



UNIL | Université de Lausanne  
Faculté des géosciences  
et de l'environnement

Master of Science in Geography

## Contribution à l'étude du patrimoine géomorphologique de la Réserve Naturelle des Contamines Montjoie et démarche de géovalorisation

Jean-Baptiste Bosson

Sous la direction du Prof. E. Reynard  
Expert: F. Amelot



Maîtrise universitaire ès sciences en géographie

Septembre 2010



*Rien ne vaut la peine d'être vécu qui n'est pas d'abord une oeuvre d'imagination, ou alors la mer ne serait plus que de l'eau salée...* (M. Pinder, dans *Les cerfs-volants* de Romain Gary)



Paysage du haut Beaufortin depuis le col de Véry (les crêtes de la réserve apparaissent à droite)

## Remerciements:

Je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé, soutenu et encouragé dans ce travail de recherche. Mes pensées vont particulièrement à :

E. Reynard, C. Lambiel, C. Scapozza, mes collègues et amis de l'institut (en particulier L. Laigre, G. Scapozza et S. Martin), F. Amelot, J.-L. Epard, M. Marthaler, S. Coutterand, B. Bal, F. Horon, L. Furman, et Maryline à AARN.

Les familles Bosson (en particulier Monique, Pierre, Emilie et Romain), Dumas (en particulier Maryline et Jean-Paul) et Robin.

Mes amis de Lausanne (en particulier R. Maeder, A. Rossier et G. Rameli).

Mes amis pour l'aide et le soutien en particulier Pauline, Adrien, Déodat, Dimitri et Julien.



## Résumé

La Réserve Naturelle des Contamines Montjoie est un site exceptionnel à plusieurs titres. C'est d'abord la seule aire de protection de grande taille dans le massif du Mont-Blanc (il existe des sites du réseau *Natura 2000* sur le versant italien). Son patrimoine géomorphologique est profondément marqué par cette proximité au plus haut massif d'Europe et la réserve abrite un des plus grands glaciers français, le glacier de Tré la Tête. Sa géologie se caractérise par une structure complexe entre les différentes unités cristallines et sédimentaires. Elle est aussi, avec d'autres sites, un lieu où ont été élaborées les premières théories géologiques. Horace-Benedict De Saussure s'étonnait notamment en 1779 de la présence, au Rocher du Bonhomme, de dépôts sédimentaires contenant des galets à l'extrémité sud du massif du Mont-Blanc (l'appellation *Grès Singuliers* qu'il leur donna existe toujours). Enfin, sur les 355 réserves naturelles françaises en 2010, elle est la réserve la plus élevée et celle jouissant de la plus grande extension verticale puisqu'elle s'étend de 1100 à 3892 mètres d'altitude.

Malgré ces caractéristiques, le géopatrimoine de la Réserve Naturelle des Contamines Montjoie a fait l'objet de relativement peu de recherches scientifiques, si on la compare notamment à l'abondance des travaux effectués dans la haute vallée de l'Arve. Dans ce mémoire, nous nous sommes donc intéressés au patrimoine géomorphologique de la réserve dans une optique de géovalorisation. Celle-ci s'apparente à une mise en valeur du patrimoine abiotique à travers la proposition d'outils géotouristiques. La géovalorisation est intimement liée à la recherche fondamentale et la plus grande partie de ce mémoire a été consacrée à l'analyse de la géomorphologie actuelle de la réserve. Une carte géomorphologique a été réalisée, montrant notamment la richesse et la diversité du patrimoine glaciaire. De petits glaciers enterrés qui n'avaient jamais été relevés ont par exemple été cartographiés dans le vallon des Jovets. Des reconstitutions paléogéographiques ont été proposées sur la base des relevés de terrain. Elles permettent de visualiser six stades de retraits tardiglaciaires et holocènes. Enfin, l'analyse géomorphologique a été complétée par l'étude des géosystèmes actuels de la réserve. Ceux-ci sont fortement déstabilisés par le contexte de réchauffement climatique et la distribution spatiale des processus géomorphologiques est en cours d'évolution.

Le potentiel géotouristique de la réserve a par la suite été évalué. L'analyse géomorphologique a permis de dégager les principales richesses du géopatrimoine. Ce dernier se caractérise globalement par son bon état de conservation et favorise donc la pratique du géotourisme. L'évaluation s'est concentrée sur dix paysages géomorphologiques et a démontré leur fort potentiel géotouristique. Par ailleurs, la pertinence de cette pratique, s'inscrivant dans le développement durable, dans la réserve a été démontrée. Enfin, des propositions de géovalorisation ont été formulées sous la forme de parcours didactiques et d'un site internet.

## **Abréviations:**

AARN: Association des Amis de la Réserve Naturelle des Contamines-Montjoie  
AIG: Association Internationale des Géomorphologues  
AR: massif des Aiguilles Rouges (géologie)  
ASTERS: Agir pour la Sauvegarde des Territoires et Espèces Remarquables ou Sensibles  
BE: massif de Belledone externe (géologie)  
BI: massif de Belledone interne (géologie)  
BP: Before Present (âge en nombre d'années comptées vers le passé avec présent = 1950, date des premières datations au carbone 14)  
BRGM: Bureau des Recherches Géologiques et Minières  
CNM: Centre de la Nature Montagnarde de Sallanches  
CPGRNF: Commission Patrimoine Géologique de Réserves Naturelles de France  
CPPG: Commission Permanente du Patrimoine Géologique français  
CSRN: Comité Scientifique des Réserves Naturelles de Haute-Savoie  
DDAF: Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt  
DIREN: Direction Régionale de l'Environnement  
DLEG: Dépression de la ligne d'équilibre glaciaire  
EDF: Electricité De France  
IGUL: Institut de Géographie de l'Université de Lausanne  
IGN: Institut Géographique National  
INPN: Inventaire National du Patrimoine Naturel  
IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change  
IUCN: International Union for Conservation of Nature  
LGM: Last Glacial Maximum  
MAAT: Mean Annual Air Temperature  
MAGT: Mean Annual Ground Temperature  
MMB: massif du Mont-Blanc  
MNHN: Musée National d'Histoire Naturelle  
MBE: massif du Mont-Blanc externe (géologie)  
MBI: massif du Mont-Blanc interne (géologie)  
ONERC: Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique  
ONF: Office National des Forêts  
PAG: Petit Âge Glaciaire  
POS: Plan d'Occupation des Sols  
RN: Réserve Naturelle  
RNF: Réserves Naturelles de France  
RNCM: Réserve Naturelle des Contamines Montjoie  
RTM: Restauration des Terrains de Montagne  
SDAP: Service Départementale de l'Architecture et du Patrimoine  
SIG: Système d'Information Géographique  
UNESCO: Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture

# Table des matières:

Partie I. Cadre de recherche	11
1. Introduction	11
1.1. Introduction générale: géopatrimoine et géovalorisation	11
1.2. Contexte d'étude et choix du terrain: la géovalorisation dans l'espace alpin, le cas de la Réserve Naturelle des Contamines-Montjoie	13
1.3. Etat de la recherche	16
1.3.1. La recherche au niveau local: le Haut Val Montjoie et la Réserve Naturelle des Contamines-Montjoie	16
1.3.1.1 <i>Géologie</i>	16
1.3.1.2 <i>Géomorphologie</i>	17
1.3.1.3 <i>Valorisation du patrimoine abiotique</i>	17
1.3.2. La recherche générale: le géopatrimoine	18
1.4. Problématique	19
1.5. Objectifs et organisation de la recherche	20
2. Cadre théorique	21
2.1. Géomorphologie alpine	21
2.2. Géopatrimoine	23
2.2.1. Une approche systémique	24
2.2.2. L'approche culturelle	25
2.2.3. Pour une démarche intégrée et transdisciplinaire de géoconservation	26
2.2.4. la protection du géopatrimoine en France	29
2.3. Géotourisme	32
2.3.1. Définition	33
2.3.2. Caractéristiques: publics, lieux et outils	35
3. Méthodes	39
3.1. Cartographie	39
3.2. Observation et cartographie géomorphologique	40
3.3. Reconstitution paléogéographique	41
3.4. Evaluation de la valeur géotouristique du géopatrimoine	44

4. Le haut Val Montjoie et la Réserve Naturelle des Contamines Montjoie	46
4.1 Cadre géographique	46
4.1.1. Le Val Montjoie	46
4.1.2. La Réserve Naturelle des Contamines-Montjoie	49
4.2. Climatologie	54
4.3. Histoire et structure géologique	57
4.4. Végétation et faune du haut Val Montjoie	63
4.5. L'Homme et le haut Val Montjoie	64
4.5.1. Les premiers sédentaires	64
4.5.2. Un développement synonyme de pastoralisme	64
4.5.3. Du Moyen Âge à la création de la commune des Contamines-Montjoie	65
4.5.4. Une profonde mutation au 20ème siècle: le développement du tourisme	65
4.5.5. L'hydroélectricité	66
4.5.6. La Deuxième Guerre Mondiale	67
4.5.7. La situation socio-économique actuelle	67
4.5.8. L'occupation du sol et l'aménagement du territoire	68
4.6. La Réserve Naturelle des Contamines Montjoie (RNCM)	69
4.6.1. La création, l'histoire et quelques caractéristiques de la RNCM	69
4.6.2. La RNCM et les aires de protection	70
4.6.3. La gestion actuelle	72
4.6.4. Le géopatrimoine et le paysage	74
<b>Partie II. Géomorphologie</b>	<b>77</b>
5. Géomorphologie	77
5.1. Introduction	77
5.2. La géomorphologie du Val Montjoie	77
5.3. La cartographie géomorphologique	80
5.3.1. Carte géomorphologique au 1: 50 000	80
5.3.2. Notice explicative	82
5.3.2.1. <i>Formes structurales</i>	82
5.3.2.2. <i>Hydrographie</i>	85

5.3.2.3. <i>Formes glaciaires</i>	94
5.3.2.4. <i>Formes périglaciaires</i>	104
5.3.2.5. <i>Formes gravitaires</i>	110
5.3.2.6. <i>Formes fluviatiles</i>	113
5.3.2.7. <i>Formes lacustres et organogènes</i>	117
5.3.2.8. <i>Formes karstiques</i>	120
5.3.2.9. <i>Formes nivales</i>	121
5.3.2.10. <i>Formes anthropiques</i>	123
5.4. Synthèse	123
<b>6. Morphogenèse</b>	<b>124</b>
6.1. Introduction	124
6.2. Le LGM et la fin du Pléniglaciaire dans le Haut Val Montjoie	130
6.3. Reconstitutions paléogéographiques tardiglaciaires et holocènes	132
6.3.1. Cartographie des cordons morainiques et stades de retrait glaciaire	132
6.3.2. Corrélation avec les modèles régionaux	136
6.3.3. Signification paléogéographique des formes périglaciaires	140
6.3.4. La morphogenèse de la RNCM depuis le Tardiglaciaire	141
6.4. Synthèse	150
<b>7. Dynamique géomorphologique: état actuel et hypothèses futures</b>	<b>150</b>
7.1. Introduction	150
7.2. Systèmes géomorphologiques	155
7.2.1. Dynamique morphogénétique	155
7.2.2. Distribution des sous-systèmes morphodynamiques	157
7.3. Evolution dynamique: influence climatique et influence anthropique	158
7.4. Géomorphologie et aléas naturels	163
7.5. Synthèse	166
<b>Partie III. Valorisation du patrimoine géomorphologique</b>	<b>168</b>
<b>8. La Réserve Naturelle des Contamines-Montjoie et le géotourisme</b>	<b>168</b>
8.1. le contexte touristique de la RNCM	168
8.1.1. Etat actuel du tourisme	168
8.1.2. Tendances touristiques, objectifs de développement et pertinence du géotourisme	169

8.2. Vulnérabilité et conservation du géopatrimoine	170
8.2.1. Etat de conservation du géopatrimoine	170
8.2.2. Vulnérabilité du géopatrimoine	172
8.3. Le géotourisme	173
8.3.1. Le potentiel géotouristique de la RNCM	173
8.3.2. Mise en lumière et évaluation des paysages à potentiel géotouristique	175
8.3.3. Objectifs et démarche de géovalorisation	180
8.4. Synthèse	182
9. Outils de valorisation	183
9.1. Parcours didactiques	183
9.2. Site internet	186
<b>Partie IV. Conclusion</b>	<b>190</b>
10. Conclusion	190
10.1. Synthèse	190
10.2. Perspectives	190
10.3. Conclusion générale	191
<b>Bibliographie</b>	<b>193</b>
<b>Annexe</b>	<b>205</b>

# Partie I. Cadre de recherche

## 1. Introduction

### 1.1. Introduction générale: géopatrimoine et géovalorisation

La valorisation du patrimoine abiotique est actuellement un thème de recherche important dans les sciences de la Terre. La multiplication des travaux de recherche, des séminaires et des colloques sur des néologismes récents (géomorphosites, géovalorisation, géoconservation, géodidactique, géotourisme, géohéritage, etc.) illustrent d'ailleurs l'implantation croissante de ce thème dans le champ géoscientifique (voir par exemple, les ouvrages de référence de Gray, 2004 et Reynard et al., 2009a). Ce phénomène, s'il traduit en partie l'éternelle volonté de partager le savoir scientifique et de le rendre accessible au non scientifique, est aussi l'expression d'une réflexion renouvelée, dans la société contemporaine, sur le rapport entre l'Homme et son environnement.

