisager quels seront les effets du réchauffement global sur l'environnement alpin (Beniston *et al.*, 1997 ; Beniston, 2003, 2004, 2005, 2006 ; Beniston et Diaz, 2004 ; Keller *et al.*, 2000a, 2000b ; Rebetez et Dobbertin, 2004). Ces études démontrent que, si les changements climatiques annoncés se concrétisent, les modifications environnementales pourraient s'avérer importantes tant du point de vue écologique qu'au niveau des processus morphologiques.

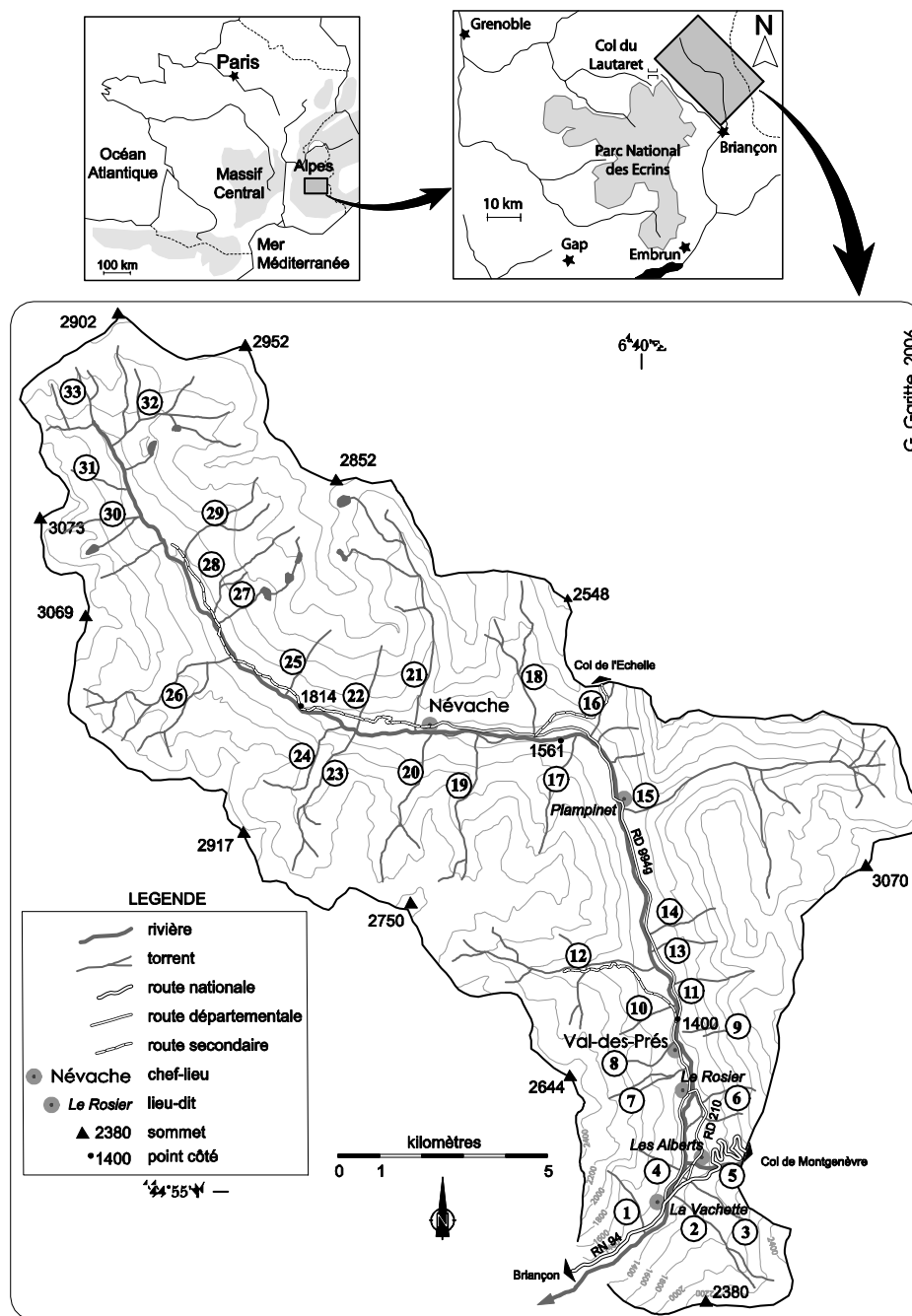
Dans ce travail nous avons cherché à compiler les résultats de ces différentes études afin d'appréhender, dans une approche prospective, quelles pourraient être les conséquences à moyen terme du réchauffement global au niveau de la dynamique torrentielle dans la vallée de la Clarée.

III. Le cadre géographique

Notre intention n'est pas ici de décrire dans le détail les caractéristiques physiques du secteur étudié ; celui-ci a déjà fait l'objet de différentes études antérieures auxquelles nous renvoyons. Il s'agit plutôt de définir quels sont les éléments indispensables à la compréhension du phénomène torrentiel en vallée de la Clarée.

Le secteur étudié se situe dans le Briançonnais (département des Hautes-Alpes), à la limite entre les Alpes françaises du sud et du nord, et correspond à la vallée de la rivière Clarée. Cette unité géographique d'une superficie proche de 200 km², comprend les communes de Névache (à l'exception de la Vallée Etroite), Val-des-Prés et une petite partie des communes de Montgenèvre et Briançon. Elle correspond à la vallée de la Clarée proprement dite et une partie du cours supérieur de la Durance. En effet, (au regret de nombreux habitants de la vallée) bien que le débit de la Clarée soit nettement supérieur à celui de la Durance descendant du col de Montgenèvre, c'est cette dernière qui donne son nom à la rivière à partir de la confluence vers 1360 m. En tout, un peu plus d'une trentaine d'organismes torrentiels, de taille et de dénivelée très variables, se développent sur les versants de la vallée de la Clarée (fig. 8 et 9).

Les torrents de la vallée de la Clarée – Gilles GARITTE



1. Le Malefosse	12. Le Granon	23. Buffère
2. Le Vallon	13. La Pinatelle	24. Gardiole
3. Les Ruines	14. Les Sables	25. La Raoute
4. L'Enrouye	15. Les Acles	26. Le Chardonnet
5. La Durance	16. L'Echelle	27. Le Laramon
6. Le Combal	17. Le Creuzet	28. Recare
7. La Ruine	18. Le Roubion	29. La Cula
8. Le Rivet	19. Le Longuet	30. Les Béraudes
9. Fournéous	20. Cristol	31. Le Riou Blanc
10. Les Gamattes	21. Le Vallon	32. Brune
11. La Lauze	22. Biauue	33. Les Rochilles

Figure 8 : localisation des torrents de la vallée de la Clarée

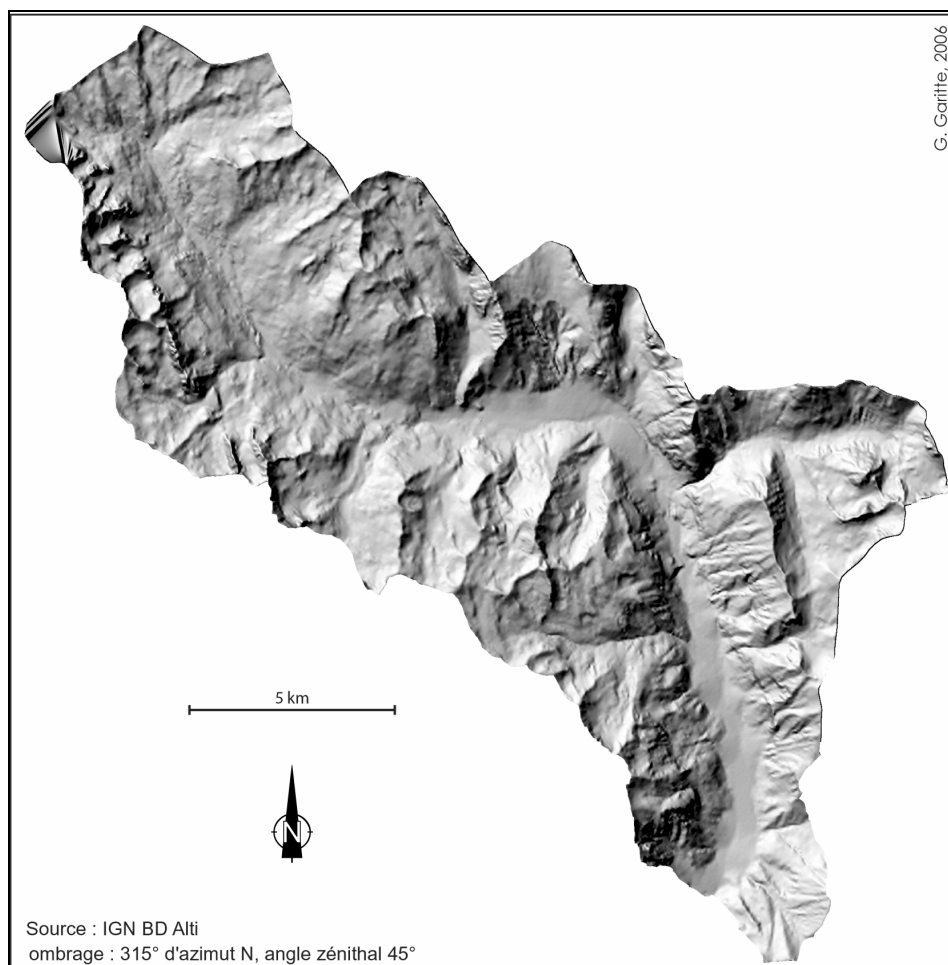


Figure 9 : Modèle numérique de la vallée de la Clarée
*ce modèle numérique de terrain tiré des données altimétriques de l'IGN permet
d'apprécier le relief de la vallée*

Parmi l'ensemble des torrents étudiés, quatre ont fait l'objet d'une correction torrentielle plus ou moins poussée de la part du service RTM : les torrents de Malefosse, de Roubion, de la Ruine et de la Pinatelle. Ces interventions résident soit dans la mise en place de moyens de génie biologique dans les bassins de réception, ce qui reste ponctuel à l'échelle de la vallée ; soit dans la mise en place de mesures structurales par la construction de barrages de sédimentation dans le lit torrentiel dans le but de fixer le profil du torrent et de réduire l'énergie du cours d'eau ainsi que par l'édification de digues pour limiter les risques de débordement. Même s'ils restent ponctuels à l'échelle de la vallée, ces différents aménagements vont avoir des conséquences dans le fonctionnement des torrents concernés et en particulier en terme de transit sédimentaire.

Torrent	Date d'acquisition	Surface (ha)
Malefosse	1887	165
Pinatelle	1887	195
Roubion	1887	234
Ruine	1963	26

Tableau 1 : les périmètres RTM dans la vallée de la Clarée
(source : RTM 05)

Enfin il faut aussi noter que l'histoire de la correction torrentielle de ces quatre torrents est très différente⁷. Les uns ont été corrigés de longue date sans que ces interventions ne se pérennisent, alors que d'autres font l'objet d'une attention quasi continue depuis la fin du 19^{ème} siècle. Enfin, un torrent comme celui de la Ruine n'a été équipé de digues et de barrages que très récemment (cf. 2.4.3.).

a) Le contexte géologique et structural

La principale particularité du contexte géologique du Briançonnais est sa complexité qui trouve son origine dans la juxtaposition de roches de différentes natures issues du déplacement de nappes de charriages. Il est toutefois possible de simplifier la situation en différenciant : la zone Briançonnaise encadrée à l'est par la zone Piémontaise (composée principalement de calschistes et ophiolites) et séparée à l'ouest de la zone Dauphinoise, qui correspond au massif granito-gneissique des Ecrins-Pelvoux, par la zone Sub-Briançonnaise (Lemoine *et al.*, 1994)(fig. 10).

La vallée de la Clarée se situe essentiellement dans la zone Briançonnaise au sein de laquelle on peut distinguer deux principaux types de roches sédimentaires (Barféty *et al.*, 1995 ; Gidon, 1998-2006) :

- grés et schistes du Carbonifère.
- calcaires vermiculés, dolomies et cargneules du Trias.

Il est important de souligner l'opposition entre la basse vallée, marquée par la présence de roches triasiques carbonatées, et la haute vallée principalement constituée de grés et de schistes du carbonifère moins propices à la formation de corniches rocheuses (cf. Introduction III b).

⁷ L'histoire de la correction torrentielle par le service RTM dans la vallée de la Clarée est détaillée dans le chapitre 2.4.3.

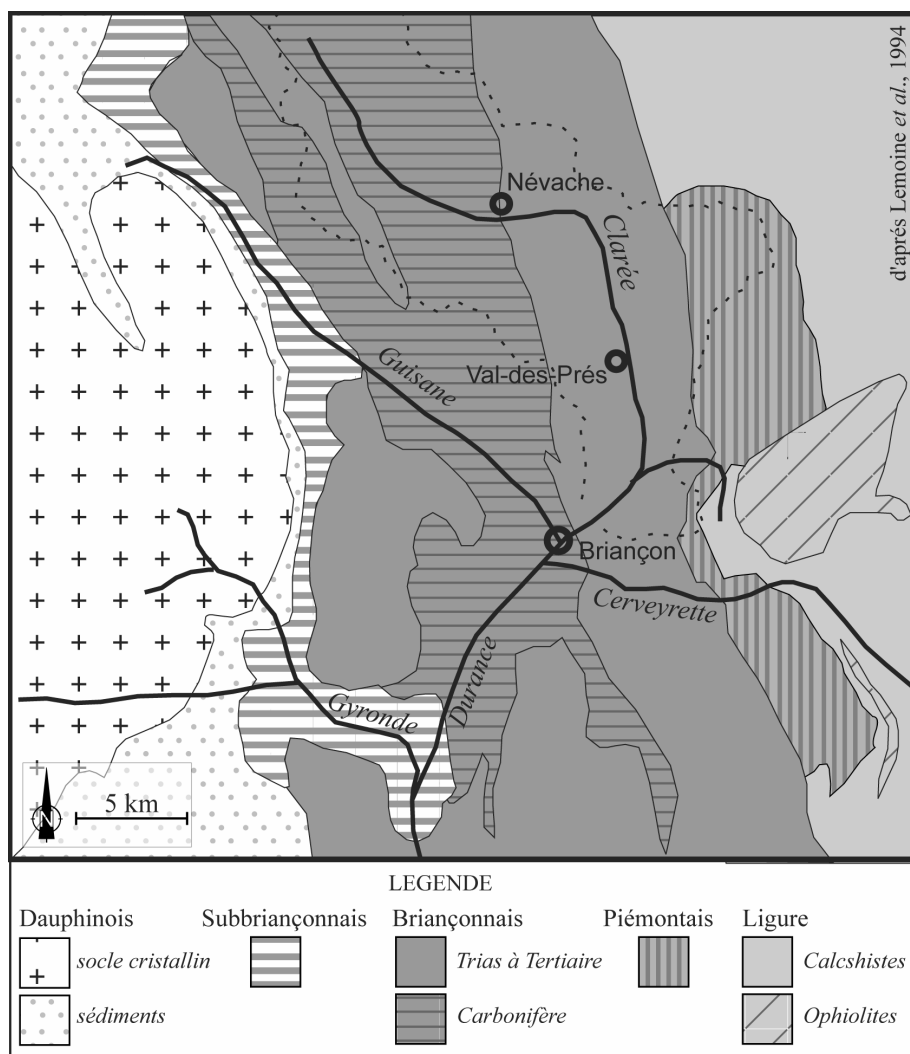


Figure 10 : aperçu géologique du secteur étudié

Le comportement hydrogéologique du bassin de la Clarée est, lui aussi, influencé par cette distinction entre la haute vallée, où le substratum houiller imperméable alimente un réseau hydrographique bien développé, et la basse vallée où l'eau s'infiltrerait aisément dans les terrains triasiques perméables (Blais, 1979).

Ponctuellement l'influence du contexte géologique est parfois forte. Par exemple, dans certains secteurs la présence de gypse a abouti à la formation de dolines ou encore de canyons aux parois abruptes et instables à l'instar du torrent de la Liche dans le bassin de réception du torrent de Roubion (photo. 1 A). Ailleurs, les affleurements de cargneules donnent à certains secteurs de la vallée un cachet ruiniforme caractéristique comme sur la crête de Pécé en rive gauche de la Clarée ou sur la crête de la cime des Ruines dans le bassin-versant du torrent du Creuzet (photo. 1 B).



Photo. 1 : exemples de l'impact morphologique du contexte géologique⁸

A : canyon incisé dans des affleurements de gypse (bassin-versant du torrent de Roubion)

B : relief ruiforme taillé dans des cargneules (bassin-versant du torrent de Creuzet)

Par ailleurs, l'activité tectonique a entraîné une fracturation préalable des roches désormais soumises aux agents météoriques. De plus, la vallée de la Clarée est marquée par la présence de plusieurs failles –le faisceau de failles de la Clarée– qui sont à l'origine de l'orientation nord-sud de la basse vallée (Barféty *et al.*, 1995).

D'un point de vue topographique, on constate encore une nette distinction entre la haute vallée où les pentes sont globalement modérées et la basse vallée marquée par des versants taillés dans les calcaires et dolomies triasiques possédant une pente vigoureuse. Les crêtes s'élèvent entre 2300 et 3000 m alors que le fond de vallée se situe entre 1300 et 1600 m (à Névache), ce qui a fait dire à Vauban que le Briançonnais « *comprend des montagnes qui touchent aux nues et des vallées qui descendent aux abîmes* » (cité par Blais, 1978) (fig. 11). Dans leur partie inférieure, la plupart de ces versants sont régularisés ; ils ont atteint un profil d'équilibre⁹ qui a permis le développement d'une végétation plus ou moins dense. Par ailleurs, les surfaces planes pouvant accueillir des aménagements anthropiques sont rares à l'échelle de la vallée. La superficie du fond de vallée entre Névache Ville-Haute et le torrent de Malefosse se limite à environ 11,5 km².

⁸ Sauf mention contraire, toutes les photographies sont de l'auteur.

⁹ Ce profil d'équilibre n'est pas définitif, il est susceptible d'évoluer en fonction des modifications environnementales (Derruau, 1970)

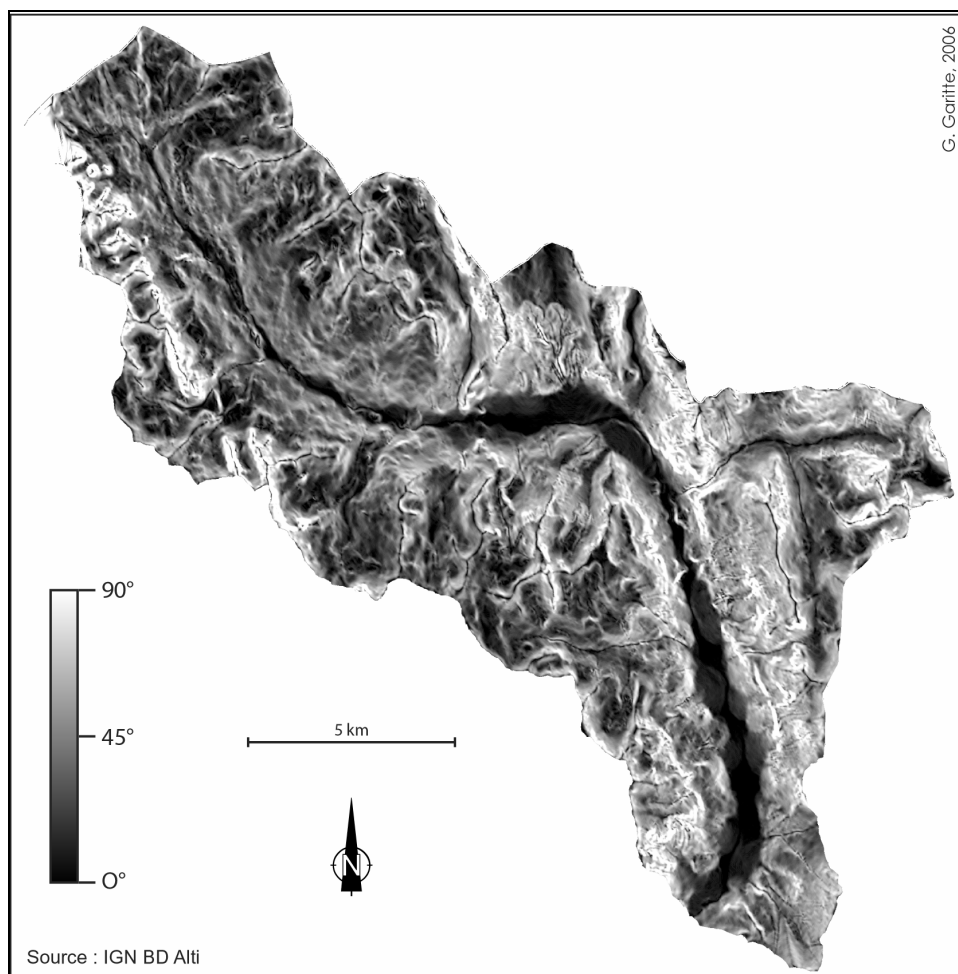


Figure 11 : carte des pentes de la vallée de la Clarée

b) Le contexte géomorphologique

La complexité du contexte géologique alliée à l'importance du gradient altitudinal amène une grande diversité de paysages au sein de la vallée de la Clarée (fig. 12). Les formes et formations qui occupent la vallée correspondent principalement à trois types d'actions morphogéniques : glaciaire, périglaciaire et hydrique.

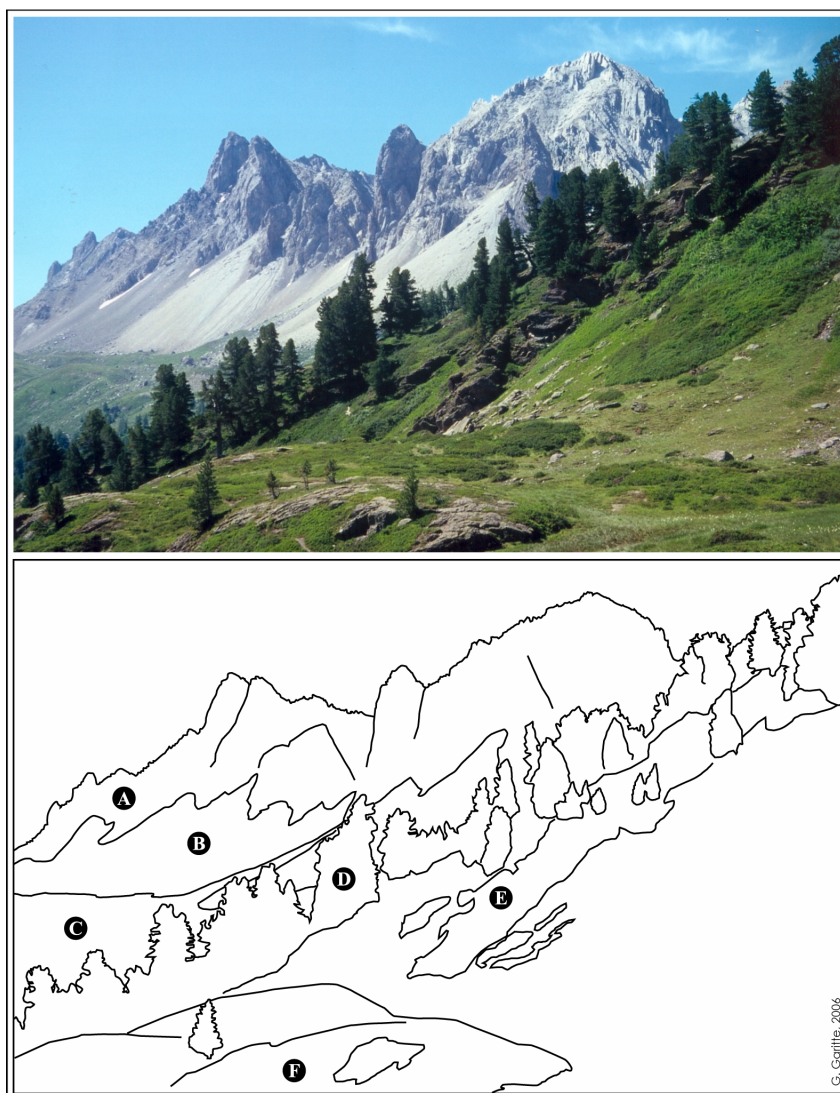


Figure 12 : aperçu du paysage de la vallée de la Clarée
A : corniche (calcaires Triasiques) ; B : éboulis ; C : dépôts morainiques ; D : couverture végétale (*Larix decidua*) ; E : affleurement de Schistes du Houiller ; F : roches moutonnées

La photographie présentée en figure 12 a été prise de la haute vallée (alt. 2100 m) vers l'aval. Elle illustre parfaitement la diversité des paysages dans la vallée de la Clarée. En arrière plan, la Crête du Queyrelin (alt. max. 2935 m) forme une énergique corniche (A) qui alimente de vastes tabliers d'éboulis (B) s'élevant jusqu'à 2600 m. En aval de ces éboulis, on retrouve un amas de dépôts morainiques vraisemblablement remaniés par un ancien glacier rocheux. En avant d'une ligne d'arbres composée de mélèzes (*Larix decidua*), se trouve un affleurement de schistes houillers (E) moins sensible à l'ébouilisation. Localement ces affleurements portent des héritages du passage du glacier de la Clarée sous forme de roches moutonnées (F).

Pour rendre compte de l'influence des caractéristiques géomorphologiques des bassins-versants sur le comportement des torrents, un aperçu géomorphologique a été dressé pour l'ensemble de la vallée de la Clarée (fig. 13). La première étape de son élaboration consiste à identifier et à dessiner les différentes formes et formations à partir des données des cartes topographiques au 25 000^{ème} et des photographies aériennes de l'IGN. Dans la pratique, cette étape a été effectuée à l'aide du logiciel de dessin vectoriel Illustrator® en tenant compte des prescriptions sémiologiques de F. Joly (1997). Les cartes topographiques et les photographies aériennes sont placées sur des calques de bases et chaque forme ou formation constitue un calque indépendant. La superposition des différents calques permet d'obtenir le document final. Par ailleurs, des données issues de la carte géologique au 50 000^{ème} dressée par le BRGM¹⁰ peuvent constituer des sources d'informations annexes en renseignant par exemple sur le contexte lithologique. Dans certains cas, l'analyse de la forme et de la régularité des versants est basée sur l'étude d'une carte des pentes de la vallée de la Clarée. Ce document élaboré à partir des données de la BD Alti® de l'IGN permet entre autre de distinguer aisément la forme et le profil des versants (fig. 11).



Photo. 2 : la basse vallée de la Clarée
cliché pris de l'Aiguille Rouge (2545 m) vers le sud, juillet 2004

¹⁰ La couverture des cartes géologiques au 1/50 000^{ème} du BRGM se limite à la basse vallée de la Clarée. La parution de la carte de Névache, prévue fin 2006, apportera de nombreuses précisions tant au niveau géologique, que géomorphologique (glissements de terrain, extension des placages morainiques...).

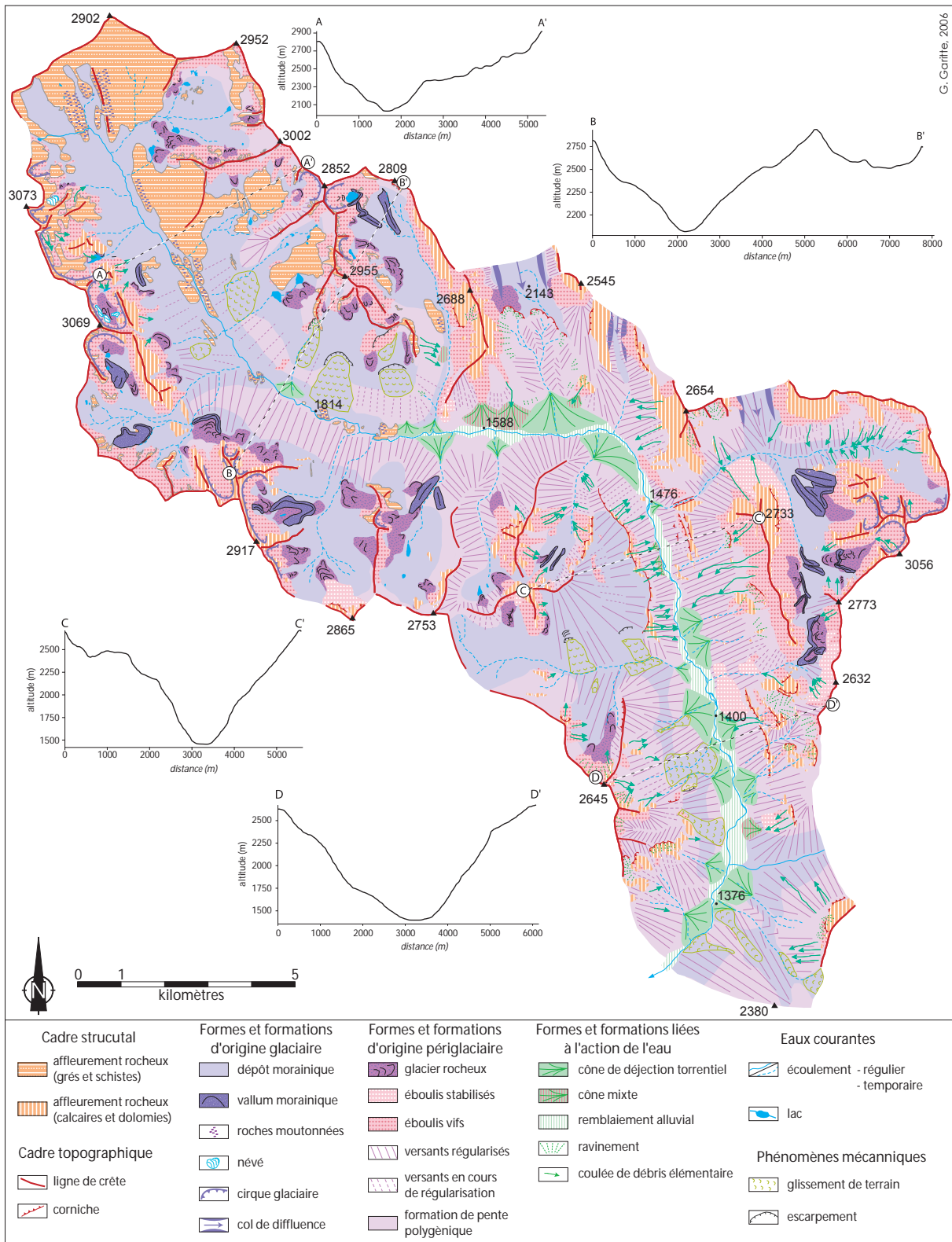


Figure 13 : aperçu géomorphologique de la vallée de la Clarée

Les héritages glaciaires

L'empreinte des héritages glaciaires est remarquable par différents aspects :

- Le profil transversal en auge de la basse vallée de la Clarée est caractéristique de l'action érosive sur les versants du passage des glaciers (voir profils sur la fig. 13 et photo. 2)
- L'extension des dépôts morainiques qui recouvrent largement les replats présents dans certains bassins-versants, formant localement d'épaisses accumulations au niveau des différents cols de diffluence. Ces matériaux d'origine glaciaire se retrouvent aussi sous forme de placages sur la plupart des versants de la vallée. Leur présence à des altitudes de l'ordre de 2400 m en amont de Névache et 2300 m au niveau de la confluence avec la Durance permet d'estimer l'épaisseur de ce glacier à près de 550 m en haute-vallée et au moins 900 m dans la basse-vallée durant le dernier maximum glaciaire (Cossart, 2002). Sur ces versants, ils se mêlent parfois à des éléments issus de processus gravitaires (formations de pentes polygéniques).
- La présence de nombreux cirques glaciaires situés principalement en rive droite de la vallée. Ces cirques forment aujourd'hui des bassins de réception torrentiels recelant d'importantes quantités de matériaux mobilisables. Cependant, ces matériaux restent parfois stockés dans la partie supérieure des bassins-versants à cause de la présence de replats qui limitent le transit.
- Enfin, la haute vallée de la Clarée comprend de nombreux petits lacs formés en amont de verrous glaciaires ou de vallums morainiques.

Les formes liées aux processus périglaciaires

Les conditions climatiques qui prévalent actuellement dans le secteur d'étude sont favorables à une intense activité des processus périglaciaires (cf. Introduction III c). De fait, on note la présence de nombreux glaciers rocheux dans l'ensemble de la vallée. Seuls certains d'entre eux semblent toujours actifs. Ces derniers se situent à des altitudes supérieures à 2400 m et occupent à la fois des versants exposés au nord, à l'est et à l'ouest. Les processus périglaciaires sont, par ailleurs, largement rendus visibles dans le paysage par la régularisation de nombreux versants de la vallée et à plus haute altitude sous la forme d'éboulis. L'éboulisation est particulièrement active sur les roches gélives du Trias (calcaires dolomitiques) que l'on retrouve principalement dans la basse vallée et ponctuellement dans la haute vallée. La désagrégation de ces matériaux a abouti à la formation de larges tabliers d'éboulis sous les corniches rocheuses (cf. 1.2.1.). A échelle fine, les processus périglaciaires sont visibles sous la forme de moraines de névés ou de versants

touchés par la gélifluxion ; néanmoins ces phénomènes ponctuels sont difficilement représentables compte tenu de l'échelle de l'aperçu géomorphologique présentée en figure 13.

Les formes liées à l'action de l'eau

Les formes liées à l'action des eaux courantes correspondent tout d'abord aux ravinements et autres incisions induits par le ruissellement, ces formes sont particulièrement visibles sur les matériaux meubles tels que les dépôts morainiques. L'action de l'eau est aussi perceptible à travers le grand nombre de coulées de débris élémentaires qui occupent principalement les versants de la partie inférieure de la vallée. Ces coulées de débris qui se développent sur les versants abrupts de la vallée se localisent de façon préférentielle sous les corniches rocheuses qui leur assurent une alimentation régulière en matériaux mobilisables. Quelquefois, on les retrouve directement sur les tabliers d'éboulis. Ces coulées de débris élémentaires, qui sont occasionnellement empruntées par des avalanches, alimentent parfois des organismes torrentiels plus larges ou forment des cônes de déjection mixtes qui occupent ponctuellement certains pieds de versants. Plus bas, on retrouve de nombreux cônes de déjection torrentiels qui occupent une large portion du fond de la basse vallée de la Clarée. Ils sont dus au ralentissement dynamique des écoulements torrentiels dans le fond de vallée. En dehors des cônes de déjection, le fond de vallée est occupé par du remblaiement alluvial qui forme localement des surfaces planes propices à l'agriculture.

Ponctuellement, l'action de l'eau est aussi visible à travers la présence d'entonnoirs de dissolution dans des affleurements de gypse. Ces quelques dolines se localisent en particulier dans le bassin-versant du torrent de Roubion.

L'ensemble des caractéristiques lithologiques et géomorphologiques de la vallée de la Clarée et en particulier :

- la forte énergie du relief, dont la dénivelée peut atteindre plus de 1200 m, contribuant à la présence de fortes pentes qui favorisent le ruissellement et la concentration des eaux ;
- l'abondance de formations superficielles non cohérentes sous la forme de versants polygéniques, de tabliers d'éboulis plus ou moins actifs et de dépôts morainiques riches en fraction fine,

en fait un secteur favorable à une activité torrentielle génératrice de risques.

c) Le contexte climatique

La vallée de la Clarée est soumise à un climat de montagne caractérisé par des influences continentales et méditerranéennes (Péguy, 1947). Le climat de montagne s'explique par l'influence de l'altitude et du relief. On observe en effet une décroissance des températures avec l'altitude, une persistance du manteau neigeux durant l'hiver, un grand nombre de jours de gel (fig. 14) et une opposition adret/ubac marquée. L'influence méditerranéenne se fait sentir dans le rythme des précipitations, le régime moyen saisonnier des précipitations est de type Automne, Printemps, Été, Hiver, avec un minimum pluviométrique en juillet. A ces différentes influences caractéristiques d'une région de transition climatique s'ajoute le rôle important du relief tant sur les températures que sur la localisation et l'intensité des précipitations (Baraille, 2001). Toutes ces influences font que le climat de la vallée de la Clarée est caractérisé par une grande variabilité aussi bien temporelle que spatiale : « l'extrême variabilité des régimes pluviométriques des hautes Alpes du sud pourrait provenir d'influences alternées tantôt continentales, tantôt méditerranéennes qui domineraient à tour de rôle dans la région » (Péguy, 1947).

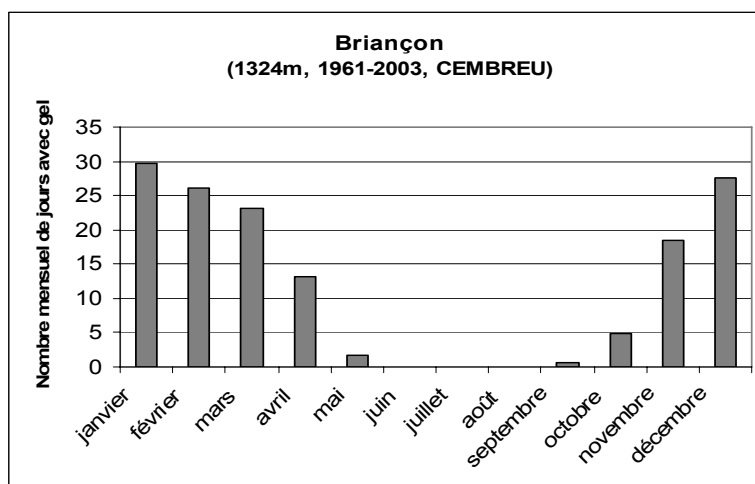


Figure 14 : nombre mensuel de jours de gel à Briançon (source : CEMBREU, 1961-2003)

Les données climatiques disponibles correspondent à la station météorologique de Névache située dans la partie médiane de la vallée de la Clarée à 1590 m d'altitude et celle de la station Météo France de Briançon qui se situe à une dizaine de kilomètres de la vallée de la Clarée et à une altitude légèrement inférieure (1324 m) (fig. 15). Même si en montagne les conditions stationnelles (altitude, exposition...) influencent grandement le climat local, ces données permettent néanmoins d'avoir un aperçu des conditions climatiques qui prévalent dans la vallée de la Clarée.

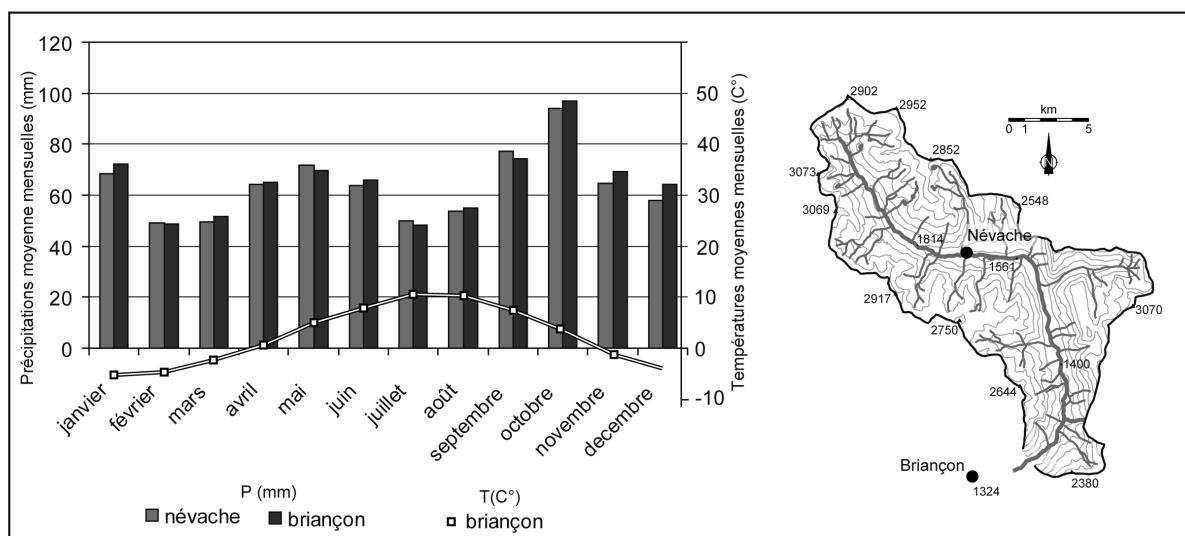


Figure 15 : aperçu du climat de la vallée de la Clarée (source : Météo France, 1974-2003)

d) Le contexte biogéographique

Compte tenu de l'altitude de la vallée de la Clarée, il règne sur une large partie des versants des conditions asylvatiques qui limitent le développement de la végétation. Ainsi, selon la base de données Corine Land Cover, plus de 52% du bassin-versant de la Clarée est occupé par de la roche nue ou des zones partiellement végétalisées (tableau 2). La couverture forestière qui se concentre dans le fond de vallée et la partie inférieure des versants, s'étend sur un peu plus d'un quart de la vallée de la Clarée. Elle se compose principalement de peuplements arborés dominés par les conifères¹¹. Dans la basse vallée, les cônes de déjection et la partie inférieure des versants sont occupés par du pin sylvestre (*Pinus silvestris*), du pin noir (*Pinus Nigra*), du pin à crochet (*Pinus uncinata*) et ponctuellement du sapin (*Abies alba*) ; alors que la haute vallée regroupe surtout des peuplements de mélèze (*Larix decidua*) plus résistants aux conditions hivernales rigoureuses. La limite supérieure de la forêt se situe à une altitude de l'ordre de 1900-2150 m sur les versants en adret et s'élève à 2250 m sur les versants en ubac. Au dessus de cette limite, la végétation correspond à des landes et pelouses alpines dans lesquels se mêlent ponctuellement genévriers (*Juniperus communis*) et rhododendrons (*Rhododendron ferrugineum*) (Denel, 1997).