L'essor de l'écologie politique (écologisme), initié dans les années 1970 - notamment dans le prolongement des travaux du *Club de Rome* - a marqué un tournant dans le milieu de la recherche (Scheurer et Sgard, 2008), affectant également, plus largement la société civile. Cependant, le succès de la pensée écologiste s'est fortement accru récemment, dans un contexte de changement climatique (IPCC, 2007) et de crise écologique (espèces, ressources; par exemple: IPCC, 2002 ou encore Vié et al., 2008) avérés. Ainsi, dans les sciences comme dans la société, la responsabilité environnementale de l'Homme (conséquences des activités humaines sur l'environnement) est actuellement reconnue et repensée. La durabilité est au coeur de cette réflexion, tandis que l'environnement est approché dans une optique patrimoniale (voir par exemple Dérioz et Bachimon, 2009), tant dans ses composantes abiotique et biotique que dans ses dimensions naturelle et culturelle. Ainsi, il convient de respecter et de protéger ce riche et fragile héritage dans le but de le transmettre aux générations futures. Dans ce prolongement, la logique de multiplication des aires de protection, souvent articulée à une volonté de valorisation, consacre la nécessité de conserver la biodiversité et la géodiversité (Gray 2005, Bétard 2010) dans une nature patrimonialisée (il existe à ce titre, un nombre très important de textes - majoritairement du *soft law* - dans les législations nationales et internationales sur l'environnement et plus spécialement sur les espaces protégés). La création d'aires de protection traduit ainsi un changement de regard sur l'environnement, une qualification symbolique, économique et juridique d'un territoire réapproprié (Vaccaro et Beltran, 2009).

Cette réflexion sur le rapport Homme/Nature n'échappe pas au tourisme, d'autant plus que cette pratique a, par essence, une relation ambivalente avec l'environnement (Knafou (chapitre 6) dans Stock et al., 2003 : 222). Elle est en effet à la fois un «*facteur de dégradation*» (impacts environnementaux liés à la fréquentation et aux pratiques exercées dans un site, et plus particulièrement, selon Serrano et Ruiz-Flaño (2009), atteintes à la géodiversité par des destructions, des pollutions et l'érosion) et une «*source de préservation*» de l'environnement (conservation, valorisation, prise de conscience de la richesse et de la fragilité d'un site). Le caractère *naturel* de nombreux sites touristiques est leur raison d'être et il doit ainsi être préservé, alors qu'il est directement remis en question par la fréquentation touristique (voir par exemple le cas du Cervin et de la station de Zermatt dans Reynard, 2005a).

Dans ce contexte d'engouement écologiste, il paraît nécessaire de repenser le tourisme, pour permettre de concilier pratiques touristiques et préservation de la ressource touristique. Ainsi, l'écotourisme et plus largement le tourisme axé sur la nature, apparaissent dans les années 1970 (Tardif, 2003) avant de se développer plus récemment autour de la notion de *tourisme durable* qui vise l'ensemble des activités touristiques (Dérioz et Bachimon, 2009). Ce tournant résulte de l'aspiration croissante des touristes d'inscrire leurs pratiques, responsabilisées, dans un environnement préservé - par extension des agrosystèmes respectueux de l'environnement (dynamique bottom-up). En même

temps, les pouvoirs publics et/ou des professionnels du tourisme prennent conscience de la fragilité des ressources touristiques et de l'intérêt économique offert par ces nouvelles pratiques (dynamique top-down) (Knafo dans Stock et al., 2003).

Plus que n'importe quel autre espace, les aires protégées portent et illustrent la relation paradoxale entre le tourisme et l'environnement. Ces lieux, où les activités humaines sont encadrées voire limitées, sont en même temps des outils - directs/indirects, volontaires/involontaires - d'aménagements touristiques (Debarbieux, 1995). «*La valorisation touristique de ces espaces est souvent considérée comme une contrepartie incontournable à leur protection* (Michau, 2000)». L'enjeu réside donc, dans ces espaces plus encore que pour tout autre lieu touristique, dans la nécessité de trouver le difficile l'équilibre entre la pratique touristique et le respect d'environnements souvent très fragiles. «*L'avantage des aires protégées est que leur organisation souvent bien structurée facilite la gestion des activités touristiques, limitant les effets négatifs éventuels sur l'environnement naturel et socioculturel* (Tardif, 2003)». Les aires de protections deviennent ainsi les lieux privilégiés pour la pratique de l'écotourisme (Lawton, 2001).

Le géotourisme (défini notamment par Dowling et Newsome, 2006b) est une branche de l'écotourisme centrée sur la découverte du patrimoine abiotique et des géosciences. Le géotourisme «*prend en compte de manière intégrée les trois axes du développement durable, à savoir une sensibilisation et une éducation des populations autochtones et des visiteurs au patrimoine géologique et géomorphologique, une protection efficace de celui-ci et une utilisation touristique induisant une plus-value économique* (Pralong, 2006a: 10)». Le patrimoine abiotique est, au même titre que la faune, la flore et plus largement le paysage, une *ressource touristique* et en ce sens, il possède une capacité d'attraction touristique (fonction des attentes des touristes, de sa richesse et de sa préservation) et un potentiel économique (direct ou indirect).

L'émergence du géotourisme est récente et, au delà par exemple du succès rencontré depuis une dizaine d'années dans le réseau européen des géoparcs (Zouros, 2009), il faut rester lucide dans l'analyse de cette pratique, notamment au sujet de son potentiel. En effet, à l'opposé d'un tourisme de masse centré sur les loisirs (*la récréation*, voir notamment Equipe MIT, 2002), le géotourisme s'inscrit dans une optique éducative, où la connaissance scientifique est exposée à un public plus ou moins averti. En ce sens, le géotourisme dépend de la considération (curiosité, sensibilité, voire passion), aujourd'hui limitée, des touristes pour les géosciences (Hose 1998, Pralong, 2003, Kramar, 2005). Le géotourisme n'a donc pas vocation à dépasser le tourisme de masse mais il constitue une offre alternative, voire complémentaire à celui-ci. Aussi, il permet, avec d'autres types de tourisme spécialisé, de diversifier l'offre et les pratiques touristiques. De plus, pour Larwood et Prosser (dans Gray, 2004: 84), considérant, dans une vision très large du géotourisme, que de nombreuses activités touristiques s'inscrivent dans un patrimoine abiotique riche, «*tourists, whether they are aware or not, will in some way all be geotourists* ».

C'est donc dans ce contexte inédit et récent que la géovalorisation a pris une place grandissante dans les sciences de la Terre. En effet, le scientifique permet au géotouriste d'atteindre une de ses aspirations: comprendre le milieu qu'il visite. La didactique, aux formes diverses, est l'outil qui permet ce partage du savoir (voir par exemple Kramar, 2003 et 2005).

Valoriser le géopatrimoine nécessite, dans un premier temps, une étude scientifique, indispensable à la connaissance des richesses et de la vulnérabilité d'un secteur. Elle permet ainsi la sélection de sites à valoriser, car tout patrimoine abiotique ne peut avoir un intérêt touristique pertinent (Pralong, 2005; Reynard, 2009a). Cette sélection nécessite de cerner les attentes des géotouristes, car un intérêt scientifique n'est pas forcément synonyme d'intérêt touristique. Les touristes et les scientifiques ont, en effet, un rapport différent à la connaissance. Une sensibilité à l'exceptionnel, voire à l'émotionnel, s'oppose ainsi à une approche objective et exhaustive. Enfin, une analyse des moyens de valorisation touristique (s'ils existent) et/ou une proposition de moyens (s'ils n'existent pas) permettent d'achever cette démarche scientifique.

## 1.2. Contexte d'étude et choix du terrain: la géovalorisation dans l'espace alpin, le cas de la Réserve Naturelle des Contamines-Montjoie

Des villes aux espaces vierges, des secteurs agro-pastoraux traditionnels aux sites industriels et tertiaires, le territoire alpin se caractérise par une considérable diversité (Bätzing et Rougier, 2005). Celle-ci est d'autant plus importante que cet espace subit des dynamiques parfois antagonistes, par exemple entre l'exploitation et la protection des ressources naturelles, ou encore entre l'anthropisation, l'urbanisation de l'espace et l'exode rural.

Les environnements alpins, échelonnés sur près de 5000m de dénivelé, se traduisent par leur diversité (biotique, abiotique), leur richesse (espèces, milieux, roches, formes, etc.), leur dynamique (« *haute montagne récente, dont la formation n'est même pas achevée et qui se trouve en perpétuelle évolution*», Bätzing et Rougier, 2005: 46) et leur fragilité (espèces, milieux, processus géomorphologiques, etc.). Cette fragilité résulte des équilibres climatiques précaires qui caractérisent chacun de ces milieux, aux interactions nombreuses et complexes. Aussi, comme le montrent de nombreuses études (voir par exemple Beniston, 2005 ou encore ONERC, 2008), les Alpes, à l'instar des milieux de haute altitude ou de haute latitude, se distinguent par une vulnérabilité climatique accrue, subissant donc d'avantage les effets du changement climatique contemporain.

La reconnaissance collective de la richesse et de la fragilité de l'environnement montagnard est relativement récente, contemporaine de la Révolution industrielle. Elle s'oppose aux valeurs des sociétés traditionnelles alpines, fondées sur le développement de l'agriculture et de l'élevage dans un environnement hostile, dont il fallait exploiter au mieux les espaces et les ressources. La démarche de protection s'inscrit d'abord dans des zones sans intérêts économiques, s'étendant ensuite géographiquement grâce à de nombreuses initiatives locales. C'est seulement récemment, depuis les années 1970 et plus encore depuis les années 1990, que la volonté de repenser de manière globale et dans une perspective de développement durable, la relation entre l'Homme et les Alpes a émergé, consacrée par l'entrée en vigueur de la Convention Alpine en 1995 (Bätzing et Rougier, 2005).

Dans ce prolongement, l'ambition est donc de concilier développement économique et respect de l'environnement. Complicquée par définition, cette ambition est d'autant plus difficile à atteindre dans les Alpes que, si le milieu physique se caractérise par une richesse d'exception et une grande vulnérabilité, focalisant ainsi les velléités de protection de la nature, il est en même temps une source de contraintes importantes pour les activités humaines (espaces et communications limités, grande sensibilité aux événements naturels) dans un contexte de compétitivité économique accrue. En ce sens, « *les systèmes territoriaux alpins se caractérisent actuellement par une tension toujours plus forte entre les impératifs du développement économique et ceux de la préservation d'un patrimoine naturel d'exception particulièrement sensible au changement global* (Brun, 2008: 77) ». Lieu exceptionnel, porteur de « *tension* » et de paradoxe, l'espace alpin est donc *naturellement* devenu « *précurseur d'un développement durable en Europe [voyant naître] [...] assez précocement [...] des projets exemplaires et des structures politiques novatrices en vue d'une conversion vers la durabilité et que les grands principes de base de la mise en valeur de la nature sont discutés le plus souvent d'avantage concrètement et vigoureusement que dans les autres régions de l'Europe* (Bätzing et Rougier, 2005: 472) ». Les relations entre les activités humaines et l'environnement alpin doivent donc être repensées, sous l'angle de la durabilité. C'est le cas du tourisme, principal outil, avec les démarches de protection, « *de la mise en valeur de la nature* ». De plus, le tourisme alpin jouit d'une relation privilégiée et ambivalente avec le milieu physique.

Les Alpes font partie des lieux où le tourisme a été inventé. Apparu entre le 17<sup>ème</sup> et le 18<sup>ème</sup> siècle, ce voyage élitiste, initié par des aristocrates britanniques, des scientifiques et des artistes, se traduisait par un itinéraire (d'où la naissance du mot *tourisme*) à la découverte des richesses culturelles et naturelles de l'Europe, Paris, Rome et Chamonix étant les lieux fréquentés préférentiellement (Equipe MIT, 2005). Il consacre l'appropriation de l'espace et du temps, permis par la Révolution Industrielle et par la philosophie des Lumières (Equipe MIT, 2002). La dimension paysagère, *naturelle*, de l'espace alpin, qui occupe toujours une place importante dans son développement touristique, est à l'origine de cet attrait. Elle correspond à un changement de regard amorcé par les élites sur l'environnement montagnard et plus particulièrement sur la Haute Montagne (Bätzing et Rougier, 2005). La perception d'un environnement inculte, hostile, voire maudit, est renversée au profit d'une représentation romantique teintée d'esthétique (Debarbieux, 1995).

D'autres utilisations touristiques de l'espace alpin se sont superposées à ce tourisme contemplatif. Si les caractéristiques naturelles des Alpes ont permis à un tourisme (para)médical (thermalisme, climatisme) de se développer (ce type de tourisme est actuellement en régression dans le massif), c'est l'utilisation de la montagne comme terrain de jeu et plus particulièrement en hiver qui a été un véritable tournant. Initié dans la dernière partie du 19<sup>ème</sup> siècle, l'adaptation du ski (déjà pratiqué dans d'autres lieux) aux pentes alpines « *a révolutionné la vie [de ces] montagnes* (Equipe MIT, 2005: 87)». En effet, au delà de l'activité touristique, les dynamiques d'espaces alpins dans leurs ensembles subissent d'importants changements, autant du point de vue social, culturel, économique, territorial, qu'environnemental. À ce titre, les Alpes françaises et leurs stations de quatre générations différentes illustrent - parfois même de manière caricaturale - cette profonde (re)conversion de l'espace montagnard. Le paysage devient secondaire, décor et support d'une pratique touristique centrée sur «*une forte sensation corporelle* (Bätzing et Rougier, 2005: 15)». L'usage des Alpes comme terrain de jeu, générant des infrastructures à forte empreinte paysagère et environnementale, s'inscrit donc de manière paradoxale avec un tourisme reposant sur une nature préservée à l'attrait esthétique. En d'autres termes, à la recherche d'un paysage *naturel*, culturel, s'oppose dans le même espace, une nature artificialisée, «*support physique à des activités de type économique* (Pralong, 2006a: 1)». Espaces protégés et grandes stations de sports d'hiver représentent ainsi les deux formes opposées les plus abouties d'un tourisme alpin ambivalent (Dérioz et Bachimon, 2009).