¹¹ Source : Inventaire Forestier National disponible en ligne (www.ifn.fr)

codes classes CLC	classes	surface (%)
484	zones agricole	1,3
462	paturâges	1,8
3888	transition végétation arborée-arbustive	5,8
5457	prairies naturelles	13,2
2184	forêt de conifère	25,8
5661	zones partiellement végétalisée	26,0
4980	roche nue	26,2

Tableau 2 : l'occupation du sol dans la vallée de la Clarée
(source : Corine Land Cover, 2000)

e) Le paysage : richesse de la vallée de la Clarée

La vallée de la Clarée est devenue un site classé en 1996¹². Par cette décision, l'Etat se fait protecteur du site en empêchant indirectement que tout projet d'infrastructure lourde ne dénature cette vallée (Benizri, 2000 ; photo. 3 et 4). Ce classement est le fruit d'une longue procédure qui permet à terme de protéger un environnement dont le charme et la beauté a depuis longtemps fait l'objet de louanges de la part des voyageurs :

« Le paysage des cascades vaut, à lui seul, la course. Il y a sans doute des cascades plus remarquables par l'abondance des eaux ou par la hauteur de leur chute ; mais celle de la Clarée dont les eaux, tour à tour, se divisent en nombres de cascadelles, se réunissent en une masse écumante et se divisent encore à chaque étage formé par les rochers, au milieu d'un cadre ravissant de verdure, ces cascades, dis-je, ont leur beauté propre et ne cèdent rien à celles dont le nom est devenu classique. Et puis, ici, pas de ponceaux, pas de tourniquets ; chacun peut, à son gré, grimper de roc en roc, côtoyer les cascades, s'enfoncer dans les gorges que les eaux ont creusé : c'est la nature en liberté ! »¹³

« Les curieux de sites pittoresques affectionnent surtout la vallée de Névache où les forêts de mélèzes encadrent gracieusement les multiples cascades de la Clarée ; les dentelures dolomitiques du massif des Cerces, les lacs des Rochilles, les pâturages du vallon de Laval forment un décor enchanteur »¹⁴

« Vous qui êtes sur les lieux pouvez, en ce moment même, en admirer la beauté exceptionnelle. Le Guide Michelin qualifie cette vallée de la plus séduisante du Briançonnais. Dans mon esprit, il était temps après des années de réflexion de passer à l'acte et de choisir une fois pour toutes entre deux destins : le renouveau dans le respect du patrimoine bâti et

¹² Les sites classés sont régis par les articles L341-1 à 22 du Code de l'Environnement reprenant la loi du 2 mai 1930. Les sites classés sont des sites de caractère artistique, historique, scientifique ou pittoresque, dont la qualité appelle, au nom de l'intérêt général, la conservation en l'état et la préservation de toute atteinte grave.

¹³ A. Chabrand, 1887. Extrait d'un discours au congrès du Club Alpin Français.

¹⁴ Ferrand, 2002 (réédition de 1914).

des paysages préservés qui deviennent une véritable richesse, ou la banalisation par les équipements de ski alpin et la mutilation par la route nationale »¹⁵



Photo. 3 : aperçu du paysage de la basse vallée de la Clarée
(Photographie prise de la RN 94 vers le nord, mai 2004)



Photo. 4 : aperçu du paysage de la haute vallée de la Clarée
(Photographie prise de Névache Ville-Haute vers l'ouest, novembre 2001)

¹⁵ Lettre de B. Lalonde, alors ministre de l'Environnement, aux défenseurs de la vallée contre le projet de tunnel routier sous le col de l'Echelle (cité dans Siestrunk, 1999).

Au cours de son histoire récente, plusieurs projets auraient pu compromettre la beauté du paysage de la vallée de la Clarée. Comme par exemple entre 1980 et 1984, lorsqu'un projet de création d'une mine d'uranium dans la Haute-Vallée mobilisa contre lui population locale, associations de défense de l'environnement et élus locaux. Il en est de même du sempiternel projet de percement d'un tunnel sous le col de l'Echelle qui, depuis le traité de Paix franco-italien de 1947, est régulièrement relancé, et contre lequel s'opposent les associations et une partie de la population locale (Siestrunck, 1999).

Aujourd'hui, l'aspect sauvage et préservé de la vallée de la Clarée revêt une importance primordiale pour l'économie locale (photo. 3 et 4). Nonobstant la proximité du parc naturel des Ecrins, distant seulement d'une trentaine de kilomètres de Névache par la route, un grand nombre de randonneurs vient arpenter les nombreux chemins de la vallée de la Clarée. Pourtant, même si les activités de plein air, comme la randonnée estivale ou le ski de randonnée, ne génèrent pas de revenus directs pour les communes¹⁶, les nombreux touristes et sportifs assurent l'occupation des campings, gîtes et autres locations.

IV. Le cadre chronologique

L'analyse des torrents de la vallée de la Clarée vise à contribuer à la gestion du risque torrentiel. Mais, compte tenu de la sensibilité des torrents aux variations environnementales, une telle entreprise nécessite d'analyser l'évolution de ces systèmes torrentiels. Le cadre chronologique de cette étude regroupe principalement trois périodes successives :

- Le Petit Âge Glaciaire (PAG), qui s'est caractérisé en Europe par des hivers froids et des étés humides (Soon et Baliunas, 2003). Il s'étend sur une durée de près de 6 siècles : de 1300 à 1860 (Le Roy Ladurie, 2004) avec une période paroxystique de 1550 à 1700 selon S. Joussaume (1999), de 1550 à 1850 selon P. Acot (2003). Les mécanismes responsables du PAG sont toujours débattus¹⁷. Durant le PAG les conditions climatiques étaient favorables à une intense activité torrentielle (Ballandras, 1997). En effet, la rigueur des températures hivernales contribuait à

¹⁶ Les communes de la vallée perçoivent des redevances sur la vente des forfaits de ski de fond, la vallée possède 11 pistes de ski de fond soit 75 km de linéaire.

¹⁷ Les mécanismes physiques probables à l'origine de la péjoration climatique du PAG, comprennent une augmentation des éruptions volcaniques ou une variabilité de l'activité solaire, des changements dans les circulations océaniques, plus probablement une combinaison de tout cela (Yiou et Masson-Delmotte, 2005).

accentuer la cryoclastie et donc la production de matériaux potentiellement mobilisables par les organismes torrentiels ; quant aux précipitations estivales, elles jouent un rôle déterminant dans le déclenchement des crues torrentielles.

- La période contemporaine qui correspond à la période post-PAG, s'étend de 1850, date approximative marquant la fin du PAG, jusqu'au milieu du 20^{ème} siècle. La rupture climatique qui détermine le terme du PAG, va entraîner un déséquilibre environnemental à l'origine de changements sensibles de la dynamique torrentielle.

- Et enfin, à partir de 1940, débute la période actuelle caractérisée par l'apparition de nouveaux outils d'observation des changements environnementaux comme la photographie aérienne. C'est aussi à partir de cette date que les données administratives, sans être exhaustives, deviennent relativement précises.

V. le cadre méthodologique

Cette étude se fonde sur l'analyse d'un grand nombre de données de différents types. Elle nécessite une démarche qui intègre tout autant des données administratives, climatiques, iconographiques plus ou moins récentes, que de nombreuses données de terrain. Les différentes méthodes d'analyses utilisées n'ont pas fait l'objet d'un chapitre à part entière mais, pour plus d'agrément de lecture et de compréhension, des notes méthodologiques ont été intégrées au texte.

Les données utilisées pour l'étude des torrents de la vallée de la Clarée se divisent en quatre grands types (fig. 16).

- Les sources historiques qui sont principalement issues de recherches en archives (bibliothèque municipale de Grenoble, Archives Départementales des Hautes-Alpes, archives du service de Restauration des Terrains en Montagne des Hautes-Alpes (RTM), archives municipales de Névache et Val-des-Prés, archives du 159^{ème} Régiment de la Montagne, Bibliothèque Nationale de France...). Ces sources historiques sont constituées de documents iconographiques (photographies obliques, aquarelles), de descriptions ou de témoignages. Bien que ces documents n'aient pas forcément de lien direct avec l'étude des organismes torrentiels, ils sont souvent très utiles pour déterminer l'évolution de l'environnement des torrents. De fait, dès le début du 20^{ème} siècle, M. Demangeon voyait dans l'utilisation des documents d'archives « *la possibilité d'étudier les transformations du milieu physique*

que l'homme a vu s'accomplir et l'évolution du milieu humain dans ses rapports avec la nature » (Demangeon, 1905).

- Les documents cartographiques et les photographies aériennes, sont indispensables à l'observation des changements de la physionomie des cônes de déjection torrentiels, tant du point de vue de la dynamique des torrents, que pour appréhender l'évolution du nombre et de la localisation des différentes infrastructures. Pour pouvoir comparer entre elles les différentes photographies aériennes avec une plus grande précision, celles-ci ont parfois fait l'objet d'un recalage géométrique. Cette manipulation, pratiquée avec le logiciel ER Mapper®, limite les déformations inhérentes à la photographie en permettant de redresser ponctuellement les clichés en se basant sur une orthophotographie¹⁸.
- Les analyses de terrain sont une part essentielle de notre étude des organismes torrentiels. Ces analyses sont tout d'abord basées sur l'utilisation d'un tachéomètre qui permet d'effectuer des levés topographiques d'une grande précision. La topométrie permet d'étudier distinctement la morphologie des cônes de déjection mais aussi des chenaux torrentiels, grâce à toute une série de profils en long et en travers. Régulièrement renouvelés, ces levés ont permis d'effectuer un suivi apte à déterminer l'évolution des torrents sur une période de près de 5 ans. D'autres analyses *in situ* ont aussi été menées, toujours dans le but de mieux appréhender la dynamique des torrents de la vallée de la Clarée et son évolution récente (*i.e.* comptages granulométriques de la charge grossière de surface, prélèvements dendrochronologiques).
- Les données administratives demeurent une grande source d'information. Elles proviennent de différentes administrations et services publics ou étatiques. Elles regroupent à la fois des données météorologiques, des données statistiques sur la population et l'habitat ainsi qu'un recensement des crues torrentielles. Ces données plus ou moins anciennes sont utiles pour appréhender à la fois l'évolution de l'environnement immédiat des torrents et celle de la pression anthropique sur le milieu.

L'utilisation de ces différents types de données à différents stades de l'étude du risque torrentiel est schématiquement représentée sur la figure 16. Il apparaît que l'analyse de l'évolution de la torrentialité, par exemple, fait appel à la fois à des données administratives, historiques ainsi qu'à une analyse de documents iconographiques et de mesures *in situ*. Un type de donnée peut donc servir tout autant à l'analyse de phénomènes physiques ou anthropiques.

¹⁸ Voir encadré 4 et note méthodologique en annexe 2.

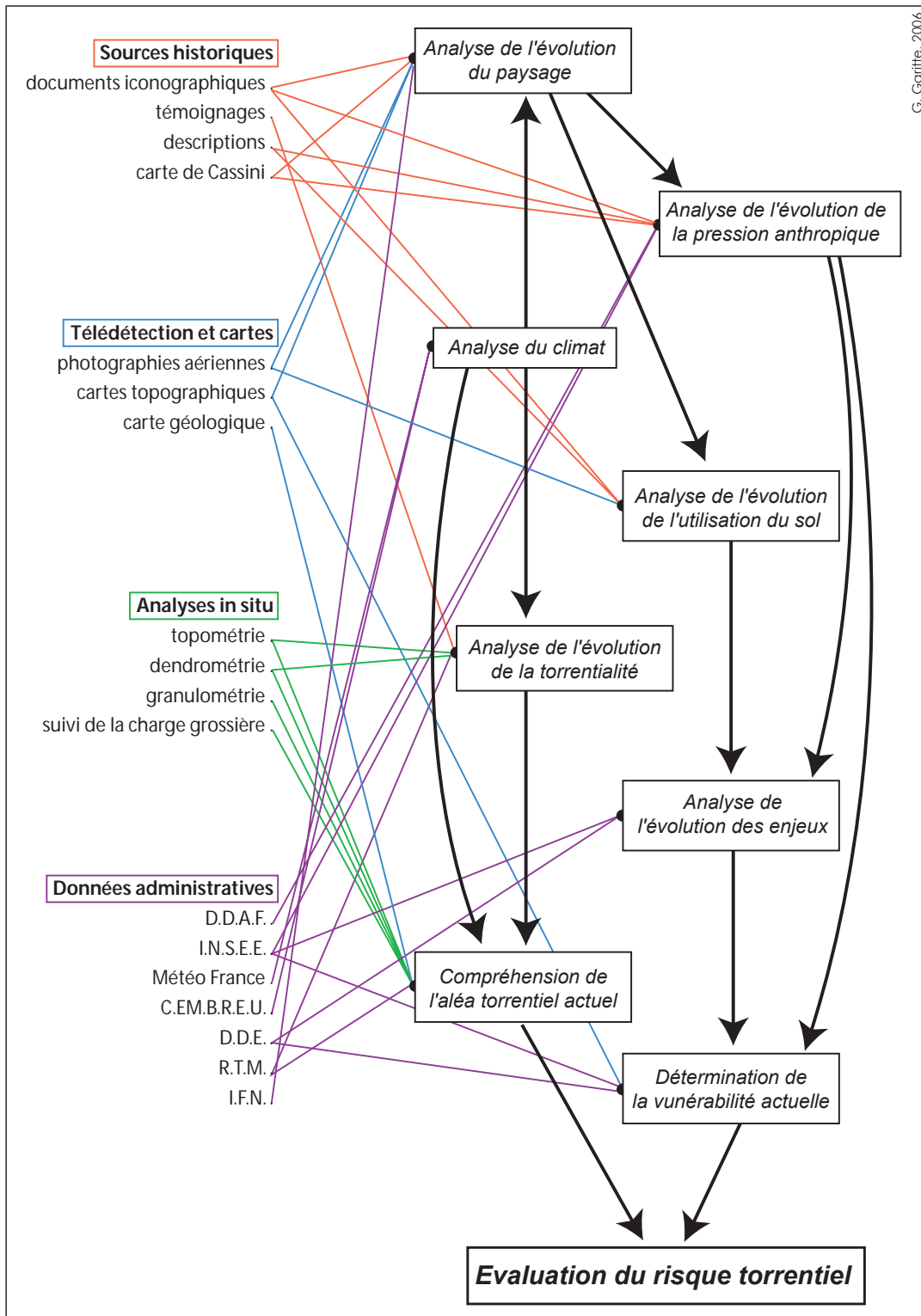


Figure 16 : l'utilisation des différentes données dans l'évaluation du risque torrentiel dans la vallée de la Clarée

Cette thèse s'organise en quatre parties. Après une description des torrents de la vallée de la Clarée, nous nous intéresserons aux évolutions contemporaines des torrents avant de décrire leur dynamique actuelle puis les modes de gestion du risque torrentiel. Cette approche implique de couvrir des périodes chronologiques qui s'étendent du 18^{ème} siècle à la fin du 21^{ème} siècle dans le cadre d'une analyse prospective (fig. 17).

- La première partie est consacrée à une description des caractéristiques des organismes torrentiels de la vallée de la Clarée. Elle se base d'une part sur une approche morphométrique des différents éléments formants les systèmes torrentiels ; d'autre part, sur une étude *in situ* des cônes de déjection visant à établir une typologie.
- La deuxième partie porte sur la sensibilité des organismes torrentiels aux modifications de leur environnement. Cette approche se fonde tout d'abord sur l'étude de l'évolution de la physionomie des torrents sur leur cône de déjection depuis le PAG, puis sur l'examen des rythmes de l'ajustement morphologique de différents torrents de la vallée et des paramètres qui commandent ce phénomène. Cela a permis de souligner l'importance des facteurs naturels dans l'évolution post-PAG de ces torrents.
- La troisième partie décrit la dynamique actuelle des torrents de la vallée de la Clarée. En se basant sur un suivi topométrique sur plusieurs années, l'examen à échelle fine de certains des lits torrentiels de la vallée et de leur évolution, cette approche met en évidence les grandes caractéristiques du fonctionnement de ces organismes torrentiels. De plus, l'analyse croisée des données pluviométriques et du recensement des crues permet une analyse des facteurs de déclenchement des crues torrentielles.
- La quatrième partie se focalise sur l'étude de l'évolution de la prise en compte de l'aléa torrentiel dans la vallée de la Clarée. Elle traite tout d'abord de l'évolution actuelle des aménagements anthropiques et des modes de gestion du risque. Cette partie aborde aussi la question que pose la sensibilité des torrents aux modifications environnementales dans l'hypothèse du réchauffement global. Après avoir analysé l'évolution des tendances climatiques dans le secteur d'étude à travers l'analyse de données météorologiques journalières sur les 30 dernières années, une approche prospective tente de déterminer les conséquences probables des modifications environnementales sur la dynamique des torrents. Enfin, elle s'intéresse aux problèmes que pose le zonage de l'aléa torrentiel, avant de proposer des éléments de gestion du risque torrentiel adaptés au contexte environnemental et socio-économique de la vallée de la Clarée.

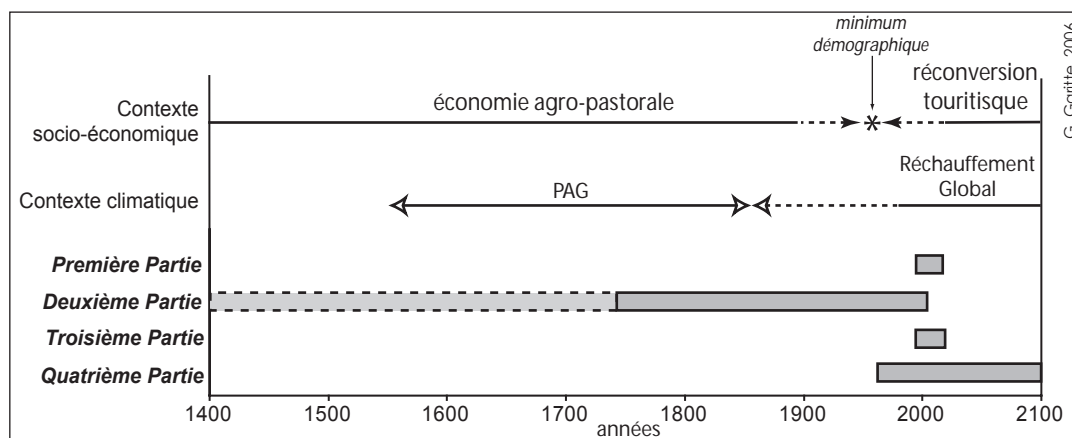


Figure 17 : aperçu chronologique de l'organisation de la thèse

1. Les caractéristiques des torrents de la vallée de la Clarée

1.1. Introduction de la première partie

Cette première partie est consacrée à un diagnostic des torrents de la vallée de la Clarée dans le but d'en déterminer les principales caractéristiques. De part le contexte géomorphologique et structural de la vallée, les bassins versants étudiés sont en effet très différents. Par exemple, la superficie de ces organismes torrentiels varie de moins de 1 km² à plus de 20 km². Cette diversité sera illustrée grâce à la description des bassins-versants de deux torrents aux particularités dissemblables.

Les cônes de déjection ont aussi fait l'objet d'une analyse fine. D'une part, cette étude s'est basée sur une approche morphométrique pour essayer d'appréhender les facteurs qui commandent leur morphologie. Il s'agit de confronter entre elles les principales variables morphométriques (superficie, pente...) des cônes de déjection et des bassins-versants. D'autre part, l'utilisation d'un tachéomètre infrarouge a permis d'étudier précisément *in situ* la morphologie des cônes de déjection. Cette approche topométrique nous permet de proposer une typologie des cônes de déjection en distinguant trois morphotypes distincts au sein même de la vallée de la Clarée.

Les résultats des observations de cette première partie soulignent l'existence de deux grands types de systèmes torrentiels aux comportements différents. Il est en effet possible de distinguer dans la vallée d'une part, des torrents courts et abrupts et d'autre part des systèmes torrentiels plus vastes et moins pentus. Ces deux types de torrents se caractérisent par des comportements dynamiques différents.

1.2. Caractéristiques géomorphologiques de deux bassins torrentiels représentatifs

1.2.1. Le torrent des Acles

Situé sur la commune de Névache, dans la partie intermédiaire de la vallée, le torrent des Acles draine un large bassin versant (21,37 km²) qui culmine à 3056 m,

alors que le torrent conflue avec la Clarée à environ 1474 m. Ce vaste bassin versant se subdivise en deux branches : celle du torrent des Acles, orientée est-ouest, et celle du ravin de l'Opon, qui s'oriente globalement nord-sud (fig. 18).

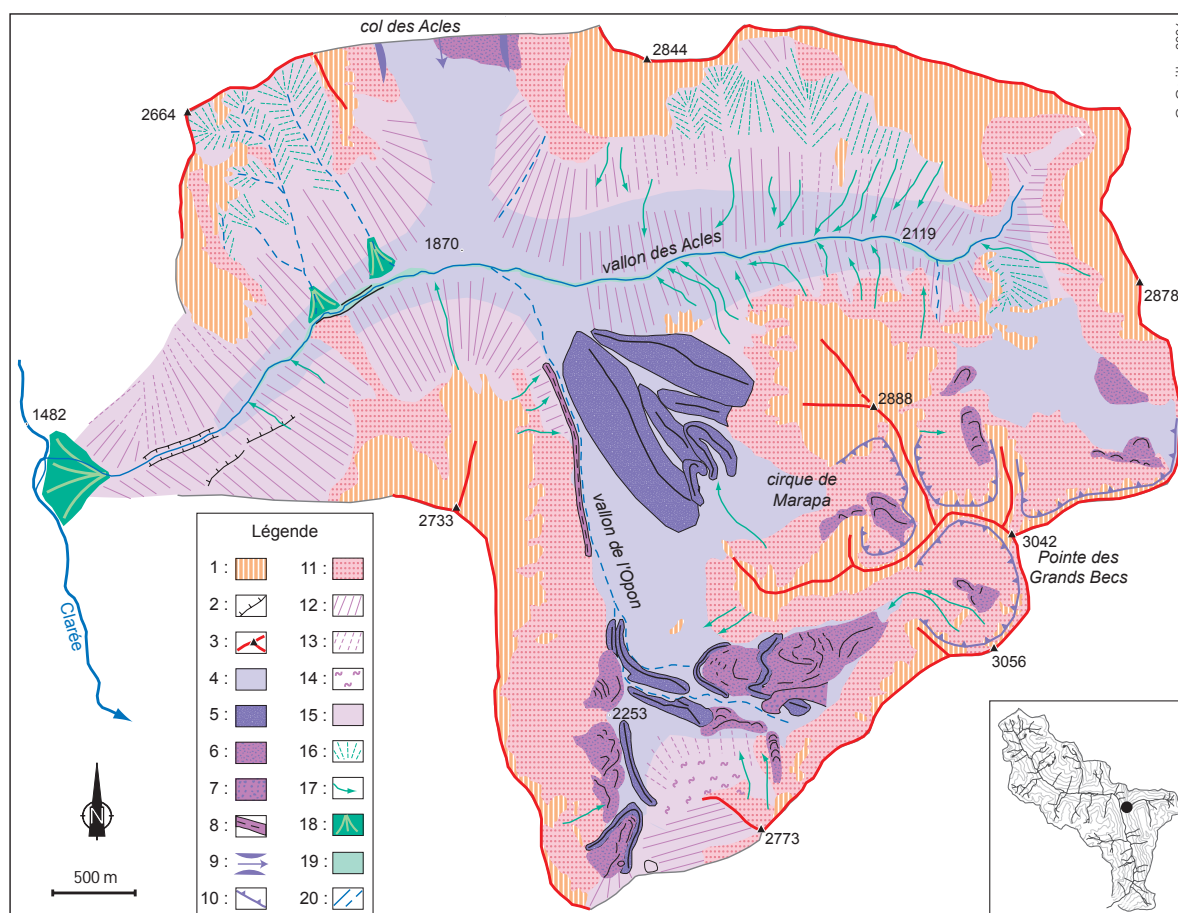


Figure 18 : aperçu géomorphologique simplifié du torrent des Acles

1 : affleurement rocheux ; 2 : corniche ; 3 : lignes de crêtes et sommet ; 4 : dépôts glaciaires ;
 5 : bourrelets morainiques ; 6 : glaciers rocheux ; 7 : matériaux éroulés fluants ; 8 : pro-talus rempart ; 9 : col de diffluence ; 10 : cirque glaciaire ; 11 : éboulis vifs ; 12 : versants régularisés ;
 13 : versants en cours de régularisation ; 14 : versant soliflué ; 15 : formation de pente polygénique ; 16 : ravinements ; 17 : coulée de débris élémentaire ; 18 : cône de déjection ;
 19 : alluvions torrentielles ; 20 : écoulement régulier / intermittent.

Force est de constater que les deux vallons qui composent le bassin versant du torrent des Acles gardent de nombreux héritages de la dernière période glaciaire. Ainsi, en plus d'importants dépôts glaciaires descendant du col des Acles qui forme un col de diffluence, le vallon des Acles conserve les traces du passage d'un puissant glacier sous la forme de dépôts morainiques plaqués sur les versants à près de 200 m au dessus du niveau actuel du torrent. Tout à l'amont de ce vallon, plusieurs générations de glaciers rocheux se sont développées principalement au détriment des matériaux morainiques.

Le vallon de l'Opon est lui aussi très riche en formes et formations d'origines glaciaires. Deux ensembles de bourrelets morainiques peuvent ainsi être distingués. Le premier se situe en aval du cirque glaciaire dit de Marapa ; entre deux imposantes moraines qui s'étendent sur près de 1200 m, plusieurs cordons morainiques se succèdent. Le second ensemble de moraines se trouve à l'amont du vallon et descend d'un cirque glaciaire formé sous la Pointe des Grands Bec qui culmine à 3042 m. Ces différentes générations de bourrelets morainiques sont autant de témoignages du recul progressif d'un glacier dont la taille reste sans commune mesure avec celui ayant occupé le vallon durant le dernier maximum glaciaire.

Les processus périglaciaires apparaissent aussi largement dans le paysage. De vastes tabliers d'éboulis occupent la plupart des versants situés sous les corniches taillées dans les affleurements de calcaires dolomitiques (photo. 5 A). Par endroits, ces matériaux éboulés ont été remaniés par la glace jusqu'à former autant de glaciers rocheux. Ailleurs, des glaciers rocheux se sont développés en arrière de vallums morainiques, ils ont alors remanié des matériaux, reliquats de charge glaciaire, laissés par des glaciers aujourd'hui disparus (photo. 5 B). Localement l'influence des processus périglaciaires se traduit aussi par la présence de modelé de tufurs ou de versants géliflués.

Nonobstant la présence de très importantes quantités de matériaux mobilisables sous forme de dépôts morainiques ou de tabliers d'éboulis atteignant le talweg, la grande majorité de ces matériaux, hérités de périodes froides, ou ceux provenant de processus périglaciaires actuels restent stockés dans la partie supérieure du bassin versant.

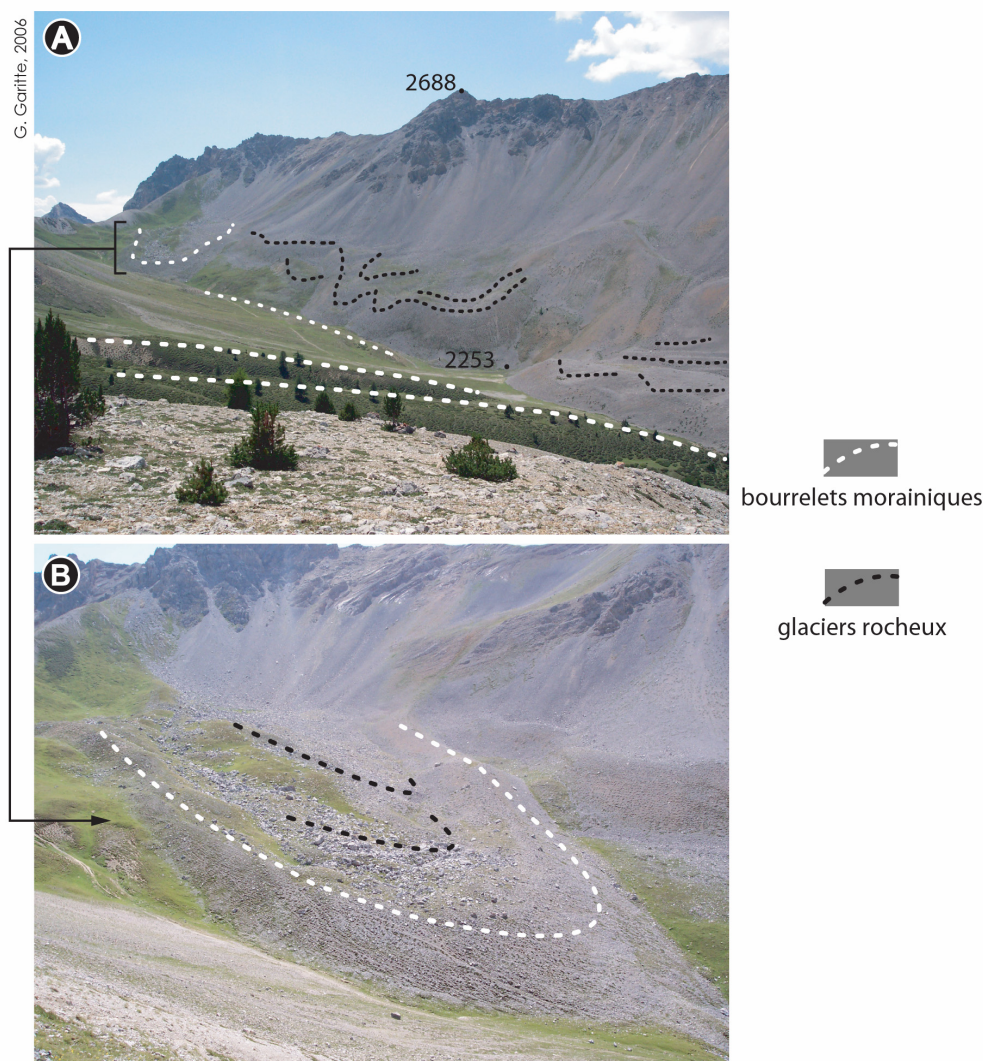


Photo 5 : Torrent des Acles : l’empreinte des formes glaciaires et périglaciaires dans le vallon de l’Opon

A : éboulis et glaciers rocheux

B : un glacier rocheux établi en arrière d’un vallum morainique (alt. 2350 m)

Par exemple, les écoulements du ravin de l’Opon ne puisent pratiquement pas de matériaux dans les pro-talus remparts¹⁹ qui se sont formés au pied des tabliers d’éboulis (photo. 6 B). Le torrent n’apparaît en effet pas assez compétent pour mobiliser les nombreux blocs qui bordent son lit. La faiblesse des écoulements dans le secteur peut s’expliquer par la pente relativement faible du vallon de l’Opon qui, conjuguée à l’importance des dépôts glaciaires perméables, favorise l’infiltration au détriment du ruissellement et de la concentration des eaux. De même, les éboulis situés en rive gauche du torrent des Acles et qui s’étendent jusqu’au talweg dans la partie inférieure du bassin de réception, ne sont plus directement connectés au

¹⁹ Les pro-talus remparts correspondent à des dépôts rectilignes de blocs qui se développent au pied d’éboulis et sont la conséquence du fluage d’un glacier rocheux embryonnaire.

chenal torrentiel (photo. 6 A). Une bande de végétation arborée sépare désormais le pied de l'éboulis du lit torrentiel, traduisant la déconnection du torrent avec une source sédimentaire importante.

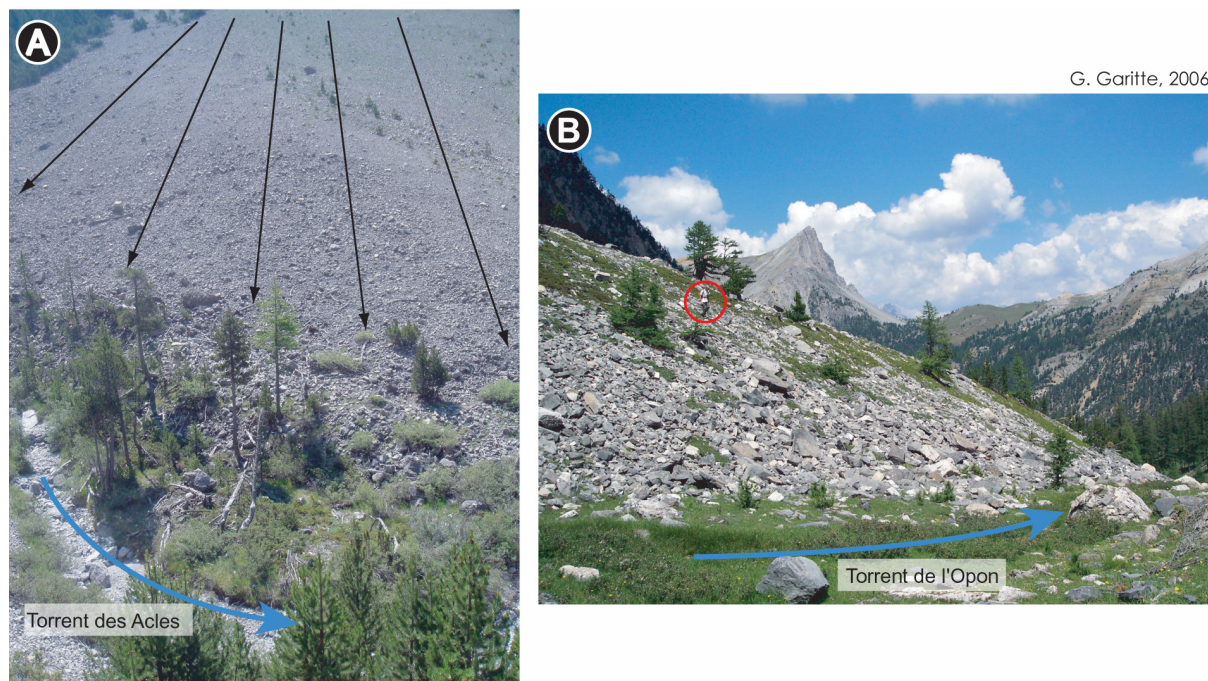


Photo. 6 : Le torrent des Acles : un torrent en partie déconnecté de ses sources sédimentaires

A : tablier d'éboulis en rive gauche du torrent des Acles (alt. 1830 m)

B : pro-talus rempart situé en rive gauche du ravin de l'Opon (alt. 2150 m)

Dès lors, les principales sources sédimentaires du torrent des Acles correspondent donc aux différentes coulées de débris élémentaires qui alimentent le torrent dans sa partie supérieure. Ces apports s'ajoutent aux possibilités d'érosion du lit et de certaines berges en terrasses qui correspondent aux secteurs actifs durant le PAG. Il faut aussi prendre en considération la présence d'un passage en gorge raccordant le vallon des Acles, situé à 1850 m, au cône de déjection en fond de vallée. Dans ce véritable canyon, où le torrent s'écoule directement sur la roche en place, le profil longitudinal est fixé, ce qui limite de fait la possibilité d'une incision pouvant libérer d'importantes quantités de matériaux mobilisables (photo. 7).



Photo. 7 : torrent des Acles : la gorge dans la partie inférieure du chenal

1.2.2. Le ravin de l'Enrouye

Le ravin de l'Enrouye (parfois appelé Palier dans la dénomination locale) illustre un tout autre type de bassin versant torrentiel tant du point de vue morphologique qu'en ce qui concerne le type de matériaux mobilisable par le torrent.



Photo. 8 : le Ravin de l'Enrouye (juillet 2002)

Il s'agit d'un organisme torrentiel simple dans lequel les trois parties constitutives du torrent, à savoir le bassin de réception, le chenal d'écoulement et le cône de déjection, se succèdent sur moins de 1700 m (photo. 8). D'une superficie de l'ordre de 0,23 km², le bassin-versant de ce torrent est caractérisé par la vigueur de ses pentes qui dépassent souvent 60% dans le bassin de réception (photo. 9). Le chenal d'écoulement s'incise dans des versants régularisés qui, contrairement au bassin de

réception, apparaissent aujourd'hui largement boisés (photo. 8). Son large cône de déjection (0,25 km²), compte tenu de la superficie de son bassin-versant, est parcouru de nombreux bourrelets torrentiels. Les plus récents d'entre eux circonscrivent les écoulements dans la partie supérieure du cône (fig. 19). Plus bas le torrent divague en déposant sa charge grossière au gré des crues.

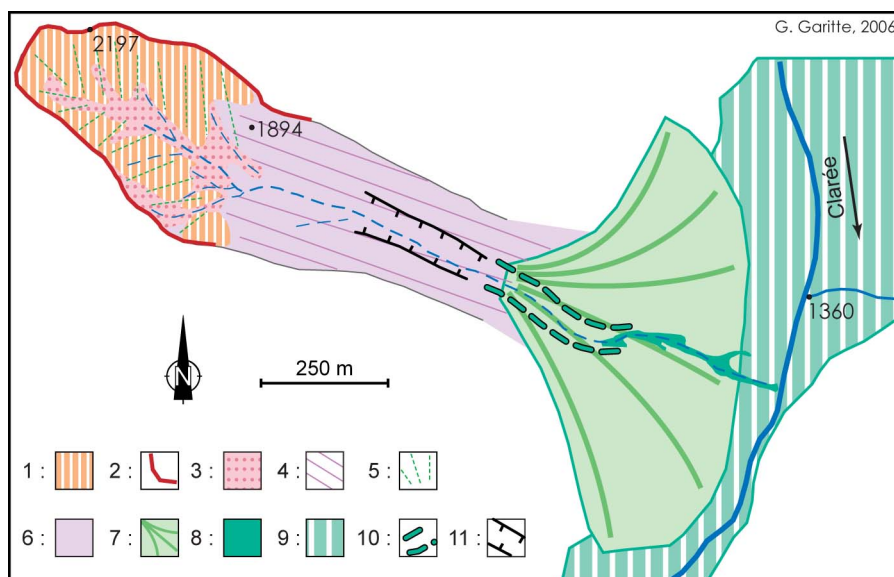


Figure 19 : aperçu géomorphologique simplifié du Ravin de l'Enrouye
 1 : affleurement rocheux ; 2 : ligne de crêtes ; 3 : éboulis ; 4 : versant régularisé ; 5 : ravinement ; 6 : formation de pente polygénique ; 7 : cône de déjection ; 8 : dépôts torrentiels récents ; 9 : formations alluviales ; 10 : bourrelets torrentiels ; 11 : incision supérieure à 4 m.



Photo. 9 : le chenal du Ravin de l'Enrouye

Le ravin de l'Enrouye ne dispose pas d'importants stocks de matériaux mobilisables dans son bassin versant. Contrairement au torrent des Acles, celui-ci ne possède pas d'héritage glaciaire sous forme de dépôts morainiques. L'essentiel des matériaux meubles provient de l'éboulisation des hautes corniches taillées dans des calcaires et dolomies du Trias qui délimitent le bassin de réception. Cependant le suivi topométrique du lit de ce torrent²⁰ souligne aussi l'importance des relais spatio-temporels dans le transit de la charge sédimentaire puisée à même le lit.

²¹La description de ces deux torrents très dissemblables illustre parfaitement la diversité des situations rencontrées dans la vallée de la Clarée. En effet, au sein du secteur étudié, des systèmes torrentiels différents se côtoient ; ces distinctions, en terme de taille, d'altitude, de morphologie, de type et de quantité de matériaux mobilisables, auront des répercussions sensibles sur l'évolution récente et le comportement dynamique de ces torrents.