«*Les Alpes ont été et restent encore aujourd'hui la principale région touristique de montagne du monde* (Debarbieux, 1995: 43)». En termes de fréquentation, de diversité des pratiques, d'infrastructures ou encore de retombées économiques, aucun autre massif n'est à ce point affecté par l'activité touristique. Avec des estimations de 1996 (60 millions de séjournants et 370 millions de nuitées par an), Bätzing et Rougier décrivent les Alpes comme «*une des toutes premières régions touristiques de la planète, puisqu'elles émergent pour 11% du tourisme mondial et 17% du tourisme européen* (2005: 215-216)». Cependant, contrairement à une pensée largement répandue, le tourisme occupe une place économique secondaire dans les Alpes (Bätzing et Rougier, 2005). De plus, ce tourisme ne touche pas tout le territoire alpin et, si certaines vallées comptent des dizaines voire des centaines de milliers de lits, d'autres sont délaissées.

Dans le contexte actuel (succès de la notion de développement durable, accentuation du changement climatique et évolution de l'économie touristique mondiale), le développement touristique des Alpes semble se situer à un tournant. En effet, le *modèle industriel* du tourisme alpin fait face à de nombreux défis structurels et conjoncturels, nécessitant de ce fait, une adaptation, une mutation, voire pour certains auteurs, une nécessaire refonte (Bourdeau, 2009, parle notamment «*d'un modèle épuisé*»). Ainsi, voici d'un point de vue global, les principaux enjeux auxquels le tourisme alpin est confronté (voir par exemple Macchiavelli, 2009):

- adaptation aux changements climatiques, aux nouvelles pratiques touristiques et limitation de la dépendance aux pratiques des sports d'hiver;
- modernisation des infrastructures, préservation de l'attractivité touristique de l'espace alpin, limitation de la concurrence intra-alpine, gestion de la capacité d'accueil et lutte contre la précarité économique des entreprises touristiques (Bätzing et Rougier, 2005);
- mutation vers un tourisme durable, développement de l'écotourisme et conciliation entre un tourisme sportif lourd en infrastructure et un «*tourisme excursionniste* (Dérioz et Bachimon, 2009)» supposant des infrastructures limitées.

Le géotourisme, s'il occupe encore une place très discrète dans l'offre touristique alpine, semble pertinent à plus d'un titre face à ces enjeux. Diversifiant la pratique touristique, il s'inscrit dans ces «*nouveaux modes d'intelligence culturelle et territoriale du tourisme* (Bourdeau, 2009)», permettant la mise en valeur durable, avec des infrastructures limitées, de nouveaux espaces jusqu'ici relativement ignorés par le modèle industriel du tourisme. Il traduit donc, avec l'émergence d'autres pratiques touristiques et sportives (Léonard et Mao, 2003), une évolution du regard sur le milieu naturel («*offre de nouvelles activités récréatives, [...] intérêt porté à de nouveaux espaces, de nouveaux publics, de nouveaux temps, de nouveaux sens* (Bourdeau, 2009)»). De plus, l'espace alpin occupe une place privilégiée pour le géotourisme (voir par exemple Marthaler et Kramar, 2004). Outre la richesse et la diversité de son patrimoine abiotique, il est en effet, un des principal lieu de naissance des sciences de la Terre (voir à ce titre une synthèse dans Pralong, 2006a), représentant un attrait et une source de questionnement (toujours d'actualité) pour les géoscientifiques. Les Alpes, objets d'étude, ont par exemple permis l'élaboration des premières théories modernes de géologie et de glaciologie (plus largement de géomorphologie de montagne). Par ailleurs, comme montagnes, les Alpes ont l'avantage

d'être *un raccourci gigantesque à travers des temps et des espaces disparus* (Marthaler, 2004: 52), étant ainsi un espace privilégié pour valoriser les sciences de la Terre.

Dans cet espace alpin au tourisme inégalement réparti, *Savoie Mont-Blanc*, occupe une position particulière. Cette destination touristique regroupe les territoires de la Savoie et de la Haute-Savoie depuis 2006, dans une perspective de développement et de promotion touristique, à l'initiative politique de l'*Assemblée des Pays de Savoie*. *Savoie Mont-Blanc* représente entre 20 et 25% de la capacité d'hébergement (1, 286 million de lits touristiques) et 18% des nuitées (67,2 millions par an) du tourisme alpin (estimations réalisées avec les chiffres de l'Observatoire du Tourisme - Savoie Mont-Blanc, 2008 et Bätzing et Rougier, 2005). Elle est ainsi l'espace touristique le plus développé et le plus fréquenté du massif. Pour autant, comme le fait par exemple remarquer Paccard en 2009, des situations hétérogènes coexistent dans cet espace touristique et, par exemple, la pratique des sports d'hiver semble plus vulnérable aux changements climatiques en Haute-Savoie qu'en Savoie (la raison principale étant une altitude moins élevée des domaines skiables).

«*Le marché français du tourisme alpin occupe la meilleure position* (Bätzing et Rougier, 2005: 221)» dans le difficile contexte contemporain, en raison notamment de la modernité, de l'attractivité des ses infrastructures et de ses grandes entreprises touristiques. Pourtant, les données (Observatoire du Tourisme - Savoie Mont-Blanc, 2008 et 2009) indiquent une situation relativement précaire puisque la fréquentation stagne, diminue même à l'échelle de la dernière décennie, tandis que le tourisme estival subit une régression non négligeable (-9% entre 1999 et 2008). La dépendance à la pratique des sports d'hiver est donc accrue, tandis que les lourds investissements réalisés pour moderniser et sécuriser cette pratique dans le contexte de réchauffement climatique, conduisent toujours plus à industrialiser et financiariser le tourisme alpin (Bourdeau, 2009). Avec un investissement de 226 millions d'euros dans les domaines skiables en 2007 (68% de ceux réalisés en France), plus encore qu'ailleurs, la destination *Savoie Mont-Blanc* semble donc s'inscrire dans une *fuite en avant*, vers un tourisme hivernal de plus en plus technicisé. En même temps, la durabilité devient omniprésente dans le discours des politiques et des professionnels du tourisme, alors que la diversité des pratiques touristiques n'a jamais été aussi importante (Déroiz et Bachimon, 2009).

Dans le cadre d'une étude sur le tourisme alpin, sur sa relation au milieu naturel et plus précisément sur le géotourisme, la commune des Contamines-Montjoie, dans la vallée du Bon Nant (Haute Savoie, France, voir par exemple la figure 1.1) est pertinente à plus d'un titre. Une réserve naturelle (une superficie de 5500 ha) et un domaine skiable (24 remontées mécaniques pour 120 km de pistes) délimitent côte à côte, l'espace montagnard de la commune. Ces deux espaces sont les principaux atouts touristiques de la commune. Ils sont d'ailleurs largement mis en valeur sur son site internet. Cette occupation du sol, où s'opposent deux formes antagonistes du tourisme alpin (aire de protection et domaine skiable) est la conséquence de la volonté politique d'encadrer l'aménagement territorial de la commune, initiée au début des années 1970 (ASTERS, 2004: 6). Dans ce prolongement, trois zones sont définies pour: «*assurer un développement mesuré d'une zone habitée en fond de vallée; favoriser une bonne utilisation du domaine skiable sur la rive gauche du Bon-Nant [secteur du col du Joly et de l'aiguille Croche]; préserver la qualité du site sur l'autre rive [du massif de Roselette à celui du Mont-Blanc]*». D'autre part, la localisation de la commune entre le Sud du massif du Mont-Blanc (MMB) et le massif sédimentaire du Mont Joly permet de supposer un patrimoine abiotique riche et diversifié, nécessaire à tout développement géotouristique. Cependant, en comparaison avec la haute vallée de l'Arve (Chamonix), l'autre vallée française voisine du MMB, la vallée du Bon Nant jouit d'une renommée et d'un succès moins importants, autant auprès des touristes que des scientifiques. Cela se traduit par des activités touristiques et des recherches scientifiques moins développées. De ce fait, il paraît intéressant d'étudier le géopatrimoine (la géomorphologie dans ce travail de recherche) de la haute vallée du Bon Nant et de le valoriser, d'autant plus que ce secteur bénéficie d'un lieu privilégié pour la pratique du géotourisme : une réserve naturelle.



Figure 1.1: le Val Montjoie et le massif du Mont-Blanc depuis le col du Mont Joly. Au premier plan, le relief ruiniforme (entonnoirs) résulte de la dissolution des gypses. (tirée de [www.lescontamines.com](http://www.lescontamines.com)).

Cette recherche, en se focalisant sur la Réserve Naturelle des Contamines Montjoie (RNCM), se propose donc dans un premier temps d'en étudier le patrimoine géomorphologique. Nous essaierons ensuite d'en dégager les richesses, sites et objets pertinents dans une démarche de géovalorisation. Des outils seront finalement proposés pour y développer l'offre géotouristique.

### 1.3. Etat de la recherche

Cette partie sera l'objet d'une rapide présentation et analyse des recherches effectuées sur le patrimoine abiotique de la Haute Vallée du Bon Nant, et plus largement sur la géovalorisation.

#### 1.3.1. La recherche au niveau local: le Haut Val Montjoie et la Réserve Naturelle des Contamines-Montjoie

##### 1.3.1.1 Géologie

De De Saussure en 1779 (repris dans Delamette, 2002: 124-141) aux recherches contemporaines, de nombreuses études géologiques se sont intéressées au secteur de la Réserve Naturelle, plus largement au Sud du MMB. Si ce secteur, où cohabitent massifs cristallins (Mont-Blanc, Aiguilles Rouges et Belledonne), unités sédimentaires autochtones (couverture du Mont-Blanc) et allochtone (nappe de Roselette), se caractérise par sa complexité, le nombre des études dont il a été l'objet montre son importance, notamment pour la compréhension de l'histoire du MMB (ASTERS, 2004:5). C'est ainsi que différentes interprétations géologiques s'opposent autant sur des questions de géologie structurale que de stratigraphie. Nous nous sommes focalisés dans cette recherche sur les travaux les plus récents, considérant qu'ils reprenaient et poursuivaient les nombreuses recherches antérieures.

Menessier (1976), coordinateur de la feuille St-Gervais de la carte géologique de la France au 1:50'000, décrit une géologie complexe où le MMB chevauche la couverture sédimentaire. Epard

(1990) conteste cette interprétation, voyant pour sa part un contact stratigraphique (patrie du flanc normal de la nappe de Morcles). La stratigraphie proposée par Mennessier est également discutée par Epard; en témoignent les divergences d'interprétation au Mont Joly, au Plan de la Fenêtre ou encore au Rocher du Bonhomme. Les conclusions d'Epard serviront de base à notre synthèse géologique (voir 4.3). Elles ont d'ailleurs été reprises par le travail de Amelot et al. (2008) malgré quelques divergences de nomenclature et concernant la disposition des unités de la Nappe de Roselette. Gidon (2010) s'inscrit également dans le prolongement d'Epard. Cependant, deux divergences de vues principales subsistent. Gidon voit la structure méridionale du massif Mont-Blanc découpée en gradins (les «claveaux» décrits par Bordet en 1961) par des failles longitudinales quand Epard évoque une structure d'anticlinaux et de synclinaux, héritée d'une déformation ductile. De plus, Gidon prolonge la faille de l'Angle (qui sépare le Mont-Blanc externe et interne) au Sud par la faille du col du Bonhomme (Epard décrit un synclinal entre le col du Bonhomme et la dépression des lacs Jovet) tandis qu'Epard la place plus à l'Ouest, dans la faille de la Combe Noire (qui se prolonge dans le vallon de la Rollaz).

### 1.3.1.2. Géomorphologie

Les recherches sur la géomorphologie de la Réserve naturelle des Contamines Monjoie et plus largement sur la vallée sont nombreuses mais principalement thématiques (hydrographie, Quaternaire et glaciologie). Une approche généraliste sur l'ensemble de la vallée n'a été produite que par Chardonnet (1938). Il propose en effet une étude géomorphologique globale de la vallée qui s'avère encore intéressante aujourd'hui, bien que ses fondements théoriques (géologie, géomorphologie) soient aujourd'hui pour certains dépassés. Cette recherche a le mérite de porter une réflexion détaillée sur la genèse du relief de la vallée et de présenter une première carte géomorphologique. Nous sommes cependant réservés sur les hypothèses émises au sujet de la géomorphologie préglaciaire (replats fluviaux).