De plus, l'ensemble, les observations menées dans ces deux bassins-versants torrentiels permettent de mettre en évidence différents éléments préliminaires à la compréhension de la dynamique torrentielle actuelle et de son évolution récente. Comme par exemple, les implications de la déconnection des sources sédimentaires sur l'ajustement morphologique des torrents sur leur cône de déjection (cf. 2.2.). Ainsi, l'absence de politique de reboisement dans les torrents étudiés souligne le caractère essentiellement spontané de la végétalisation des versants. Bien que la végétalisation soit relativement limitée à l'échelle du bassin de réception (de l'ordre de 25 à 27% pour les torrents des Acles et de l'Enrouye), elle concerne parfois des secteurs au contact entre les sources sédimentaires et le torrent. Ce qui peut suffire à réduire drastiquement les apports sédimentaires puisque la position de la végétation a un rôle prépondérant sur son efficacité en terme de piégeage des matériaux (Rey, 2002).

²⁰ La troisième partie, consacrée à l'étude de la dynamique actuelle des torrents de la vallée de la Clarée, compile les résultats du suivi topométrique du lit de plusieurs torrents dont le ravin de l'Enrouye.

²¹ Les sous-parties sont achevées par une conclusion partielle qui se propose de résumer en quelques phrases les principaux apports du paragraphe. Ces conclusions partielles se distinguent du reste du texte par un encadré gris et une police de caractère en italique.

1.3. L'apport de l'analyse morphométrique des cônes de déjection

1.3.1. La méthode

L'analyse morphométrique des torrents consiste à comparer entre elles différentes caractéristiques morphologiques du bassin-versant et du cône de déjection (tableau 3). Le but de cette analyse est de mettre en évidence quels sont les facteurs qui déterminent les caractéristiques des cônes de déjection (superficie, pente, taille en relation avec la largeur de la vallée), et de permettre un diagnostic rapide du comportement des différents organismes torrentiels.

Encadré 1 : la méthode de l'analyse morphométrique des cônes de déjection²²

Le procédé employé pour l'analyse morphométrique des cônes de déjection de la vallée de la Clarée 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, 2000), en Nouvelle-Zélande (De Scally et Owens, 2004).

Les mesures nécessaires à cette étude ont été obtenues 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,

²² Dans un souci de compréhension les notes méthodologiques ont été intégrées au sein même du texte, lorsque que celui-ci fait référence à des résultats ayant nécessité une méthode d'analyse précise. Ces notes méthodologiques se différencient du corps du texte par un encadré et une police de caractère distincte.

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 entre la dénivelée du bassin-versant, et la racine carrée de la superficie du même bassin-versant.

Il s'agit ensuite de déterminer les relations qui existent entre les différentes caractéristiques morphométriques des organismes torrentiels étudiés.

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

Tableau 3: caractéristiques morphométriques des torrents de la vallée de la Clarée

1.3.2. Les résultats

La relation entre le coefficient de rugosité de Melton (i.e. la dénivelée spécifique) du bassin-versant 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. 20).

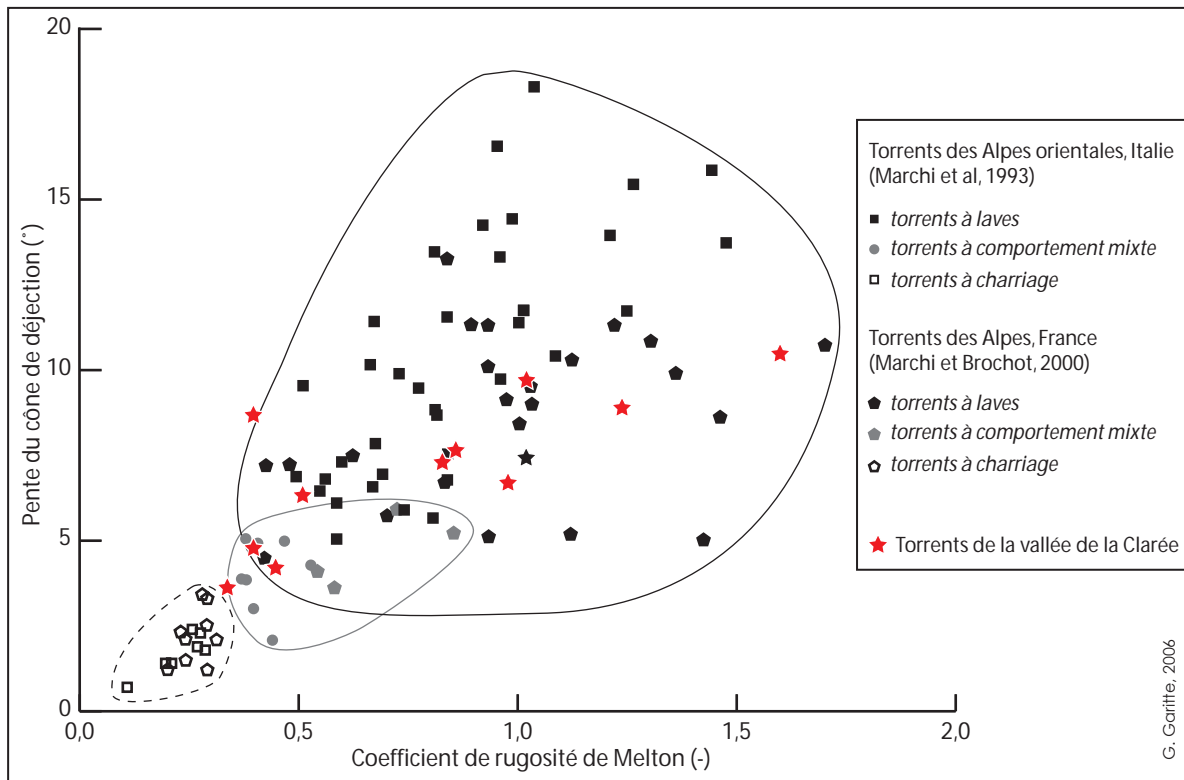


Figure 20 : relations entre P_{cd} et M_{bv} pour différents torrents des Alpes

A l'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 sur la figure 20 qu'il est difficile de définir des limites précises entre les torrents selon leur mode de transport dominant. Toutefois, si l'on se réfère à ce document, sur les 12 organismes torrentiels analysés dans la vallée de la Clarée, on retrouve 3 torrents dans le secteur des torrents à comportement mixte alors que les 9 autres se classent parmi les torrents à laves selon la classification généralement admise (fig. 20).

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. Il existe en effet un lien entre la pente du cône de déjection et le type de transport dominant dans le torrent (Marchi et al., 1993). Si l'on se réfère uniquement à ces observations, on peut effectivement constater qu'au sein de la

vallée de la Clarée les torrents qui se situent dans l'enveloppe des torrents à transport dominant par laves torrentielles (déterminé d'après la figure 20) possèdent, en moyenne, un cône de déjection plus pentu ($8,1^\circ$) que les torrents dits à comportement mixte ($4,2^\circ$).

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, dans la 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. 21).

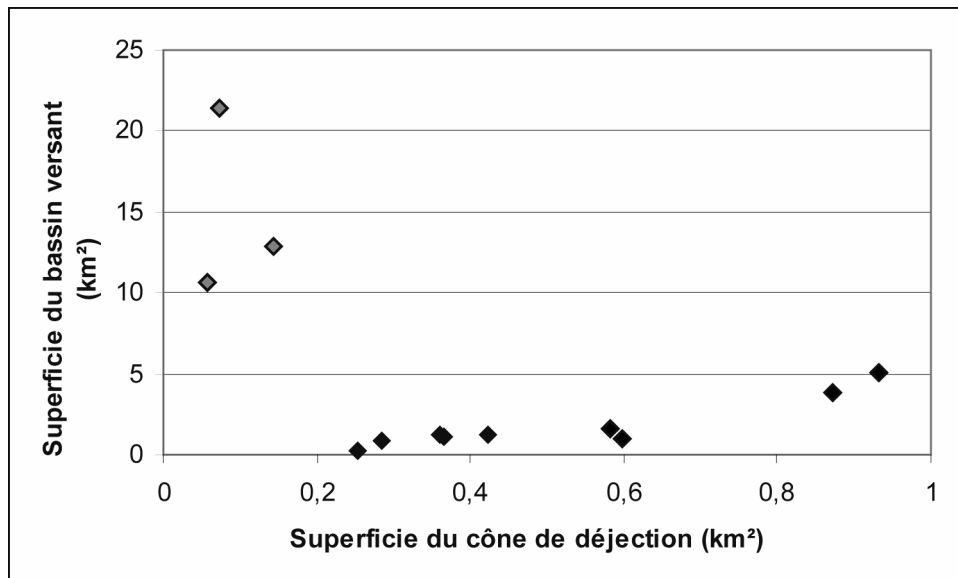


Figure 21 : relations entre S_{bv} et S_{cd} pour les torrents de la Clarée
les torrents à comportement mixte apparaissent en gris

Ce paradoxe est l'illustration du rôle déterminant joué par les conditions topographiques locales (largeur de la vallée principale, morphologie du bassin-versant). Les torrents drainant de vastes bassins-versants possèdent parfois d'importantes quantités de matériaux qui restent stockées dans leur bassin-versant puisque ceux-ci sont le plus souvent peu pentus (Crosta et Frattini, 2004). Ces matériaux ne contribuent donc pas à l'édification de vastes cônes de déjection. De plus, la largeur de la vallée apparaît aussi déterminante. Les trois torrents qui se distinguent en figure 21 confluent avec la Clarée dans des secteurs où le resserrement de la vallée a largement limité l'extension des cônes de déjection (fig. 22) (May et Gresswell, 2004).

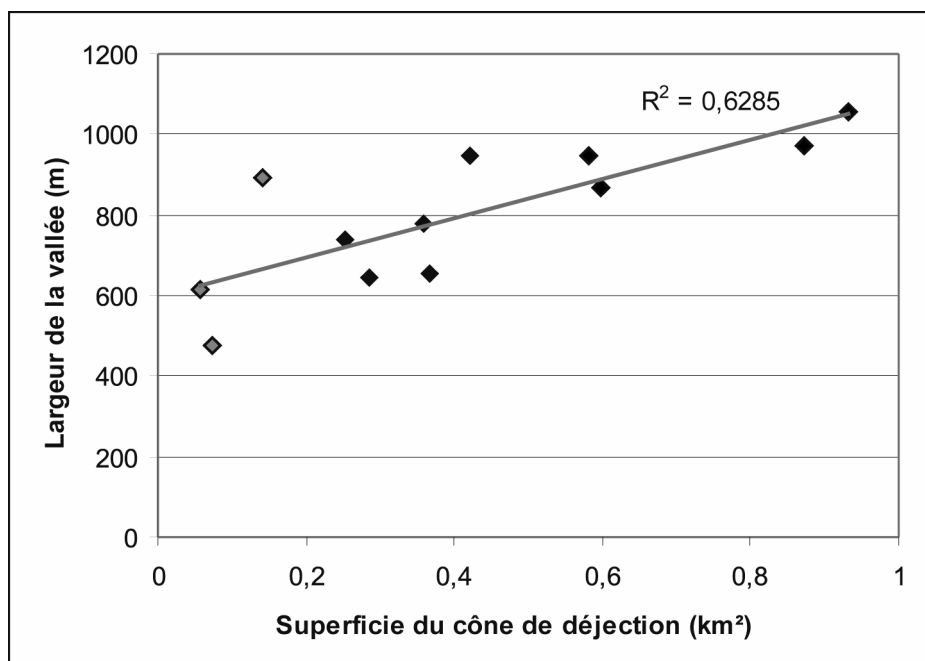


Figure 22 : relations entre L_{val} et S_{cd} pour les torrents de la Clarée
les torrents à comportement mixte apparaissent en gris

Enfin, le calcul de la relation statistique entre les différents paramètres morphométriques pris en considération (tableau 4) 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 relation forte 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 4 : coefficients de corrélation de Pearson 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 commandés à la fois, par les caractéristiques du bassin-versant (Crosta et Frattini, 2004), et par les caractéristiques de la vallée principale dont la largeur, qui est déterminante pour expliquer la superficie des cônes de déjection (Garitte et Thénard, 2005).

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, a priori, le type de transport dominant dans un torrent lors de l'édification de son cône de déjection. Même si ces résultats ne permettent pas de déterminer avec précision la dynamique réelle actuelle des torrents ; selon cette approche, les torrents étudiés sont majoritairement dominés par un transport de la charge sédimentaire sous forme de laves torrentielles.

Les résultats de cette étude tendent aussi à démontrer l'importance de la topographie locale pour expliquer la taille ou la pente des cônes de déjection : il apparaît que la superficie des cônes de déjection est largement influencée par la largeur de la vallée tandis que la pente semble plus influencée par le coefficient de rugosité de Melton (la dénivelée spécifique) du bassin-versant

1.4. Propositions pour une typologie morphologique des cônes de déjection de la vallée de la Clarée

La sédimentation des cônes de déjection reflète le comportement des torrents, à ce titre, ils ont été étudiés de longue date. Dès le début du 20^{ème} siècle l'autrichien J. Stiny (1910) et le français P. Girardin (1910) décrivaient les processus qui commandent la mise en place des cônes de déjection torrentiels. Depuis, ils ont été analysés tant du point de vue morphométrique (Melton, 1965 ; Marchi *et al.*, 1993 ; Marchi et Brochot, 2000 ; cf. 1.3.) que sédimentologique (Amelot *et al.*, 2003).

Les levés topométriques transversaux des cônes de déjection des torrents de la Clarée ont permis de mettre en évidence la diversité des situations rencontrées au sein même d'une vallée de taille relativement réduite (environ 200 km²). Ainsi, en tenant compte de critères morphologiques, il est possible de distinguer trois grands morphotypes de cônes de déjection.

Encadré 2 : l'utilisation de la topométrie dans l'étude des torrents

L'utilisation d'outils topométriques dans les torrents de montagne remonte à la fin du 19^{ème} siècle. A l'époque, le service RTM naissant utilisait déjà des théodolites pour dresser des profils longitudinaux ou transversaux de certains torrents (Thiéry, 1891). Ces levés étaient surtout

utilisés pour calibrer les ouvrages de correction torrentielle. Quelques levés du début du 20^{ème} siècle sont encore archivés au service RTM et aux Archives Départementales des Hautes-Alpes (ADHA). Pour le torrent de Malefosse, par exemple, il existe des profils longitudinaux datant de 1908 et 1939 ; mais le manque d'exactitude de ces documents anciens ne permet pas d'évaluer l'évolution du torrent. Le plus souvent, les méthodes utilisées pour dresser ces profils avaient une précision limitée et il s'avère impossible de les recaler avec les profils actuels pour déterminer l'évolution des torrents (Garitte, 2000).

L'objectif de l'analyse topométrique menée dans la présente étude est d'obtenir, à travers la mise en œuvre de moyens techniques simples et mobiles, une information précise et rapidement renouvelable, qui permet d'appréhender la complexité des processus torrentiels. Le but des mesures effectuées sur les cônes de déjection ou dans le chenal des torrents est donc double. Il s'agit d'une part de déterminer avec précision la morphologie du chenal ou du cône de déjection et d'autre part d'en étudier l'évolution grâce à des campagnes de mesures régulières (novembre 2001, mai 2002, juillet 2002, septembre 2002, avril 2003, août 2003, mai 2004, juin 2004, juillet 2005, juillet 2006).

A l'aide d'un tachéomètre infrarouge, il s'agit pour l'opérateur de viser une mire réfléchissante ; l'appareil calcule alors les distances verticales et horizontales entre l'appareil et le réflecteur (photo. 10 ; cf. Annexes : Note sur l'utilisation de la topométrie dans les torrents)

Les profils en long sont dressés en suivant le lit du torrent mais comme il s'agit ici de mesures relatives, il est nécessaire de caler le profil sur des repères précis et fixes pour pouvoir comparer entre eux les différents relevés. Les repères de calage utilisés correspondent le plus souvent aux routes, aux ouvrages de correction torrentielle ou encore à des affleurements de roche en place. C'est durant le levé du profil en long que sont déterminés précisément les secteurs qui feront l'objet d'un profil en travers.

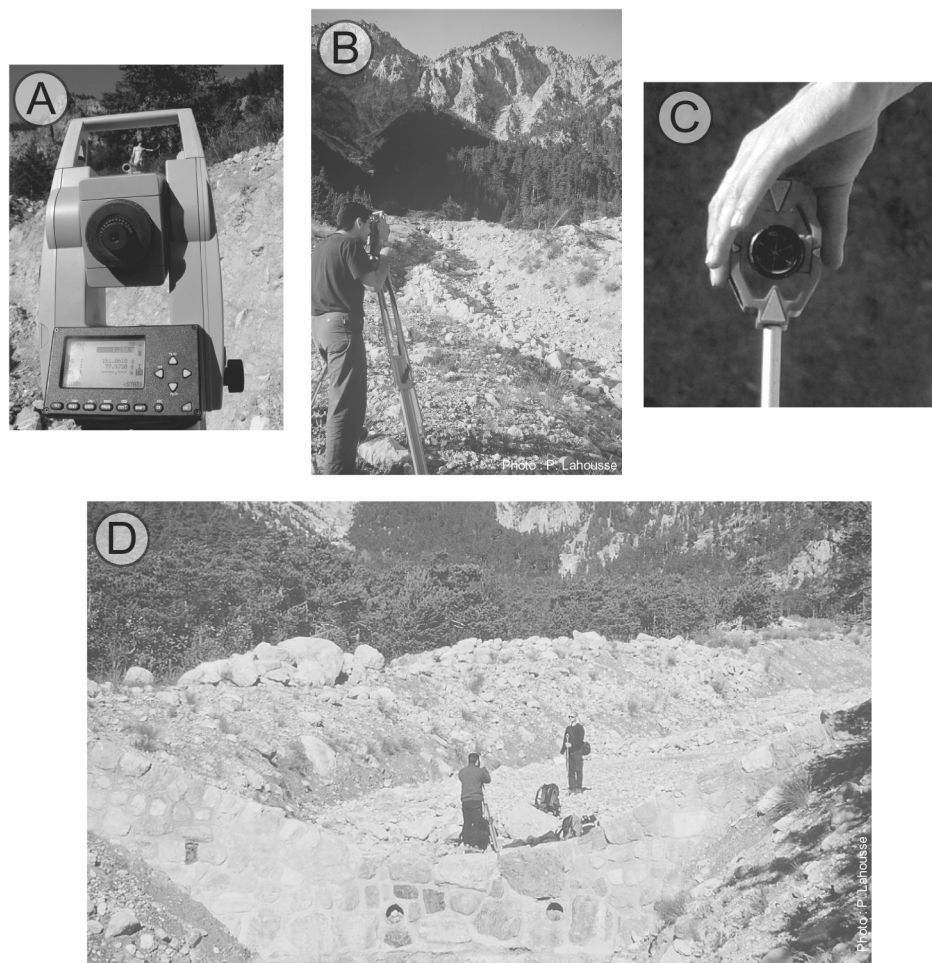


Photo 10 : l'utilisation du tachéomètre

A : le tachéomètre ; B : le tachéomètre mis en station ; C : le réflecteur

D : aperçu du levé d'un profil en long

Nonobstant la précision du tachéomètre –quelques millimètres à 100 mètres de distance selon le fabricant– la marge d'erreur verticale des mesures effectuées dans le lit des torrents demeure de l'ordre de +/- 10 cm. En effet, compte tenu de la nature même du lit torrentiel, composé de blocs hétérométriques, les mesures peuvent être faussées si l'opérateur prend en compte ou non un bloc situé dans le lit du torrent ; c'est pourquoi les évolutions verticales du chenal observées entre deux campagnes de mesures ne sont pas représentatives si elles sont ponctuellement de moins de 20 cm. Par contre, si l'on mesure une évolution faible mais régulière sur une majeure partie du profil celle-ci peut être considérée comme représentative.

Les profils en travers sont effectués à la perpendiculaire de l'axe d'écoulement. Pour permettre un suivi, ceux-ci sont calés sur les berges à

l'aide de points de calage sous la forme de clous sur des arbres ou de marquages à la peinture sur des blocs présents sur les berges. Une des limites de cette méthode réside dans le fait qu'une crue très intense peut déplacer ou détruire les points de calage. Dès lors, il est possible de replacer le ou les profils concernés à partir des données du profil en long mais avec, certes, une moindre précision.

Les modèles numériques de terrain (MNT) nécessitent de lever un très grand nombre de points (environ un point pour 1,5 m²). Les données sont ensuite traitées à l'aide du logiciel Surfer® (Golden Software, version 7) afin d'obtenir un document présentant les courbes de niveau de la zone traitée. Ce MNT peut ensuite servir de base à une cartographie hydrogéomorphologique à grande échelle.

Au cours de notre travail, des levés topométriques ont été effectués sur 13 des torrents de la vallée de la Clarée. Au total, 19 profils longitudinaux –dont 3 limités au cône de déjection– ont été effectués, ces levés ont été complétés par plus de 250 profils transversaux. De plus, 8 profils en travers ont été dressés sur différents cônes de déjection afin d'en déterminer le morphotype.

1.4.1. Les torrents incisés dans leur cône de déjection

Le morphotype de cône de déjection incisé désigne les organismes dont le lit est situé dans une entaille plus ou moins large creusée dans le cône de déjection (fig. 23).

Il apparaît que les torrents incisés dans leur cône de déjection sont associés à de larges bassins-versants. Ce morphotype correspond surtout à des organismes torrentiels connaissant un débit liquide au moins saisonnier pouvant expliquer l'incision du torrent dans son cône. Les formes fluviales s'ajustent en effet en fonction du rapport entre flux liquides et flux solides. Un accroissement relatif de la part des flux liquides entraîne ainsi une incision du lit et inversement (Knighton, 1998).

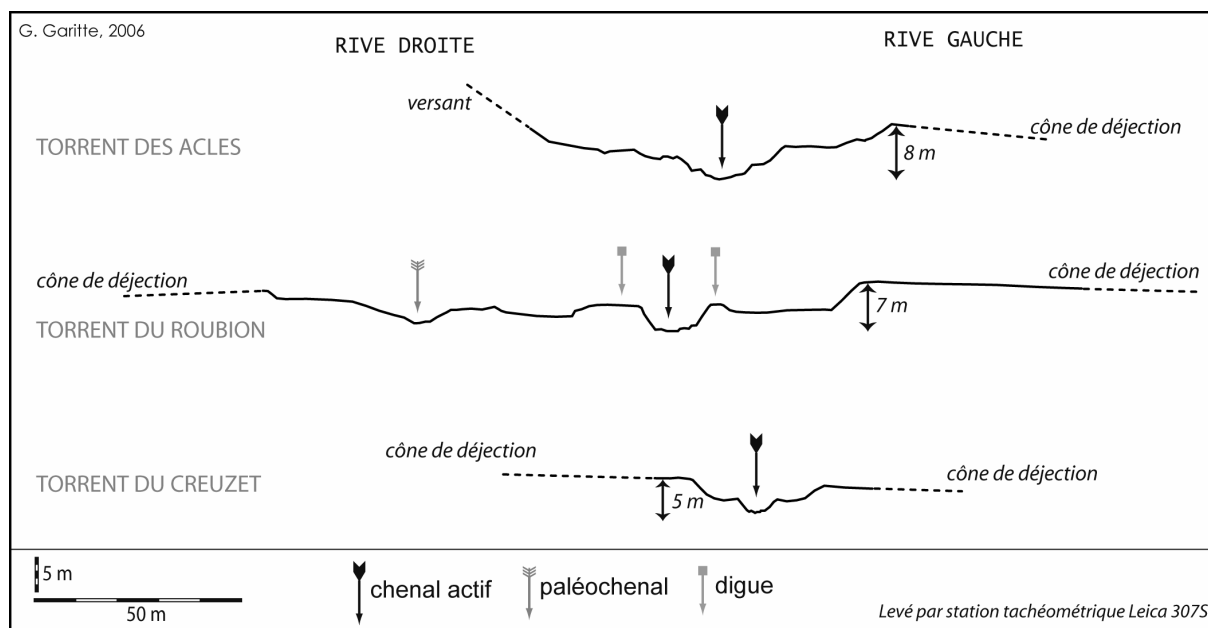


Figure 23 : exemples de morphotype de cône de déjection incisé

Cette incision dans le cône de déjection n'est pas actuelle. Elle est le fruit de l'évolution contemporaine du torrent comme en témoignent les terrasses vraisemblablement héritées de la péjoration climatique du PAG qui pourraient correspondre au Remblaiement Historique tel qu'il est décrit dans les Alpes du sud par S. Ballandras (1997 et 1998) (cf. 2.2.).

Dans le cas des torrents associés à un cône de déjection de morphotype incisé l'extension de l'aléa torrentiel semble *a priori* réduit. En effet, l'incision dans le cône de déjection, de l'ordre de 5 à 7 mètres pour les torrents étudiés, limite drastiquement l'extension des crues les plus courantes dites « haute fréquence-basse magnitude » (HF-BM) (Arnaud-Fassetta et Fort, 2004). Seules les crues « basse fréquence-haute magnitude » (BF-HM) seraient susceptibles de déborder à la faveur de conditions exceptionnelles. Les ponts présents sur ces cônes de déjection demeurent des points sensibles car ils peuvent être à l'origine d'embâcles risquant de provoquer un débordement²³.

²³ Le 15 octobre 2000, la crue du torrent des Acles a inondé une partie du hameau de Plampinet et coupé la RD994g. Ce débordement a été provoqué par un embâcle au niveau du pont franchissant le torrent, suite à l'apport d'une importante charge sédimentaire lors de cette crue qui a réduit progressivement le tirant d'air du pont. De même, en juillet 2006, plusieurs crues torrentielles ont entraîné des débordements à la suite d'embâcles au niveau des infrastructures routières (cf. 3.3.8.).

1.4.2. Les torrents chenalisés sur leur cône de déjection

Le morphotype des torrents chenalisés rassemble tous les organismes dont l'extension latérale du lit est limitée, naturellement ou de façon anthropique, par des matériaux formant des bourrelets ou des digues latérales (fig. 24). Même si ces deux modes de chenalisation distincts sont le reflet d'une histoire différente, *in fine* les torrents endigués ou chenalisés par des bourrelets torrentiels auront des comportements hydrogéomorphologiques proches.

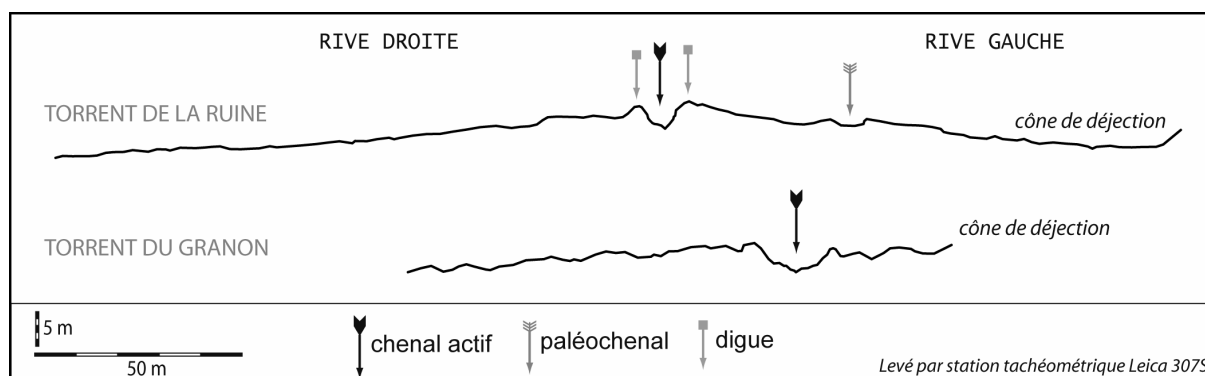


Figure 24 : exemples de morphotype de cône de déjection chenalisé

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 souvent d'organismes régulièrement actifs et perçus comme dangereux. L'existence de ce morphotype de cône de déjection est subordonnée soit à la possibilité de survenue d'une crue BF-HM pouvant mettre en place d'importantes levées latérales, soit à la présence d'enjeux menacés par le torrent (zones agricoles, habitations, voies de communication...) ayant motivé la construction de digues.

Quand des bourrelets latéraux mis en place lors de laves torrentielles aboutissent à la chenalisation du torrent, ils modifient le comportement hydrogéomorphologique du torrent. La chenalisation, en changeant l'équilibre dynamique du torrent, va favoriser le transit des matériaux au détriment de l'épandage des crues HF-BM à la surface du cône. Toutefois, ces bourrelets latéraux peuvent avoir une taille et/ou une solidité limitées et une crue BF-HM pourrait donc les endommager, voire les submerger. La destruction des levées latérales rendrait au torrent un comportement comparable à celui des torrents de morphotype divagant (cf. 1.4.3.).

Dans le cas des torrents ayant fait l'objet d'une correction, les digues ont été calibrées afin de contenir les écoulements en cas de crue. Cela signifie que les débordements lors d'une crue HF-BM sont très peu probables mais restent néanmoins possibles lors d'événements extrêmes qui demeurent difficiles à prendre en compte lors de l'élaboration des digues, ou à cause d'embâcle au niveau d'un ouvrage de franchissement des infrastructures routières. Cependant, la protection offerte par les digues n'est pas garantie à long terme. L'incision du chenal peut, en effet, déstabiliser les berges du torrent et par la même endommager les digues (photo. 11). De plus, en limitant drastiquement la largeur de la bande active torrentielle, l'endiguement réduit de fait la possibilité de divagation et d'épandage sur le cône ce qui favorise le transit vers le fond de vallée et la rivière principale (cf. 1.4.2.).

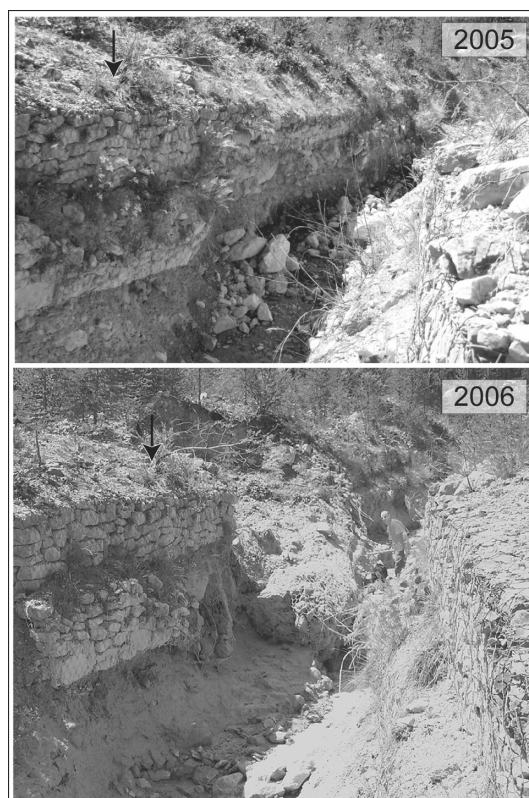


Photo. 11 : digue de gabions déstabilisée dans le Torrent de la Ruine

La dynamique spécifique des torrents peut, par ailleurs, entraîner une accumulation de matériaux dans certains secteurs du chenal à la faveur d'embâcle ; dès lors, l'efficacité des digues peut être compromise. L'endiguement des torrents nécessite donc une surveillance à long terme ainsi qu'un entretien régulier des digues, et le cas échéant un curage du lit.

1.4.3. Les torrents divagants sur leur cône de déjection

Le troisième morphotype correspond à des torrents qui ne disposent pas de chenal fixe, mais dont l'axe emprunté par les crues divague sur leur cône de déjection. Ce morphotype est généralement caractérisé par un cône de déjection possédant un profil en travers plus ou moins bombé, sur lequel l'axe d'écoulement des crues est susceptible de se déplacer (fig. 25). Ce morphotype correspond le plus souvent à des torrents associés à des bassins-versants de taille réduite (< 2 km²) qui ne connaissent pas d'écoulements réguliers.

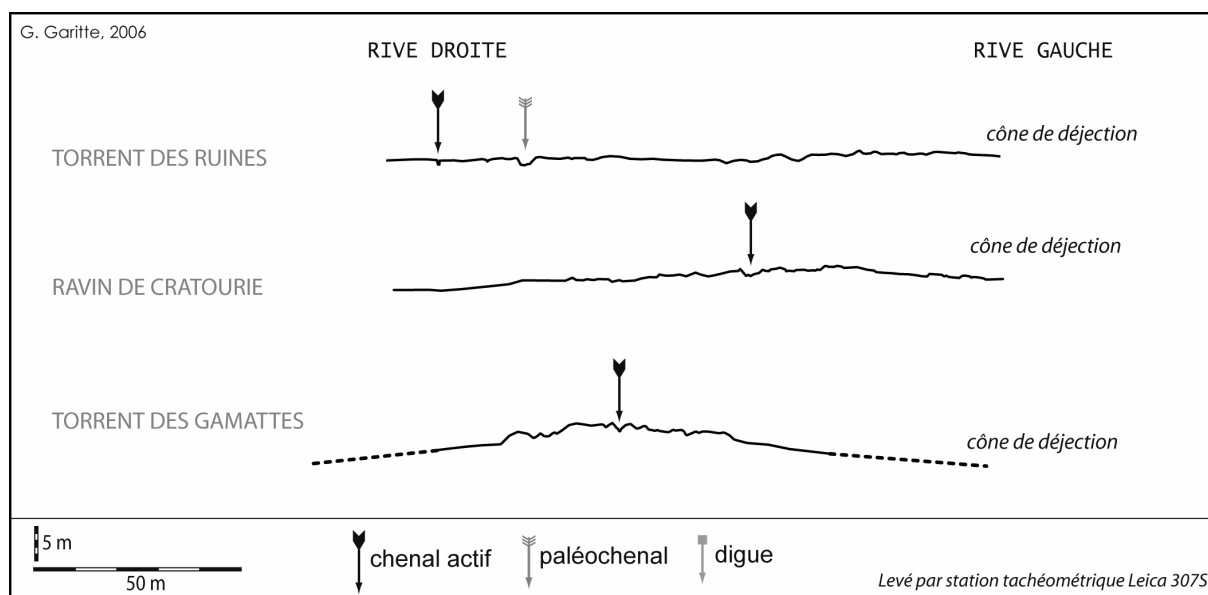


Figure 25 : exemples de morphotype de cône de déjection divagant

Compte tenu de la forme de leur cône de déjection, les crues qui affectent des torrents de morphotype divagant sont susceptibles de toucher une large partie de leur cône de déjection. En effet, s'il existe toujours un axe d'écoulement préférentiel suivant la plus forte pente, le moindre obstacle tel qu'un embâcle causé par des débris végétaux ou par les dépôts d'une crue précédente, peut aboutir à une migration du chenal. Le torrent des Ruines offre un exemple de divagation du chenal sur le cône de déjection (fig. 26).

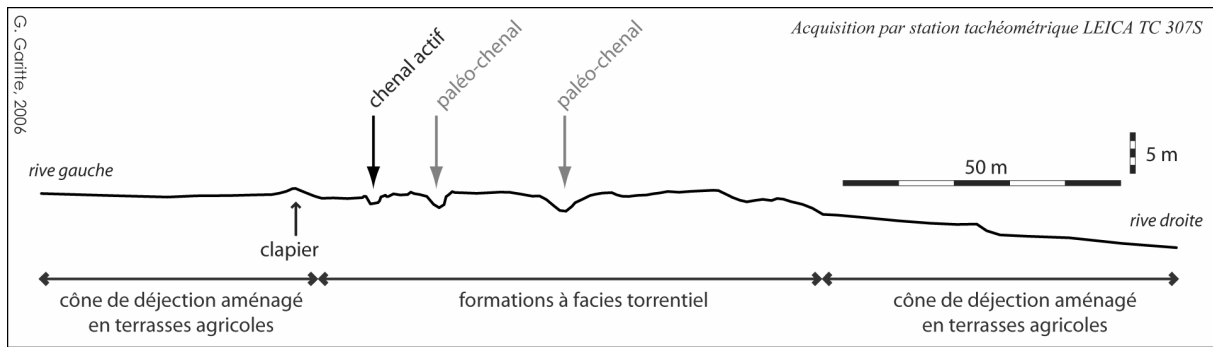


Figure 26 : la divagation du chenal sur le cône de déjection du torrent des Ruines

Sur ce morphotype de cône de déjection, la présence d'une couverture forestière dense a parfois un effet important sur le transit sédimentaire. En plus de son impact sur le comportement hydrique des torrents²⁴, la végétation peut aussi jouer un rôle décisif dans le stockage de la charge sédimentaire sur le cône de déjection. Les études sur l'influence de la végétation sur le stockage sédimentaire, menées dans les ravines marneuses des Alpes du sud, démontrent que l'efficacité de la couverture végétale à réduire le transit sédimentaire est déterminée par sa localisation (Rey *et al.*, 2002 ; Rey, 2004). Il n'apparaît pas nécessaire de végétaliser l'ensemble des ravines pour réduire le transit sédimentaire à son exutoire (Rey, 2002). Dans le cas des torrents de la Clarée, et en particulier en ce qui concerne les cônes de déjection de morphotype divagant, les arbres sont autant d'obstacles au transit des matériaux torrentiels. Ils peuvent ainsi ralentir l'écoulement ou être à l'origine de la formation d'embâcle ; autant d'éléments qui favorisent la sédimentation sur le cône de déjection de la charge grossière transportée par le torrent.

Cependant, l'efficacité du peignage des écoulements torrentiels par la végétation forestière est liée entre autres à la taille des arbres et surtout à l'énergie de l'écoulement. Ainsi les crues BF-HM ont une telle énergie qu'elles sont capables de former de véritables tranchées à travers la végétation forestière bien établie, comme ce fut le cas durant les crues du torrent de Granon en juillet 1988 et du Ravin des Sables en juillet 1995 (cf. 4.3.2.3.). Pour autant, lors des événements HF-BM, le peignage par la végétation forestière s'avère très efficace en particulier dans des secteurs où la pente relativement faible limite l'énergie de l'écoulement torrentiel. Par exemple, dans le cas du Ravin de Combal, des blocs d'un volume de l'ordre du m³ ont été stoppés par des arbres dont le diamètre n'excède pas 20 cm (photo. 12).

²⁴ Les effets de la forêt sur le régime hydrique des bassins-versants torrentiels ont été démontrés par différentes études (cf. 2.4.4.2.).



Photo. 12 : exemple de l'efficacité du peignage de matériaux torrentiels par la forêt
Ravin de Combal, juillet 2005

Dans le cas présent, l'absence de couverture forestière aurait indéniablement permis à la crue d'atteindre le fond de vallée et de déposer une grande partie de sa charge dans un secteur où se situe la majorité des enjeux.

1.4.4. Le rôle majeur des caractéristiques du bassin-versant pour expliquer le morphotype des cônes de déjection

La répartition spatiale des différents morphotypes de cône de déjection montre que les torrents divagants sur leur cône de déjection –les plus courants dans la vallée de la Clarée– se concentrent dans la basse vallée (fig. 27).

En fait, le morphotype d'un cône de déjection dépend surtout 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 BF-HM pouvant édifier de larges bourrelets torrentiels.

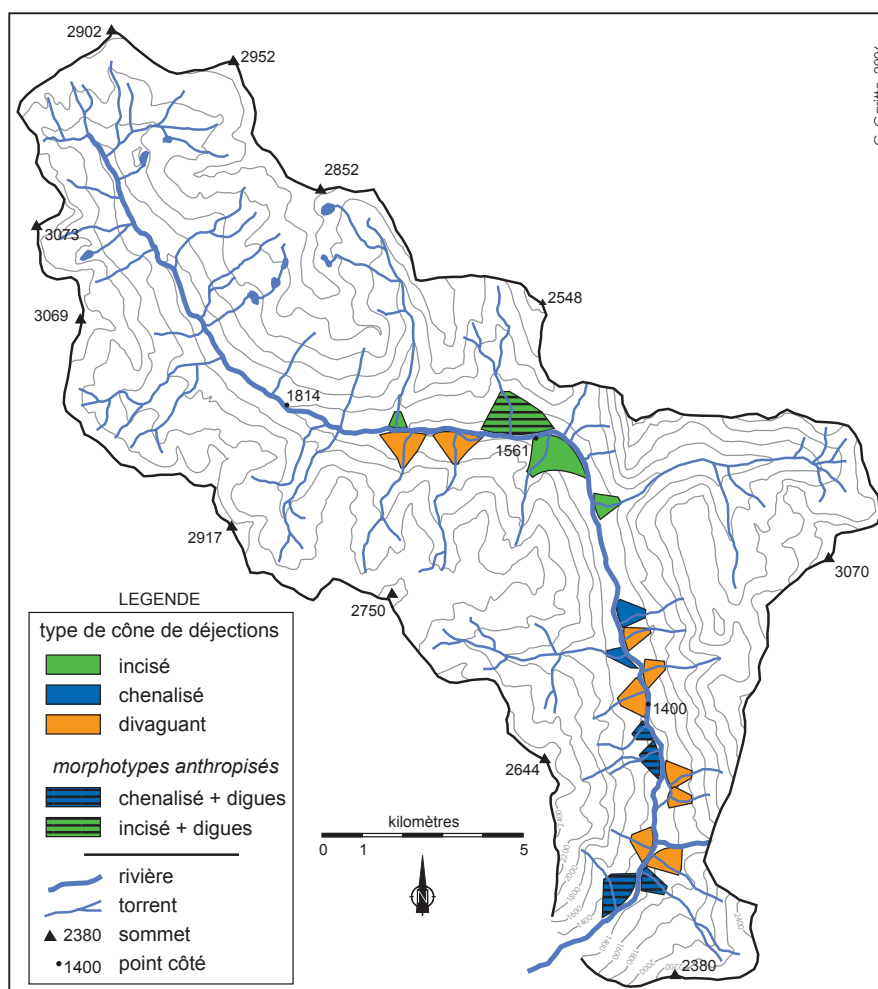


Figure 27 : localisation des différents morphotypes de cône de déjection en basse vallée de la Clarée

Or, ces deux paramètres sont largement influencés par les caractéristiques du bassin-versant, et en particulier par sa morphologie. Le coefficient de rugosité de Melton est un indice qui prend en compte la surface et la dénivelée du bassin-versant²⁵, il rend bien compte de l'influence primordiale des caractéristiques du bassin-versant sur le morphotype des cônes de déjection (fig. 28). Dans la vallée de la Clarée, il apparaît que les organismes torrentiels possédant un cône de déjection de morphotype divaguant sont tous associés à des bassins-versants dont la dénivelée spécifique est supérieure à 0,8 ; alors que le morphotype incisé est, lui, associé à des torrents caractérisés par une dénivelée spécifique inférieure à 0,6. Dans le cas des cônes de déjection de morphotype chenalisé, la distinction est moins franche : le coefficient de rugosité de Melton est compris entre 0,3 et 1,1. Dans ce cas précis, cela s'explique par le fait que la chenalisation ne dépend plus

²⁵ Le coefficient de rugosité ou dénivelée spécifique, a été mis au point par l'américain M.A. Melton (1965) et se calcule en effectuant le rapport de la dénivelée du bassin-versant par la racine carrée de la superficie du bassin-versant (cf. 1.3.1.).

uniquement de dynamiques naturelles car certains de ces torrents ont été endigués par l'Homme.

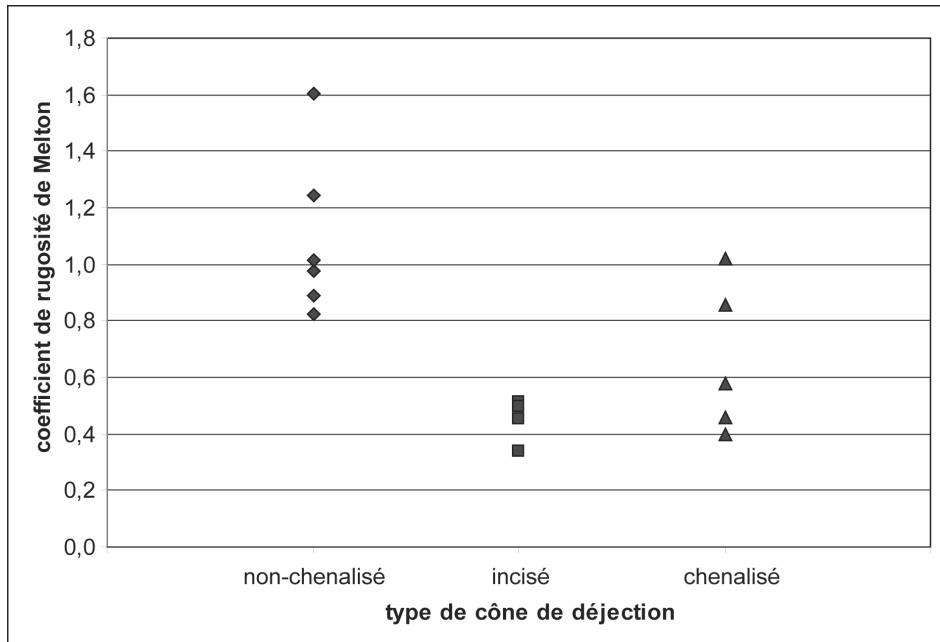


Figure 28 : coefficient de Melton selon le morphotype des cônes de déjection de la vallée de la Clarée

De plus, les caractéristiques géologiques des bassins-versants peuvent aussi influencer les modalités de l'écoulement. La basse vallée de la Clarée comporte d'épaisses séries de roches sédimentaires perméables (calcaires et dolomies triasiques) ainsi que des dépôts morainiques qui, en favorisant l'infiltration, limitent l'écoulement en surface (Blais, 1978). Cette faiblesse de l'écoulement de surface qui réduit la capacité d'incision des torrents, conjuguée à la forte énergie du relief, peut être un des facteurs expliquant que la basse vallée de la Clarée comporte de nombreux organismes associés à des cônes de déjection de morphotype divagant.

L'analyse de la forme du cône de déjection dans le but d'en déterminer le morphotype est importante car, comme nous l'avons vu en introduction, les cônes de déjection constituent l'espace du risque torrentiel. Il ressort de cette analyse que les zones potentiellement soumises à l'aléa torrentiel diffèrent largement d'un morphotype à l'autre. Elles sont relativement limitées dans le cas du morphotype incisé alors qu'elles peuvent concerner une large part du cône de déjection pour le morphotype divagant. Dans le cas du morphotype chenalisé le diagnostic est plus

ambigu puisque ce morphotype regroupe à la fois des torrents endigués par l'Homme et des torrents qui sont chenalisés suite à une crue torrentielle.

Par ailleurs, il faut noter que le morphotype du cône de déjection d'un torrent n'est pas figé dans le temps mais qu'il peut évoluer à la faveur d'une crue BF-HM. En effet, dans certains cas, une crue peut circonscire le torrent sur son cône de déjection ; on passe ainsi d'un morphotype divagant à un morphotype chenalisé. A l'inverse, une crue pourrait avoir pour conséquence de démanteler les bourrelets qui chenalisaient un torrent.

1.5. Mise en évidence de deux grands types de systèmes torrentiels dans la vallée de la Clarée

L'étude des torrents à l'échelle du bassin-versant souligne la diversité des systèmes torrentiels au sein de la vallée de la Clarée. Cette diversité est visible tant au niveau des caractéristiques morphométriques des bassins-versants (superficie, dénivelée...) qu'au niveau du morphotype des cônes de déjection ou de la morphologie des lits torrentiels.

Bien que toute tentative de typologie implique une simplification, les observations et les mesures entreprises, permettent de distinguer deux grands types de torrents dans la vallée de la Clarée. Il est ainsi possible de faire la distinction entre :

- des systèmes torrentiels élémentaires de taille limitée se développant sur les versants abrupts, en particulier dans la basse vallée (fig. 29 A) ;
- des systèmes torrentiels composites drainant des bassins-versants plus larges et globalement moins pentus (fig. 29 B).

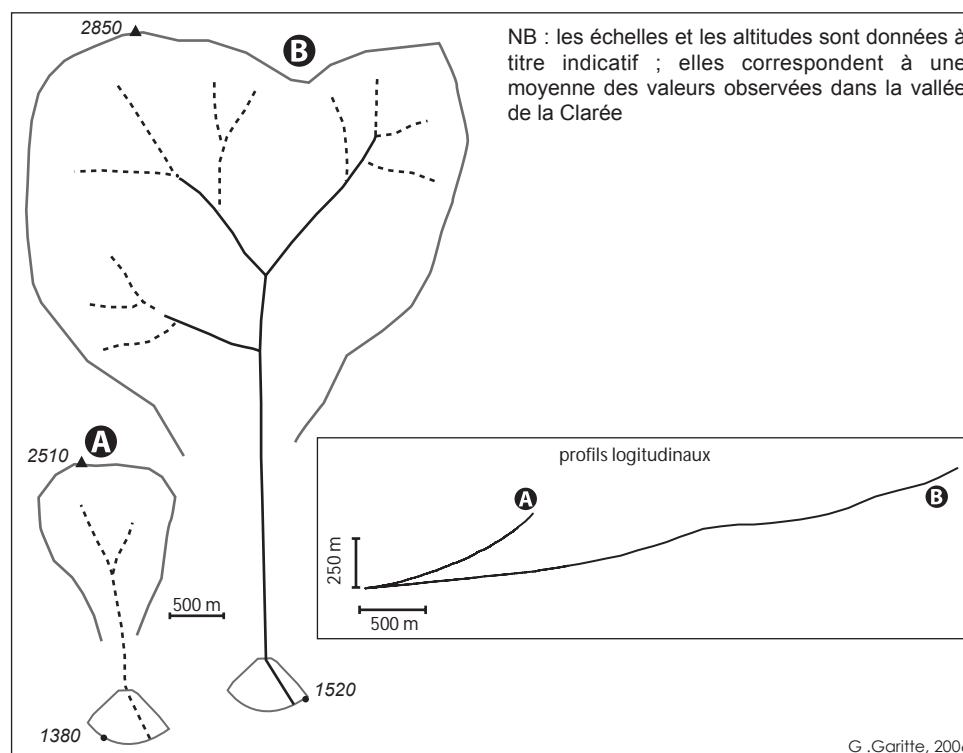


Figure 29 : représentations schématiques des deux grands types de systèmes torrentiels présents dans la vallée de la Clarée
 A : les systèmes torrentiels élémentaires ; B : les systèmes torrentiels composites

1.5.1. Les systèmes torrentiels élémentaires

Ces torrents drainent des bassins-versants de taille modeste ($< 2 \text{ km}^2$) et abrupts ($M_{bv} > 0,8$), la dénivelée entre le point culminant du bassin-versant et la confluence avec la rivière principale est en moyenne de l'ordre de 1130 m dans la vallée de la Clarée. Leur chenal possède une pente forte, supérieure à 40%. Les sources sédimentaires de ces torrents sont principalement constituées des éboulis qui se forment sous les corniches limitant le bassin-versant. Ponctuellement des placages morainiques peuvent fournir des matériaux aisément mobilisables aux torrents.

En ce qui concerne la morphologie de leur lit, et en dehors de toute intervention de correction torrentielle sous forme de barrages de sédimentation, ils sont pour la plupart caractérisés par un lit étroit : souvent inférieur à 3 m mais atteignant ponctuellement 8 à 9 m de large. Le profil transversal de ces lits torrentiels possède schématiquement la forme d'un V tronqué à sa base²⁶ (photo. 13). Cette

²⁶ Le profil transversal des lits torrentiels est susceptible d'évoluer fortement lors des crues, y compris celles de faible intensité (cf. 3.3.).

forme spécifique, conjuguée à la faible largeur et à la forte pente du lit, limite la divagation et favorise le transit de la charge grossière qui apparaît très mobile.

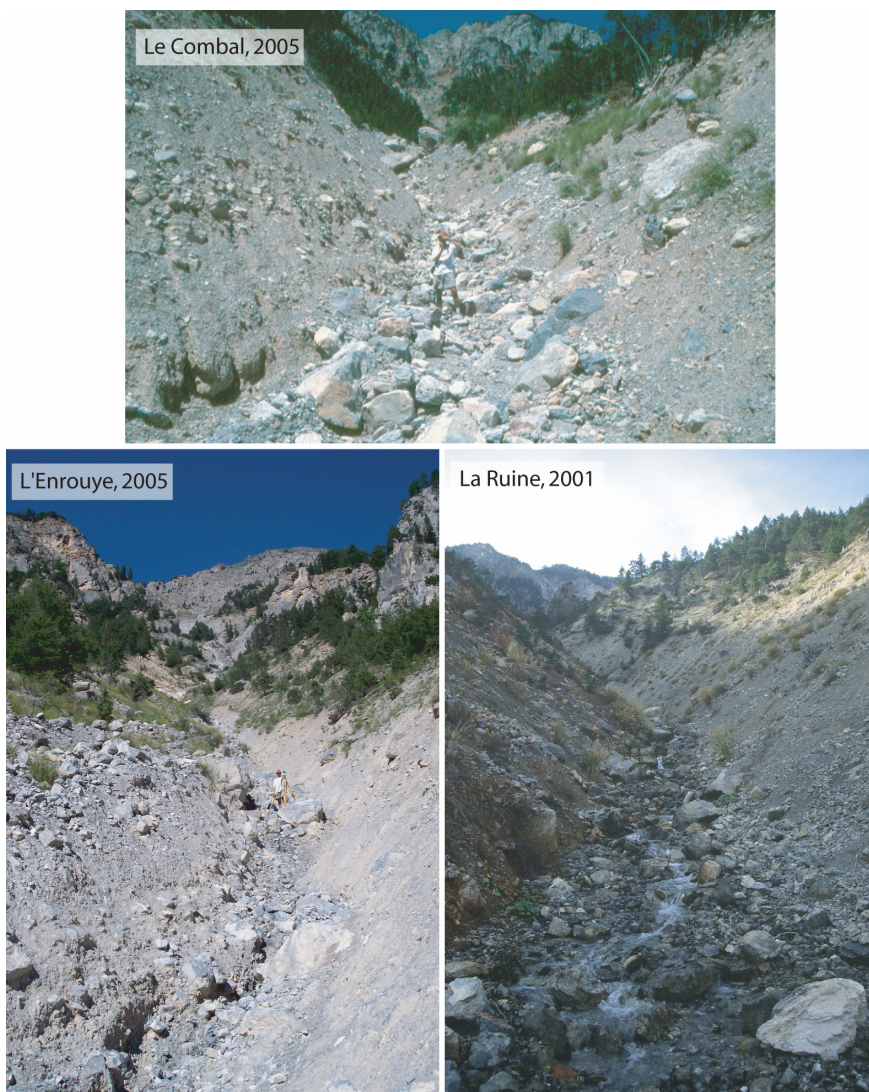


Photo. 13 : aperçu du lit des systèmes torrentiels élémentaires de la vallée de la Clarée

Comme l'impluvium de ces torrents est réduit, ils ne connaissent que de rares écoulements en dehors des phases paroxystiques, le transport de la charge sédimentaire s'effectue donc principalement durant les épisodes de crues torrentielles. La morphologie du lit de ces torrents est en partie dictée par la faiblesse des écoulements : le chenal présente une juxtaposition de dépôts en vrac hétérométriques et de dépôts de crue plus grossiers. Les mesures topométriques et les observations menées dans ces torrents montrent que certains d'entre eux, à l'instar du Ravin de l'Enrouye et du Ravin de Combal, sont très actifs²⁷. Ces crues

²⁷ Voir à ce propos la troisième partie qui traite spécifiquement de la dynamique torrentielle actuelle en se basant notamment sur un suivi topométrique de plusieurs lits torrentiels de la vallée de la Clarée.

fréquentes entraînent une grande variabilité spatio-temporelle de la physionomie du lit de ces torrents abrupts (cf. 3.3.).

Par ailleurs, c'est la dynamique spécifique de ces torrents, dictée entre autre par la morphologie des bassins-versants et caractérisée par de rares écoulements en dehors des épisodes paroxystiques, qui permet d'expliquer le morphotype de cône de déjection. Ainsi, ces systèmes torrentiels élémentaires, qui ne connaissent pas de flux liquide régulier apte à favoriser l'incision, concentrent l'ensemble des cônes de déjection de morphotype divagant (cf. 1.4.3.).

1.5.2. Les systèmes torrentiels composites

Les systèmes torrentiels composites sont tout d'abord caractérisés par un bassin-versant d'une superficie plus importante ($> 2 \text{ km}^2$) et relativement moins abrupt ($M_{bv} < 0,8$). Ces vastes systèmes torrentiels sont composés de plusieurs sous bassins-versants, qui peuvent avoir des comportements dynamiques distincts en fonction de leurs caractéristiques morphologiques (cf. 3.3.8.2.). Les sources sédimentaires y sont le plus souvent multiples : dépôts morainiques, tabliers d'éboulis, versants en glissements (cf. 1.2.1.). Toutefois, compte tenu de la faiblesse relative des pentes à laquelle s'ajoute souvent la présence de replats dans les bassins de réception –à l'instar des torrents des Acles, de Roubion ou du Vallon– il existe une possibilité de stockage sédimentaire important à l'amont du chenal.

Le lit de ces systèmes torrentiels, qui dispose une pente généralement moins forte ($> 40\%$), est plus large (de l'ordre de 8 à 15 m) et possède un profil transversal globalement en U avec un fond relativement plat plus ou moins prononcé (photo. 14). Contrairement aux torrents les plus petits de la vallée, la charge sédimentaire présente dans le lit apparaît moins mobile. Ainsi, les éléments grossiers de surface qui forment le lit de ces torrents présentent souvent un aspect émoussé qui contraste avec les torrents évoqués précédemment. C'est l'écoulement régulier –au moins saisonnier– et la relative stabilité du lit qui explique l'usure de ces blocs. De plus, le lit de ces torrents est parfois caractérisé par un pavage de blocs plus ou moins grossiers, signe de leur stabilité. En effet, la morphologie des lits s'ajuste en fonction des flux liquides et solides (Ergenzinger, 1992), ainsi le pavage « résulte de la concentration à l'interface eau-chenal de matériaux grossiers (blocs dans le cas des torrents) sous l'effet d'un tri sélectif des particules par l'écoulement » (Peiry, 1990). En dépit du caractère éphémère des écoulements dans la plupart des torrents de la vallée de la Clarée, ce qui peut gêner la reconnaissance du morphotype des lits torrentiels (Halwas et Church, 2002), il est possible de déterminer que sur la majeure partie de leur linéaire la morphologie du lit des systèmes torrentiels composites se rapproche surtout des cascades (*boulder cascade*) et parfois des lits en marches d'escalier (*rapid* ou *step-pool*) largement décrits dans les cours d'eau du Canada et

des Etats-Unis (Chartrand et Whiting, 2000 ; Halwas et Church, 2002 ; Chin, 2003). Cette morphologie typique des lits à forte pente se caractérise par une succession de seuils constitués de blocs –plus ou moins émoussés– ou parfois de débris végétaux et de mouilles à faible pente. Localement des nappes de graviers peuvent se mettre en place à la faveur d'une réduction de la pente favorisant un ralentissement dynamique.



Photo. 14 : aperçu du lit des systèmes torrentiels composites de la vallée de la Clarée

Les caractéristiques lithologiques du bassin-versant vont aussi influencer la physionomie du lit torrentiel. Selon le type de matériaux disponibles dans le bassin-versant et mobilisés par le torrent, le lit comportera plus ou moins de matrice et la granulométrie de la fraction grossière sera plus ou moins étendue. Par exemple, les affleurements de gypses et de cargneules présents dans le bassin-versant du torrent de Roubion sont à l'origine de l'abondante matrice sableuse que l'on retrouve dans le lit du torrent. Différentes approches cherchent à prendre en compte les effets des conditions géologiques locales sur le comportement paroxystique des organismes torrentiels (Brochot *et al.*, 2002 ; D'Amato-Avanzi *et al.*, 2004 ; Crosta et Frattini, 2004).

Compte tenu de la complexité du contexte géologique du secteur d'étude, cet aspect mériterait une étude à part entière afin de quantifier précisément l'influence de la lithologie du bassin-versant sur le fonctionnement du torrent.

En ce qui concerne l'influence des spécificités des bassins-versants sur les processus d'édification des cônes de déjection, nous constatons que les systèmes torrentiels composites de la vallée de la Clarée regroupent l'ensemble des cônes de déjection de morphotype incisé. L'occurrence des écoulements liquides –induite par la taille de l'impluvium et la capacité limitée du transit sédimentaire– favorise l'incision du chenal dans le cône de déjection, comme cela a été démontré entre autres par Knigton (1998).

Il apparaît possible de discriminer l'ensemble des torrents de la vallée de la Clarée en deux groupes : des systèmes torrentiels élémentaires et des systèmes torrentiels composites. Cette distinction basée tout d'abord sur des paramètres morphométriques du bassin-versant se retrouve aussi en terme de type de charge sédimentaire disponible ou encore en terme de physionomie des lits. Les systèmes torrentiels élémentaires possèdent des lits étroits influencés par la faiblesse des écoulements contrairement aux lits des plus vastes torrents qui sont le plus souvent constitués de blocs émoussés formant parfois un pavage.

Au-delà des différences constatées au niveau des lits torrentiels, la distinction entre ces deux types de torrents se retrouve aussi en terme de morphologie des cônes de déjection. Les levés topométriques effectués sur les cônes de déjection montrent en effet que les trois morphotypes distincts présents dans la vallée de la Clarée sont largement influencés par les caractéristiques des bassins-versants torrentiels. Alors que les torrents associés aux bassins-versants les plus abrupts ($M_{bv} > 0,8$) ont souvent un cône de déjection de morphotype divagant ; les organismes torrentiels les plus grands et les moins pentus ($M_{bv} < 0,8$) concentrent l'ensemble des cônes de déjection de morphotype incisé (cf. 1.4.1.).

1.6. Conclusion de la première partie

L'étude des caractéristiques des torrents de la vallée de la Clarée menée dans cette première partie souligne les relations fortes qui unissent l'ensemble des éléments qui composent le système torrentiel. Ces paramètres interagissent à différents niveaux scalaires pour déterminer *in fine* le comportement dynamique des

torrents (fig. 30). Nous avons par exemple démontré que la morphométrie des bassins-versants –caractérisée entre autres par leur superficie et leur dénivelée spécifique– influe sur différents éléments du système torrentiel comme la morphologie du lit et du cône de déjection. En effet, c'est à la faveur d'un flux liquide régulier que les cônes de déjection incisés se sont mis en place dans certains systèmes torrentiels composites ; alors que les systèmes torrentiels élémentaires, où dominent les écoulements chargés, comportent des cônes de déjection de morphotype chenalisé ou divagant.

Ce constat renforce dès lors l'intérêt d'une étude des torrents à l'échelle du bassin-versant. Toutefois, certains paramètres morphométriques des cônes de déjection ne sont pas directement influencés par des paramètres endogènes au bassin-versant. Ainsi, la superficie des cônes de déjection illustre quant à elle l'influence du contexte topographique de la vallée principale (cf. 1.3.2.).

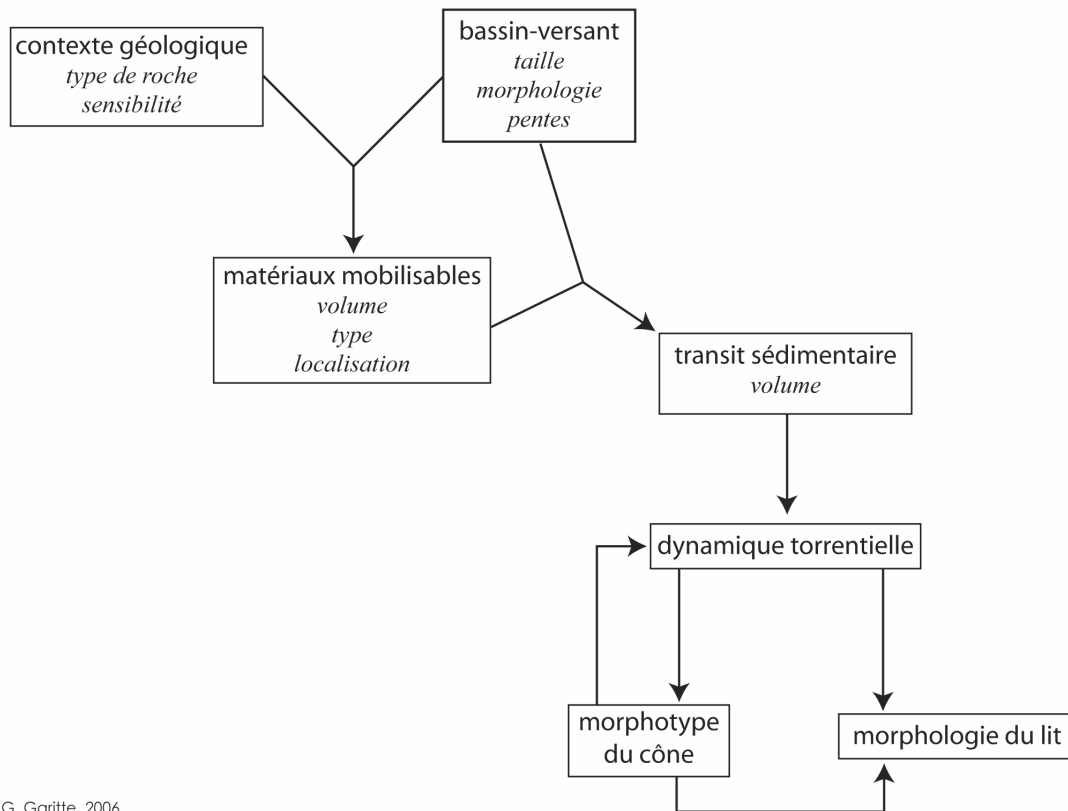


Figure 30 : les relations entre les différents éléments du système torrentiel
les flèches symbolisent les interactions entre les éléments du système torrentiel

Toutes ces observations tendent à réaffirmer l'influence primordiale des caractéristiques des bassins de réception (i.e. morphométrie, morphologie, contexte géologique) au sein des systèmes torrentiels. En d'autres termes, cela signifie que tous les changements qui affectent les bassins-versants se répercuteront sur le

comportement dynamique des différents éléments du système torrentiel situés à l'aval.

2. La sensibilité de la dynamique torrentielle aux fluctuations environnementales contemporaines

2.1. Introduction de la deuxième partie

Le fonctionnement d'un système torrentiel est largement influencé par son environnement. Le climat y joue un rôle central. La température, la quantité et la répartition saisonnière des précipitations influencent largement le développement de la végétation tant dans le type d'espèces que dans son extension et ce avec des conséquences importantes sur le transit sédimentaire sur les versants. Par ailleurs, le climat agit aussi sur l'intensité des processus morphogéniques qui interviennent dans la production et le transit sédimentaire sur les versants (Eybergen et Imeson, 1989). Or, l'environnement des systèmes torrentiels n'est pas statique, celui-ci a largement évolué à l'échelle de l'Holocène, mais aussi à des échelles de temps plus courtes comme depuis la fin du PAG. L'environnement des torrents peut aussi changer sous l'influence de l'Homme. Selon ses choix de mise en valeur du territoire, ce dernier peut par exemple modifier la couverture végétale (défrichement ou reboisement). En fait, les évolutions environnementales, en changeant le rapport entre flux sédimentaire et flux liquide, vont commander les modifications de la dynamique torrentielle. Ces changements sont particulièrement visibles au niveau des cônes de déjection qui ont connu une mutation de leur physionomie en réponse aux variations environnementales.

Le but de cette deuxième partie est de souligner l'importance des liens qui unissent le contexte environnemental et la dynamique torrentielle. Cette sensibilité des organismes torrentiels aux fluctuations environnementales post-PAG sera appréhendée à travers l'analyse de l'ajustement morphologique des torrents au niveau de leur cône de déjection. De plus, l'étude de l'évolution des différents éléments qui influencent la dynamique torrentielle et le transit sédimentaire va permettre de préciser la part respective des facteurs spontanés et anthropiques dans la modification de la morphologie des torrents depuis la fin du 19^{ème} siècle.

2.2. La mise en place des cônes de déjection

Les cônes de déjection torrentiels occupent aujourd'hui près de 50% de la surface du fond de vallée en aval de Névache. Ces formes de dépôts sédimentaires, liées à un ralentissement dynamique des écoulements torrentiels dans un secteur

moins pentu que constitue le fond de vallée, sont le fruit d'une longue évolution. Il n'existe pas de datation précise de ces dépôts pour la vallée de la Clarée²⁸, cependant, les études chronostratigraphiques menées dans les Alpes du sud (Jorda, 1980 ; Ballandras, 1997) ont permis de déterminer les grandes phases de la mise en place des cônes de déjection. Ces différentes phases d'accumulation et d'incision sont principalement déterminées par les conditions environnementales, et dans une moindre mesure, par l'impact anthropique sur le milieu. Les modèles du fonctionnement des bassins-versants torrentiels distinguent deux grandes périodes d'accumulation.

- Le Remblaiement Post-glaciaire Principal correspond au cycle morpho-sédimentaire responsable de la construction de la plupart des grands cônes de déjection alpins après la fonte des grands glaciers de vallée. Son extension dans le temps apparaît variable à travers les Alpes, mais il s'étend globalement de 11 000 à 5 000 BP (fig. 31) (Ballandras, 1997).
- Le Remblaiement Historique (1 300 à 1 900 AD) correspond à une crise morpho-sédimentaire d'origine anthropo-climatique (Ballandras, 1998). Cette crise, qui s'est traduite par une augmentation du transit sédimentaire dans les bassins-versants torrentiels, trouve son origine dans la conjugaison des effets de la péjoration climatique du PAG et des conséquences de la forte anthropisation du milieu.

En plus de souligner la complexité de la longue histoire de la mise en place des cônes de déjection actuels, ces études chronostratigraphiques démontrent aussi que la torrentialité n'a pas été constante à travers l'Holocène (Jorda et Provansal, 1996 ; Rousset et Guimar, 1999). En fonction de l'évolution des conditions climatiques et de l'anthropisation, le détritisme a connu d'importantes fluctuations. Et comme nous le verrons, cette sensibilité est aussi visible à des échelles de temps beaucoup plus courtes (cf. 2.3.).

Il faut aussi noter que les études chronostratigraphiques ont permis de mettre en évidence que, même au cœur de l'Optimum Climatique Holocène (8 000-5 000 BP dans sa définition la plus large) –période d'accalmie torrentielle à l'échelle des Alpes– certains torrents ont pu connaître des phases d'activité marquées. Ces périodes de réactivation sont par exemple visibles par la présence dans certaines coupes stratigraphiques étudiées dans les Alpes du sud, de dépôts à faciès torrentiels dont l'âge est compris entre 7 630 à 7 150 BP (Flez et Lahousse, 2004b).

²⁸ Plusieurs prélèvements ont été effectués en particulier sur des troncs d'arbres découverts dans le ravin de l'Enrouye à près de 2,5 m sous la surface actuelle du cône de déjection. Des datations radiocarbone pourraient permettre de préciser les phases de la mise en place des cônes de déjection dans la vallée de la Clarée.

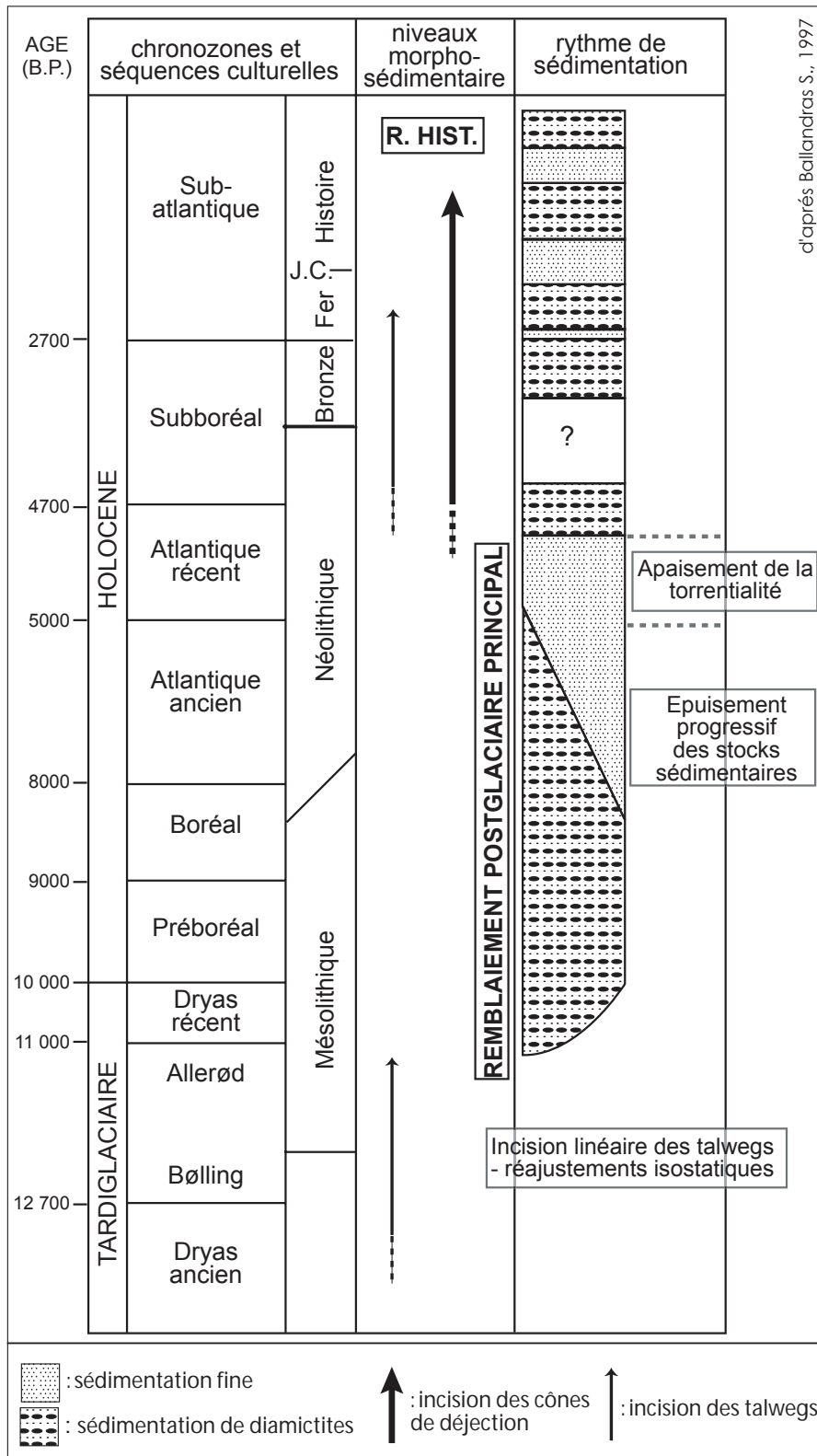


Figure 31 : fonctionnement post-glaciaire des bassins-versants torrentiels alpins (d'après Ballandras, 1997)

Les études chronostratigraphiques menées dans les Alpes du sud ont permis de dresser un modèle décrivant les grandes phases de l'édification des cônes de déjection à l'échelle régionale. Le fonctionnement post-glaciaire des bassins-versants torrentiels est marqué par une succession de différentes phases de sédimentation principalement contrôlées par les fluctuations climatiques. Cependant, cette sensibilité des organismes torrentiels aux variations environnementales, visible à l'échelle du l'Holocène, l'est aussi à des échelles temporelles beaucoup plus courtes.

2.3. L'ajustement morphologique des torrents : un indice de l'évolution de la torrentialité depuis le PAG

La morphologie des cours d'eau s'ajuste en fonction de différentes variables dont les principales correspondent aux flux liquides et solides (Schumm, 1977 ; Knigton, 1998). Il existe cependant d'autres paramètres influençant le comportement du cours d'eau comme la largeur ou la pente du lit. Le cours d'eau s'ajuste en permanence aux modifications de ces différentes variables : il est en équilibre dynamique. Ces concepts développés en hydraulique fluviale s'appliquent aussi à des cours d'eau à écoulement spasmodique comme les torrents. Ainsi La chenalisation –naturelle ou anthropique– des torrents sur leur cône de déjection en modifie le fonctionnement. Il existe donc une relation dynamique entre d'un côté le rapport flux liquides/flux solides et d'un autre côté le comportement du torrent. La largeur de la bande active torrentielle et ses changements sont le fruit de cet équilibre en constante évolution.

2.3.1. L'observation des changements environnementaux et les mesures de l'évolution des bandes actives torrentielles

2.3.1.1. La définition de la bande active des torrents

Le volume de sédiments transportés par les cours d'eau est influencé par les modifications climatiques et les modes d'utilisation du sol (Walling, 1999 ; Owens et Walling, 2002). Dans les milieux de montagne, de très nombreux travaux ont étudié

l'évolution de la morphologie des cours d'eau et mis en évidence l'incision et la rétraction de leurs bandes actives au cours du 20^{ème} siècle : dans les rivières de piémont (Bravard, 1994 ; Friedman *et al.*, 1996 ; Friedman *et al.*, 1996 ; Bravard *et al.*, 1997 et 1999 ; Rinaldi, 2003 ; Wyżga, 2001 ; Bravard, 2002 ; Grams et Schmidt, 2002 ; Lach et Wyżga, 2002) et les torrents de moyenne montagne (Kondolf *et al.*, 2002 ; Liébault et Piégay, 2001 et 2002 ; Descroix et Gautier, 2002 ; Piégay *et al.* 2004). Cependant, il n'existe que peu d'études concernant spécifiquement les organismes torrentiels de montagne (Thevenet *et al.*, 2003 ; Flez et Garitte, 2006).

La bande active des cours d'eau est considérée comme l'emprise des chenaux et des bancs de galets non végétalisés. Or, compte tenu de la dynamique particulière des organismes torrentiels de montagne, caractérisée par un écoulement spasmodique, la notion de bande active torrentielle diffère légèrement de celle employée pour les rivières. La bande active torrentielle correspond aux secteurs non végétalisés empruntés récemment par le torrent et peut inclure des dépôts de crues torrentielles. La bande active torrentielle est donc susceptible d'évoluer très rapidement à la faveur d'une seule crue.

2.3.1.2. L'évolution des cônes de déjection à travers l'analyse diachronique de documents iconographiques

Encadré 3 : l'analyse diachronique de documents iconographiques

Parmi les moyens permettant d'avoir une vision de l'évolution contemporaine des cônes de déjection torrentiels, l'utilisation de documents iconographiques anciens est parmi les plus efficaces. La principale source de documents anciens est constituée par le fonds photographique des archives du service RTM des Hautes-Alpes, lesquelles sont peu à peu versées aux Archives Départementales. Cette collection très riche a été composée dès la fin du 19^{ème} siècle dans le but de démontrer l'efficacité des actions RTM. En effet, très tôt, les instances des services des Eaux et Forêts ont compris l'intérêt de la photographie et, de fait, l'instruction sur l'Application de la photographie aux travaux de reboisement, rédigée en 1886, précise que chaque projet doit comprendre « une ou plusieurs vues destinées à établir d'une manière satisfaisante l'utilité publique des travaux projetés (habitations disloquées par les glissements, hameaux, villages menacés par les torrents...) » (Demontzey P. cité par Lebart, 1997). Mais si ces photographies

manquent certainement d'objectivité dans le choix de la prise de vue (Brochot, 2004), elles gardent néanmoins tout leur intérêt dans le cadre d'une analyse diachronique (De Crecy, 1988 ; Richefort, 1988 ; Garitte et Lahousse, 2002). Par ailleurs, plusieurs aquarelles représentant des panoramas sont archivées au Centre National d'Aguerissement en Montagne installait dans la garnison de l'ancien 159^{ème} Régiment d'Infanterie de Montagne à Briançon. Ces aquarelles très précises n'ont aucune prétention artistique et correspondent en fait à des documents de travail destinés au réglage des batteries de canons par les officiers d'artillerie afin d'interdire aux italiens l'accès aux différents cols de la vallée. Ces aquarelles offrant un aperçu des paysages vers 1895 sont très utiles pour déterminer l'évolution des torrents et de leur environnement depuis plus d'un siècle.

La principale limite de cette méthode d'analyse diachronique de documents iconographiques réside dans la difficulté à retrouver le même angle de vue et à utiliser une focale proche du document d'origine. En effet, compte tenu du développement de la végétation, en particulier sur certains cônes de déjection, il est parfois impossible de prendre une photographie offrant le même panorama.

Si la grande majorité des torrents de la vallée ont connu un ajustement morphologique sensible depuis la fin du 19^{ème} siècle, il faut néanmoins constater que seule une partie des organismes torrentiels étudiés ont connu une réelle rétraction de leur bande active. Il est en effet nécessaire que le torrent possède une bande active bien marquée sur son cône de déjection pour que l'on puisse en suivre l'évolution, ce qui n'est pas le cas de l'ensemble des torrents étudiés. En effet, contrairement aux systèmes torrentiels de moyenne montagne et de piémont analysés par d'autres auteurs, l'originalité des torrents de la vallée de la Clarée réside dans le fait que plusieurs organismes ne confluent pas directement avec la rivière principale. Ces torrents ne possèdent pas de lit réellement marqué mais ils divaguent sur leur cône de déjection au gré des crues successives (cf. 1.4.3.). Cependant, si l'on ne peut observer de véritable contraction de la bande active sur ces torrents, il est néanmoins possible de suivre les variations des axes empruntés par les coulées successives. Par exemple, sur le cône de déjection du Ravin des Sables, l'identification de plusieurs générations de bourrelets torrentiels et leur datation par dendrochronologie a permis de préciser les grandes périodes d'activité torrentielle (fig. 32). Il apparaît ainsi que ce torrent s'est avéré particulièrement actif à la fin du PAG. Les traces de laves torrentielles remontant à cette époque se révèlent plus nombreuses et plus étendues puisque la plupart atteignaient le fond de vallée et l'actuelle RD 994g. Dans ce cas précis, l'ajustement morphologique aux changements environnementaux correspond plus à une évolution spatiale des secteurs touchés par les crues qu'à une contraction de la bande active torrentielle.