Mougin (1914) étudie les torrents et les crues du Val Montjoie dans un ouvrage très détaillé, Cependant, le relief de la vallée ainsi que les causes et les conséquences géomorphologiques des crues sont très peu développés. C'est également le cas des recherches de Balvay et Blavoux (1981), de Sesiano (1993), du CSRN (non daté a) ou encore de la *Mission CALAMAR* (dans ASTERS, 2004) qui, si elles décrivent et analysent avec une grande précision les lacs de la vallée, ne s'intéressent que peu à l'origine géomorphologique de ces plans d'eaux.

Les glaciers du Val Montjoie et particulièrement les grands complexes de Bionnassay, Miage et Tré la Tête ont pour leur part été beaucoup étudiés et suivis. Nous n'avons pas de relevé exhaustif de ces recherches mais il semble que ces lieux aient été étudiés dès les fondements de la géomorphologie alpine et de la glaciologie, au même titre que les autres grands glaciers du massif du Mont Blanc. Le glacier de Tré la Tête fait l'objet d'une attention particulière. L'altitude de son front, sa vitesse et ses mouvements sont par exemple relevés régulièrement depuis 1908 (CSRN, non daté b). Le captage de son eau sous-glaciaire réalisé en 1943 a été également l'objet d'observations détaillées et inédites par Waeber (1943). Plus tard, Vivian (1970), Reynaud (1985) et CSRN (non daté a) compléteront les études sur ce glacier.

Des recherches approfondies ont été entreprises pour étudier le Quaternaire du Val Montjoie et tenter d'en reconstituer la paléogéographie. Les travaux de Dorthe-Monachon (1986) et Wetter (1987) servent actuellement de référence quant à la reconstitution des différents stades de retrait tardiglaciaires dans la vallée du Bon Nant. Ils ont d'ailleurs été repris et synthétisés par Coutterand (dans Amelot et al. 2008). De plus, cet auteur a poursuivi et complété ces recherches dans Coutterand et Nicoud, 2005 (complexe du Fayet et lac d'opturation du Bon Nant) et dans Coutterand et Buoncristiani, 2006 (reconstitution du niveau d'englacement du dernier maximum glaciaire (LGM) avec l'étude des trimelines). Nous n'avons malheureusement pas pu nous procurer la thèse de Coutterand (soutenance à l'été 2010) pour savoir si elle développe de nouveaux éléments sur le Quaternaire de la vallée du Bon Nant.

### 1.3.1.3. Valorisation du patrimoine abiotique

Les ouvrages concernant la valorisation du patrimoine abiotique de la Réserve sont assez peu nombreux. Bozonnet et al. (1983), dans un ouvrage géographique généraliste sur le massif du Mont

Blanc, proposent un itinéraire de randonnée dans le secteur de Tré la Tête, mais les analyses géomorphologiques proposées sont incomplètes, voire incorrectes à notre sens (les moraines de la dalle des Conscrits sont par exemple qualifiées de glaciers rocheux). Delamette (2002), dans un ouvrage d'une grande qualité, définit un itinéraire géologique et géomorphologique qui traverse l'ensemble de la réserve (de Notre Dame de la Gorge au Rocher du Bonhomme). Cet itinéraire complet permet au randonneur de découvrir les traces de la présence glaciaire et quelques-unes des richesses géologiques de la Réserve dont les Grès Singuliers décrits par De Saussure. Le CSRN (non daté a et b) a produit au début des années 2000, deux petits ouvrages didactiques et accessibles au grand public sur les glaciers et lacs des réserves naturelles. Le glacier de Tré la Tête et le lac Jovet inférieur y sont évoqués. Vivian (2005), décrit également le glacier de Tré la Tête dans un ouvrage volumineux de vulgarisation sur les glaciers du Mont-Blanc. Enfin, dans une autre optique, Amelot et al. (2008) réalisent un coffret de trois petits ouvrages sur les paysages du pays du Mont-Blanc. Ce coffret, pensé pour les professionnels de la montagne, élus et techniciens administratifs, cherche à donner les clés de la lecture de ce paysage d'exception au travers de la géologie et de la géomorphologie. Aussi, le Val Montjoie y occupe-t'il une place importante et quatre paysages de la Réserve naturelle y sont analysés (Dômes de Miage, Col du Bonhomme, Lacs Jovet et Nappe de Roselette).

### 1.3.2. La recherche générale: le géopatrimoine

Nous allons nous concentrer dans cette présentation de l'état de la recherche générale sur les travaux menés récemment sur le géopatrimoine. En effet, la recherche sur la géomorphologie alpine et sur les domaines associés (glaciaire, périglaciaire, gravitaire, fluvatile, quaternaire, geosystèmes, crise paraglaciaire, etc.) est infiniment large, complexe et elle fait l'objet de publications innombrables à travers le monde. Aussi, nous nous contenterons de revenir sur certaines notions intéressantes pour ce mémoire dans le cadre théorique mais nous ne pourrions évidemment être exhaustif. La recherche sur le géopatrimoine, plus récente, plus ciblée et moins abondante en publication, a été l'objet d'une étude plus détaillée de notre part. Il nous semble en effet, important de définir ces concepts nouveaux (géopatrimoine, géotope, géovalorisation, géotourismes) et de comprendre dans quels contextes ils ont émergés.

#### *Géopatrimoine*

Une nouvelle orientation de la recherche géoscientifique s'est développée à partir des années 1990, dans le prolongement de la prise de conscience de la nécessité de valoriser et de protéger un patrimoine abiotique riche et vulnérable. Elle s'est traduite par l'émergence de nombreux néologismes dans le champ scientifique, consacrés par de multiples publications, recherches, colloques, etc. Ainsi, de la *Déclaration Internationale des Droits de la Mémoire de la Terre* en 1991 (voir Martini, 1994a; ou sur le site de la Société géologique de France) aux recherches et activités du groupe de travail *Geomorphosites* de l'*Association Internationale des Géomorphologues* (voir par exemple Reynard et al., 2009b), les géoscientifiques se sont profondément investis dans la définition d'un «*nouveau rapport entre l'Homme et la Terre* (Martini, 1994b: 117)».

Nous nous sommes principalement focalisés sur les travaux des membres du groupe de travail *Geomorphosites* de l'*AIG*, dans le tour d'horizon de la recherche sur le géopatrimoine que nous proposons. Les chercheurs sont nombreux et d'origines diverses - tant par leurs nationalités que par leurs disciplines - à travailler sur cette question. Cependant, comme le montre les publications de référence (Gray, 2004; *Géomorphologie* 3/2005; *Il Quaternario* 18(1)2005; Dowling et Newsome, 2006b; *Geographica Helvetica* 3/2007; Reynard et al., 2003a et 2009a; Reynard et Pralong, 2004), les chercheurs européens sont les plus productifs dans ce domaine de recherche, en particulier dans les Etats du Sud de l'Europe (Italie, Suisse, Espagne, Grèce, Portugal, France). En outre, en raison de sa place entre les sciences de la Terre et les sciences sociales, la géographie occupe une position privilégiée vis à vis de cette problématique, comme le montre le nombre de géographes impliqués. Une synthèse, non exhaustive, des recherches effectuées depuis une vingtaine d'années autour de cette thématique, montre que les scientifiques se sont focalisés sur deux grandes orientations.

La première, la **géoconservation**, s'interroge sur la nature, la richesse et la vulnérabilité du patrimoine abiotique autour des notions de **géodiversité** (Gray, 2004 et 2005; Serrano et Ruiz-Flaño, 2007 et 2009; Panizza et Piacente, 2009), **géohéritage** (Reynard et Coratza, 2007), **géohistoire** (Panizza et Piacente, 2004; Reynard, 2004a; ou encore avec une mise en évidence de la *profondeur spatio-*

*temporelle du paysage*, Marthaler 2003 et 2004, Pralong 2003, 2004b). Dans ce prolongement, les chercheurs réfléchissent sur le rapport entre l'Homme et son environnement abiotique au travers des relations impacts/risques/ressources (voir par exemple Cendrero et Panizza, 1999; Reynard, 2004b). Enfin, au delà du caractère strictement physique du patrimoine abiotique (dimension objective), les recherches se sont intéressées aux perceptions et aux représentations de ce patrimoine dans la société (dimension subjective), lui conférant ainsi diverses valeurs. Dans cette optique, les **géotopes** et plus précisément les **géomorphosites** ont été définies (Grandgirard 1997 et 1999, Panizza, 2001, Reynard, 2004b, 2005a et 2009b; Reynard et Panizza, 2005) ouvrant de nombreuses perspectives de recherche au sujet de leur évaluation (Grandgirard, 1999; Reynard, 2004b et 2009a, Reynard et al., 2007a; Pralong, 2005; Pereira et al. 2007; Bruschi et Cendrero, 2009), cartographie (Carton et al., 2005; Coratza et Regolini-Bissig, 2009), promotion et conservation (par exemple: Smith, 2005; Zouros, 2009). Plus largement, une approche culturelle (la *géomorphologie culturelle*, selon Panizza et Piacente, 2003, 2004 et 2009) met en évidence la dimension subjective du relief interprétée par l'Homme comme un **paysage géomorphologique** (Reynard, 2004a et 2005b). Ces recherches montrent la faible connaissance de la richesse et de la vulnérabilité du géopatrimoine dans la société (voir des exemples dans les démarches de protection de la nature dans Reynard et Gentizon, 2004; Gentizon, 2004; Migon, 2009), notamment en comparaison avec le patrimoine biologique. Aussi, la volonté des géoscientifiques est-elle de sensibiliser le public, produisant ainsi de nombreuses recherches dans le domaine de la géovalorisation.

La **géovalorisation** va bien souvent de paire avec la géoconservation, comme le montrent par exemple les démarches entreprises dans la création des géoparcs (Jordan et al. 2004, Zouros 2007 et 2009). Certains auteurs évoquent d'ailleurs cette relation entre la valorisation et la conservation par l'idée de **protection dynamique** (Coratza, 2004; Pralong, 2006a). La géovalorisation est aussi directement associée à la pratique, relativement récente, du **géotourisme** (par exemple: Hose, 1994, 1996, 1998, 2000 et 2006; Geyer et Megerle, 2003; Geyer, 2004; Pralong, 2003, 2006a et 2006b, Dowling et Newsome, 2006a et 2006c). Dans cette perspective, une partie des recherches étudient les pratiques et l'offre existantes. Ainsi, les études sur le géotourisme ont tenté de le définir (Hose, 1996 et 2000; Reynard, 2003; Pralong, 2006a et 2006b, Dowling et Newsome, 2006a), s'intéressant à son public (Hose, 1994, 1996 et 1998; Pralong, 2006a), ses pratiques (Hose, 1994; Geyer, 2004; Pralong, 2006a), ses outils (Summermatter, 2003; Pralong, 2006a, Hose, 2006), ses sites (Hose, 1998; Pralong 2004a et 2006a, Frey et al., 2006, Cayla, 2007). Très peu de recherches ont par contre été consacrées à la vulgarisation du savoir scientifique et aux spécificités de la **géodidactique** (Kramar, 2003 et 2005; Pralong, 2003, Marthaler, 2003 et 2004; Marthaler et Kramar, 2004). À l'opposé, certains travaux de géovalorisation s'inscrivent dans une démarche de production, où le scientifique crée les outils de promotion du géopatrimoine (par exemple: Delamette, 2002; Reynard et al, 2003b; Piacente et al., 2003; Coratza, 2004; Amelot et al., 2008; Fontana, 2008; Maillard, 2009).

#### 1.4. Problématique

La Réserve Naturelle des Contamines Montjoie est un site exceptionnel à plusieurs titres. C'est d'abord la seule aire de protection de grande taille dans le MMB (il existe des sites du réseau *Natura 2000* sur le versant italien: Site d'Interêt Communautaire du Val Veny (il touche la RNCM) et Zone de Protection Spéciale (de la *directive Oiseaux* de 1979) du Val Ferret). Son patrimoine géomorphologique est profondément marqué par cette proximité au plus haut massif d'Europe, tandis que sa géologie se caractérise par une structure complexe entre les différentes unités cristallines et sédimentaires. Elle est aussi avec d'autres sites, un lieu où ont été élaborées les premières théories géologiques. Horace-Benedict De Saussure s'étonnait notamment en 1779 de la présence au Rocher du Bonhomme de dépôts sédimentaires contenant des galets à l'extrémité Sud du MMB (l'appellation *Grès Singuliers* qu'il leur donna existe toujours). Enfin, sur les 355 réserves naturelles françaises en 2010, elle est aussi la réserve la plus élevée et celle jouissant de la plus grande extension verticale puisqu'elle s'étend de 1100 à 3892 mètres d'altitude.

Ces différentes caractéristiques amènent donc à penser que le patrimoine abiotique de la Réserve Naturelle des Contamines Montjoie est riche et diversifié. Riche par sa complexité géologique et par la jeunesse de la morphologie glaciaire. Diversifié par son hétérogénéité géologique et par la grande extension verticale de la réserve, permettant à différents processus géomorphologiques de coexister. Tout ceci est cependant hypothétique et seule une étude détaillée de ce secteur peut permettre une qualification de ce patrimoine. Or, les différentes recherches entreprises dans la Réserve, dans le Val

Montjoie ou plus largement dans la partie sud-ouest du MMB sont thématiques et ciblées (géologiques, minières, quaternaires, glaciologiques, etc.). Il n'existe pas d'approche généraliste et synthétique, ce que cette recherche cherchera donc, humblement, à produire à l'échelle de la RNCM.