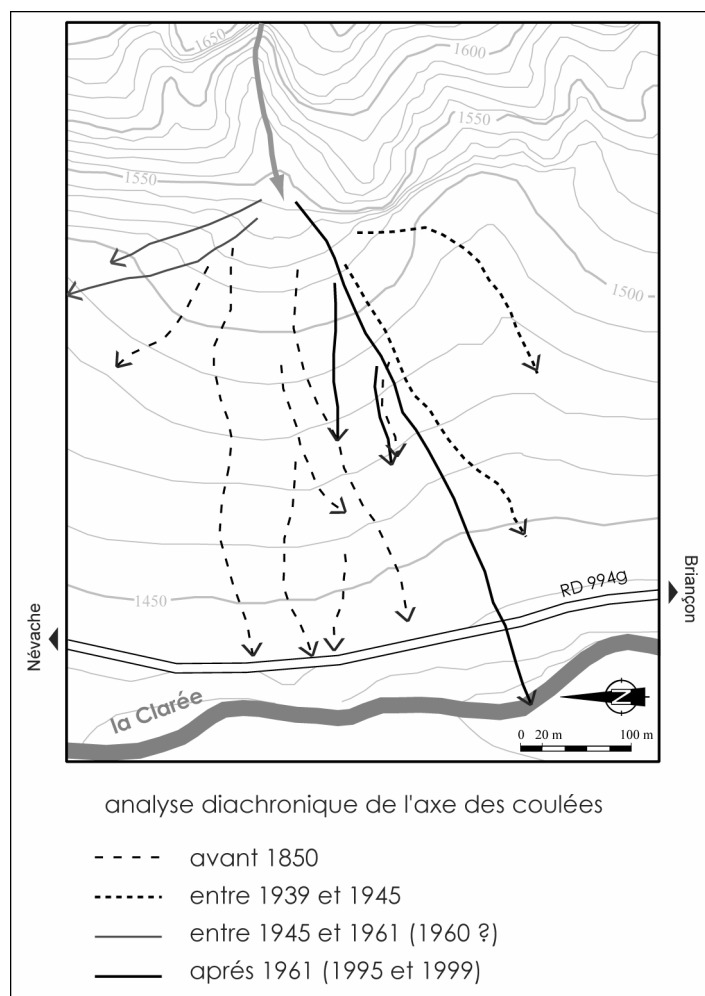


Figure 32 : évolution de l'axe des coulées sur le cône de déjection du Ravin des Sables (modifié de Lahousse et Romelé, 2000)

D'autres organismes torrentiels de la vallée de la Clarée, comme le torrent de Malefosse, ont été endigués de longue date, ce qui limite de fait l'évolution de la bande active et empêche de tirer la moindre conclusion des observations et mesures faites sur son cône de déjection (fig. 33). Le fait que certains torrents aient fait l'objet d'une correction torrentielle précoce peut aussi être interprété comme le signe d'une certaine activité ou, tout au moins, le signe que ces torrents étaient perçus comme une menace pour les enjeux situés sur leur cône de déjection.

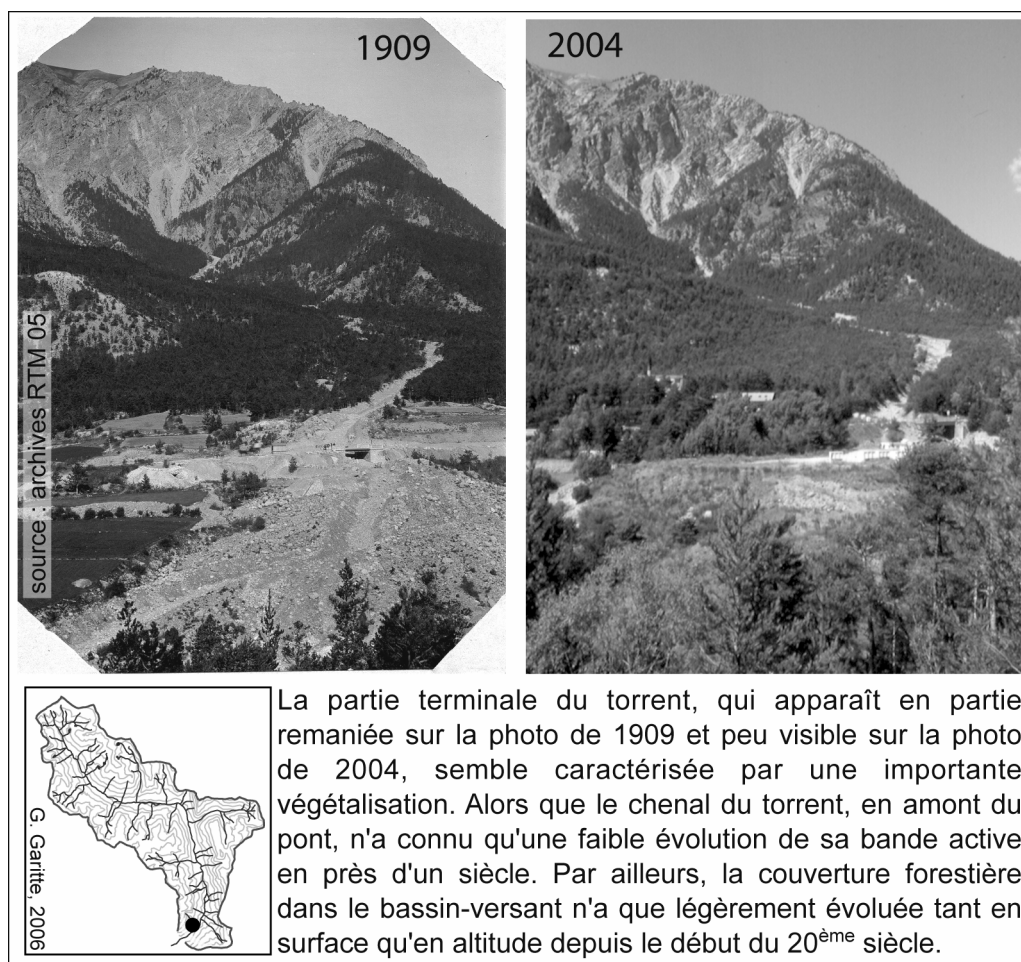


Figure 33 : le torrent de Malefosse, aperçu diachronique du cône de déjection

Sur d'autres organismes, l'analyse diachronique de documents iconographiques a permis de mettre en évidence la colonisation forestière spontanée des anciennes zones d'emprise torrentielle. Désormais, sur les cônes de déjection faisant toujours l'objet d'une exploitation agricole, les bandes actives du 19^{ème} siècle apparaissent sous la forme d'une zone boisée. Cette biométamorphose, constatée par ailleurs sur certaines rivières des Alpes du sud (Piégay *et al.*, 2003), est bien visible sur le cône de déjection du torrent des Gamattes (fig. 34). Le profil en travers du cône de déjection levé au tachéomètre²⁹, sur lequel a été reporté l'âge des arbres les plus vieux (estimé grâce à des prélèvements à la sonde de Pressler), prouve que la végétation forestière –dont les plus vieux individus datent de la fin du 19^{ème} siècle– s'est effectivement implantée sur des dépôts torrentiels caractéristiques (bourelets torrentiels, dépôts hétérométriques sans organisation...). L'accalmie de l'activité torrentielle n'a donc pas été suivie d'une reconquête par l'agriculture des terrains alors disponibles, mais on constate l'installation sur les anciennes surfaces torrentielles actives d'une végétation forestière. Le fait que ces secteurs n'aient pas

²⁹ Cf. Annexes : Notes méthodologique sur l'utilisation de la topométrie dans l'étude des torrents.

été réappropriés par l'activité agricole est vraisemblablement la résultante de la méfiance de la population locale conjuguée aux effets de la déprise agricole qui a fait baisser la demande de terres cultivables en fond de vallée.

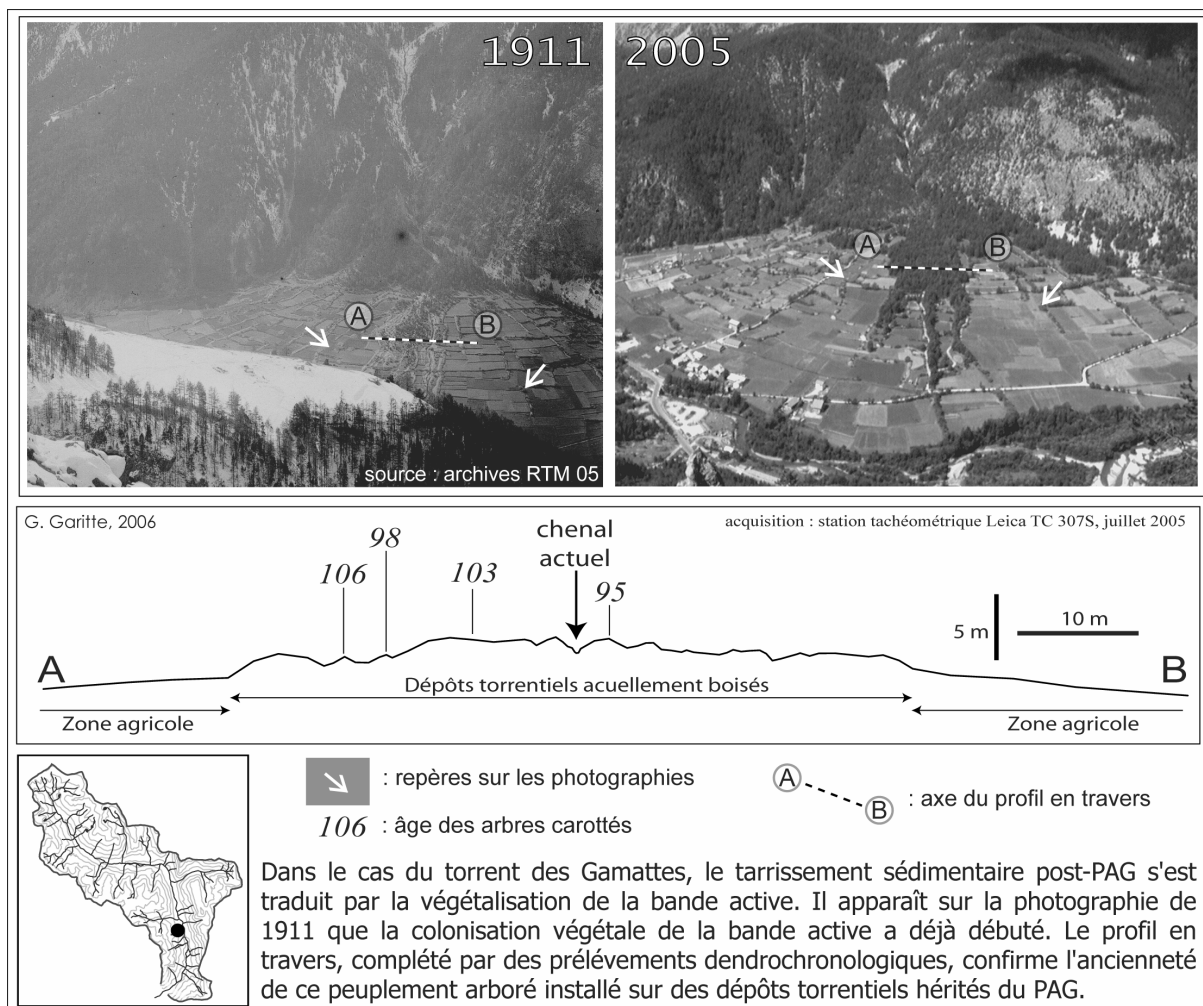


Figure 34 : aperçu diachronique du cône de déjection du torrent des Gamattes

Dans le cas du torrent de Roubion (fig. 35), si la bande active a effectivement évolué, seul un petit secteur de la partie supérieure du cône de déjection a connu une véritable colonisation forestière. En effet, la bande active a vu son extension limitée par l'encaissement du torrent dans le cône de déjection, les zones libérées de l'emprise torrentielle se sont donc bornées à quelques secteurs de divagation du torrent déjà abandonnés au début du 20^{ème} siècle.

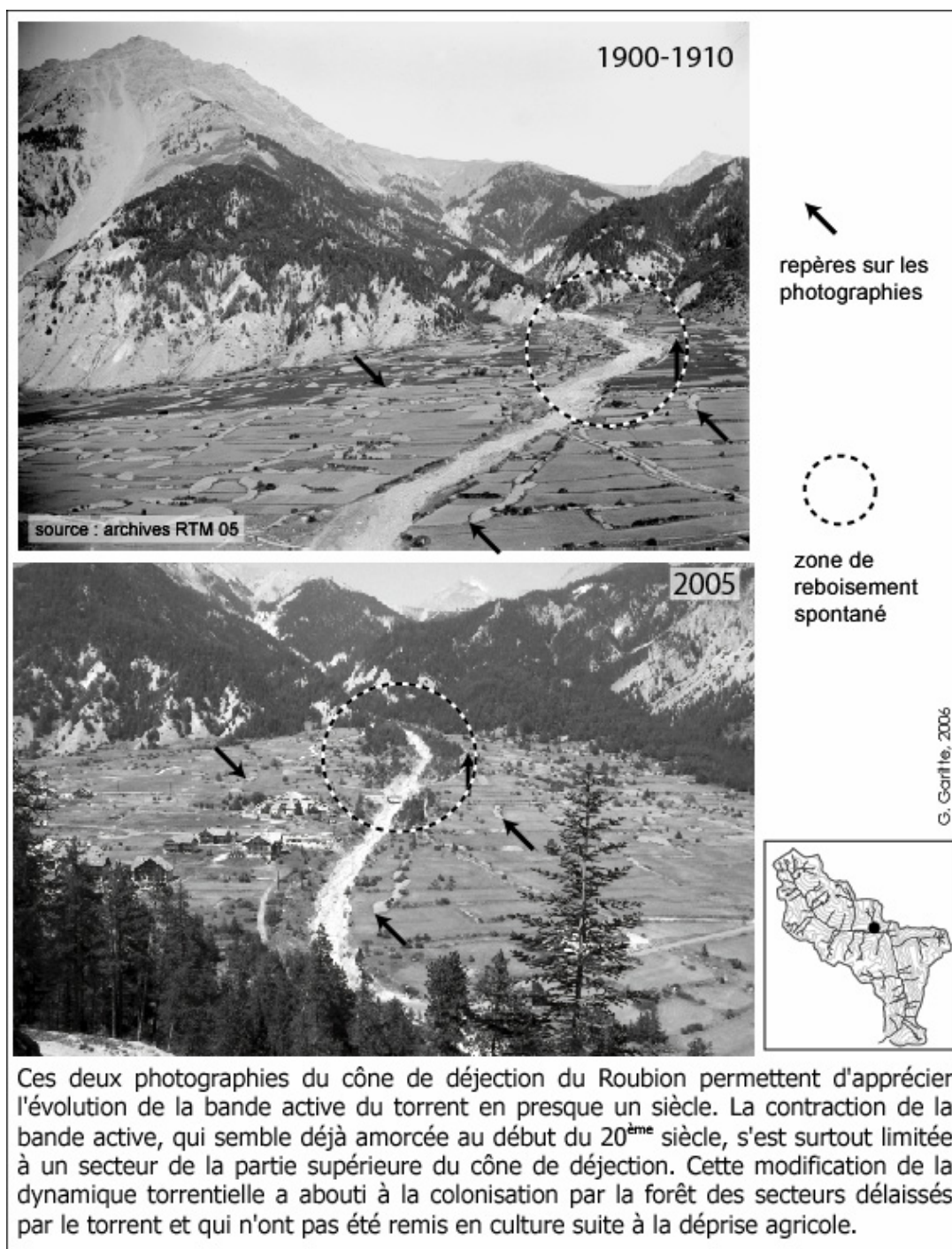


Figure 35 : le torrent de Roubion, aperçu diachronique de l'évolution du cône de déjection

Les photographies anciennes du service RTM ne permettent pas de quantifier précisément le phénomène de rétraction des bandes actives torrentielles. Cette analyse diachronique de photographies laisse néanmoins apparaître la diversité de situations au sein d'une entité géographique de taille réduite, limitant l'opportunité de généraliser les observations concernant l'évolution de la dynamique torrentielle à l'ensemble des torrents de la vallée de la Clarée

2.3.1.3. La méthode de mesure de l'évolution des bandes actives torrentielles

Encadré 4 : la mesure de l'évolution des bandes actives torrentielles

Afin de mesurer l'évolution récente de la bande active des torrents, nous avons utilisé différents extraits de photographies aériennes. Ces clichés se révèlent très précieux pour déterminer l'évolution des torrents mais aussi les différents éléments interagissant avec les systèmes torrentiels : couverture végétale, emprise des aménagements anthropiques... Dans la vallée de la Clarée, les photographies aériennes, provenant principalement de l'I.G.N. mais aussi de l'I.F.N. ou de missions commandées par la D.D.E., couvrent toute la période depuis le milieu du 20^{ème} siècle (1939, 1945, 1952, 1961, 1971, 1981, 1986, 1989, 1991, 1995, 1999, 2000, 2003), et si l'ensemble de ces photographies ne concerne pas tous les torrents étudiés, leur grand nombre permet d'avoir une vision assez nette de l'évolution des torrents et de leur environnement.

Pour apprécier l'évolution des torrents sur leur cône de déjection avec une plus grande exactitude et surtout pour éliminer les déformations inhérentes à la photographie aérienne, plusieurs clichés ont fait l'objet d'un recalage géométrique et d'un géoréférencement³⁰. Une fois les secteurs comprenant les cônes de déjection numérisés à haute définition (résolution de 600 ppp), au moins quinze points de contrôle (amers) ont été sélectionnés au niveau des cônes de déjection afin de les recalibrer géométriquement avec un maximum de précision à l'aide du logiciel ER Mapper (ER Mapper 6.4[©], 1988-2003 Earth Resource Mapping Ltd). La méthode utilisée est celle de la triangulation qui réduit au mieux les distorsions locales entre les points d'amers. On obtient alors une photographie redressée de grande précision puisque la taille du pixel varie entre 46 et 118 cm selon l'échelle de la photographie aérienne d'origine. Ces extraits de photographies ont aussi été géoréférencés en prenant comme référence une orthophotographie de l'IGN (BD Ortho[®], 2003), cela permet de les exploiter sous un logiciel de système d'information géographique (MapInfo 7.5[©], 1985-2003 MapInfo Corporation). La fiabilité de cette méthode a été vérifiée en effectuant une comparaison entre des distances mesurées in situ à l'aide d'un

³⁰ Voir annexes : Note méthodologique sur la mesure de l'évolution des bandes actives torrentielles

tachéomètre infrarouge et les distances mesurées sur une photographie aérienne recalée (fig. 36 et tableau 5).



Figure 36 : points de contrôle mesurés pour vérifier la fiabilité du recalage géométrique

Points de contrôle	Distance mesurée sur le terrain (m)	Distance mesurée sur la photographie (m)	Erreur (%)
1	114,8	112,3	-2,18
2	77,7	78,7	1,29
3	33,5	34,5	2,99
4	202,7	189,6	-6,46
5	390,5	388,2	-0,59
moyenne			-0,99
écart type			3,62

*Tableau 5 : évaluation de la fiabilité du recalage géométrique
Comparaison entre les distances mesurées sur la photographie aérienne recalée et les distances mesurées in situ*

La largeur des bandes actives a été ensuite mesurée en utilisant le logiciel MapInfo®, au moyen d'une série de profils en travers dressés régulièrement sur le chenal du torrent. La marge d'erreur des mesures a pu être estimée à environ +/- 3 mètres. Cette marge d'erreur est due, d'une part à la résolution du document numérisé (une divagation de mesure d'un pixel induit une erreur comprise entre 50 et 120 cm selon les

photographies) et d'autre part, à la difficulté de déterminer avec précision la limite de la bande active, puisque celle-ci est parfois dissimulée par la végétation ou par son ombre portée.

Pour supprimer l'effet d'échelle entre les différents torrents, les résultats de ces mesures ont ensuite été convertis en indice en considérant comme base 100 la largeur moyenne de la bande active à la date de la plus ancienne photographie disponible (1939, 1945). La chronologie de la rétraction est représentée sous forme de boîtes à moustaches.

Encadré 5 : la méthode de lecture des boîtes à moustaches

Les boîtes à moustaches³¹ sont des représentations graphiques qui permettent d'appréhender la distribution d'une série statistique.

Elles sont constituées d'un rectangle gris qui correspond à l'écart interquartile (Q1 et Q3) et d'une barre verticale qui correspond à l'écart interdécile (D1 et D9) (fig. 37).

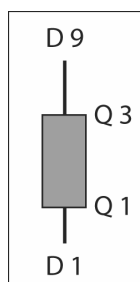
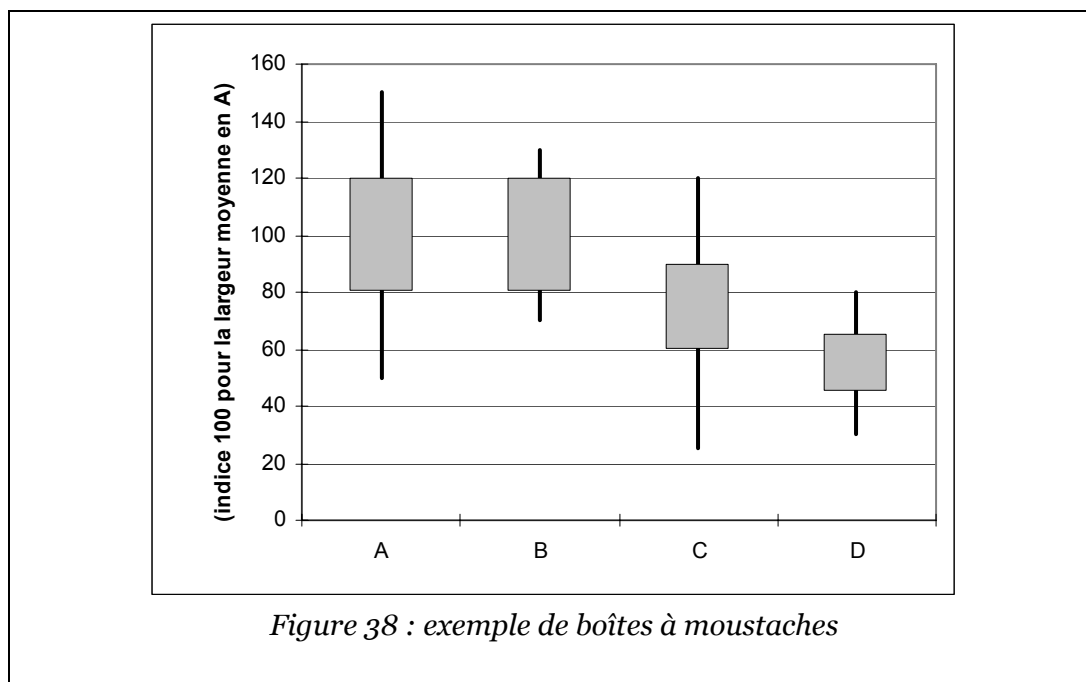


Figure 37: un exemple de boîte à moustaches

Cette représentation sous forme de boîte à moustaches permet de représenter l'évolution chronologique d'une série statistique mais aussi de connaître les changements touchant à la distribution de cette série.

Ainsi, dans la figure suivante (fig. 38), qui présente un exemple schématique, entre A et B on observe peu d'évolution dans la valeur médiane de la série, mais plutôt une réduction de la dispersion de la série. Entre B et C, la valeur médiane de la série baisse et sa distribution est devenue très dispersée. Enfin, entre C et D, les valeurs de la série statistique connaissent une baisse et sa distribution se resserre autour de la valeur médiane.

³¹ L'expression « boîte à moustaches » est la traduction de « *box and whiskers plot* ». Il s'agit d'une représentation graphique de la distribution d'une série statistique mise au point par l'américain J.W. Tukey (voir : <http://www.sfds.asso.fr/groupe/statvotre/Boite-a-moustaches.pdf> ; consulté le 20/04/06)



2.3.2. La diversité des modes de rétraction des bandes actives torrentielles sur les cônes de déjection de la vallée de la Clarée

Parmi l'ensemble des torrents de la vallée de la Clarée, trois organismes ont fait l'objet d'une étude approfondie. Si le nombre limité d'observations ne permet pas d'en faire une analyse statistique fiable, les mesures effectuées soulignent néanmoins la diversité des modalités de rétraction des bandes actives torrentielles au sein d'une vallée de taille réduite comme celle de la Clarée (environ 200 km²).

2.3.2.1. L'ajustement morphologique du torrent des Ruines

Le torrent des Ruines, qui se situe dans la partie inférieure de la vallée de la Clarée, draine un bassin-versant de taille réduite (S_{bv} : 1,26 km² ; A_{max} : 2565 m ; A_{con} : 1357 m) et ne possède pas d'écoulement permanent.

Les modalités de la rétraction de sa bande active laissent apparaître une très rapide évolution entre 1939 et 1952 puisque qu'en seulement 13 ans sa largeur moyenne s'est réduite de 56% (fig. 39 C). Entre 1952 et 1961, la bande active subit encore une rétraction mais celle-ci n'est pas homogène sur l'ensemble de sa longueur. Les crues qu'a connu le torrent en juillet 1956 et en juin 1960 conjuguées au fait que l'ancienne bande active s'est progressivement reboisée de l'amont vers l'aval, peuvent expliquer la très forte différence que l'on observe entre les quartiles

pour l'année 1961. A partir de 1971, la bande active disparaît presque complètement et, la végétation se développant de plus en plus, les crues sont désormais en partie peignées par la forêt.

Si on se focalise sur l'évolution longitudinale de la bande active sur le cône de déjection, on retrouve une nette distinction entre les profils amont et les profils aval (fig. 39 B). Les profils de la partie amont du cône de déjection (E, F, G) ont connu une rapide évolution entre 1939 et 1952 et la rétraction se poursuit jusqu'en 1961 pour n'atteindre plus que 10% de la largeur moyenne de 1939. La rétraction des profils intermédiaires (B, C, D) est légèrement décalée dans le temps, ce secteur atteint une largeur proche de l'état actuel dès 1971, et seul le profil le plus à l'aval possède alors une largeur de l'ordre de 40% de la largeur moyenne en 1939. En 1999, la bande active a quasiment disparu : elle a été divisée par 10 en 60 ans. Aujourd'hui, la végétation occupe désormais la quasi-totalité de la bande active du milieu du 20^{ème} siècle.

Ces observations apparaissent comme le signe d'un tarissement progressif de la charge sédimentaire au niveau du cône de déjection. Alors que la végétalisation progressive des versants tend à limiter la charge sédimentaire disponible, la bande active torrentielle connaît une rétraction d'amont vers l'aval vraisemblablement en fonction du transit de la charge sédimentaire présente sur le cône de déjection.

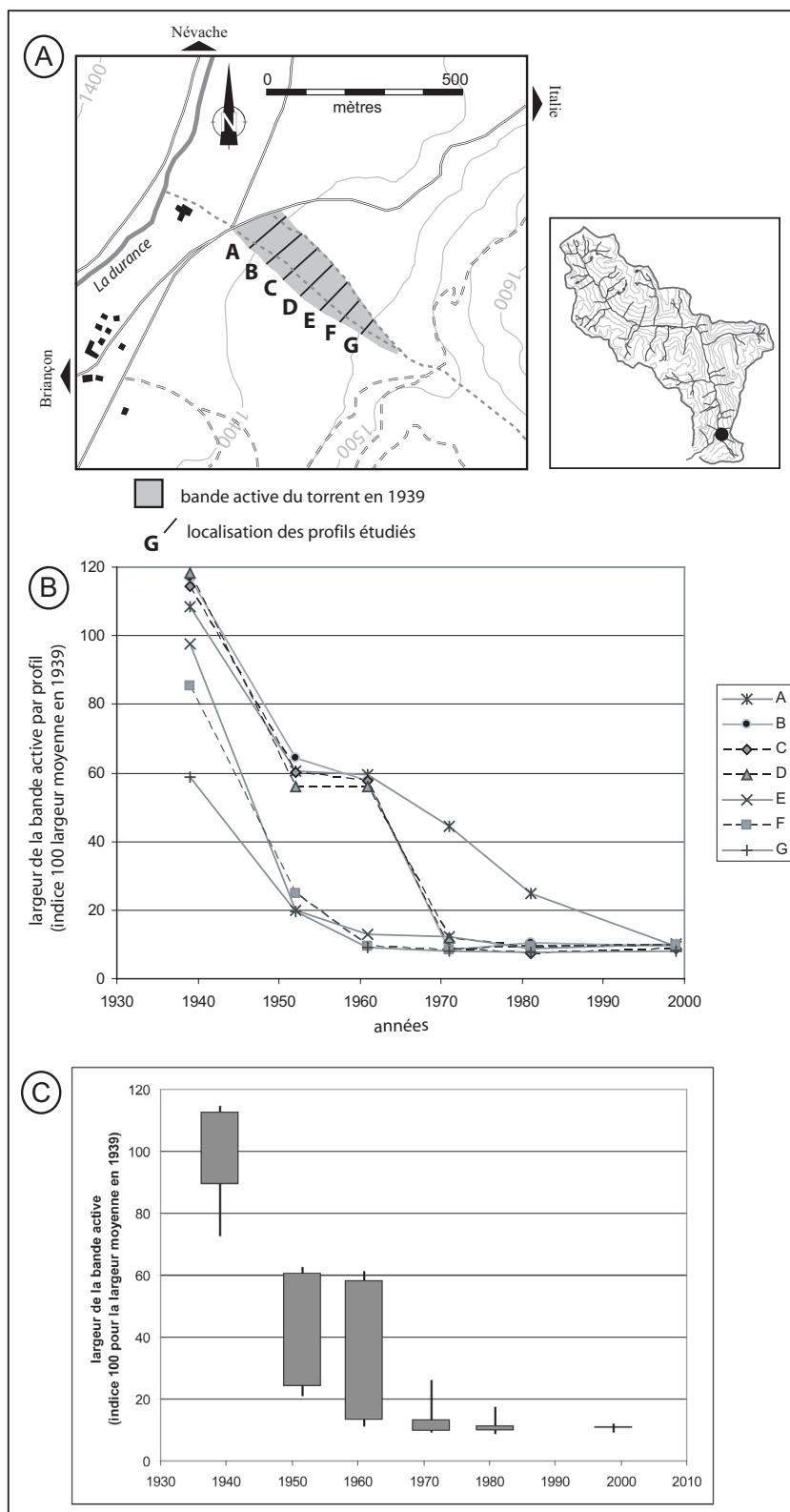


Figure 39 : évolution de la bande active du torrent des Ruines
 A : localisation des profils étudiés,
 B : évolution de la largeur de la bande active (par profil)
 C : évolution de la largeur de la bande active (boîtes à moustaches)

2.3.2.2. *L'ajustement morphologique du torrent des Acles*

Le torrent des Acles, se situe sur la commune de Névache au niveau du hameau de Plampinet. Ce système torrentiel composite qui est associé à un vaste bassin-versant à l'échelle de la vallée de la Clarée (S_{bv} : 21,37 km² ; A_{max} : 3056 m ; A_{con} : 1472 m), connaît un écoulement au moins saisonnier.

L'étude de l'évolution de la bande active du torrent à partir des photographies aériennes montre une contraction sensible puisqu'elle représente aujourd'hui en moyenne un tiers de celle observée en 1939 (fig. 40). Tout comme pour le torrent des Ruines, la rétraction de la bande active du torrent des Acles s'est faite par la contraction successive de différents secteurs. Cela se traduit graphiquement par la dispersion des largeurs de la bande active le long du chenal jusqu'en 1981, date à laquelle la bande active se régularise peu à peu pour ne plus atteindre, en 2000, qu'environ 30% de la largeur de 1939.

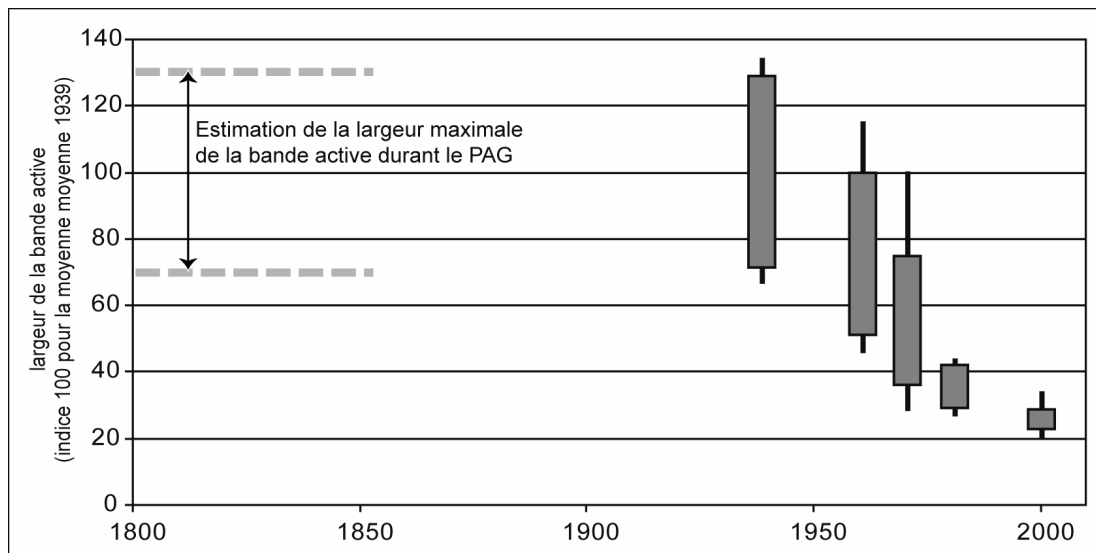


Figure 40 : mesures de l'ajustement morphologique du torrent des Acles

Par ailleurs, l'aquarelle militaire de 1895 et les relevés géomorphologiques effectués le long de profils transversaux levés au tachéomètre attestent de la stabilité de la bande active jusqu'en 1939. En effet, elle occupait à l'époque pratiquement l'intégralité de l'incision dans le cône de déjection correspondant à la largeur maximale de la bande active durant le PAG (fig. 41).

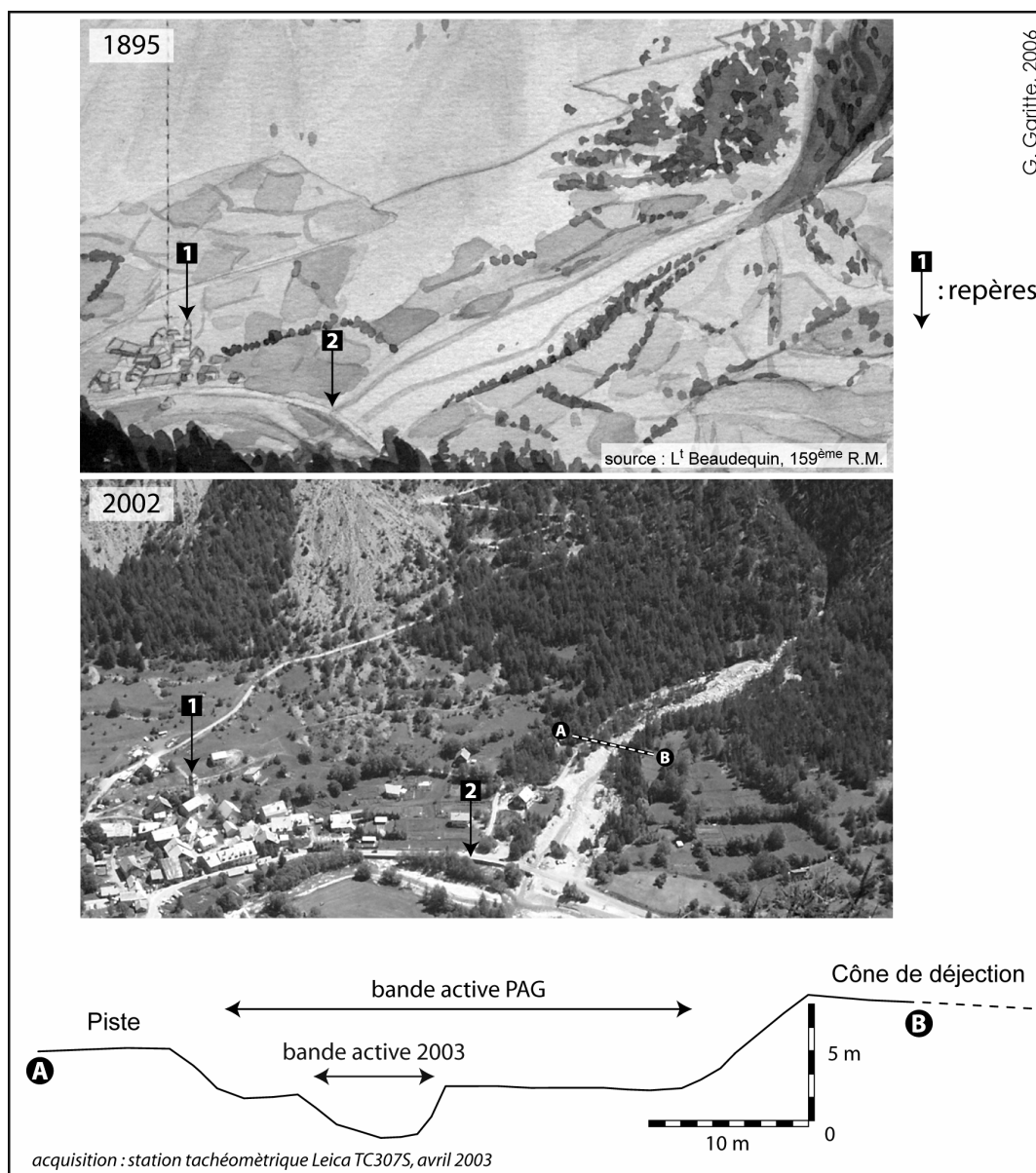


Figure 41 : l'évolution de la bande active du torrent des Acles

2.3.2.3. L'ajustement morphologique du torrent de Roubion

Le torrent de Roubion draine un bassin-versant de taille moyenne pour la vallée de la Clarée (S_{bv} : 5,09 km² ; A_{max} : 2686 m ; A_{con} : 1577 m) et connaît un écoulement au moins saisonnier.

Contrairement à ce qui a été mesuré sur les torrents des Acles et des Ruines, la bande active de ce torrent ne semble pas avoir connu de forte évolution depuis le

milieu du 20^{ème} siècle (fig. 42). En effet, avant la chenalisation artificielle du torrent par la construction de digues en 1974, la bande active n'a évolué que de façon limitée. Mais si on n'observe pas de véritable rétraction, on note néanmoins une légère tendance à la régularisation de la bande active : la valeur des quartiles se resserre entre 1945 et 1971.

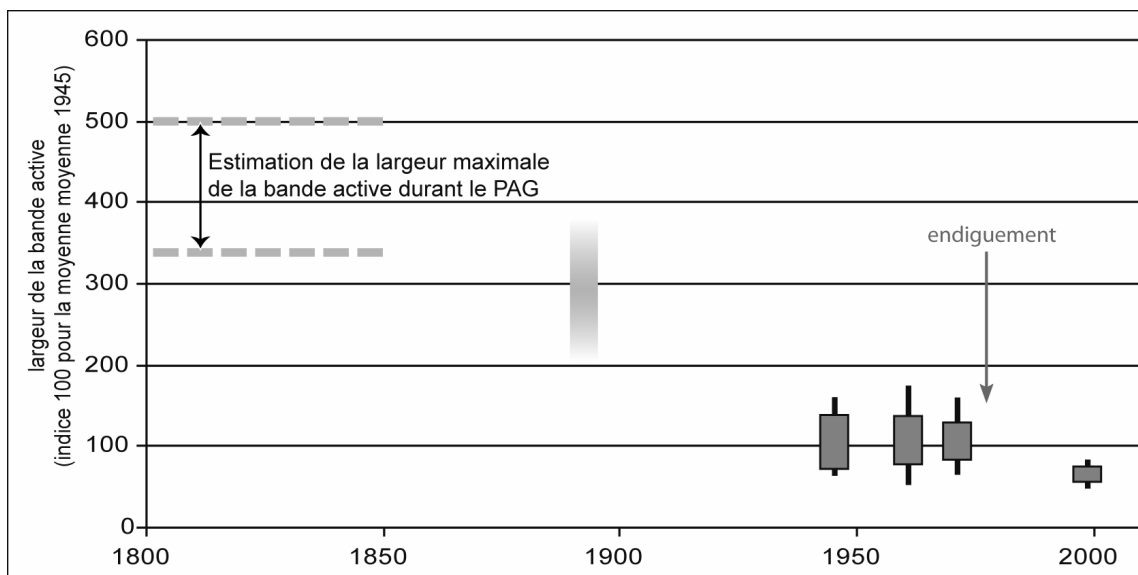


Figure 42 : évolution de la bande active du torrent de Roubion
 L'estimation de la largeur de la bande active durant le PAG est tirée des mesures topométriques levées *in situ*.
 La largeur de la bande active à la fin du 19^{ème} siècle est estimée à partir de l'aquarelle de 1895 (fig. 43)

Pourtant, dans le cas présent, les boîtes à moustaches sont peu représentatives de l'évolution réelle de la bande active du torrent de Roubion. En effet, l'indice 100 en 1945 correspond à une bande active déjà fortement en retrait par rapport à son extension maximale au 19^{ème} siècle. La figure 43 permet une analyse diachronique du cône de déjection du torrent de Roubion entre 1895 et 2002. La photographie de 2003 a été effectuée depuis le même point de vue que le document de 1895, le fort de l'Olive qui domine la vallée de la Clarée à 2239 m d'altitude.

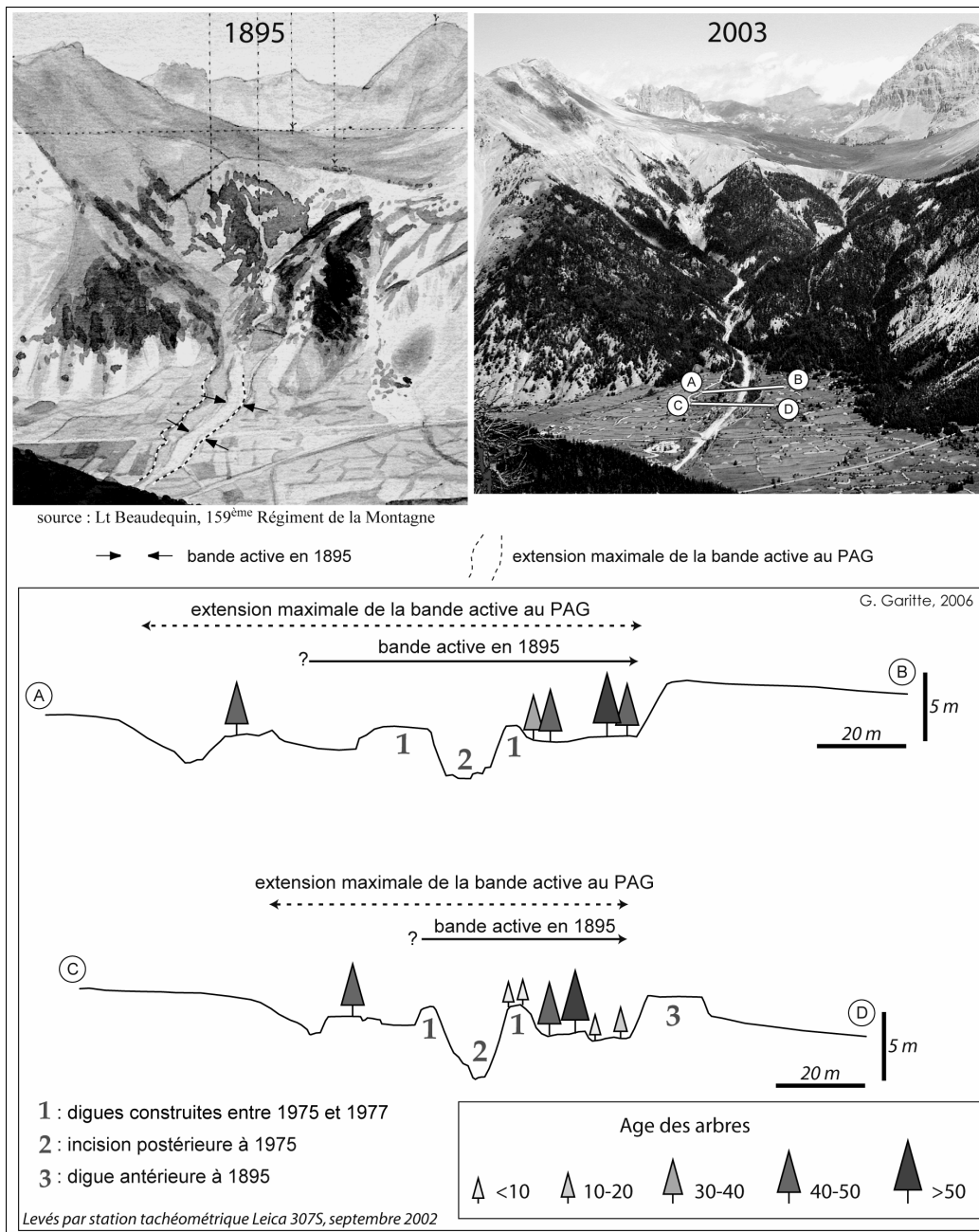


Figure 43 : la rétraction de la bande active du torrent de Roubion

Tout d'abord, l'analyse diachronique du bassin du torrent de Roubion permet de constater l'importance de la progression de la végétation sur les versants³². En ce qui concerne l'évolution du torrent, il apparaît sur l'aquarelle de la fin du 19^{ème} siècle que la bande active était sensiblement plus large que celle de 2003, mais surtout, on remarque qu'en 1895 le torrent n'occupait déjà plus qu'une partie de la large

³² Le thème de l'évolution de la couverture forestière dans la vallée de la Clarée sera abordé dans le chapitre suivant intitulé : *L'évolution des facteurs naturels et anthropiques influençant l'ajustement morphologique des torrents depuis le PAG*

incision dans le cône de déjection qui correspond selon toute vraisemblance à la bande active durant la péjoration climatique du PAG (fig. 43). Cela signifie que la rétraction du torrent de Roubion s'est engagée de façon précoce. Cette précocité du phénomène d'ajustement morphologique aux modifications environnementales a déjà été observée dans d'autres régions des Alpes françaises. Mais, à la différence des cours d'eau de la Drôme où « les résultats obtenus montrent que la rétraction post-1950 n'est que l'accélération d'un phénomène d'ampleur séculaire » (Liébault, 2003), l'état de la bande active du Roubion semble démontrer que, dès 1945, le torrent était parvenu à un nouvel état d'équilibre. En effet, de 1945 à 1971, la bande active ne se rétracte pas de façon sensible mais évolue au gré des crues (fig. 42).

2.3.2.4. Le cas particulier du torrent de Granon

Quand on observe l'ensemble des torrents de la vallée de la Clarée, il apparaît que certains organismes ne possédaient pas de bande active clairement définie au milieu du 20^{ème} siècle, date des premières photographies aériennes disponibles. Parmi ces torrents, certains ne connaissent pas d'écoulement régulier et ne possèdent pas de véritable chenal, ce qui peut aisément expliquer l'absence de bande active nette ; cependant, d'autres organismes ont des caractéristiques morphométriques proches de celles des torrents qui ont connu une forte rétraction de leur bande active. Ainsi le torrent de Granon, qui est pourtant associé à un bassin-versant d'une surface moyenne à l'échelle de la vallée (S_{bv} : 12,89 km² ; A_{max} : 2882 m ; A_{con} : 1409 m), ne possédait pas de réelle bande active sur son cône de déjection en 1939 (fig. 44).

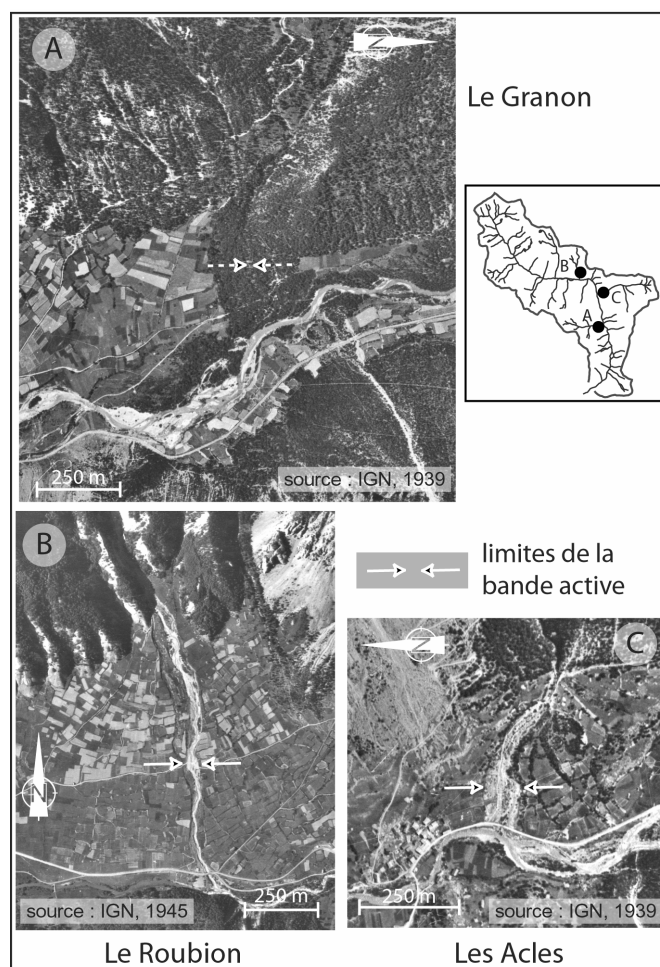


Figure 44 : vues aériennes des bandes actives torrentielles en 1939-1945

Sans remettre en cause les effets de la péjoration climatique du PAG sur la dynamique torrentielle, qui ont conduit à la mise en place de larges bandes actives sur la plupart des torrents des Alpes, ce constat démontre la complexité du phénomène torrentiel en particulier lorsque l'on l'étudie à l'échelle du bassin-versant.

L'empreinte des systèmes torrentiels dans le paysage de la vallée de la Clarée a largement évolué depuis la fin du 19^{ème} siècle. Dans un premier temps, l'analyse diachronique de documents iconographiques permet de constater que, sur la plupart des torrents étudiés, la bande active s'est contractée.

Dans un second temps, cet ajustement morphologique a été précisément quantifié sur certains des torrents de la vallée. Cette approche géo-historique

souligne le manque de synchronisme dans l'ajustement morphologique des 3 torrents analysés. Si dans le cas des torrents des Acles et des Ruines les bandes actives actuelles occupent environ un quart de leur largeur au milieu du 20^{ème} siècle, le torrent de Roubion a connu un ajustement morphologique très précoce puisque déjà engagé à la fin du 19^{ème} siècle.

2.4. L'évolution des facteurs naturels et anthropiques influençant l'ajustement morphologique des torrents depuis le PAG

2.4.1. La perception de la torrentialité à la fin du PAG

2.4.1.1. La toponymie et les témoignages directs

La toponymie, et plus particulièrement l'hydronymie qui concerne spécifiquement les noms de cours d'eau, se sont mises en place au cours des siècles pour se fixer au 18^{ème} siècle. Elles offrent une première esquisse de la perception du milieu physique par les populations locales. Ainsi, le nom de certains cours d'eau de la vallée de la Clarée reflète plus ou moins la dynamique perçue de ces organismes. Il en va ainsi de la Durance dont le nom romain *Durentia*, tiré du latin *dubro*, signifie « eaux courantes ». De même, le nom de la rivière Clarée se réfère manifestement à la transparence et à la pureté de ces eaux, il apparaît dès 1744 sous la forme *Claire* ou *Clairée*, sur la première carte de Cassini. Le nom des torrents est lui plus riche d'enseignements sur la véracité du phénomène torrentiel dans la vallée de la Clarée et sur la perception qu'en avaient les populations autochtones. Pour exemples, en ne citant que les noms les plus explicites, le torrent de Malefosse (voir la fig. 8 pour la localisation des torrents) dont le nom signifie « mauvais ruisseau », le torrent de Roubion qui tire son nom d'un mot provençal qui correspond à « rageur », ou encore le nom des torrents des Ruines et de la Ruine, sont autant d'exemples qui montrent que les torrents ont marqué l'esprit des habitants de la vallée (Bessat et Germi, 2001). Cela illustre explicitement l'impétuosité de ces organismes torrentiels.

La vallée de la Clarée comporte de très nombreux indices d'une activité torrentielle ancienne dans son paysage sous la forme, par exemple, de nombreux cônes de déjection qui occupent une partie du fond de vallée. Pourtant les témoignages directs sont rares. Le risque torrentiel est toutefois avéré dans la vallée de la Clarée par un rapport écrit de 1724 : le Commissaire Général de la

Réformation des bois du Dauphiné y parle des dégâts causés par « *des lavanches et ravines qui emporteroient les villages entiers s'ils n'étoient garantis par des bouquets de bois que l'on laisse au dessus* » (Chevalier et Couailhac, 1991) ; de même, en 1762, l'intendant du roi décrivait ainsi la vallée de la Clarée : « *La vallée de Neuvache, dépendant du Briançonnais, qui est considérablement endommagée par quantité de ruisseaux et ravins...* » (Guillemin, 1899). Ces deux témoignages tendent à confirmer que la péjoration climatique du PAG était propice à une intense activité torrentielle dans le Briançonnais.

2.4.1.2. *La perception du paysage au 18^{ème} siècle à travers l'étude de la carte de Cassini de 1777*

Bien que leur fiabilité en terme d'échelle ou d'altitude soit des plus limitée, les cartes dites de Cassini correspondent « *à la première entreprise cartographique d'envergure réalisée sur l'ensemble du territoire français à partir de relevés originaux* » (Vallauri, 1997). Ces documents permettent d'avoir une esquisse du paysage tel qu'il était il y a près de 250 ans, ou tout au moins tel qu'il fut perçu par les cartographes de l'époque. En outre, certaines informations précieuses concernant l'occupation humaine ou la couverture forestière sont à tirer de ces cartes anciennes (Rossi et Gattiglia, 1993 ; Vallauri, 1997).

Tout d'abord, l'étude de la carte de Briançon (n°151, feuille 124), levée entre 1772 et 1777, permet de remarquer que la plupart des torrents actuels sont reportés sur le document (fig. 45). Pourtant, certains organismes, aujourd'hui parmi les plus actifs, ne sont pas cartographiés. Par exemple, le torrent de Malefosse n'est pas totalement reporté sur cette carte, seul est délimité le bassin-versant du torrent mais aucun figuré ne correspond au chenal du torrent. Cette absence de représentation du chenal du torrent de Malefosse, alors qu'il est traversé par une route royale stratégique vers l'Italie qui pourrait faciliter son observation, peut illustrer la discontinuité de son écoulement. Au contraire, un organisme, absent du recensement des crues torrentielles et qui n'est pas reporté sur les cartes actuelles, est cartographié sur la carte ancienne, en rive droite de la basse vallée de la Clarée. La présence de ce torrent, qui n'a plus de nom aujourd'hui, peut indiquer qu'au 18^{ème} siècle ce bassin-versant élémentaire connaissait une activité plus ou moins régulière justifiant de le cartographier. Il semble néanmoins difficile de tirer des conclusions sur la dynamique torrentielle au 18^{ème} siècle juste à partir de l'étude de cette carte.

Par ailleurs, même si la résolution de cette carte du 18^{ème} siècle ne permet pas d'en faire un levé précis, on remarque la présence d'une couverture forestière non

négligeable qui contraste avec les témoignages alarmistes de certaines descriptions faisant état de la déforestation avancée des montagnes briançonnaises (Roman, 1887).

Enfin, si l'on s'intéresse à la morphologie de la rivière principale et nonobstant les limites inhérentes à l'échelle et à la précision du document, il apparaît que la Clarée possédait une physionomie très différente de l'état actuel. Le cours de la rivière était alors formé de plusieurs chenaux dans la majeure partie de la basse vallée. Si quelques-uns de ces chenaux correspondent en fait à des canaux d'alimentation pour différents moulins hydrauliques, le secteur compris entre les hameaux de La Vachette et du Rosier montre une morphologie loin de la rectitude qui caractérise la partie inférieure du cours actuel de la Clarée (cf. 4.2.4.3.).

Parmi les enseignements tirés de l'analyse des documents d'archive, il apparaît que le Briançonnais a subi une déforestation relativement limitée. En effet, contrairement à ce qui a pu être observé dans d'autres secteurs des Alpes du sud comme l'Ubaye, le paysage du bassin-versant de la Clarée a semble-t-il toujours possédé des massifs forestiers (Delsigne *et al.*, 2001 ; Flez et Garitte, 2006). Pourtant, de nombreuses causes pourraient être à l'origine du déboisement des montagnes briançonnaises, au premier rang desquelles se trouve le pâturage depuis longtemps décrit³³. Par ailleurs, la consommation de bois de construction et de chauffage par la garnison qui occupait les nombreux forts du briançonnais était élevée. De plus, certains auteurs ont cité l'exploitation minière de métaux précieux tels que l'argent³⁴ ou encore la production de chaux à partir des affleurements de gypse locaux (dont on retrouve encore la trace sous la forme de ruines de vastes fours) comme étant responsables du défrichement (Roman, 1887).

³³ Dans l'étude des facteurs influençant l'ajustement morphologique des torrents, un paragraphe traite tout particulièrement de l'évolution de la pression pastorale dans la vallée de la Clarée (cf. 2.4.2.3.).

³⁴ En effet, les mines d'argent de l'Argentière-la-Bessée situées au sud de Briançon étaient de grandes consommatrices de bois.

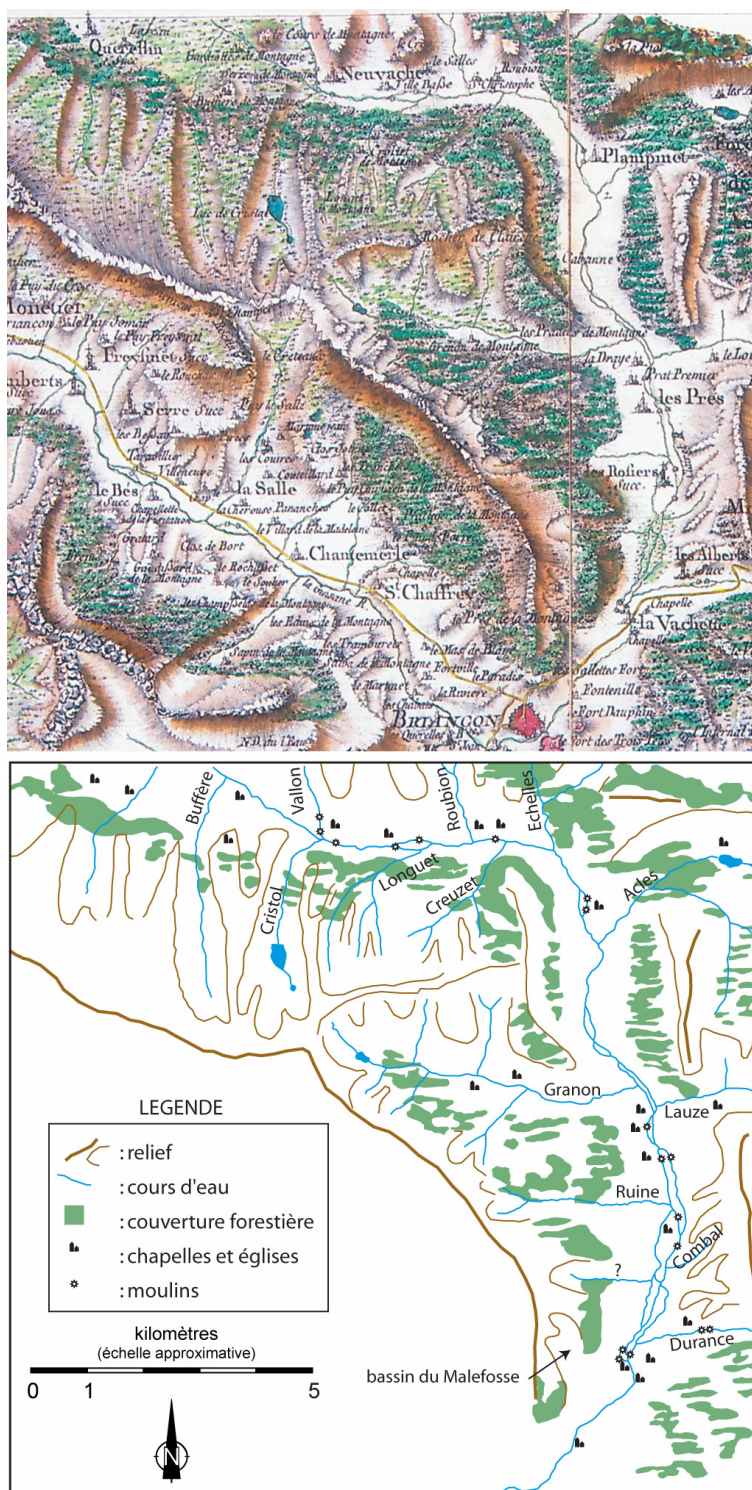


Figure 45 : La perception du paysage au 18^{ème} siècle à travers l'étude de la carte de Cassini carte de Briançon de 1772-1777 et interprétation

L'explication de la présence de ces massifs forestiers est peut-être à chercher du côté des règles particulières en vigueur dans le Briançonnais dès le 13^{ème} siècle.

Un édit du Dauphin de 1282 ou 1287, institua un système d'amendes très lourdes pour ceux qui prélevaient du bois dans la forêt de La Pinée (Roman, 1887 ; Besson, 1996). Plus tard, les voyageurs feront preuve d'admiration en découvrant la gestion locale du patrimoine forestier. Ainsi, en 1724, M. De Boissier écrit : « *Il est bon de remarquer que dans l'escarton³⁵ de Briançon ils ont des règles pour l'abattage des bois communs qu'il serait à souhaiter que l'on observât dans les autres communautés de la province* »³⁶ (Chevalier et Couailhac, 1991). En fait, de nombreuses règles locales régissaient l'exploitation forestière. Ainsi, dans le baillage de Briançon, « *aucun desdits habitants n'en peut couper une seule plante, sans une délibération de la communauté sur laquelle il se trouve* » (extrait de la Réformation générale des bois de la province du Dauphiné de 1728, cité dans Guillaume, 1887). Ces réglementations locales apparaissent donc comme les premiers efforts en terme de gestion de la forêt en tant que moyen de protection contre l'érosion des versants et ses conséquences, et ce bien avant la politique RTM³⁷.

2.4.2. L'évolution de la pression anthropique

2.4.2.1. Les premières traces d'occupation humaine et l'habitat traditionnel dans la vallée de la Clarée

Dans la vallée de la Clarée, comme dans toutes régions de montagne, différentes contraintes s'opposent à l'installation humaine (*i.e.* enclavement, rigueurs climatiques liées à l'altitude, etc...). Pourtant, la vallée de la Clarée conserve des traces d'occupation humaine très anciennes (fig. 46). La plus vieille correspond à un abri sous roche (l'actuelle Grotte des Cinquante Anes située à l'apex du cône de déjection du Ravin des Sables) remontant à la transition entre le paléolithique et le néolithique soit entre 8000 et 4000 ans avant notre ère (Service Régional de l'Archéologie, Base de données Patriache). Mais ces quelques indices archéologiques ne permettent pas de savoir s'il s'agissait d'une occupation

³⁵ A partir de 1343 et jusqu'à la Révolution, les communes du Briançonnais formaient « l'Escarton de Briançon ». En effet, à la veille du rattachement du Dauphiné à la couronne de France, les briançonnais ont acheté leur liberté par une charte signée avec le Dauphin Humbert II. Les communautés villageoises bénéficiaient alors de larges pouvoirs législatifs et d'une certaine autonomie de gestion.

³⁶ De Boissier M. (grand maître et commissaire général de la réformation des bois du Dauphiné), 1724. *Mémoire alphabétique des abus qui se commettent dans les bois et les artifices du Dauphiné et les moyens d'y remédier.* (cité dans Chevalier et Couailhac, 1991)

³⁷ Les moyens de mitigation du risque torrentiel mis en place en vallée de la Clarée par le RTM depuis la fin du 19^{ème} siècle sont détaillés dans un chapitre qui traite plus spécifiquement de la gestion du risque torrentiel (cf. 2.4.3.).

permanente ou non. Des analyses de pollens et de macrorestes végétaux prélevés dans les tourbières de la vallée voisine de la Guisane (Muller *et al.*, 2000) et dans le lac de Cristol en rive gauche de la moyenne vallée de la Clarée (Fauquette et Talon, 1995), attestent des premières traces d'anthropisation du milieu par des preuves de défrichements datant de 4000 BP. En fait, il semble que la vallée de la Clarée soit occupée de façon continue depuis la mise en place de l'administration gallo-romaine durant le 1^{er} siècle avant notre ère, comme en témoignent les indices archéologiques découverts sur la route menant au col de l'Echelle sur le site de l'actuelle chapelle Notre-Dame de Bon-Rencontre. Ailleurs, ce sont des traces remontant au bas Moyen Âge qui ont été découvertes, dans le bassin versant du torrent des Acles : il s'agit d'anciennes mines de cuivre. Enfin, l'établissement des actuelles communautés villageoises est attesté à partir du 15^{ème} siècle pour Névache, et plus précisément de 1490 ou 1496, date de la construction de l'actuelle église Saint Marcellin et Saint Antoine.

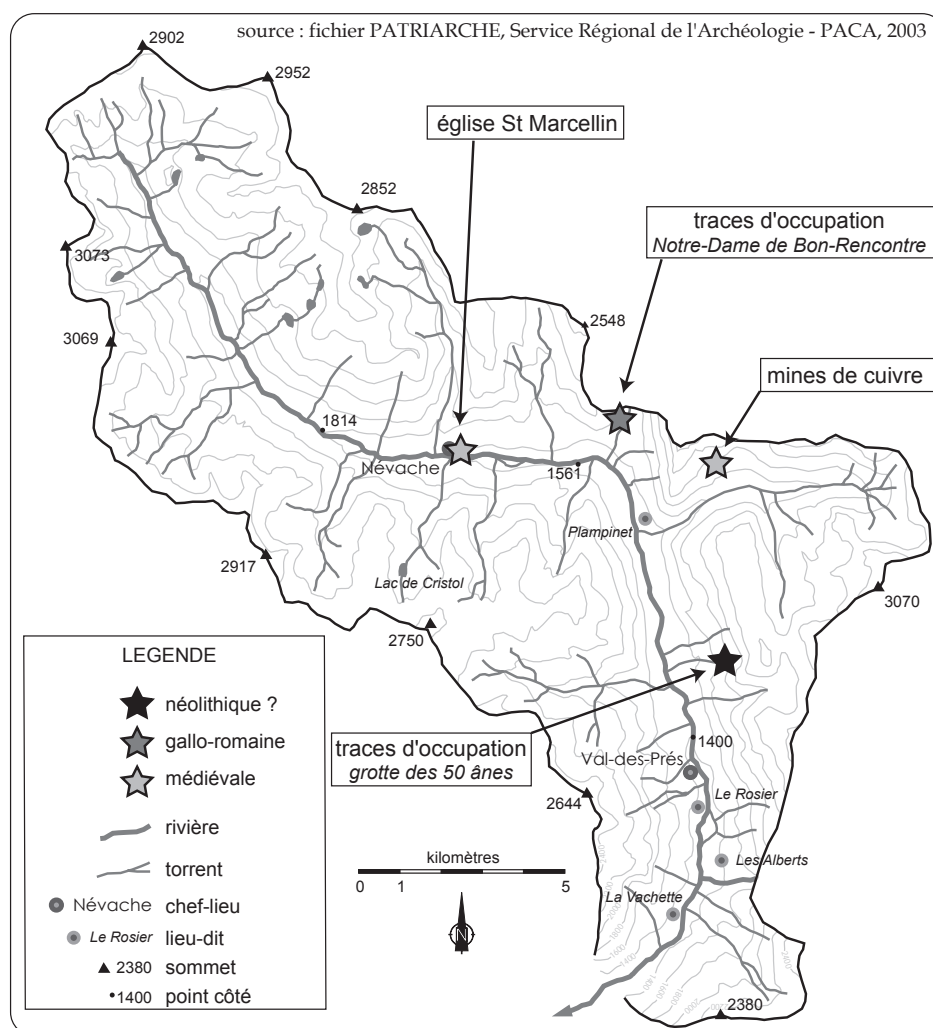


Figure 46 : localisation des entités archéologiques recensées dans la vallée de la Clarée

2.4.2.2. *L'évolution de la pression anthropique marquée par la mutation socio-économique de la vallée*

Actuellement la population permanente en vallée de la Clarée, sans le hameau des Alberts qui dépend de la commune de Montgenèvre, est de l'ordre de 740 habitants d'après le recensement de la population de 1999 (I.N.S.E.E.). Les données disponibles aux Archives Départementales des Hautes-Alpes (ADHA) dont le dénombrement de la population par commune, effectué par P. Guillaume pour la période 1668-1906, permettent de déterminer l'évolution de la population dans la vallée de la Clarée sur près de trois siècles (fig. 47). Celle-ci se caractérise par une forte baisse démographique jusque dans la décennie 1970. Cette forte baisse est la traduction de l'exode rural qui a touché l'ensemble des communes rurales et les zones de montagne en particulier. Pour les observateurs de l'époque « *la dépopulation se révèle avant tout fille de la misère* » (Estienne, 1947) ; de fait, de nombreux habitants de la vallée de la Clarée vont quitter définitivement leur commune. L'émigration locale, au sein même des Hautes-Alpes, attire 32,3% des émigrés de la vallée de la Clarée, le Midi 24,9% et les grandes villes hors du Midi 22,9%, en particulier grâce à l'attrait de Lyon (10,4%) (Bravard, 1947).

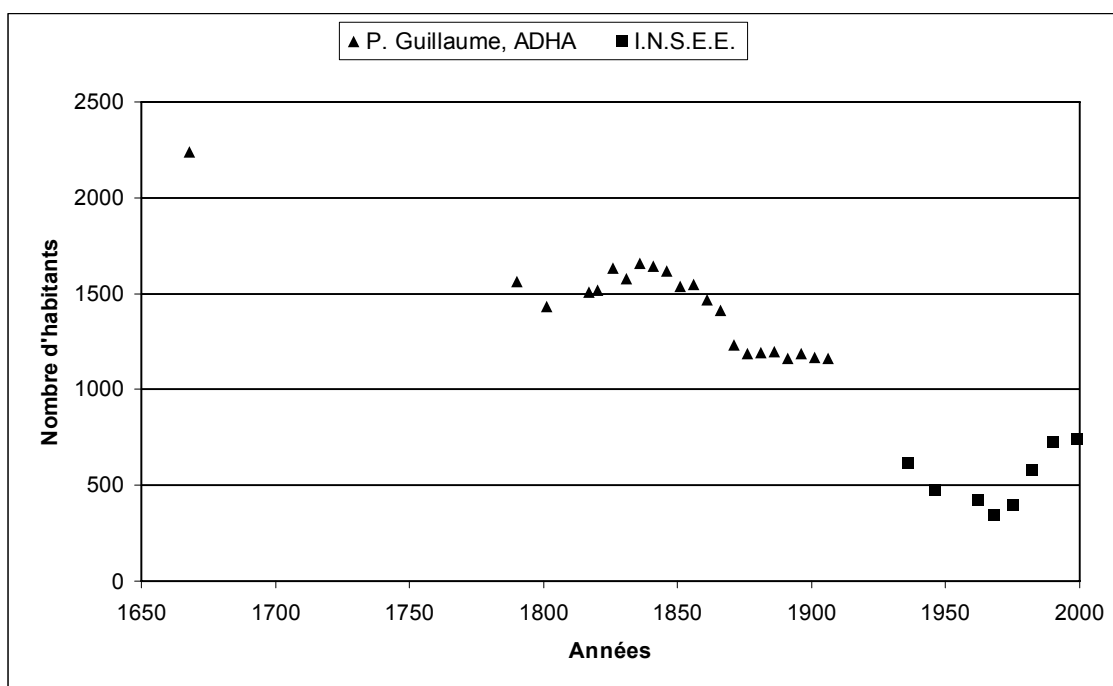


Figure 47 : Evolution de la population dans la vallée de la Clarée (non compris le hameau des Alberts qui dépend de la commune de Montgenèvre)

Le minimum démographique en vallée de la Clarée correspond au recensement de 1968 avec 345 habitants permanents. La reprise démographique à partir de la décennie 1970 est principalement due à une importante immigration plutôt qu'à une augmentation du solde naturel. Et les nouveaux arrivants

correspondent à une population aux caractéristiques différentes des habitants de la vallée avec la particularité d'être relativement jeune. En 1981, environ 65% de ces nouveaux arrivants ont moins de 30 ans, tandis que près de 60% de la population traditionnelle a plus de 40 ans (Benizri, 2000). Ce rajeunissement de la population transparait au travers du nombre d'enfants scolarisés en classe de primaire qui passe de 8 en 1972 à 24 en 1985 (Benizri, 2000).

La reprise démographique ne signifie pas forcément une pression anthropique plus forte sur le milieu. Car, si cette notion de pression anthropique est difficilement quantifiable à partir de quelques simples indicateurs démographiques ou économiques, il est néanmoins incontestable que, compte tenu de leur mode de vie, les populations nouvellement installées n'ont qu'une action directe limitée sur le milieu. Le système social traditionnel qui a décliné à partir du début du 20^{ème} siècle, était marqué par la prépondérance absolue de la production agricole (Garnon, 1996). Or, la population néo-rurale est principalement constituée de travailleurs du secteur tertiaire qui travaillent à Briançon ou vivent d'activités liées au tourisme. Un rapport sur les pratiques d'emploi dans la vallée de la Clarée datant de 1986 signale que « *durant ces quinze dernières années, la pluriactivité est le système d'emploi dominant qui a permis l'installation d'une population active jeune* » (Gerbaux et Perret, 1986 in Siestrunk, 1999). De plus, les agriculteurs qui, eux, ont une action directe sur l'environnement « naturel », ne représentent plus que 5,9% de la population active des communes de Val-des-Prés et de Névache (source : I.N.S.E.E., recensement de 1999). Cependant, il ne s'agit pas de tirer des conclusions de quelques statistiques à l'échelle communale car en fait, les plus grandes surfaces agricoles ne sont pas exploitées par les agriculteurs locaux mais correspondent aux alpages utilisés le plus souvent par des troupeaux transhumants.

2.4.2.3. L'évolution de la pression pastorale

Avec la pratique de l'essartage³⁸, l'élevage ovin et caprin a longtemps été désigné comme principal responsable du déboisement et de ses conséquences sur l'activité torrentielle. En fait, très tôt « *la propagande du pouvoir central fit du troupeau le responsable des difficultés affectant les milieux montagnards ce qui permettait d'affirmer l'impérieuse nécessité de boisement.* » (Veyret et Pech, 1994).

³⁸ L'essartage consiste à dégager un terrain par abattage des arbres et arrachage des plantes sauvages. Ce défrichage est en général suivi d'un écobuage, c'est-à-dire d'une destruction par le feu de tous les déchets. Le feu peut d'ailleurs constituer en lui-même la technique de défrichage (Blanchard, 1945).

Dans la vallée de la Clarée les données disponibles pour évaluer l'évolution de la pression pastorale correspondent d'une part aux études menées par F. Briot, inspecteur des Eaux et Forêt à la fin du 19^{ème} siècle (Briot, 1884 et 1995), et d'autre part, aux données de l'enquête sur les unités pastorales de 1963 et 1997, effectuées par la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt des Hautes-Alpes (D.D.A.F. 05).

Le cheptel présent durant l'été dans les alpages de la vallée de la Clarée est principalement constitué de troupeaux transhumants provenant majoritairement du département des Bouches-du-Rhône³⁹. Le nom de certains lieux-dits se réfère directement à cette activité, comme par exemple le hameau de la Draye, terme qui signifie, dans le langage vernaculaire, une piste de transhumance, un chemin emprunté par les animaux (Bessat et Germi, 2001). En étudiant l'évolution du nombre d'ovins, il apparaît que, compte tenu de l'importance des troupeaux transhumants, la déprise agricole en vallée de la Clarée ne s'est pas traduite par une baisse de la pression pastorale (Avocat, 1979). On observe, au contraire, une nette augmentation du nombre d'ovins dans les alpages durant l'été. Entre 1884 et 1997, l'augmentation du nombre d'ovins sur les alpages de Val-des-Prés et de Névache a été de l'ordre de 46,6% (fig. 48). Cette augmentation peut, en partie, s'expliquer par l'importance des revenus de la location des alpages pour ces petites communes de montagne (Avocat, 1979).

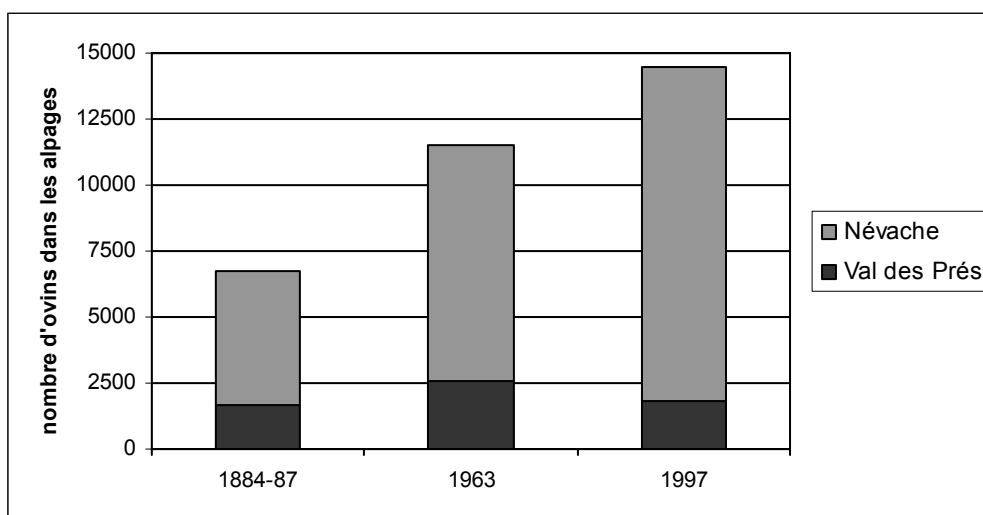


Figure 48 : évolution du nombre d'ovins dans les alpages en vallée de la Clarée (sources : D.D.A.F. 05 et Briot, 1884 et 1995)

De même, la surface totale des alpages a elle aussi augmenté. La comparaison des données de 1884 avec celles de l'enquête sur les unités pastorales de 1963 et 1997 (DDAF 05) montre qu'à Val-des-Prés cette augmentation est très

³⁹ Dès la fin du 19^{ème} siècle la compagnie ferroviaire *Paris-Lyon-Méditerranée* accordait des tarifs préférentiels aux troupeaux transhumants (Tolley, 2002)

nette puisque, en passant de 1355 à 2450 ha, les alpages ont vu leur surface croître de plus de 55% (fig. 49).

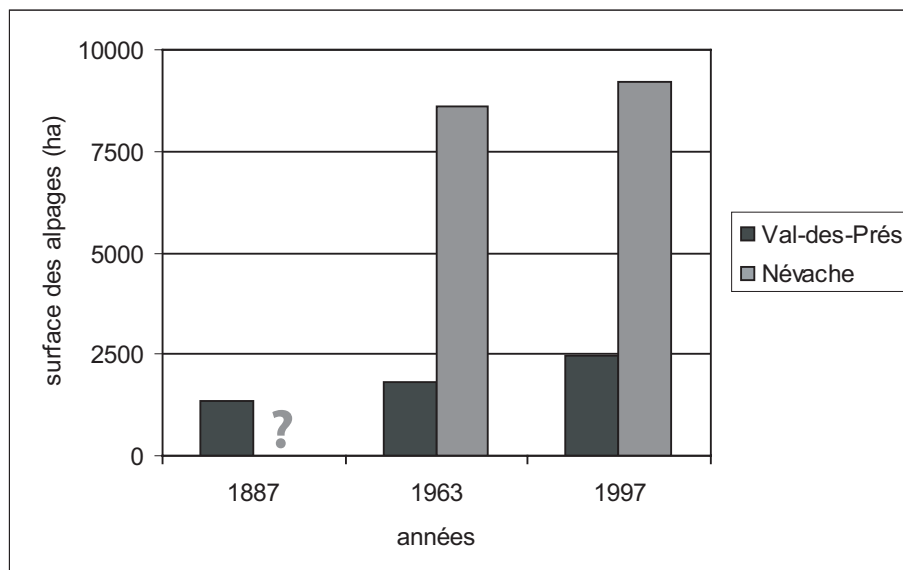


Figure 49 : Evolution de la surface des alpages en vallée de la Clarée (sources : D.D.A.F. 05 et Briot, 1884 et 1887)

Néanmoins l'analyse de l'évolution du nombre de têtes de bétail par hectare laisse apparaître une relative stabilité de la densité du cheptel ; celle-ci passe de 1,25 têtes par hectare pour la commune de Val-des-Prés en 1884 à 1,11 têtes par hectare pour les communes de Val-des-Prés et Névache en 1963 et 1,24 têtes par hectare en 1997.