Cette contribution à l'étude du patrimoine géomorphologique de la Réserve Naturelle des Contamines Montjoie tentera donc de répondre dans un premier temps à une problématique purement *scientifique*:

### **1. Quelle est la géomorphologie actuelle de la Réserve Naturelle des Contamines Montjoie?**

Ce questionnement, très large, auquel nous allons répondre par une carte géomorphologique, induit nécessairement d'autres réflexions, notamment sur l'histoire et la probable évolution de ce relief. Nous y consacrerons la seconde partie de cette recherche.

Enfin, la dernière partie de cette recherche portera sur le patrimoine géomorphologique de la Réserve, dans le cadre d'une problématique plus ouverte, sur l'interaction *science/société*:

### **2. Quelles sont les richesses du patrimoine géomorphologique de la Réserve Naturelle des Contamines Montjoie et comment les valoriser?**

Nous essaierons de répondre à cette réflexion à travers une démarche de géovalorisation (questions de la conservation, de la sélection des sites et des moyens utilisés dans une perspective géotouristique).

## 1.5. Objectifs et organisation de la recherche

Ce mémoire est organisé en quatre grandes parties.

La première, dont cette introduction est une composante, est une indispensable présentation et définition du cadre de recherche. Nous chercherons ainsi, après avoir introduit différentes notions, questionnements et contextes, à définir le cadre théorique de ce mémoire (chapitre 2). Pour cela, nous présenterons et tenterons de synthétiser quelques-unes des recherches produites actuellement sur les thématiques de la géomorphologie alpine et sur la géovalorisation. Ce cadre théorique consacra une large place aux définitions. Nous présenterons ensuite les méthodes utilisées dans ce mémoire (chapitre 3). Nous finirons par une présentation de l'environnement naturel et anthropique de la zone d'étude, la RNCM et plus largement du haut Val Montjoie (chapitre 4).

La seconde partie sera consacrée à l'étude géomorphologique de la RNCM. Cette étude géoscientifique sera le coeur de cette recherche, permettant ensuite une appréciation patrimoniale. Un objectif général et des objectifs particuliers guideront cette étude:

### **Objectif général A: synthétiser, prolonger et construire la connaissance sur la géomorphologie de la RNCM** (chapitre 5, 6 et 7).

Objectifs particuliers:

1) *Produire une cartographie géomorphologique de l'ensemble de la Réserve au 1: 50 000.*

Cette carte, élaborée notamment grâce à une campagne de terrain, servira ensuite de base aux analyses géomorphologiques postérieures.

2) *Etudier le lien entre la géomorphologie et la structure géologique du terrain d'étude.*

Nous essaierons de voir si la diversité géologique du terrain (sédimentaire, cristallin) influence visiblement les formes et processus géomorphologiques que l'on retrouve dans la RNCM.

3) *Mettre en lumière les interactions entre les processus géomorphologiques dans une approche systémique.*

Nous tenterons, dans une approche par versants, par bassins hydrographiques, d'étudier les cascades sédimentaires et de dégager les lieux de stockage et de transfert sédimentaire.

4) *Analyser le danger naturel et le risque avec des indices géomorphologiques.*

Nous reviendrons sur des événements déjà produits puis, en relation avec la géomorphologie actuelle, nous tenterons de réfléchir aux instabilités existantes, potentielles et à leurs conséquences probables.

### 5) *Comprendre l'histoire du paysage*

À partir de la structure géologique locale, nous essaierons de comprendre quels processus ont générés le relief actuel de la RNCM et, à travers des reconstitutions paléogéographiques depuis le LGM, nous tenterons de montrer la succession des étapes de formation du relief.

### 6) *Evaluer la dynamique géomorphologique actuelle*

Nous réfléchirons sur l'activité des processus géomorphologiques, pour comprendre comment le relief évolue et peut évoluer en fonction de l'influence climatique et anthropique.

La troisième partie de cette recherche portera sur le patrimoine géomorphologique de la RNCM. Cette partie, entre sciences de la Nature et sciences humaines, cherchera à considérer la géomorphologie dans une optique patrimoniale et de géovalorisation autour de l'objectif général et des objectifs particuliers suivants:

**Objectif général B: Mettre en lumière la richesse du patrimoine géomorphologique de la Réserve et proposer des mesures de valorisation** (chapitres 8 et 9).

Objectifs particuliers:

#### 1) *Réfléchir au contexte touristique et au potentiel géotouristique de la RNCM*

Après avoir présenté la situation touristique actuelle de la RNCM, nous essaierons de mieux en cerner le potentiel géotouristique (public-cible, type de pratiques et d'outils de géovalorisation, vulnérabilité du patrimoine géomorphologique, etc.).

#### 2) *Mise en lumière et évaluation des sites à potentiel géotouristique*

Sur la base de l'analyse géomorphologique, nous tenterons de dégager les sites réunissant une valeur scientifique et un potentiel géotouristique et nous les évaluerons quantitativement.

#### 3) *Proposition de mesures de valorisation du patrimoine géomorphologique*

L'évaluation du potentiel géotouristique des sites nous permettra de dégager les sites les plus pertinents dans une démarche géotouristique. Nous proposerons des mesures pour les mettre en valeur.

Nous terminerons ce mémoire par une synthèse finale (chapitre 10), qui reviendra sur la problématique et les objectifs initiaux, avant d'ouvrir sur les perspectives de recherches.

## 2. Cadre théorique

### 2.1. Géomorphologie alpine

La géomorphologie alpine et plus largement de montagne est un domaine de recherche très développé et infiniment étendu. Que ce soient les approches par domaines morphogénétiques, les approches systémiques et dynamiques ou encore les analyses morphogénétiques et les reconstitutions paléogéographiques que nous allons développer rapidement dans ce mémoire, ces domaines de recherches pourraient tous être décrits par un cadre de recherche très conséquent. Adoptant volontairement une approche large et diversifiée, nous avons souhaité que l'analyse géomorphologique de la RNCM survole ces différentes approches, qui présentent toutes des points forts et des points faibles. Le tableau 1.2 en donne un résumé:

Approche géomorphologique	Caractéristique	Point fort	Point faible
Analyse par domaine/ processus morphogénétique (méthode de cartographie de l'IGUL, voir 3.2 et le chapitre 5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- approche plutôt descriptive</li> <li>- étude des formes et classification de ces formes selon le processus morphogénétique dominant</li> <li>- distinction surface d'érosion/ surface d'accumulation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- approche complète où tous les processus et les formes sont pris en compte (exhaustivité)</li> <li>- approche simple permettant une analyse géomorphologique relativement rapide et intéressante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- approche simplificatrice (formes polygéniques et interactions entre processus peu pris en compte)</li> <li>- pas ou peu de réflexion sur la dynamique</li> <li>- pas ou peu de réflexion sur l'histoire morphogénétique</li> </ul>
Analyse de l'histoire morphogénétique et reconstitutions paléogéographiques (méthode d'analyse quaternaire, voir 3.3 et le chapitre 6)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- approche plutôt descriptive puis hypothétique</li> <li>- étude des formes et plus particulièrement des formes héritées</li> <li>- réflexion sur le processus morphogénétique</li> <li>- reconstitutions paléogéographiques à partir des formes héritées</li> <li>- comparaison avec d'autres données ou modèles géomorphologiques et climatiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- approche permettant de reconstituer l'histoire morphogénétique</li> <li>- meilleure compréhension des formes actuelles</li> <li>- rigueur du relevé indispensable pour que les reconstitutions soient réalistes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- disparition de certaines formes (érosion, enfouissement) nuisant aux reconstitutions</li> <li>- simplification de l'histoire morphogénétique dans la reconstitution (par exemple, le retrait glaciaire n'est pas constant depuis le tardiglaciaire et certains épisodes de réavancées ou de retrait n'ont pas laissé de traces)</li> </ul>
Analyse géosystémique et dynamique (voir le chapitre 7)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- approche plutôt descriptive puis permettant la modélisation</li> <li>- étude des formes de dépôt et d'accumulation et qualification selon le processus morphogénétique dominant</li> <li>- évaluation de l'activité du processus morphogénétique</li> <li>- mise en évidence des composantes du système et des facteurs de contrôle</li> <li>- distinction accumulation/transfert sédimentaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- approche permettant de prendre en compte la complexité processuelle et dynamique (composante du système et facteurs de contrôle)</li> <li>- simplification et modélisation de cette réalité</li> <li>- modélisation permettant des hypothèses sur l'évolution géomorphologique future</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- simplification de la réalité</li> <li>- approche systémique parfois trop complexe (trop de composantes et de facteurs de contrôle, trop d'interactions)</li> <li>- peu de réflexion sur l'histoire morphogénétique</li> </ul>

Tableau 1.2: Synthèse des différentes méthodes d'analyse géomorphologique.

Les éléments théoriques concernant ces trois approches seront introduits directement dans l'analyse et quand la référence ne sera pas explicitement citée, ils correspondront à nos connaissances personnelles et aux enseignements que nous avons suivis lors de notre cursus de géographie à l'Université de Lausanne (trois ans). Les principaux cours (et matériaux de cours: photocopiés, documents imprimés, présentations powerpoints, etc.) qui ont servi de bases à notre étude géomorphologique de la RNCM sont:

- *Géomorphologie I* (Reynard et Bissig, 2005 et Reynard et al., 2006)
- *Géomorphologie II* (Lambiel, 2009)
- *Cartographie géomorphologique* (Lambiel, 2008a)
- *Géographie du cycle de l'eau* (Reynard et al., 2008a)
- *Geomorphologie du Quaternaire régional* (Schoeneich, 2009)
- *Environnement périglaciaires* (Lambiel, 2008b)
- *Gestion de l'eau dans les Alpes* (Reynard et al., 2008b)
- *Risques et dangers naturels* (Jaboyedoff, 2008a)
- *Mouvements de versants et risques associés* (Jaboyedoff, 2008b)
- *Géologie régionale* (Epard, 2009a)
- *Géologie structurale* (Epard, 2009b)
- *Climatologie* (Fallot, 2008 et Fallot, 2009)
- *Végétation de la Suisse* (Vittoz, 2008)

## 2.2. Géopatrimoine

« Comme un vieil arbre garde la mémoire de sa croissance et de la vie dans son tronc, la Terre conserve la mémoire du passé... une mémoire inscrite dans les profondeurs et sur la surface, dans les roches, les fossiles et les paysages, une mémoire qui peut être lue et traduite. Aujourd'hui, les hommes savent protéger leur mémoire : leur patrimoine culturel. A peine commence-t-on à protéger l'environnement immédiat, notre patrimoine naturel. Le passé de la Terre n'est pas moins important que le passé de l'Homme. Il est temps que l'Homme apprenne à protéger et en protégeant, apprenne à connaître le passé de la Terre, cette mémoire d'avant la mémoire de l'Homme qui est un nouveau patrimoine ; le patrimoine géologique (art.6 et 7 de la Déclaration internationale des droits de la mémoire de la Terre de Digne, 1991)».

La notion de *géopatrimoine* est relativement récente. Nous n'en avons pas trouvé une définition précise alors que cette notion est utilisée (peu fréquemment) dans des publications scientifiques (Pralong (2004b et 2006a) parle de *patrimoine géo(morpho)logique*). De plus, nous ne connaissons pas son origine précise (date, contexte). Cependant, nous pensons que ce terme, par son sens et les problématiques qu'il porte, est le terme générique le plus pertinent pour penser ce nouveau rapport entre l'Homme et la Terre, initié dans le monde scientifique (Martini, 1994b).

On peut supposer que le terme de géopatrimoine est apparu dans les années 1990, à l'instar de nombreux autres néologismes sur cette problématique. Il est la contraction du préfixe *géo* (du grec *gê*, «la Terre») et du nom *patrimoine* (du latin *patrimonium*, «héritage du père» et qui renvoie à un héritage commun d'une collectivité qui se transmet entre générations). Ce terme est synonyme du terme de patrimoine abiotique (composante non vivante, minérale) que l'on associe au patrimoine biotique (composante vivante) pour qualifier le patrimoine naturel. Séparant l'Homme de la Nature, les définitions du caractère *naturel* (*wilderness* dont la traduction française *naturalité* est apparue dans les années 1960) évoque «un lieu où la terre et sa communauté de vie ne sont point entravés par l'homme, où l'homme lui-même n'est qu'un visiteur de passage (Wilderness Act ou Loi fédérale américaine sur la protection de la Nature, 1964: section 2)». Ainsi, cette *naturalité* donne au patrimoine naturel une valeur intrinsèque, qu'il faut protéger et transmettre. Pour revenir au géopatrimoine, celui-ci est donc porteur d'un passé (notions de *géo-héritage* et de *géo-histoire*), de valeurs intrinsèques (liées au caractère naturel: notions de *géo-diversité* et de *géotope* et son synonyme *géosite*) et extrinsèques (attribuées par l'Homme et que l'on retrouve dans les *géotopes* et dans le *paysage*) qui faut transmettre (donc protéger via la *géoconservation*) et valoriser (*géovalorisation*) avec des moyens (*géo-didactique*) et des pratiques (*géo-tourisme*) spécifiques.

L'objectif de ce chapitre est donc de mieux comprendre le géopatrimoine, d'en définir les termes relatifs utilisés dans cette recherche.

### 2.2.1. Une approche systémique

La relation entre l'Homme et le patrimoine abiotique peut être pensée dans une approche systémique par les notions de ressources, de risques et d'impacts (en rouge sur la figure 1.3), dans le prolongement des travaux de Cendrero et Panizza (1999) et de Reynard et al. (2003b) et Reynard (2004b). Ce système simple, avec trois types de relations, permet d'appréhender cette relation complexe (interactions) et dynamique.

Tout d'abord, le géopatrimoine peut être considéré comme une *ressource touristique (offre originelle/dérivée)*. Pralong (2006a: 21), reprenant Bisang et al. (2000), la définit comme, «une ressource, dans ce cas naturelle, [qui] implique l'existence d'effets économiques directs ayant une incidence sur la production et l'emploi, en créant des biens et des services (utilités) pour des usages matériels et immatériels». Cette ressource touristique peut varier dans le temps en fonction, par exemple, de sa mise en valeur, ou des attentes des touristes (ainsi, les cascades alpines, comme le montre Reynard, 2004a, étaient de grandes richesses touristiques à l'apparition du tourisme entre le 17<sup>ème</sup> et le 19<sup>ème</sup>, alors qu'elles sont aujourd'hui, des sites secondaires, voire oubliés). L'exploitation de cette ressource touristique génère des atteintes directes ou indirectes sur le géopatrimoine. Ces impacts peuvent l'artificialiser (limitation des processus naturels, aménagements, destructions, comme en témoigne l'étude du domaine skiable de Verbier par Lambiel et Reynard, 2003) ou à l'inverse, accélérer des processus naturels (érosion, instabilités, remplissage lacustre, etc.). Ainsi, l'anthropisation et les impacts générés font perdre au géopatrimoine son caractère naturel, ce qui peut se traduire par une perte de valeur touristique. Enfin, à la rencontre de la vulnérabilité humaine (intégrité physique, infrastructures) et de l'aléa naturel, l'utilisation touristique du géopatrimoine peut être synonyme de risque (à ce titre, voir par exemple les travaux de Pelfini et al., 2009, ou encore Smith et al., 2009). Ce risque peut provoquer l'arrêt de l'exploitation de la ressource, ou nécessiter des aménagements (impacts) dans le but de le réduire.

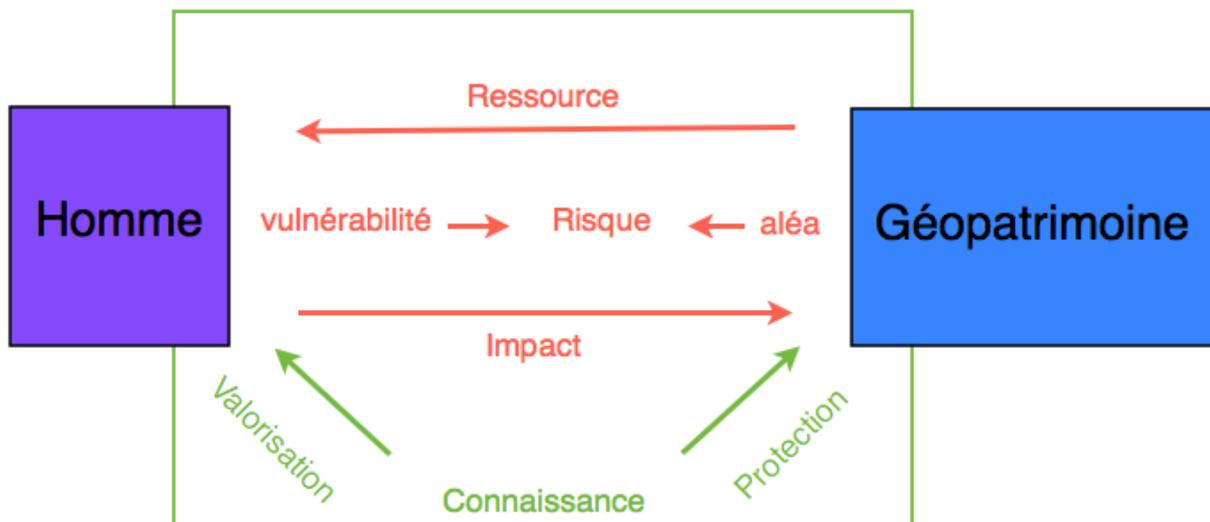


Figure 1.3 : Relation entre l'Homme et le Géopatrimoine.

Dans la continuité de Reynard et al. (2004), on peut évoquer un triple besoin social lié au rapport entre l'Homme et le géopatrimoine (en vert sur la figure 1.3). Le premier est évidemment celui de la connaissance. La recherche scientifique est en effet indispensable pour mieux connaître et comprendre le patrimoine abiotique, ses origines, ses richesses et sa dynamique. Elle permet aussi de penser le

comportement de l'Homme vis à vis de cette ressource, de limiter les risques et les impacts. À ce besoin de connaissance s'ajoute le besoin de protéger ce géopatrimoine riche et fragile. Enfin, pour être efficace, ce besoin de protection doit être accompagné d'un processus de valorisation. Celle-ci permet en effet la diffusion de la connaissance et une plus grande prise de conscience sociale de la nécessité de protéger le géopatrimoine. À en juger par le nombre croissant de publications sur le sujet, une partie des géoscientifiques est mobilisée pour satisfaire ces besoins sociaux.

### 2.2.2. L'approche culturelle

Parallèlement aux recherches menées sur le paysage depuis les années 1970 par Rimbart, Richard, Berque, Brossard et Joly (voir Reynard, 2004a, 2005b), et complétant cette approche systémique, les travaux de Panizza et de Reynard ont montré l'importance de la dimension culturelle, subjective, dans le rapport entre l'Homme et le géopatrimoine. Se focalisant sur le patrimoine géomorphologique, ils expriment la dualité de la valeur du patrimoine abiotique. En effet, à sa *valeur centrale* liée à sa *naturalité*, s'ajoute une/des *valeurs additionnelles* attribuée par la perception humaine du géopatrimoine (voir tableau 1.4). En conséquence, Panizza et Piacente développent une **géomorphologie culturelle** en 2003, définie comme la «*discipline qui étudie la composante géomorphologique d'un territoire soit comme élément culturel du paysage, soit dans les interactions avec les biens culturels de type archéologique, historique, architecturaux, etc.*» (Panizza et Piacente, 2004; 2003: 195)».

	valeur centrale	valeur additionnelle
origine	intrinsèque (naturalité)	extrinsèque (perception)
type	scientifique	culturelle/esthétique/écologique/économique
dimension	objective	subjective
approche	naturaliste	humaniste

Tableau 1.4 : les valeurs du géopatrimoine.

À travers sa perception et/ou son exploitation, l'Homme confère donc diverses valeurs au géopatrimoine, des objets (*géotopes*) aux systèmes (*géopaysages*) qui le composent. Reynard (2004b), poursuivant les travaux d'autres chercheurs, donne ainsi les définitions suivantes.

**Géotope ou Géosite** (définition large): «*tout objet géologique ou géomorphologique qui présente une certaine valeur, qu'elle soit scientifique, historico-culturelle, esthétique ou encore socio-économique*» (Reynard, 2004b: 125, dans le prolongement de Panizza et Piacente)».

Les géotopes sont des objets spatialement délimités, de tailles variables (de l'objet ponctuel aux complexes plus étendus) et de 10 types différents (structuraux, paléontologiques, sédimentologiques, minéralogiques/péetrographiques/géochimiques, stratigraphiques, géomorphologiques, hydro(géo)logiques, spéléologiques, géohistoriques et géoculturels). Les géotopes géomorphologiques, appelés *géomorphosites* (Panizza, 2001), se caractérisent par une forte composante esthétique, leur caractère souvent dynamique et l'imbrication de leurs échelles (Reynard, 2009b). Ils ont été l'objet d'une attention particulière, ce qui s'est notamment traduit par l'élaboration de méthodes d'évaluations qualitative et quantitative. Ces méthodes, répondant à des objectifs différents, cherchent à quantifier, en limitant le plus possible la subjectivité de l'évaluation (Bruschi et Cendrero, 2005), la valeur géoscientifique (centrale) et les valeurs additionnelles des géomorphosites. L'évaluation des valeurs additionnelles est définie de la manière suivante dans la méthode de l'Institut de Géographie de l'Université de Lausanne (IGUL - Reynard, 2006: 4-6):

**Valeur écologique:** [dépend de] la présence de certaines espèces ou biotopes, sur la diversité écologique ou encore sur la dynamique écologique. [...] Elle considère deux critères principaux : influence écologique et sites protégés.

**Valeur esthétique:** La beauté d'un site est relative et dépend beaucoup de la subjectivité de l'observateur. [...] Nous proposons deux critères principaux : la présence de points de vue, qui permet d'évaluer les possibilités d'observation, ainsi que le contraste, développement vertical et structuration de l'espace du site, deux facteurs influençant la « beauté » d'un lieu.

**Valeur culturelle:** [...] on considère le terme « culture » au sens large [...]. Quatre critères sont proposés : importance religieuse et symbolique, importance historique, importance littéraire et artistique, importance géohistorique. [...]

**Valeur économique:** Il s'agit de la valeur économique intrinsèque du site. On n'évalue pas le potentiel économique (par ex. géotouristique), mais la valeur économique du site au moment de l'évaluation. [...]

**Paysage géomorphologique:** «Une portion du relief terrestre, vue, perçue (et parfois exploitée) par l'Homme (Reynard, 2005b: 107)».

Le paysage géomorphologique, et si on veut aller plus loin le *géopaysage*, « se réfère [donc à la foi,] aux roches (matière minérale de l'écorce terrestre) et aux formes (modèle du relief) du paysage, c'est à dire aux éléments premiers d'une topographie (Pralong, 2004b: 304) et la perception de celui-ci par un observateur. Ce regard est chargé de sens et donne une/des valeurs qui peuvent être de différentes natures (esthétique, culturelle, etc.) et de différents degrés.

Si cette approche culturelle du géopatrimoine donne une importance non négligeable à ses perceptions et à ses valeurs, leur évolution dans le temps est également approchée. En effet, le regard individuel, sociétal, n'est pas inerte. Ainsi, un géopatrimoine peut être porteur de certaines valeurs dans un contexte temporel et social précis et, porter d'autres valeurs (voir perdre sa valeur) dans un autre contexte. Les cascades alpines (Reynard, 2004a) ou plus largement la haute montagne (Debarbieux, 1995; Bätzing et Rougier, 2005) illustrent ces changements de regard qui attribuent/ôtent des valeurs. Pour finir, penser le géopatrimoine avec ces approches culturelle et systémique permet de montrer sa **multifonctionnalité**. En effet, le géopatrimoine, au même titre que le paysage, «concentre souvent plusieurs types de valeurs, dont certaines se combinent et d'autres s'excluent, ce qui peut poser des problèmes de gestion [...] parfois des conflits d'usage (Reynard, 2004a: 18)».

### 2.2.3. Pour une démarche intégrée et transdisciplinaire de géoconservation

La reconnaissance des valeurs extrinsèques du géopatrimoine est donc importante. Cependant, le géopatrimoine est, avant tout, digne d'intérêt d'un point de vue scientifique, pour son caractère naturel (valeur intrinsèque). Une définition stricte des géotopes, met d'ailleurs en évidence cette valeur centrale:

**Géotope ou Géosite** (définition restrictive): «*objet géologique ou géomorphologique qui présentent une valeur scientifique intéressante pour la compréhension de l'histoire de la Terre, des espèces et du climat (Reynard, 2004b: 124, dans le prolongement de Grandgirard 1997, 1999)*».

La valeur scientifique des géomorphosites est définie, dans la méthode de l'IGUL (Reynard, 2006: 3-4), par les 4 critères suivants :

**Intégrité:** Ce critère concerne l'état de conservation du site. La mauvaise conservation peut être due soit à des facteurs naturels (ex. érosion), soit à des facteurs humains.

**Représentativité:** Ce critère concerne l'exemplarité du site. Il est utilisé par rapport à l'espace de référence de l'étude. Selon ce critère, les géomorphosites retenus doivent être représentatifs de la géomorphologie de la région d'étude. Ils doivent couvrir les principaux processus, actifs ou passés, de la région.

**Rareté:** Ce critère évalue au contraire la rareté de l'objet, toujours par rapport à l'espace de référence. Sont particulièrement mises en évidence par ce critère, les formes exceptionnelles et peu représentées dans la région d'étude.

**Valeur paléogéographique:** Est évaluée par ce critère l'importance de l'objet pour la reconstitution de l'histoire du climat et de la Terre (ex. stade de référence glaciaire).

Un géotope peut également avoir une **valeur éducative**, définit dans la méthode de l'IGUL (Reynard, 2006: 7) comme : «l'importance de l'objet pour l'éducation et la formation. Les sites particulièrement

*lisibles dans le paysage, ainsi que les sites qui permettent une observation de processus actifs obtiendront une note élevée ».*

Pour revenir sur cette importante dimension paléogéographique, l'étude de l'état actuel du géopatrimoine permet donc de mieux connaître l'origine, la dynamique et l'évolution de la Terre. En ce sens, le géopatrimoine a une forte valeur géohistorique. Le terme de *géohistoire* (Panizza et Piacente, 2003: 288) est apparu récemment comme complément aux termes d'histoire et de préhistoire. Comme Marthaler, Kramar ou encore Pralong l'ont montré dans leurs recherches, le *géopaysage*, et donc plus largement le géopatrimoine, cache une profondeur spatio-temporelle. À travers sa composition, sa structure, sa morphologie actuelle, il est le témoin d'anciens contextes (climats, environnements, géographies) aujourd'hui disparus. De ce fait, il exprime la géodynamique de la Terre, dont la composante abiotique est en perpétuelle évolution. À travers cette valeur intrinsèque, le géopatrimoine peut donc être considéré comme synonyme ou traduction du terme anglosaxon de *geohéritage*, défini comme:

**Geoheritage:** «*the geological and geomorphological elements of nature [elements of geodiversity that are seen as being significant for one or more of their values, pour Gray, 2004: 367] worthy of being conserved - is an important component of the natural heritage. In most cases, it constitutes the skeleton of the landscape* (Reynard et al. 2009b: 5)».