La notion de déprise agricole est donc à nuancer, car si effectivement l'activité agricole a fortement régressé dans la vallée de la Clarée, la déprise agricole s'est surtout faite ressentir en fond de vallée et sur les cônes de déjection. Au contraire, l'activité pastorale et la pression qu'elle exerce sur le milieu n'a cessé d'augmenter depuis la fin du 19^{ème} siècle, puisque que l'on observe une stabilité de la densité du cheptel et une augmentation de la surface des pâturages.

2.4.3. L'impact limité de la politique RTM dans la vallée de la Clarée

2.4.3.1. Les origines de la réglementation

Les premiers textes réglementaires concernant la gestion du phénomène torrentiel dans le Briançonnais visaient tout particulièrement la protection de la forêt (cf.). Le surpâturage –causé par la transhumance des troupeaux de Provence vers les alpages du Dauphiné– et les défrichements –pour le bois de chauffage ou de construction– ont été très tôt désignés comme responsables du caractère « rageur » des torrents. Et si la mauvaise gestion au plan local des ressources forestières est signalée comme l'une des causes de la déforestation, la vallée de la Clarée semble apparaître comme une exception (cf. 2.4.1.2.).

Ces réglementations, symboles de l'autorité du Roi, furent abrogées durant la Révolution Française lorsque la loi du 29 septembre 1791 rendit au citoyen la jouissance des forêts. Cette loi, en permettant aux paysans de laisser parcourir leur bétail et leurs chèvres, eut des conséquences importantes sur l'état et la régénération des forêts françaises puisque les animaux ont tendance à brouter en priorité les jeunes pousses plus tendres (Gouy Gilbert, 1990).

La politique de Restauration des Terrains en Montagne est le fruit d'un processus législatif laborieux qui débute en 1860. C'est en réponse aux inondations catastrophiques du Rhône et de la Garonne de 1856 que l'Etat reprend le contrôle de la politique forestière en France avec la promulgation de la loi du 28 juillet 1860 : elle concerne « *la sécurité des grandes vallées d'aval et pour moyen le reboisement de la plus grande surface possible de montagne afin de régulariser le régime des eaux* » (cité par Besson, 1996). Cette loi, qui prône le boisement des montagnes pour protéger les plaines, reçoit un accueil enthousiaste de la part des forestiers locaux et des théoriciens comme Surell ou Demontzey qui y voient la possibilité de mettre en pratique leur méthode « d'extinction » des torrents. Pour eux, « *L'extinction d'un torrent est une lutte contre un ennemi redoutable dans laquelle il faut les qualités qui réussissent à la guerre, l'audace, la persévérance énergique et cette tactique savante qui discerne le point faible de l'adversaire et porte l'attaque au cœur de ses défenses.* » (Mougin, 1931). Seulement, au niveau local, la plupart des réactions sont négatives : les populations et les institutions locales s'opposent aux décisions arbitraires de l'Etat et aux frais qui en découlent. Mais surtout, les éleveurs sont mécontents car ils se voient interdire de nombreux pâturages communaux jusqu'alors utilisés par les exploitants les plus pauvres.

La promulgation de la loi des 8 et 11 juin 1864 a pour but de répondre aux vives critiques des acteurs locaux. Il s'agit en fait d'une loi de réengazonnement qui remplace la loi de 1860. Désormais les terrains de montagne « *peuvent être, suivant*

les besoins de l'intérêt public, ou gazonnés sur toute leur étendue, en partie gazonnés et en partie boisés ou reboisés en totalité » (cité par Besson, 1996). Ainsi l'action des éleveurs, qui maintiennent un couvert végétal en entretenant pâtures et alpages, est reconnue comme bénéfique en terme de protection contre l'érosion.

La loi du 4 avril 1882, qui remplace les deux précédentes, marque un tournant dans la perception et la gestion du phénomène torrentiel. Cette loi ne s'intéresse plus uniquement aux effets de l'érosion sur les rivières de plaines mais prend en considération les conséquences de la torrencialité sur les populations de montagne (De Crécy, 1988). C'est cette loi qui instaure la possibilité pour l'Etat d'user du droit d'expropriation afin de créer des périmètres domaniaux de RTM dans lesquels l'Etat finance l'intégralité des travaux jugés nécessaires. Désormais c'est donc l'Etat centralisé qui possède et gère les terrains à restaurer, évinçant du même coup les collectivités locales de la gestion du risque torrentiel.

2.4.3.2. *Les premières heures de la RTM et la poursuite des travaux initiaux*

1860-1875 : les premières actions et les premières réticences

En 1863, suite à la loi du 28 juillet 1860 et à la forte crue du torrent de Malefosse de 1856, les premières enquêtes en vue de créer un périmètre de reboisement eurent lieu à Val-des-Prés et Briançon. Le périmètre projeté, composé de terrains communaux, couvrait une surface de 744 hectares, principalement sur les bassins-versants des torrents de Malefosse et du Vallon. Pourtant, les réactions locales furent vives, tant de la part des habitants, qui se voyaient imposer des restrictions de pâturage, que de la part des autorités locales. Le conseil municipal de Briançon déclara le « *projet impossible, les terrains non reboisables, les barrages inutiles ou dangereux* » (Buffault, 1913). Il fallut attendre l'accord de la commission spéciale, du conseil d'arrondissement et du conseil général avec la demande que les frais soient entièrement à la charge de l'Etat pour que le décret du 8 décembre 1874 déclare l'utilité publique du périmètre prévu. Et c'est seulement en 1876 que les travaux commencèrent, quand l'Etat acheta à l'amiable les 66 hectares situés sur le territoire de Briançon.

1875-1910 : les interventions pionnières de la RTM dans la vallée de la Clarée

Les premières interventions directes sur les organismes torrentiels dans la vallée de la Clarée se concentrent principalement sur les torrents de Malefosse et de la Pinatelle (tableau 1). Ces actions très ponctuelles s'expliquent par le fait que ces

deux torrents menaçaient directement des axes de communication importants : la route royale reliant l'Italie via le col de Montgenèvre pour le torrent de Malefosse et l'unique route menant à Névache pour le Ravin de la Pinatelle.

Le périmètre RTM englobant une large partie du bassin-versant du Ravin de la Pinatelle est créé en 1874 ; plusieurs barrages en pierre sèche y ont été érigés mais, à l'heure actuelle, seules quelques ruines subsistent. Mis à part des photographies éparses de la fin du 19^{ème} siècle montrant des seuils en pierre sèche construit vers 1550 m, le manque d'archives concernant cet organisme ne permet pas de déterminer précisément le nombre et la localisation de ces ouvrages de correction.

Dans le torrent de Malefosse, 24 barrages en pierre sèche sont construits dans la branche principale en 1875 et 10 km de clayonnages sont disposés dans les branches secondaires. Cependant, ce système de correction est détruit par une crue du torrent en 1883. Les travaux reprennent en 1907 avec la construction d'un barrage et d'un contre-barrage en maçonnerie à l'apex du cône de déjection (photo. 15). En 1908, un épi en maçonnerie de 37 mètres de long est édifié en rive gauche, dans le prolongement du barrage afin de protéger le hameau du Fontenil des éventuels débordements du torrent. Ces aménagements serviront de clef de voûte au futur système de correction.



Photo. 15 : Torrent de Malefosse, le premier barrage en maçonnerie construit en 1907 (photographie de 1909, archives RTM 05)

Enfin, une partie du bassin-versant du torrent de Roubion est acquise en 1887 par le service RTM. Il s'agit principalement des gorges de raccordement situées en aval du vallon des Thures. Ces secteurs en forte pente vont faire l'objet d'un

reboisement ponctuel complété par la mise en place de seuils en pierres sèches dans certaines ravines élémentaires qui s'incisent dans des matériaux morainiques. Cependant, la taille limitée du périmètre RTM –moins de 5% de la superficie totale du bassin-versant– ne suffit pas à rendre compte de l'évolution importante de la couverture forestière constatée sur les versants de ce torrent (fig. 43 et cf. 2.3.1.2.).

1940-1960 : la poursuite des travaux initiaux

Après plus de trente ans d'attente, durant la seconde guerre mondiale sous l'occupation italienne, les travaux reprennent dans le torrent de Malefosse. Huit barrages sont construits entre 1941 et 1942 dans le chenal principal en aval du barrage clef de 1907. Par ailleurs, le torrent apparaît désormais totalement chenalisé sur son cône de déjection par des digues, renforcées par endroit d'épis en gabion.

En 1950, le pont qui permet à la RN94 de franchir le torrent de Malefosse est remplacé. L'ancien pont n'était en effet plus dans l'axe du torrent et son tirant d'air insuffisant faisait courir un risque d'embâcle susceptible d'entraîner un débordement et la coupure de cet axe de communication majeur. La même année, un nouveau barrage est construit à l'amont du barrage clef. En 1953, deux autres barrages sont construits toujours à l'amont du barrage de 1907 portant à 12 le nombre de barrages de sédimentation présents dans le lit du torrent.

Ailleurs dans la vallée, aucun autre équipement lourd n'est implanté durant cette période par le service RTM. Pourtant, il existe un certain nombre de digues en gabion datant vraisemblablement de cette époque ; mais, pour la plupart, il est impossible de les dater par manque d'archives précises. Ces digues ont pu être érigées par différents acteurs locaux tels que les communes, les Directions de l'Équipement ou leurs ancêtres les Ponts et Chaussées, qui ne possèdent pas d'archives aussi détaillées que celles du service RTM.

2.4.4. Les évolutions environnementales spontanées

2.4.4.1. L'évolution contemporaine du niveau de base local

L'évolution du niveau de base local constitué par la rivière principale peut être à l'origine de nombreux changements morphologiques et pourrait expliquer à elle seule l'incision des torrents affluents (Friedman *et al.*, 1996 ; Harvey, 2002 ; Marston *et al.*, 2003).

Il existe un profil en long de la Clarée levé en 1906 par les Grandes Forces Hydrauliques mais la comparaison avec le profil actuel est impossible en raison du manque de précision de l'ancien levé (Thénard, 2002). Toutefois, si l'on ne dispose pas de mesures fiables permettant de déterminer avec précision l'évolution du niveau de la Clarée depuis la fin du PAG, plusieurs éléments convergents permettent d'affirmer que l'incision de la rivière depuis le milieu du 19^{ème} siècle est relativement limitée. Tout d'abord, la rivière elle-même n'est que peu incisée dans ses formations alluviales ; en effet, les basses terrasses de la Clarée se situent environ 120-150 cm au dessus du fond actuel de la rivière (fig. 50). Et le fait qu'un torrent comme celui des Acles, qui n'a fait l'objet d'aucune mesure de correction torrentielle, se soit incisé de près de 2 m (fig. 41), tend à confirmer que ce n'est pas l'incision de la rivière principale qui a commandé l'évolution des torrents affluents.

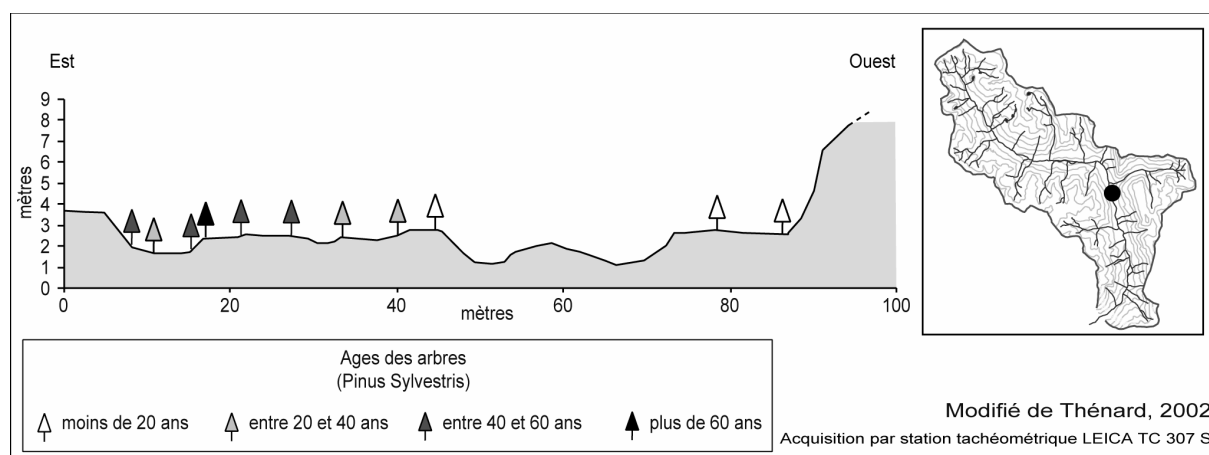


Figure 50 : profil en travers de la Clarée en aval de la confluence avec le torrent des Acles

Par ailleurs, il n'existe pas, à l'heure actuelle⁴⁰, d'indice morphologique au niveau de la confluence avec la Durance qui prouverait que la Clarée a connu une phase d'incision importante. En effet, la confluence ne comporte ni trace d'incision, ni rupture de pente (photo. 16).

⁴⁰ Une rupture de pente, qui prouverait un encaissement de la rivière principale, a pu disparaître par nivellement local ou se trouver plus en amont suite à un phénomène d'érosion régressive.

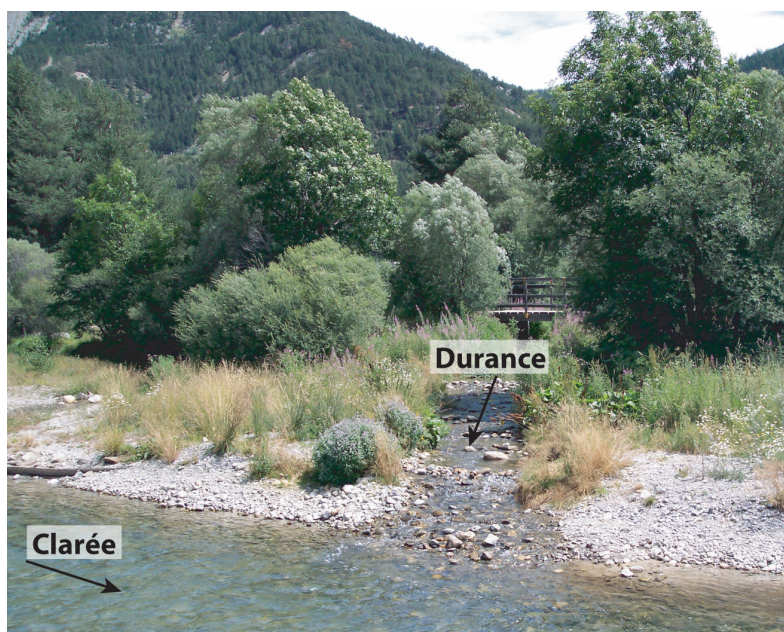


Photo. 16 : confluence de la Clarée et de la Durance

Enfin, les observations menées dans la basse vallée au niveau du hameau de La Vachette tendent à confirmer que la rivière n'a pas connu de phase d'incision importante. La Clarée est pratiquement toujours au même niveau que les prises d'eau qui alimentaient des moulins et des outils hydrauliques employés dans des tanneries jusqu'au 19^{ème} siècle.

2.4.4.2. L'évolution du couvert forestier

L'analyse de l'évolution du couvert forestier est déterminante pour comprendre les mécanismes commandant la rétraction des bandes actives torrentielles. En effet, la forêt a des effets importants sur le transit de l'eau et des matériaux sur les versants.

La plus ancienne référence du lien qui lie la couverture végétale et le comportement des bassins-versants élémentaires remonte à l'antiquité romaine. Pline l'Ancien, dans son Histoire Naturelle écrite au 1^{er} siècle avant notre ère, note : « souvent, en abattant les bois qui couvraient une colline, et qui retenaient les nuages et s'en alimentaient, on a vu se former des torrents désastreux » (Andréassian, 2002 et 2004b). Bien plus tard, de nombreux ingénieurs forestiers français ont tenté de déterminer quelles étaient les relations eau/forêt (Belgrand, 1854 ; Surell et Cézanne, 1870 ; Demontzey, 1894) et pour eux : « rien ne saurait remplacer l'action protectrice de la forêt » (Kuss, 1900). En fait, les études récentes démontrent que la

végétation a une incidence à la fois sur l'écoulement hydrique et sur le transit sédimentaire (Cosandey *et al.*, 2005).

L'influence de la couverture forestière sur l'écoulement

Il est désormais admis que la couverture forestière dans le bassin-versant d'un torrent va avoir un impact direct sur l'écoulement de celui-ci. Ainsi, la forêt peut réduire d'au moins 80% la pointe de crue et d'au moins 50% le volume d'eau ruisselé rapidement par rapport à un sol dénudé (Combes *et al.*, 1995 cité par Rey *et al.*, 2004). Mais plusieurs conditions sont nécessaires pour que l'influence forestière se manifeste pleinement sur l'écoulement (Andréassian, 2002 et 2004a) :

- conditions pédologiques : il faut que le sol –au sens pédologique– soit suffisamment profond (Cosandey, 1995).
- conditions climatiques : d'une part il faut que l'hiver présente un surplus hydrologique pour constituer des réserves et que l'été présente un déficit hydrique.
- conditions physiologiques : selon les espèces végétales la transpiration peut différer fortement.

Si la couverture forestière réduit effectivement l'écoulement annuel des cours d'eau, cela n'implique pas mécaniquement une réduction du transit sédimentaire pour les torrents ; en effet, dans le cas des organismes torrentiels une grande partie de la charge sédimentaire transite durant les épisodes de crues. Or, « *si l'écoulement annuel d'un bassin-versant est à priori représentatif d'un certain fonctionnement moyen, il n'en est rien des épisodes de crues qui, par définition, sont la manifestation de fonctionnements extrêmes* » (Richard, 2002). De plus, « *L'effet réducteur de la forêt sur les crues, s'il est sensible pour les crues courantes, diminue en général jusqu'à devenir négligeable pour les crues plus exceptionnelles* » (Richard, 2002).

L'influence de la couverture forestière sur le transport sédimentaire

Le rôle de la forêt sur l'infiltration a été confirmé en comparant des parcelles incendiées et non incendiées, ces mesures ont démontré que les parcelles incendiées possédaient un taux de ruissellement en moyenne 2,8 fois plus élevé que les parcelles non incendiées (Conedera *et al.*, 2003). De même, l'importance du rôle joué par la couverture végétale dans la réduction du transit de matériaux sur les versants a été affirmée dans différents milieux et sous différentes latitudes (Cheng *et al.*, 2002 ; Marston *et al.*, 2003). Ainsi : « *la végétation peut intervenir contre l'érosion hydrique de surface de deux manières principales : d'une part, elle peut empêcher*

l'ablation du substrat, d'autre part, elle peut favoriser la sédimentation, en retenant les sédiments érodés à l'amont » (Rey et al., 2004)

L'évolution spontanée de la couverture forestière dans la vallée de la Clarée

La progression post-PAG de la couverture forestière est un élément décisif de la mutation des bandes actives torrentielles. Il existe néanmoins peu de témoignages directs décrivant les effets de la péjoration climatique du PAG sur la végétation forestière.

Toutefois, dans une étude datant de la fin du 19^{ème} siècle, D. Martin rend compte, sans le savoir, des conséquences du refroidissement de l'atmosphère sur les forêts des Hautes-Alpes. Il constate en effet que la limite supérieure de la végétation a connu un abaissement qu'il décrit comme « *une retraite très marquée des diverses essences forestières* ». De plus, il souligne que « *le mouvement rétrograde de la végétation ne paraît pas appartenir exclusivement au 19^{ème} siècle, mais a dû commencer il y a quelques centaines d'années. En effet, au dessus des forêts actuelles, on trouve dans quelques régions des traces de forêts disparues* » (Martin, 1890). Cependant, si ce témoignage décrit l'évolution de la limite supérieure de la forêt sous l'effet à la péjoration climatique du PAG, il ne donne pas de renseignement quant à l'évolution de sa superficie.

Le développement de la couverture végétale dans la vallée de la Clarée reste un phénomène difficile à cerner car aucune donnée fiable n'existe sur une longue période à l'échelle de la vallée⁴¹. De plus, il est difficile d'estimer la part du boisement spontané –reconquête par la forêt des étendues abandonnées par les activités agro-pastorales et progression de la limite supérieure de l'arbre– et la part du reboisement entrepris par le RTM ou induit par celui-ci (Derioz, 1999). Les seules données disponibles nous renseignent sur le taux de boisement pour l'ensemble du Briançonnais. Il s'agit d'une part de statistiques agricoles tirées d'un ouvrage du début du 20^{ème} siècle pour la période la plus ancienne (Buffault, 1913), d'autre part des relevés effectués par l'Inventaire Forestier National (IFN) depuis 1973. Si ces derniers sont d'une bonne fiabilité, les données les plus anciennes ne peuvent être considérées que comme des estimations car de nombreux paramètres en réduisent la précision. En effet, la taille même du Briançonnais a évolué au cours des siècles (rattachement du canton de La Grave ou annexion de la Vallée Etroite suite à la seconde guerre mondiale). De plus, les méthodes et la précision des mesures ont elles aussi largement changé.

⁴¹ La base de données *Corine Land Cover* de 2000 (tableau 2) évalue que la couverture forestière occupe 25,8% de la vallée de la Clarée. Cependant, ces données ne permettent pas d'appréhender l'évolution contemporaine de la forêt dans le secteur étudié.

En dépit de ces limites, il apparaît distinctement que le taux de boisement dans le Briançonnais n'a cessé de progresser sur l'ensemble de la période observée et de façon très sensible depuis 1973, date à partir de laquelle les données sont plus fiables (fig. 51).

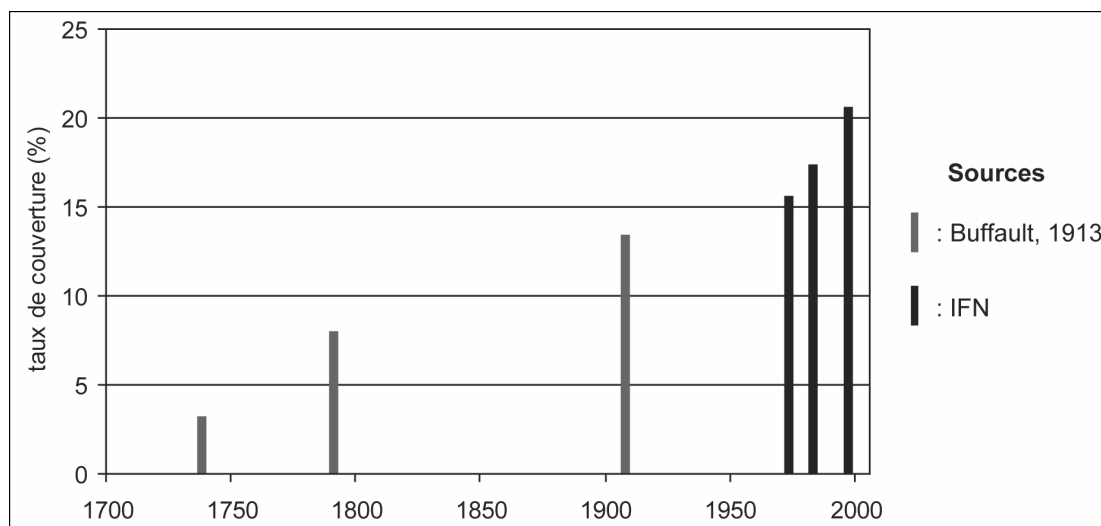


Figure 51 : évolution du taux de boisement dans le Briançonnais

Ces données ne reflètent qu'une évolution à l'échelle du Briançonnais et les rares documents qui permettent d'appréhender l'évolution de la couverture forestière au sein même de la vallée de la Clarée correspondent à des photographies anciennes (comme par exemple les photographies des archives RTM ou les cartes postales très courantes au début du 20^{ème} siècle) ou des aquarelles militaires. Toutefois, si dans le cas de l'analyse diachronique de documents iconographiques il est impossible de déterminer des chiffres précis, cette approche demeure éloquente quant à la progression de la couverture forestière depuis la fin du 19^{ème} et le début du 20^{ème} siècle. Ainsi, dans vallée de la Clarée, la couverture forestière a nettement progressé sur les versants alors que la limite supérieure de la forêt est restée relativement stable.

Sur le versant des Fournéous il est possible d'observer quelle a été la progression de la végétation depuis le début du 20^{ème} siècle (photo. 17). La revégétalisation spontanée de ce versant s'avère remarquable, en particulier dans sa partie inférieure. En dehors de toute intervention anthropique, la végétation a largement colonisé des secteurs d'éboulis qui étaient déjà en cours de stabilisation en 1909 (photo. B). Les secteurs vierges de végétation en 2005, correspondent soit à des tabliers d'éboulis actifs (photo. A), soit à des secteurs où règnent des conditions asylvatiques à cause de l'altitude ou de la pente excessive. En fait, le secteur qui a connu le plus grand changement correspond à des parcelles agricoles en 1909 qui sont désormais totalement recouvertes d'une végétation arborée (photo. C).

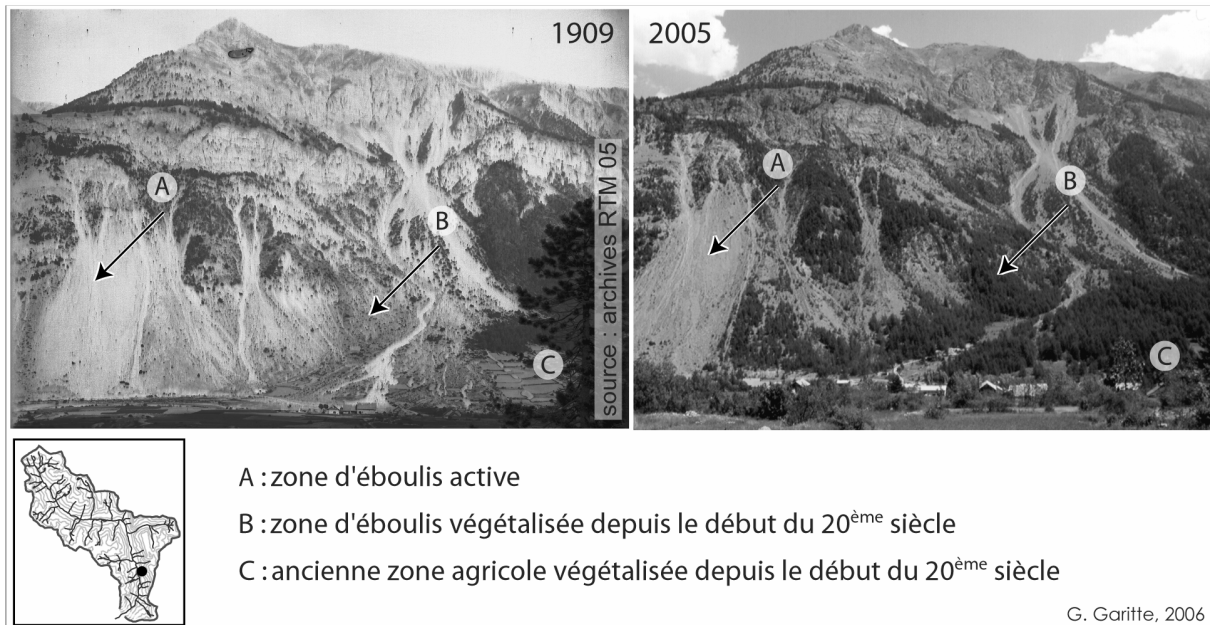


Photo. 17 : Aperçu de l'évolution spontanée de la couverture végétale sur le versant des Fournéous.

Lorsque l'on s'intéresse plus précisément à l'évolution de l'occupation du sol sur le cône de déjection du ravin des Fournéous (fig. 52), on constate distinctement :

- o une forte progression de la couverture forestière sur le cône de déjection ; dans ce secteur, elle a vraisemblablement été favorisée par la réduction de l'activité agricole en fond de vallée (fig. 52 B) ;
- o une extension de la végétation sur les versants. En moins d'un siècle et en dehors de toute influence anthropique, la végétation forestière a colonisé des versants qui paraissaient encore actifs au début du 20^{ème} siècle. En fait, si l'on ne remarque pas de sensible remontée altitudinale de la limite supérieure de la forêt dans ce secteur, on constate cependant une très nette densification des peuplements déjà établis en 1909.

A l'heure actuelle, le ravin de Fournéous ne conflue plus avec la Clarée, dans sa partie terminale son chenal apparaît encombré de végétation, signe de la faiblesse de ses écoulements (photo. 18 A). Plus à l'amont, les deux branches du torrent établies juste sous d'imposantes corniches, sont visiblement plus actives (photo. 18 C) même si le chenal septentrional connaît actuellement un répit torrentiel ayant permis l'implantation d'une végétation pionnière sous forme de saules (*Salix purpurea*) (photo. 18 B).

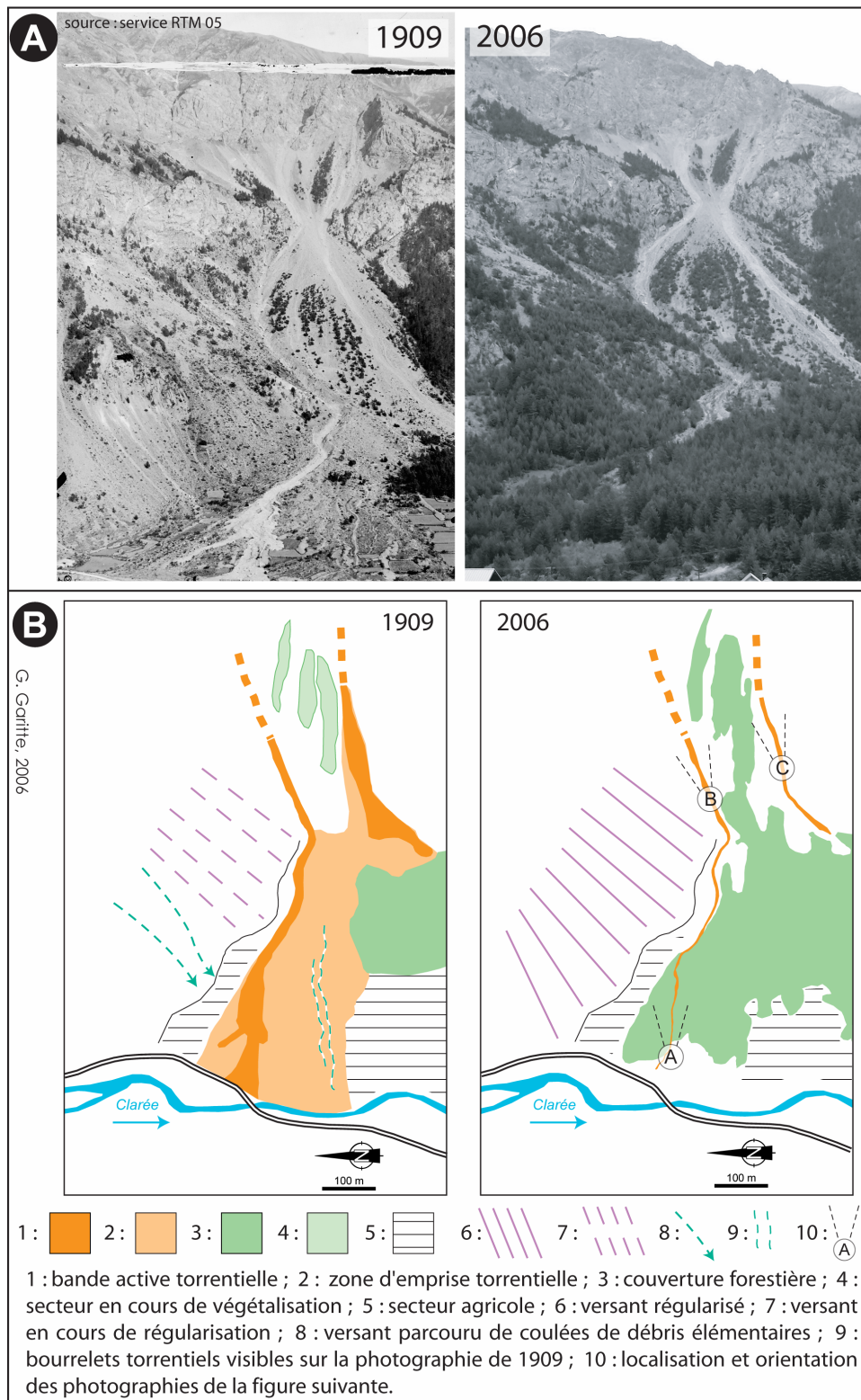


Figure 52 : l'évolution diachronique du cône de déjection du Ravin des Fournéous
 A : photographies diachroniques ; B : aperçu de l'évolution de l'occupation du sol sur le cône de déjection du Ravin des Fournéous

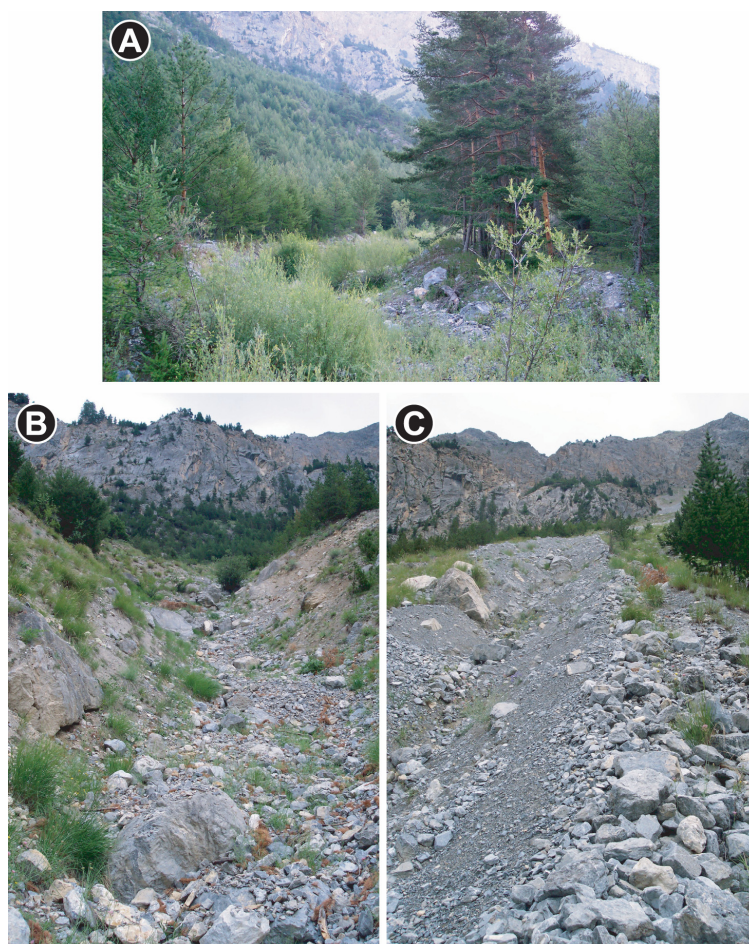


Photo. 18 : Le Ravin de Fournéous en 2006
les lettres permettent de localiser les photographies sur la figure précédente

Contrairement à ce qui est observé sur les versants, la progression très importante de la couverture forestière en fond de vallée s'est faite en grande partie au détriment des secteurs abandonnés par l'agriculture. La déprise agricole a en effet libéré de vastes zones. Sur le cône de déjection du torrent de Creuzet (photo. 19), le paysage du début du 20^{ème} siècle, constitué de parcelles agricoles aménagées en terrasses, a laissé place à une forêt qui couvre désormais la majeure partie du cône de déjection. Pourtant, comme dans le cas du versant des Fournéous, on observe qu'à l'amont, la limite supérieure de la forêt est pour le moment relativement restée stable, et que l'évolution se résume principalement à une densification du couvert végétal grâce à la progression de la végétation dans des secteurs jusqu'alors instables. Cela a pour conséquence une réduction de la surface des sources sédimentaires au cours du 20^{ème} siècle.

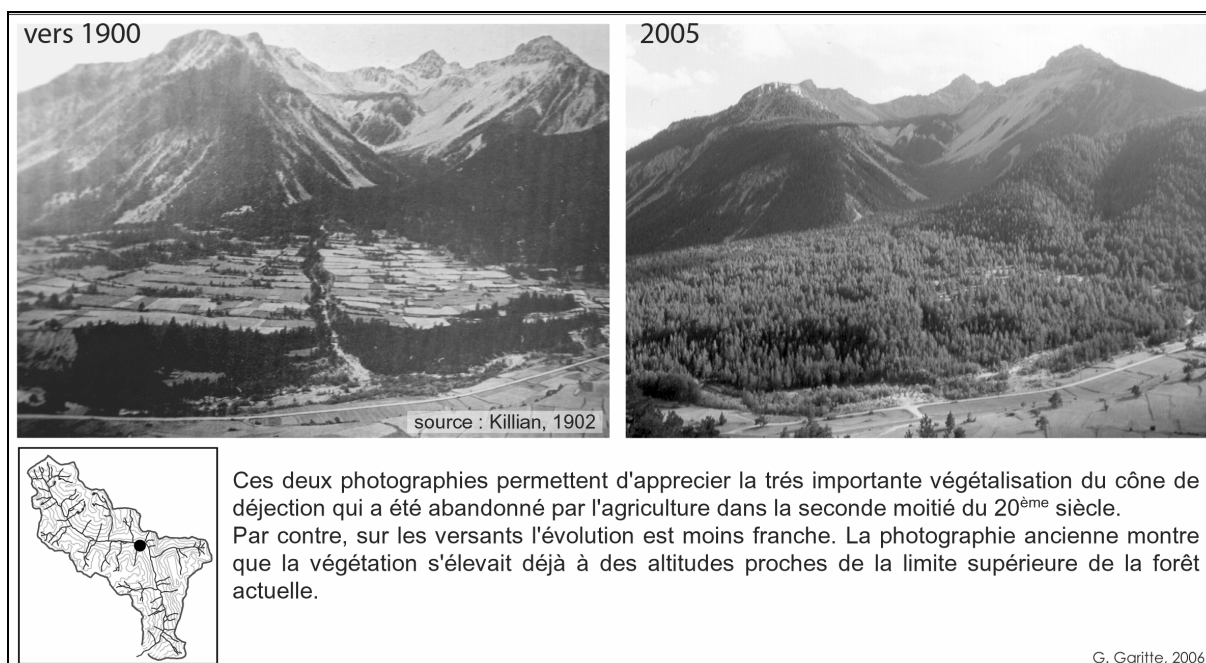


Photo. 19 : Aperçu diachronique du torrent du Creuzet

Comme ailleurs dans la vallée, l'évolution de la couverture forestière sur le cône de déjection du Ravin de Combal est remarquable (fig. 53). Dans le cas présent la progression spontanée de la végétation est relativement récente. Bien qu'on n'observe pas une remontée en altitude très nette de la végétation, l'évolution de la couverture végétale est marquée par une très forte progression. En 1939, alors que le fond de vallée est principalement occupé par des terres agricoles, les versants sont encore peu végétalisés. Un profil topométrique, dressé en travers du cône de déjection du Ravin de Combal et complété par des données dendrochronologiques, permet de constater que les arbres présents sont pour la plupart âgés de moins de 60 ans (fig. 53). Cela démontre que la progression de la végétation forestière entamée dès la fin du 19^{ème} siècle est un phénomène qui s'est prolongé tout au long du 20^{ème} siècle.

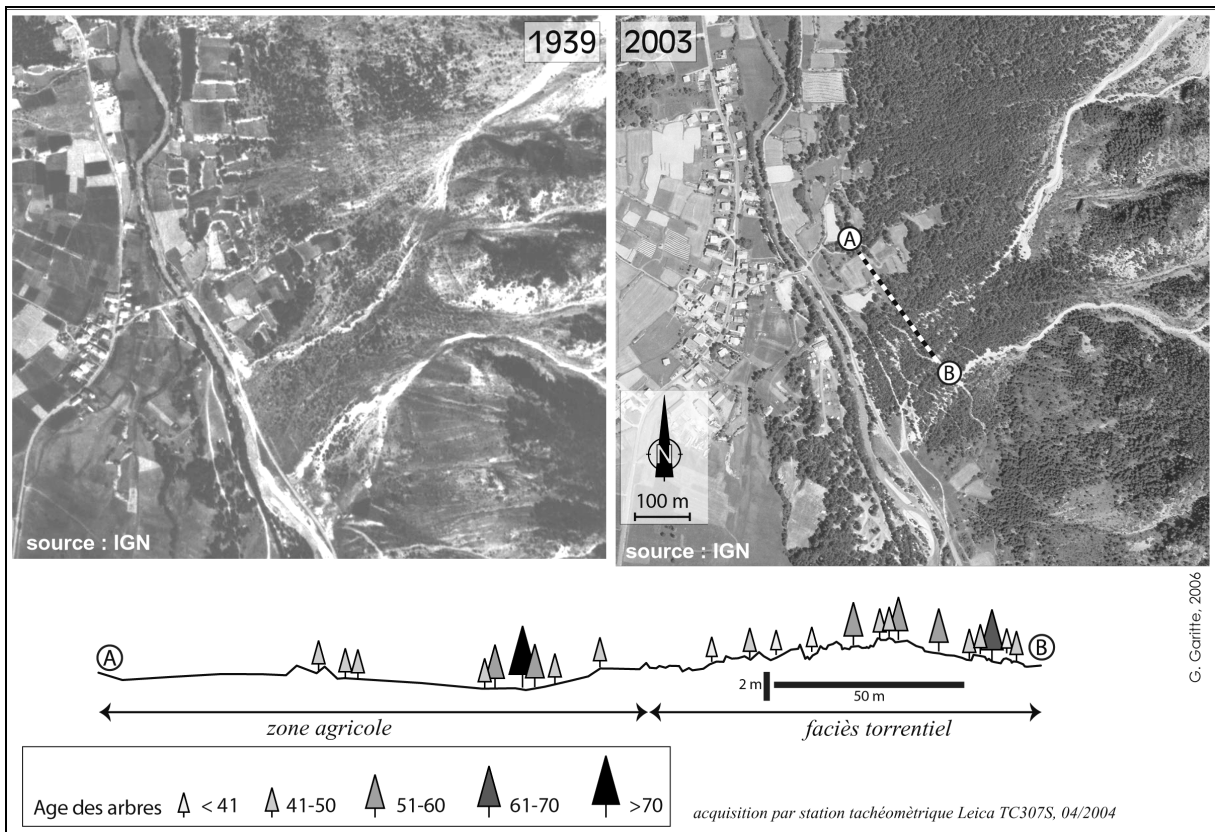


Figure 53 : évolution diachronique du cône de déjection du Ravin de Combal

L'étude de l'évolution des facteurs naturels et anthropiques pouvant influencer le comportement des torrents est un élément déterminant pour appréhender les mécanismes d'ajustement morphologique des torrents depuis le PAG.

Ainsi, nous avons démontré que la pression anthropique est restée relativement faible sur les versants. En effet, l'impact du pastoralisme s'avère limité sur l'extension de la couverture forestière car bien souvent les alpages –qui ont progressé au cours du 20^{ème} siècle– se situent au dessus de la limite supérieure de la forêt. Par ailleurs, les interventions de correction torrentielle se sont avérées très ponctuelles, tant du point de vue de la construction de barrages (limité à 2 torrents jusqu'à la moitié du 20^{ème} siècle) qu'au niveau du reboisement qui est resté ponctuel et ne s'est pas généralisé à l'échelle de la vallée.

In fine, il est important de constater que l'évolution spontanée de la couverture végétale dans la vallée de la Clarée s'est faite selon deux modalités :

- d'une part, on remarque une forte progression de la végétation en fond de vallée et en particulier sur les cônes de déjection suite à la colonisation

végétale d'anciens secteurs agricoles abandonnés au cours du 20^{ème} suite à la déprise rurale.

- d'autre part, une végétalisation spontanée remarquable de la plupart des versants de la vallée de la Clarée et ce en dehors d'importants reboisements anthropiques qui auraient pu contribuer à favoriser la dissémination biologique.

2.5. Vers un modèle de la mutation des bandes actives torrentielles sur les cônes de déjection de la vallée de la Clarée

L'ensemble des observations menées sur les torrents de la vallée de la Clarée démontre que l'ajustement des cours d'eau au tarissement du transit sédimentaire post-PAG, observé sur les rivières torrentielles et les torrents de moyenne montagne, s'applique également aux organismes élémentaires de haute montagne. Cependant, l'ajustement morphologique des torrents de la vallée de la Clarée au cours de la période contemporaine apparaît original par rapport aux modèles déjà décrits dans les Alpes et Préalpes du Sud.

2.5.1. Le rôle prépondérant des facteurs bioclimatiques dans l'ajustement morphologique contemporain des torrents de la Clarée

Alors que la péjoration climatique du PAG avait eu pour effet d'abaisser la limite supérieure de la forêt dans le Briançonnais (Martin, 1890 ; cf. 2.4.4.2.), les modifications climatiques qui ont suivi le PAG ont eu une incidence directe sur la végétation et son extension maximale : « *les conditions environnementales du 20^{ème} siècle sont plus favorables à la croissance des arbres d'altitude qu'aux siècles précédents* » (Bélingard et al., 1998). Bien que le reboisement spontané à la suite de la déprise agricole soit surtout marqué en fond de vallée, il est indéniable que la progression de la végétation, arborée ou non, joue un rôle important dans la stabilisation des éboulis et la réduction du transit sédimentaire sur les versants. La dissémination biologique à partir du fond de vallée a aussi pu jouer un effet positif sur la progression de la végétation.

De plus, le réchauffement climatique post-PAG a aussi entraîné une réduction de l'aire d'efficacité des processus cryo-nivaux. Ainsi, la baisse du nombre de jours de gel et du nombre d'alternance de cycle de gel/dégel a pour conséquence une réduction de la production de matériaux mobilisables par l'ébouilisation des

corniches rocheuses. A une échelle de temps plus courte, cela a été constaté dans le massif des Ecrins, où la baisse du nombre de jours de gel peut expliquer une réduction de la production de matériaux disponibles via la gélifraction (fig. 54). Cela se traduit par une augmentation, au cours de la seconde moitié du 20^{ème} siècle, de l'altitude de la zone d'initiation des coulées de débris actives (Jomelli *et al.*, 2004).

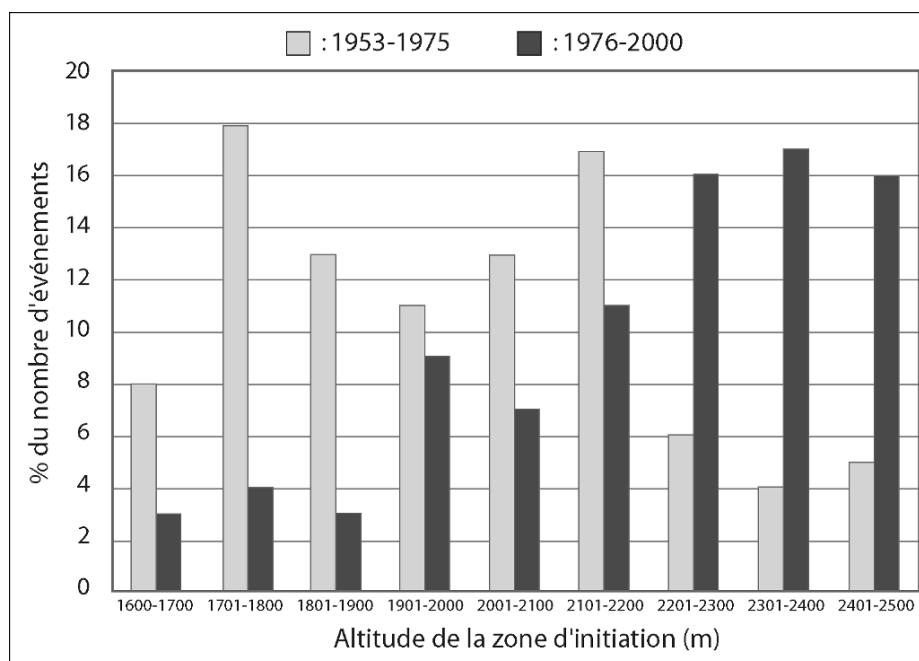


Figure 54 : évolution du nombre de coulées de débris de moins de 400m entre 1952 et 2000 selon l'altitude d'initiation – massif des Ecrins (d'après Jomelli *et al.*, 2004)

L'augmentation de la température moyenne post-PAG peut donc expliquer à la fois la baisse de la production de matériaux, en entraînant une élévation des secteurs soumis pleinement à la gélifraction, ainsi que la colonisation forestière –ou tout au moins végétale– des versants, ce qui conduit à une réduction du transit des matériaux sur les pentes. D'autres causes climatiques ont pu aussi intervenir dans le tarissement post-PAG du transit sédimentaire observé depuis la fin du 19^{ème} siècle, comme par exemple une modification de la répartition annuelle des précipitations. Le Roy Ladurie (1983) souligne l'importance des événements hydrométéorologiques intenses durant le PAG. Alors que F. Liébault (2003), en s'appuyant sur les travaux de N. Landon et J.P. Bravard, montre dans son étude des rivières torrentielles drômoises que la fréquence élevée des crues fortes à Luc-en-Diois durant le 19^{ème} siècle était due, pour la plupart de ces crues, à des précipitations orageuses d'été, alors que les relevés hydrologiques du 20^{ème} siècle sont marqués par l'absence de crues estivales. Il est très vraisemblable qu'un tel changement dans la répartition annuelle des précipitations ait aussi concerné notre secteur d'étude. De fait, il semble que la répartition saisonnière des précipitations ait connu des modifications à l'échelle des Alpes depuis la fin du 19^{ème} siècle. Dans le secteur d'étude on passe ainsi d'une organisation annuelle des précipitations de type Automne, Été, Printemps, Hiver à

une répartition annuelle des précipitations : Automne, Printemps, Été, Hiver (Descroix et Gautier, 2002).

Plusieurs éléments incitent à penser que les facteurs bioclimatiques eurent un rôle déterminant –plus important que les facteurs anthropiques– dans l'ajustement morphologique des systèmes torrentiels de la vallée de la Clarée :

- Tout d'abord, le phénomène de rétraction des bandes actives est très précoce. Il débute dès la fin du 19^{ème} siècle sur certains organismes torrentiels de la vallée de la Clarée comme sur le torrent de Roubion et dans une certaine mesure sur le torrent des Gamattes. Si sur ce dernier on n'observe pas de réelle rétraction de la bande active, on note néanmoins une végétalisation de cette bande active dès la fin du 19^{ème} siècle (cf. 2.3.1.2.). La rétraction des bandes actives suite au tarissement du transit sédimentaire est d'ailleurs confirmée, avec un léger décalage dans le temps, plus en aval du système fluvial : « dès le début du 20^{ème} siècle, la Durance connaît une contraction de ses lits et une tendance à l'incision alors qu'une telle évolution n'apparaît dans les Alpes du nord qu'à partir des années 1950 » (Miramont et al., 1998).
- L'importance du rôle joué par les facteurs climatiques dans le phénomène de rétraction des bandes actives a été soulignée par plusieurs auteurs dans différentes régions des Alpes françaises (Thévenet et al., 2003 ; Flez et Garitte, 2006). En effet, le milieu naturel est très sensible à la moindre fluctuation des conditions climatiques ainsi « une faible oscillation climatique peut avoir des conséquences exagérées sur l'évolution du paysage et des processus » (Francou, 1988). Les modifications climatiques depuis le 19^{ème} siècle peuvent être la cause de ces changements en modifiant d'une part les conditions rencontrées par la végétation d'altitude et, d'autre part, en influençant l'intensité des processus de gélifraction.
- L'augmentation de la pression pastorale sur l'ensemble de la vallée de la Clarée, y compris dans les bassins-versants de certains organismes torrentiels ayant subi une très nette rétraction de leur bande active, minimise de fait l'importance du pâturage dans l'augmentation du transit sédimentaire, tout au moins dans les bassins-versants élémentaires de montagne. En effet sur les trois bassins-versants étudiés, deux comportent toujours à l'heure actuelle de vastes alpages (torrents des Acles et de Roubion). En fait, l'influence du pastoralisme sur la dynamique torrentielle apparaît marginale pour les bassins-versants élémentaires de haute montagne de la vallée de la Clarée où les alpages ne semblent pas constituer d'importantes zones contributives

du point de vue sédimentaire. De fait, « *les périodes de forte pression humaine sur le milieu n'ont pas toujours été synonymes de crises érosives et détritiques* » (Jorda et Provansal, 1996).

- La précocité du phénomène de rétraction des bandes actives torrentielles et le fait que celui-ci ait touché des torrents n'ayant pas fait l'objet de correction torrentielle, tendent à minimiser le rôle des interventions humaines dans le déclenchement de l'ajustement morphologique des torrents de la vallée de la Clarée. Il semble ainsi que la politique RTM, dont l'efficacité dans la réduction de l'aléa torrentiel est indéniable (cf. 3.3.8.), ait bénéficié d'un contexte climatique et environnemental globalement favorable à la réduction du transit sédimentaire et à la relaxation de l'activité torrentielle. Cela est largement démontré dans le cas de bassin-versant n'ayant jamais fait l'objet d'intervention directe, comme par exemples les Ravins des Fournéous ou de Combal qui ont pourtant connu une mutation importante de leur physionomie sur leur cône de déjection.

Les études menées en vallée de la Clarée conduisent à penser que le phénomène de rétraction des bandes actives torrentielles des bassins-versants élémentaires de montagne fut principalement le fruit des conséquences environnementales de l'évolution climatique post-PAG alors que le rôle direct des facteurs anthropiques est resté limité. Certains des torrents de la Clarée ont connu un ajustement morphologique très précoce pour lequel les facteurs climatiques ont dû jouer un rôle déterminant. La place des systèmes torrentiels de montagne tout à l'amont du système torrentiel peut expliquer cette différence avec les nombreuses études menées sur les rivières torrentielles des montagnes drômoises (Liébault *et al.*, 2002 ; Liébault et Piégay, 2001 ; Liébault *et al.*, 2005). Les résultats de ces études « *suggèrent qu'une période clef de changement des chenaux (...) causée par le déclin du pâturage et associée au reboisement naturel (...) a suivi la Seconde Guerre Mondiale* » (traduit de Piégay *et al.*, 2004).

D'autres études, portant sur deux torrents de la vallée de l'Ubaye, mettent l'accent sur l'importance des facteurs anthropiques (*i.e.* reboisement, correction torrentielle, déprise agricole) pour expliquer la rétraction contemporaine des bandes actives (Flez et Lahousse, 2003). Or, si les observations menées dans la vallée de la Clarée tendent à confirmer la quasi ubiquité du phénomène d'ajustement morphologique des cours d'eau à l'échelle des Alpes, elles prouvent aussi qu'il y a une diversité de modalité de rétraction des bandes actives torrentielles (Flez et Garitte, 2006). Les modèles décrivant la rétraction des bandes actives torrentielles pour les torrents de la Drôme ou de l'Ubaye ne peuvent donc pas être directement transposés au cas de la vallée de la Clarée. Il existe en effet de grandes

dissemblances en terme de cadre géographique (*i.e.* superficie des bassins-versants, contexte géologique, altitude, histoire locale, anthropisation du milieu) qui peuvent aisément expliquer la différence des résultats obtenus.

2.5.2. Les facteurs explicatifs du manque de synchronisme de l'ajustement morphologique des torrents de la vallée de la Clarée

Les mesures, visant à quantifier l'ajustement morphologique contemporain des torrents de la vallée de la Clarée, soulignent la diversité des rythmes de l'ajustement morphologique, alors même que ces systèmes torrentiels subissent de façon à peu près similaire l'influence des modifications environnementales et socio-économiques (fig. 55). Les effets des modifications environnementales ont été très précoces sur le torrent de Roubion, alors qu'ils se font ressentir de manière régulière durant la seconde moitié du 20^{ème} siècle sur le torrent des Acles et se concentrent principalement entre 1939 et 1952 sur le torrent des Ruines.

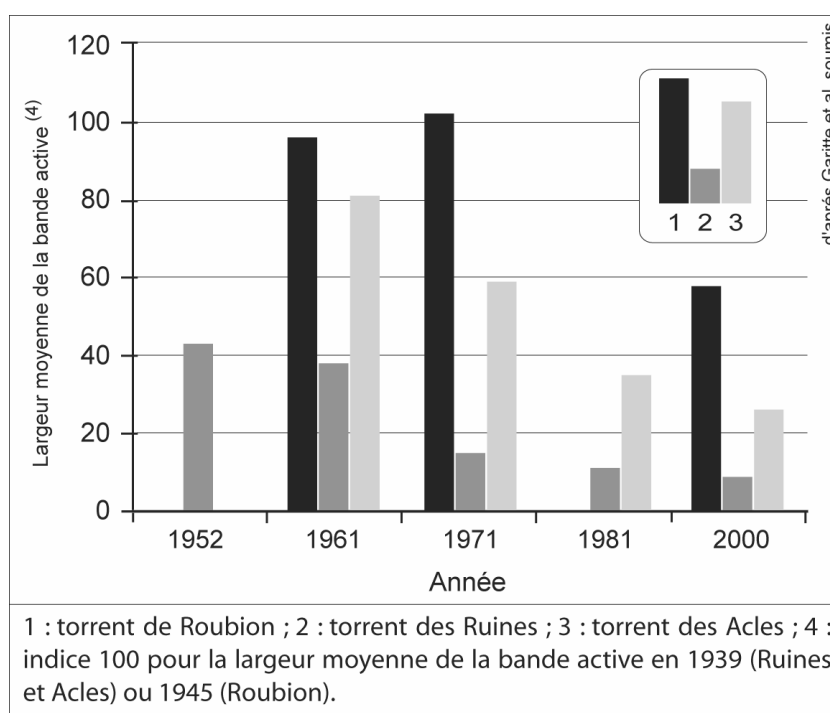


Figure 55 : évolution de la largeur de la bande active de 3 torrents de la vallée de la Clarée

Parmi l'ensemble des facteurs influençant l'ajustement morphologique des torrents sur leur cône de déjection, les actions de correction torrentielle entreprises

par le service RTM dès la fin du 19^{ème} siècle peuvent être déterminantes. Elles ont en effet pu entraîner une réduction du transit sédimentaire propice à la rétraction des bandes actives. Parmi les trois torrents étudiés, seul le torrent de Roubion a fait l'objet de reboisements ponctuels dans la partie inférieure de son bassin-versant (cf. 2.4.3.). Le périmètre RTM englobant moins de 5% du bassin-versant du torrent de Roubion a été créé par un décret du 5 mars 1864, et l'expropriation eut lieu le 16 février 1887. Pourtant, même si ces travaux furent précoces à l'échelle de la vallée, il est peu probable qu'ils soient seuls responsables de la rétraction de la bande active torrentielle observée dès 1895.

Il apparaît, par ailleurs, que les caractéristiques du bassin-versant comme la dénivelée spécifique (coefficient de rugosité de Melton) ou le taux de couverture forestière actuel, ne semblent pas être des éléments explicatifs du manque de synchronisme dans la rétraction des bandes actives (tableau 6). Il n'existe aucune corrélation entre ces différents paramètres et le résultat de l'analyse de la rétraction des bandes actives torrentielles.

Torrents	S_{bv} (km²)	M_{bv} (-)	S_f (%)
Acles	21,37	0,34	25,8
Roubion	5,09	0,45	13,6
Ruines	1,26	0,98	66,9

Tableau 6 : quelques caractéristiques des bassins-versants des torrents des Acles, du Roubion et des Ruines

S_{bv} = surface du bassin-versant

M_{bv} = coefficient de rugosité de Melton (dénivelée spécifique)

S_f = taux de couverture forestière

Les différents rythmes de rétraction des bandes actives torrentielles que l'on observe au sein de la vallée de la Clarée, semblent dictés non pas par l'altitude générale du torrent, mais plutôt par l'altitude des principales sources sédimentaires alimentant le chenal. En effet, les organismes torrentiels étudiés sont de taille réduite et possèdent généralement une ou plusieurs sources sédimentaires principales. Or, il suffit que ces sources sédimentaires principales, susceptibles d'alimenter le torrent, subissent une stabilisation suite à la progression de la végétation, qui bénéficie depuis le début du 20^{ème} siècle de meilleures conditions climatiques (Bélingard *et al.*, 1998), pour que le torrent entre dans une phase de rétraction. Dans le torrent de Roubion, la source sédimentaire principale se situe à une altitude relativement basse, donc dès la fin du 19^{ème} siècle la revégétalisation et la stabilisation des versants a entraîné une baisse du transit sédimentaire aboutissant à la contraction de la bande active. Dans les torrents des Acles et des Ruines, les sources sédimentaires principales sont situées à plus haute altitude ce qui peut expliquer que l'ajustement morphologique ait débuté plus tardivement.

La morphologie des bassins-versants a un rôle non négligeable sur le rythme de la rétraction des bandes actives. Les courbes hypsométriques peuvent caractériser la morphologie des différents bassins-versants. Elles permettent de déterminer la part de la surface du bassin-versant située en altitude, où la météorisation commandée principalement par la cryoclastie est active. Ces secteurs peuvent directement alimenter des tabliers d'éboulis et fournir, de façon indirecte, des matériaux aux torrents. Des études menées dans le massif des Ecrins ont permis de déterminer que l'isotherme annuelle moyenne de 0°C se situait autour de 2400 m au début des années 1980 (Francou, 1988). Vivian (1997) considère la zone comprise entre 2100-2200 m à 2800-3000 m comme étant « une zone où la gélifraction est la plus active » dans les Alpes occidentales.

Par ailleurs, les courbes hypsométriques permettent aussi de déterminer si le torrent est connecté aux sources sédimentaires d'altitudes (éboulis, placages morainiques...), ou si une rupture de pente entraîne une réduction du transit des matériaux et déconnecte le torrent de ses principales sources sédimentaires (fig. 56).

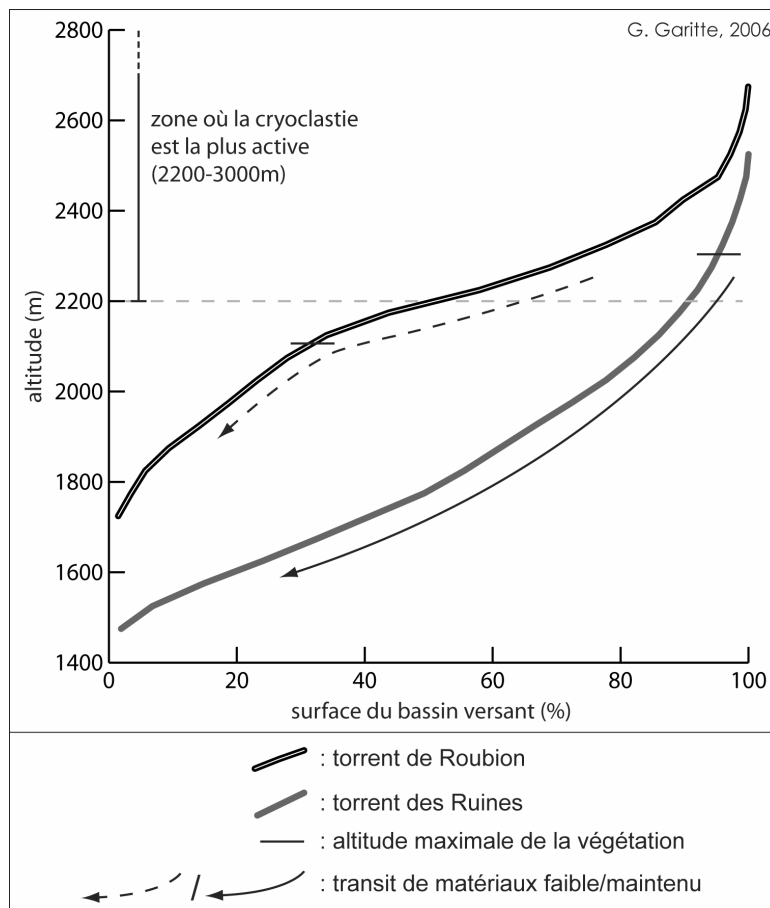


Figure 56 : courbes hypsométriques des torrents de Roubion et des Ruines

Ainsi, la géométrie particulière du bassin-versant du torrent de Roubion, caractérisée par le vaste replat qui forme le vallon des Thures (photo. 20), a vraisemblablement joué un rôle déterminant. En effet, après la péjoration climatique du PAG, lorsque la végétation a commencé à stabiliser les sources sédimentaires de l'aval vers l'amont, les principales sources sédimentaires du torrent de Roubion, constituées par les gorges de raccordement contrôlant l'activité géomorphologique du torrent, se sont tariées les premières. A cause du vallon des Thures, qui possède une pente faible (inférieure à 8%), le transit des matériaux morainiques présents au niveau de ce col de diffluence est drastiquement réduit. Par là même, le torrent de Roubion n'est pas connecté aux sources sédimentaires d'altitude qui, soumises à l'action régulière du gel, demeurent toujours actives. Comme on peut le voir sur la photographie et la carte des pentes (photo. 20 et fig. 57), une grande partie des éboulis actifs se déposent sur le replat du vallon des Thures sans pouvoir transiter jusque dans le torrent ; seule une partie des corniches rocheuses de la Roche Pertuse est encore susceptible d'alimenter directement le chenal torrentiel.

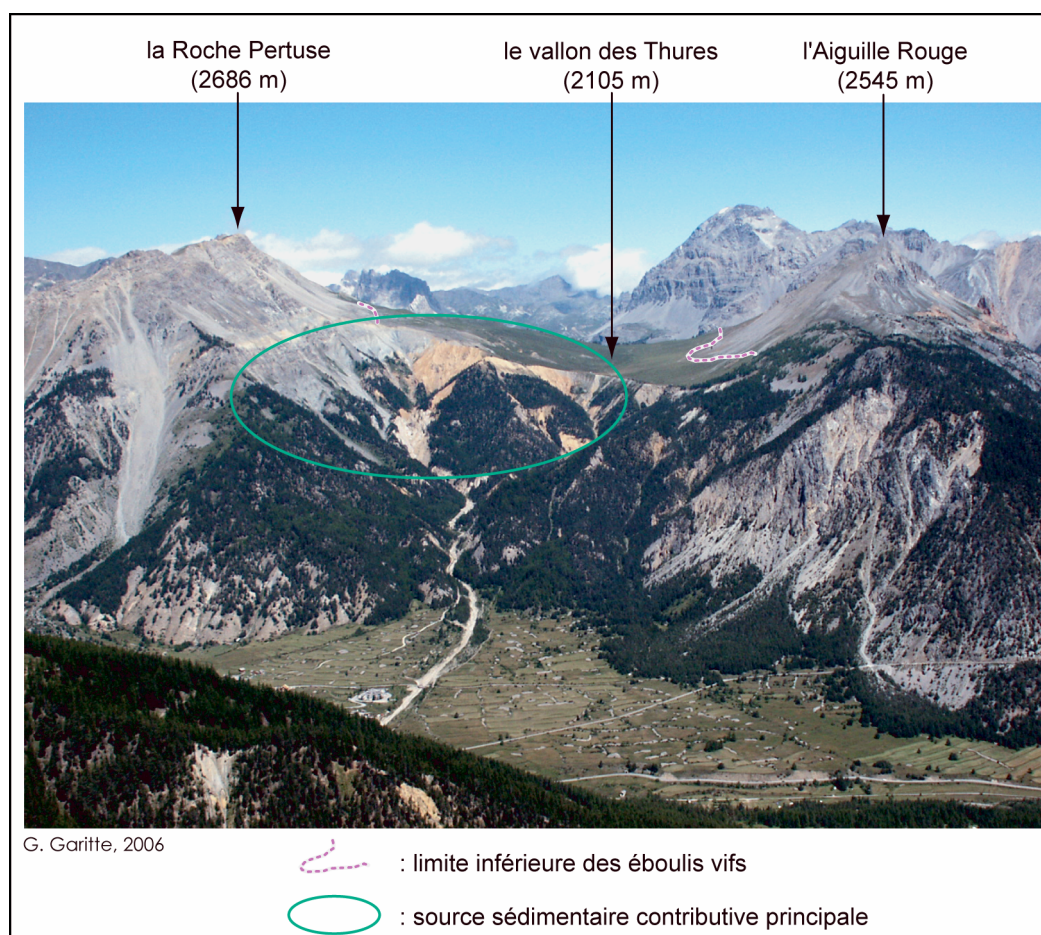


Photo. 20 : le bassin-versant du torrent de Roubion

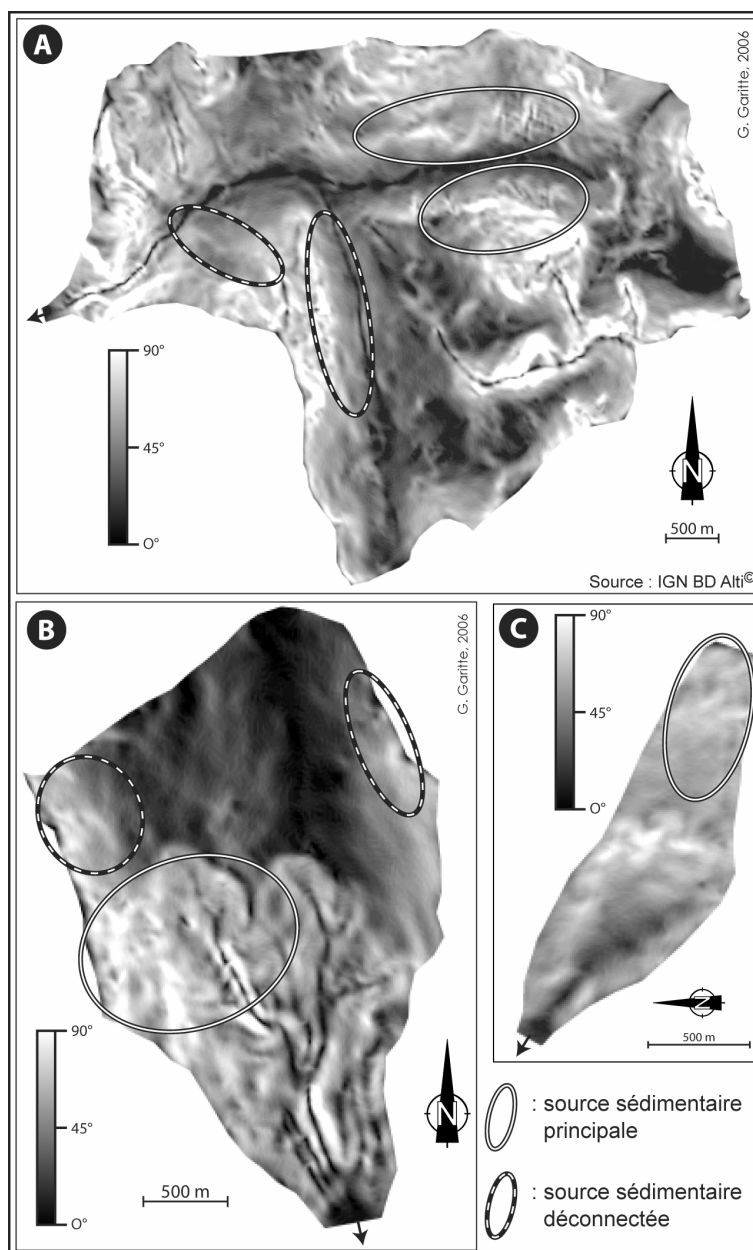


Figure 57 : localisation des principales sources sédimentaires dans 3 torrents de la vallée de la Clarée
A : torrent des Acles ; B : torrent de Roubion ; C : torrent des Ruines
le fond correspond à une carte des pentes tirée des données de la BD Alti® de l'IGN

Dans le cas du torrent des Ruines, seule une faible portion du bassin-versant se situe à une altitude où la gélifraction est active, mais le fait que la pente des versants et du chenal soit régulière peut expliquer que le torrent ait connu une alimentation continue en sédiments. Une fois les sources sédimentaires d'altitudes stabilisées par l'extension de la végétation, le torrent est entré dans une phase de rétraction mais de façon plus tardive que le torrent de Roubion. Il en est de même pour le torrent des Acles qui est longtemps resté connecté à des éboulis l'alimentant dans sa partie

médiane. Aujourd'hui, seules les coulées de débris élémentaires situées dans la partie supérieure du torrent constituent des sources sédimentaires actives mais, compte tenu de la faiblesse de la pente du vallon des Acles, elles ne sont pas suffisantes pour que le torrent maintienne une large bande active.

De plus, le fait que dans la vallée de la Clarée les crues torrentielles peuvent avoir un effet sensible sur l'emprise de la bande active des torrents est un élément important pour expliquer le rythme de la contraction des bandes actives torrentielles. La réversibilité temporaire du phénomène de rétraction à la suite d'une crue torrentielle est sans doute en partie responsable du défaut de synchronisme dans l'ajustement morphologique des torrents de la vallée de la Clarée aux changements environnementaux contemporains. Le rôle de ces crues morphogènes a été par ailleurs démontré sur les rivières de montagne, comme le Guil, où l'occurrence des crues BF-HM est un des moteurs de la variabilité temporelle de la largeur des bandes actives au cours de la seconde moitié du 20^{ème} siècle (Arnaud-Fassetta et Fort, 2004).

Au final, il semble que ce soit, d'une part, l'altitude relative des zones contributives et leur connexion au chenal torrentiel, d'autre part, l'occurrence de crues morphogènes qui puissent expliquer le manque de synchronisme observé dans l'ajustement morphologique des torrents de la vallée de la Clarée.

2.5.3. Modèle conceptuel de l'ajustement morphologique des torrents de la Clarée aux modifications environnementales post-PAG

Dans la présente étude, il a été démontré que les interventions humaines directes dans les bassins-versants (*i.e.* interventions de génie biologique sur les versants ou de génie civil dans les chenaux) ou l'évolution du pastoralisme n'ont que peu influencé l'évolution des bandes actives torrentielles. Sans vouloir minorer le rôle des actions anthropiques ponctuelles de reboisement ou de la déprise agricole qui ont pu faciliter la dissémination biologique, il semble ici que les principaux facteurs commandant l'intensité et le rythme de l'ajustement morphologique des torrents sur leur cône de déjection soient :

- l'amélioration des conditions climatiques qui ont à la fois favorisé la réduction de l'aire d'efficacité des processus cryo-nivaux et le développement de la végétation avec pour conséquences de peu à peu stabiliser les sources sédimentaires ;

- les caractéristiques morphologiques et hypsométriques des bassins-versants dont dépend la connexion du chenal torrentiel avec les principales sources sédimentaires ;
- l'occurrence de crues morphogènes susceptibles d'inverser ou de ralentir temporairement la rétraction des bandes actives torrentielles signe de l'ajustement morphologique des torrents.

Le modèle de l'ajustement morphologique proposé pour les torrents de la Clarée souligne l'importance des facteurs bioclimatiques dans le phénomène de contraction des bandes actives torrentielles. En effet, la progression spectaculaire de la végétation sur les versants de la vallée, pour la majorité exempts de toute intervention humaine, confirme le caractère spontané de ce changement environnemental et minimise, de fait, le rôle de la déprise agricole en fond de vallée. Toutefois, si l'ajustement morphologique des torrents semble commandé par des facteurs exogènes aux systèmes torrentiels (*i.e.* conséquences des évolutions bioclimatiques et de la pression anthropique), ce sont essentiellement des facteurs endogènes aux bassins-versants torrentiels –comme leur morphologie ou la localisation des sources sédimentaires principales– qui en déterminent le rythme.

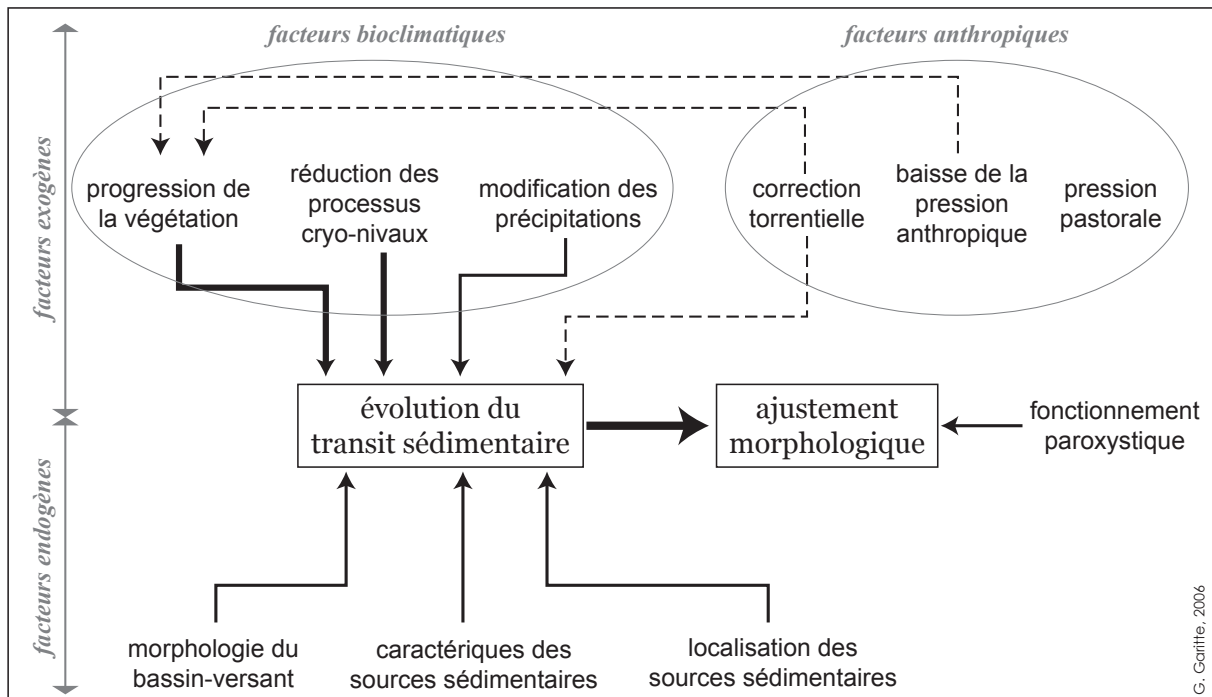


Figure 58 : modèle conceptuel de l'ajustement morphologique des torrents de la vallée de la Clarée

l'épaisseur des flèches est proportionnel à l'importance de ces facteurs dans l'ajustement morphologiques des torrents

C'est la part relative des facteurs endogènes et exogènes dans l'évolution du transit sédimentaire qui peut expliquer les différences observées avec d'autres modèles décrivant l'ajustement morphologique contemporain des cours d'eau. Dans la vallée de la Clarée la taille réduite des systèmes torrentiels implique une influence déterminante des versants et une forte réactivité aux modifications environnementales. Au contraire, l'ajustement des torrents de moyenne montagne et des rivières torrentielles de piémont apparaît à la fois moins influencé par les facteurs endogènes –dont l'influence directe diminue proportionnellement à la taille des bassins-versants– et plus sensible aux modifications de la mise en valeur des territoires compte tenu de la faiblesse des zones non-anthropisées.

L'analyse diachronique des cônes de déjection a permis de mettre en évidence l'ajustement morphologique des torrents ainsi que l'évolution de la couverture forestière. Les bandes actives torrentielles ont pour la plupart connu une contraction depuis la fin du 19^{ème} siècle. Souvent cette évolution se traduit par l'implantation d'une végétation forestière en lieu et place de l'ancienne bande active torrentielle.

L'évolution récente des bandes actives torrentielles, depuis l'avènement de la photographie aérienne, est, elle aussi, caractérisée par une contraction. Toutefois, les trois torrents étudiés ont connu des rythmes de rétractions distincts qui pourraient être influencés par la morphologie et l'activité paroxystique des différents bassins-versants.

Enfin, la part des facteurs naturels et anthropiques dans l'ajustement morphologique des torrents de la vallée de la Clarée a été analysée en se basant sur l'étude de l'évolution des différents facteurs pouvant influencer le transit de la charge sédimentaire tels que la couverture forestière, les interventions de correction torrentielle et l'évolution de la pression pastorale. Les résultats de cette étude semblent privilégier le rôle des facteurs bioclimatiques qui, en modifiant l'extension de la couverture végétale, ont contribué à une baisse du transit sédimentaire. Sans pour autant être en contradiction avec les études antérieures, ce constat diffère des observations menées sur les torrents de piémont et de moyenne montagne où les facteurs anthropiques apparaissent primordiaux.

2.6. Conclusion de la deuxième partie

Les cônes de déjection apparaissent comme le reflet de l'histoire environnementale des vallées alpines. L'état actuel des torrents et de leur cône de déjection est le fruit d'une longue évolution, mais cet état n'est pas statique.

L'importance de l'ajustement morphologique des torrents depuis la fin du PAG, marqué par la contraction des bandes actives torrentielles, souligne la grande sensibilité des systèmes torrentiels aux modifications environnementales. Nous avons en effet démontré que certains torrents de la vallée de la Clarée à l'instar du torrent des Acles ont connu une transformation radicale de leur physionomie sur leur cône de déjection, et ce, à des échelles temporelles inférieures à 60 ans. Ce phénomène est la résultante de la baisse du transit sédimentaire en réponse à l'amélioration des conditions climatiques qui s'avèrent plus favorable au développement de la végétation tout en réduisant l'aire d'efficacité des processus cryo-niveaux qui interviennent dans la production et le déplacement de matériaux mobilisables. Les résultats de notre étude de l'ajustement morphologique des torrents de la Clarée soulignent le caractère essentiellement spontané de l'évolution de la dynamique torrentielle depuis la fin du 19^{ème} siècle.