Si les termes francophones de géopatrimoine et de géohéritage (voir la figure 1.5) sont donc très proches, nous préférons cependant utiliser le premier, dont le sens plus large intègre, implicitement, une dimension temporelle plus étendue (un héritage passé, une réalité contemporaine, un devoir de gestion et de conservation pour les générations futures) et la possibilité de valeurs aussi bien intrinsèques qu'extrinsèques.

Dans le prolongement des propos de Gray, le géopatrimoine est donc la part de la *géodiversité* qui doit être préservée. En effet, toutes les composantes de la géodiversité n'ont pas de valeurs. Le terme de géodiversité est apparu à la fin des années 1980 et a été l'objet de nombreuses définitions. Nous retenons la définition de Serrano et Ruiz-Flaño, à notre sens la plus complète.

**Geodiversity:** «*the variability of abiotic nature, including lithological, tectonic, geomorphological, soil, hydrological, topographical elements and physical processes on the land surface and in the seas and oceans, together with systems generated by natural, endogenous and exogenous and human processes, which cover the diversity of particles, elements and sites* (Serrano et Ruiz-Flaño, 2007: 144)».

Dépassant l'idée d'une géodiversité (abiotique) simple équivalente de la biodiversité (biotique) dans la définition de la diversité naturelle, ces auteurs précisent, que le terme de «*geodiversity should be defined by the constituent elements in the physical environment that lead to the richness of biotopes, ecosystems, habitats or landscape. [...] it is more than a complement of biodiversity, but a fundamental part of natural diversity* (Serrano et Ruiz-Flaño, 2007: 142)».

Pourtant, malgré cette influence importante sur la diversité naturelle, la géodiversité (qui englobe le géopatrimoine) est insuffisamment reconnue. Trop souvent perçu à tort comme inerte et indestructible, le monde minéral, aux richesses trop peu mises en valeur, est relégué au second plan des démarches de protection de la nature (comme le montrent par exemple Reynard et Gentizon 2004, Gentizon 2004, ou encore Migon 2009). De plus, la géodiversité a une vulnérabilité importante par rapport aux activités humaines comme l'atteste une synthèse des impacts subis (Serrano et Ruiz-Flaño, 2009).

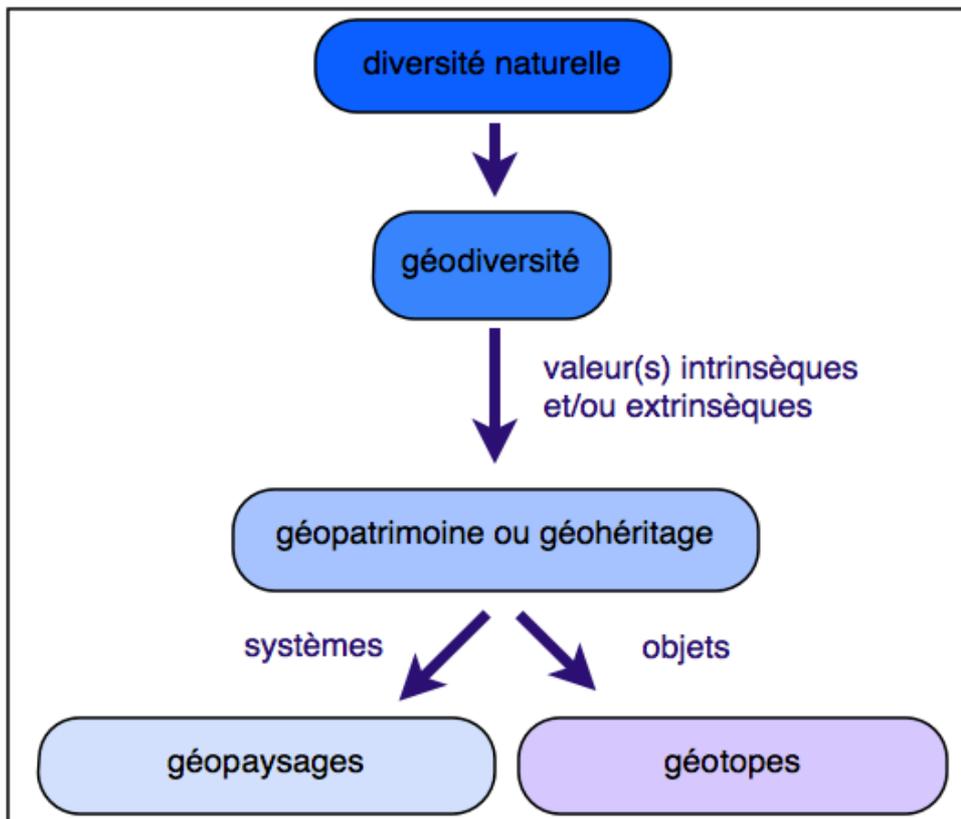


Figure 1.5 : Géopatrimoine et termes apparentés

La géodiversité et le géopatrimoine ont donc, à la vue de tous ces éléments, une très grande valeur intrinsèque. Aussi, comme le revendiquent Gray ou Serrano et Ruiz-Flaño, la géodiversité doit être un principe et un outil de conservation, au même titre que la biodiversité, largement reconnue. Gray, définit le but de la **géoconservation**: «*to maintain a representative sample of a country's or area's geodiversity* (Gray, 2004: 367)». Pour Hose (2003), la géoconservation est une «*dynamic preservation and maintenance of geosites, together with geological and geomorphological collections, materials and documentation* (dans Hose, 2006: 222). La géoconservation vise donc la sauvegarde du géopatrimoine et doit être un outil de gestion d'un territoire. En ce sens, elle est un processus complexe qui implique autant des recherches que des mesures de protection ou/et de valorisation. À cette fin et dans le prolongement des travaux de Panizza, Reynard ou encore Pralong, une démarche globale, intégrée et transdisciplinaire de géoconservation est proposée. Celle-ci, mêle les sciences de la Terre aux sciences sociales, les différents acteurs de la gestion de ce patrimoine (des populations locales aux décideurs politiques, qui doivent être sensibilisés) autour des notions suivantes:

**Paysage culturel intégré** (Panizza, 2003: 15): «*comprend autant les éléments classiques du patrimoine culturel que les biens issus de la géosphère et de la biosphère ; cette intégration des disciplines humanistes et naturalistes devant permettre de donner accès à des clés de lecture et d'interprétation du rapport Homme-Nature* (Coratza 2004 : 211)».

**Histoire totale**: «*en essayant [...] de montrer les intérêts historiques [...] d'un site ou d'un paysage, l'entier de son patrimoine peut se concevoir comme une pyramide à trois niveaux, dont la base serait le patrimoine géologique et géomorphologique, les étages supérieurs les patrimoines bio-écologique et historico-culturel, chacun correspondant à une mémoire enregistrée par différents processus (naturels ou anthropiques), encore à l'oeuvre ou définitivement achevés. Ces trois patrimoines sont donc autant d'archives et de témoins d'une histoire globale et totale liant l'homme et le paysage, dans une idée de culture sensu lato* (Pralong, 2004b: 304)».

**Protection dynamique**: «*La gestion de ce [géo]patrimoine ne devrait pas être uniquement réglée par des principes de seule conservation et transmission statique, ni orientée vers les seuls sites exceptionnels, mais plutôt affrontée avec un approche dynamique, dans le sens de garantir la*

préservation de ce patrimoine, tout en répondant pourtant aux besoins de la société moderne (Coratza, 2004: 222)».

«La conclusion est une défense du concept de géodiversité, concept idéal selon M. Gray non seulement pour valoriser et conserver le monde abiotique mais aussi pour promouvoir l'importance des géosciences dans sa participation à la gestion durable des ressources de la planète (Lugon, 2005, dans une note de lecture du livre *Geodiversity* de Gray)». Dans cette optique, de nombreux auteurs, parmi lesquels Reynard et Pralong, insistent sur le rôle prépondérant que les géoscientifiques jouent et doivent jouer dans la promotion et la protection du géopatrimoine. Ces démarches s'inscrivent ainsi majoritairement dans une dynamique *bottom-up*. Cet effort de sensibilisation se développe et si la démarche de géoconservation est encore trop limitée (autant dans la prise de conscience que dans les méthodes mobilisées), son succès grandit dans la société contemporaine comme en témoigne l'expansion constante du réseau des géoparcs (voir 2.3.2.). De surcroît, comme le relève Smith (2005), le conseil de l'Europe a «récemment admis que la biodiversité est largement dépendante de la géodiversité et a décidé de préparer des recommandations pour la "Conservation du Patrimoine Géologique et des Zones d'Intérêt Géologique Spécial" ».

## 2.2.4. la protection du géopatrimoine en France

Nous allons maintenant nous intéresser à la protection du géopatrimoine en France et à travers un aperçu législatif.

Année	Document (légal ou non), institution	Contenu
1906	Loi relative aux sites et monuments naturels de caractères artistiques	Création d'une commission des sites et monuments naturels dans chaque département; Mesures de protection pour des sites ponctuels
1913	Loi relative aux monuments historiques	Protection des anciennes mines
1930	Loi relative aux monuments naturels et aux sites de caractères artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque	Complète la loi de 1906. Inventaires, surveillance et mesures de protection pour des sites ponctuels ou des grands paysages. Création des sites inscrits et classés. Protection de sites d'intérêts scientifique mais la valeur esthétique est la plus souvent retenue
1957	Loi relative à la création des réserves naturelles	Définition du statut des réserve naturelles
1960	Loi relative à la création des parcs nationaux	Régit la création des parcs nationaux en intégrant à la sauvegarde des espèces et des écosystèmes
1967	Décret sur les parcs naturels régionaux	Définition du statut des parcs naturels régionaux
1971	Création du ministère de la Protection de la Nature et de l'Environnement	Structure gouvernementale chargée des questions relatives à l'environnement
1976	Loi relative à la protection de la Nature	Eléments juridiques pour la protection des géosites remarquables (dont les sites géologiques d'importance nationale), modification du statut des réservea naturelles, création de 13 réserves naturelles à vocation géologique
1983	Loi de décentralisation	Les communes peuvent créer des zones de protection du patrimoine architectural, urbain et paysager (ZPPAUP) qui se substituent aux sites et monuments inscrits
1985	Loi Montagne	Protège et régit l'aménagement de l'espace montagnard, subdivisé en <i>massifs</i>
1986	Loi Littoral	Protège et régit l'aménagement du littoral et des plan d'eau intérieurs les plus importants
1986	Création de la commission <i>Patrimoine géologique</i> au sein des <i>Réserves Naturelles de France</i> (RNF)	Interlocuteur du Ministère de l'Environnement pour protéger le patrimoine géologique
1991	Circulaire relative aux zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF)	Régit l'inventaire des ZNIEFF lancé en 1982
1991	Création des 22 Directions Régionales de l'Environnement (DIREN)	Chargées de l'application locale de la législation sur l'Environnement, du recueil et de la diffusion de la connaissance, etc.

Année	Document (légal ou non), institution	Contenu
1993	Loi Paysage	Protège et régit l'aménagement du paysage. Elle complète la loi Montagne et la loi Littoral. Elle développe la concertation des services de l'Etat et des collectivités territoriales pour la gestion «des territoires remarquables par leur intérêt paysager»
1995	Loi Barnier (sans décret d'application)	Renforcement de la protection de l'environnement (élaboration notamment d'une liste de sites d'intérêt géologique)
1998	Création de la commission permanente du Patrimoine géologique (CPPG)	Aide le ministère à définir une politique nationale de protection et de valorisation du patrimoine géologique
2000	Création du <i>Conseil national du paysage</i>	Propose un plan annuel sur l'évolution du paysage, fait un bilan de la loi paysage et propose des mesures pour améliorer la situation
2001	Méthodologie pour inventorier le patrimoine géologique	Réalisation et création d'une base de données par les RNF, la CPPG et le BRGM
2002	Loi relative à la démocratie de proximité	Création des réserves naturelles régionales et des réserves de la collectivité territoriale de Corse dont la création prend en compte le patrimoine géologique. Reconnaissance légale de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN) qui intègre le patrimoine géologique. Régit l'inventaire des ZNIEFF
2006	Rédaction d'un Vade-mecum pour l'inventaire du patrimoine géologique national	Elaboration par le Muséum National d'Histoire Naturelle et la CPPG. Lancement de l'inventaire en 2007 par le Ministère de l'écologie et du développement durable
2006	Loi relative aux parcs nationaux, aux parcs naturels marins et aux parcs naturels régionaux	Réforme le statut des parcs nationaux (parcs désormais constitués d'une zone centrale et d'une zone périphérique, plus grande représentativité des collectivités locales et des usagers dans les conseils d'administration, etc.)
2006	Création du Service du Patrimoine Naturel	Organisme gestionnaire de l'INPN lancé en 2002 sur la biodiversité et la géodiversité). Il est rattaché au Muséum National d'Histoire Naturelle

Tableau 1.6 : Historique du cadre législatif régissant la protection du géopatrimoine en France

Le tableau 1.6 est une synthèse (non exhaustive) des principaux textes législatifs et des principales institutions s'occupant de la protection du géopatrimoine en France. Il a été réalisé d'après les travaux de Martini, 1994b; Stock et al. 2003; Alexis, 2005; Cayla, 2007; CPGRNF, 2007 et Croquet, 2008. Cette législation nationale intègre des dispositions internationale et notamment communautaires. Il faut noter que la législation protégeant le géopatrimoine est en grande partie retranscrite dans le Code de l'Environnement (né à la suite d'une ordonnance de 2000 et dont les 7 livres regroupent 39 lois relatives à l'environnement, d'après Croquet, 2008). Voici les éléments qui ressortent de l'analyse de ce bref historique:

- tout d'abord, le géopatrimoine ou patrimoine abiotique n'existe pas d'un point de vue légal. Si des textes et structures s'intéressent récemment au patrimoine géologique et si l'inventaire de la géodiversité est un des objectifs de l'INPN, le patrimoine géomorphologique et plus largement le géopatrimoine ne sont jamais mentionnés.
- Il en découle une protection complexe, indirecte, incomplète et diverse du géopatrimoine. Celui-ci est en effet protégé, à travers un «*patchwork législatif* (Croquet, 2008)», des dispositions internationales aux dispositions locales, du droit contraignant au *soft law*, des sites ponctuels aux paysages et aires de protection, et à travers les notions diverses de patrimoine géologique, paysage, sites et monuments naturels, d'habitat, de zone d'intérêt écologique, etc. Dans ce prolongement, le géopatrimoine est très rarement protégé de manière directe. Le plus souvent, il est l'objet de mesures indirectes, conséquences du profond biocentrisme des politiques environnementales.
- La multiplication récente des structures, notamment la création des commissions sur le patrimoine géologique et la volonté d'en produire un inventaire, montrent une prise de conscience politico-scientifique sur l'importance du géopatrimoine. Si les réalisations et la législation sont encore quelque peu balbutiantes, il semble que les acteurs politiques et scientifiques de la protections de la Nature intègrent de plus en plus le monde minéral dans leurs réflexions et démarches. De plus, pour prolonger les propos d'Alexis (2005), témoins d'un changement de paradigme et d'une approche renouvelée, patrimoniale et globale des territoires, les démarches de protection du géopatrimoine sont désormais synonymes d'outils de développement qualitatif du territoire (conservation, valorisation,

éducation, implications des populations locales et création de valeur ajoutée dans des dynamiques plutôt *bottom up*; voir la figure 1.7). Elles dépassent ainsi les logiques strictement conservatrices et centralisée (*top down*) qui ont fait émerger le droit de l'environnement en France.

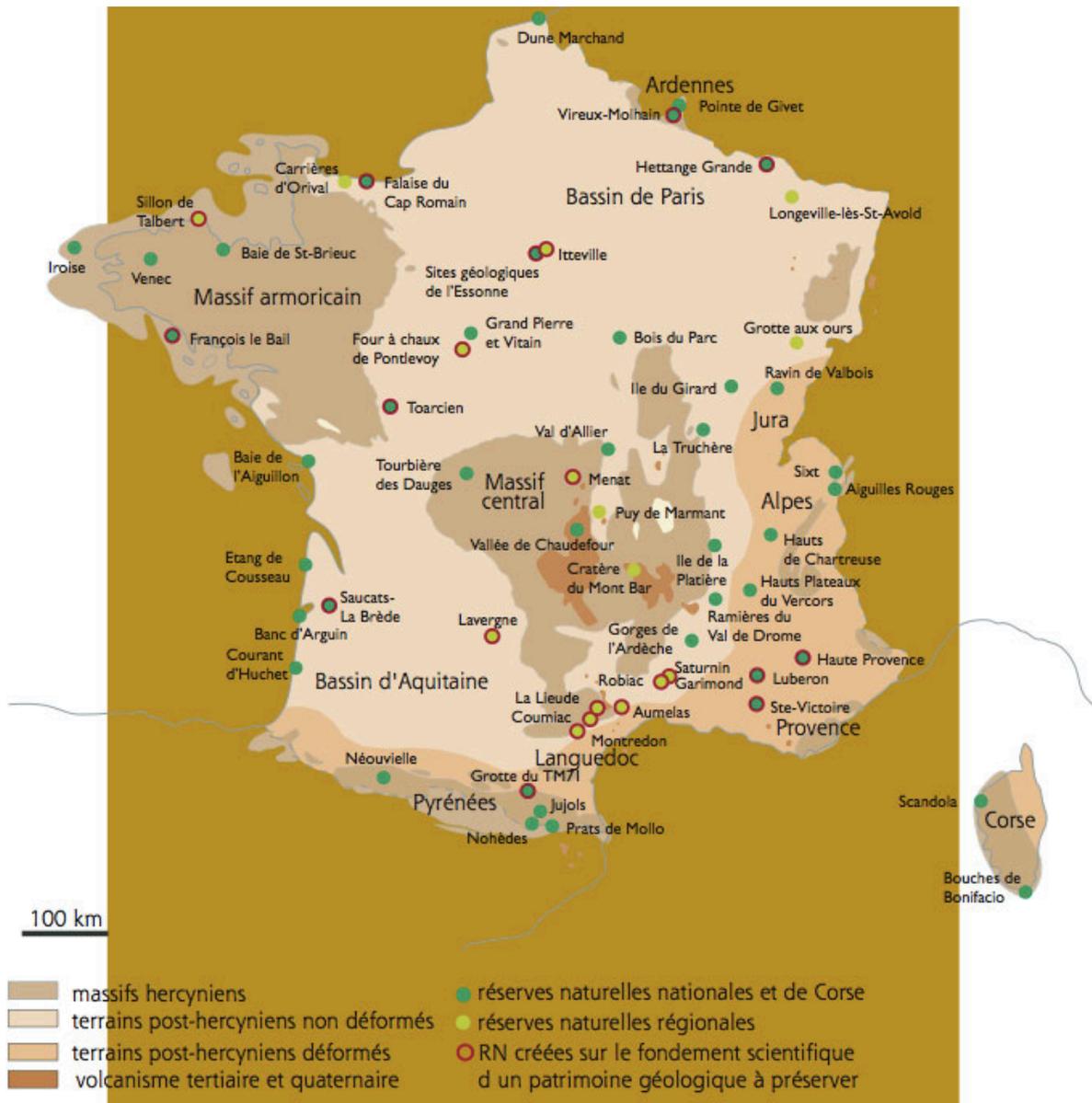


Figure 1.7 : Localisation des réserves naturelles présentant un patrimoine géologique (au sens large) remarquable, tirée de CPGRNF, 2007: 16 ([www.reserves-naturelles.org/upload/milieux\\_patgeol.pdf](http://www.reserves-naturelles.org/upload/milieux_patgeol.pdf))

La reconnaissance du patrimoine géologique au sens large (incluant la géomorphologie) connaît donc un succès croissant. En témoigne, le lancement officiel en 2007 de l'*Inventaire du patrimoine géologique national* apparu avec la loi de 2002, relative à la démocratie de proximité. Il vise quatre objectifs (De Wever et al., 2006: 8):

- identifier l'ensemble des sites et objets d'intérêt géologique, *in situ* et *ex situ*
- collecter et saisir leurs caractéristiques sur des fiches appropriées
- hiérarchiser et valider les sites à vocation patrimoniale
- évaluer leur vulnérabilité et les besoins en matière de protection

Cet inventaire sera donc réalisé en deux temps. Le premier est une évaluation dans chaque région des sites géologiques remarquables par une commission régionale du patrimoine géologique. Cette évaluation est réalisée à partir de la fiche validée par la Commission Permanente du Patrimoine

Géologique (voir le tableau 1.8). Les inventaires régionaux sont hiérarchisés et transmis au BRGM et au MNHN. Les sites obtenant une note supérieure à 30 (sur 48, sans tenir compte de l'intérêt annexe) sont inscrits à l'*inventaire national* et nécessitent des stratégies de protection (dans CPGRNF, 2007: création de Réserves Naturelles, classement des sites, maîtrise foncière, etc.).

<b>Critères</b>	<b>Note: 0 - 1 - 2 ou 3</b>	<b>Coefficient</b>	<b>V.p. (valeur patrimoniale = note * coefficient)</b>
Intérêt géologique principal	de pas d'intérêt à remarquable	4	
Intérêt géologique secondaire	de pas d'intérêt à remarquable	3	
Intérêt pédagogique	de pas d'intérêt à remarquable	3	
Intérêt pour l'histoire de la géologie	de pas d'intérêt à remarquable	2	
Rareté du site	de commun à rare	2	
Etat de conservation	de mal conservé à bon état	2	
Intérêt annexe(s)	de pas d'intérêt à remarquable	1	
<b>Somme des V.p. = Valeur patrimoniale du site</b>			

Tableau 1.8: Evaluation du patrimoine géologique français, validé par la CPPG (d'après De Wever et al., 2006)

### 2.3. Géotourisme

Le tourisme n'a cessé d'être inventé et réinventé depuis son apparition au 18<sup>ème</sup> siècle. Les années 1970 ont vu le développement de tourisms qualitatifs (Pralong, 2006b), diversifiés et individualisés, découlant de nouvelles technologies, pratiques mais aussi de la volonté de certains de rompre avec un tourisme de masse aux lieux et pratiques standardisés. De plus, l'avènement de l'écologie politique s'est traduit par (l'apparition parfois et surtout par) la diffusion de tourisms orientés vers les milieux naturels, inscrits autant dans des considérations éthiques que dans la volonté d'en découvrir les richesses. Cette évolution des pratiques touristiques s'est traduite par une diffusion spatiale. Ainsi, les milieux naturels, riches et fragiles, sont de plus en plus fréquentés par les touristes et subissent une pression accrue, d'autant plus que le tourisme de nature et le tourisme d'aventure connaissent une forte extension (Newsome et al. 2002; Dowling et Newsome, 2006c). Dans ce contexte, l'idée d'un *géopatrimoine ressource touristique* prend forme à travers des offres nombreuses et ambitieuses de géotourisme. En effet, si Hose montre en 2006 que par exemple, des outils de popularisation du géopatrimoine existent dès le milieu de 19<sup>ème</sup> siècle en Grande-Bretagne (sentiers, centre

d'interprétation pour les fossiles) celles-ci sont embryonnaires et ne témoignent pas d'une réelle pratique organisée du géotourisme.

### 2.3.1. Définition

Le **géotourisme** s'est donc développé depuis les années 1970, les projets et réalisations se multipliant dans les années 1990 et 2000. Au même titre que la définition du tourisme qui a longtemps souffert d'hétérogénéité et d'un manque de scientificité (Equipe MIT, 2002), la définition du géotourisme est encore en construction et suscite le débat dans le milieu scientifique. S'opposent ainsi des définitions larges, peu précises et des définitions strictes.

**Définition large:** tourisme «*that sustains or enhances the geographical character of a place - its environment, heritage, aesthetics, culture, and the well-being of its residents* (dans un document intitulé *Moving Ecotourism Beyond its Niche* - sur [www.world-tourism.org](http://www.world-tourism.org) - repris par Pralong, 2006a: 28)».

Dans une approche similaire, Stueve et al. (2002) considèrent le géotourisme comme un tourisme géographique qui s'inscrit dans des contextes socio-économiques et culturelles. La géologie est considérée comme la base des environnements physiques et des systèmes écologiques qui composent ces contextes. Ces définitions larges donnent ainsi assez peu d'éléments sur le géotourisme et ne précisent pas ce «*geographical character of a place*». Elles émanent principalement de professionnels du tourisme et permettent l'intégration de nombreuses pratiques sous le label de géotourisme, s'inscrivant ainsi dans une démarche plutôt économique.

**Définition restrictive:** «*the «geo» part pertains to geology and geomorphology and the natural resources of landscape, landforms, fossil beds, rocks and minerals, with an emphasis on appreciating the processes that are creating and created such features. At the same time, the tourism component of geotourism involves visitation to geosites for the purpose of passive recreation, engaging a sense of wonder, appreciation and learning* (Dowling et Newsome, 2006a: 3-4)».

Cette définition, assez complète, introduit les éléments de bases du géotourisme : il est un ensemble de pratiques orientées vers le patrimoine abiotique (géosites ou géotopes de toutes tailles, paysages géomorphologiques) et les géosciences. De plus, les pratiques géotouristiques s'intéressent autant aux formes (volcans, karst, etc.) et à la matière (strates, roches, fossiles, etc.) qu'aux processus (éruptions, glaciaires, etc.) et dynamiques (rifting, etc.) de la Terre. Hose en 2000 apporte d'autres éléments: «*the provision of interpretative facilities and services to promote the value and social benefit of geologic and geomorphologic sites and their materials and to ensure their conservation, for the use of students, tourists and other casual recreationalists* ». Cette définition introduit les publics concernés par le géotourisme et sa dimension sociale - pour ne pas dire militante. En effet, cette approche stricte du géotourisme est l'oeuvre de chercheurs impliqués dans la valorisation et la conservation du géopatrimoine. Le géoscientifique, à travers cette conception du géotourisme, occupe une place ambivalente et rompt consciemment avec sa posture d'observateur indépendant (distant de son sujet) pour devenir un acteur de la géoconservation. Aussi, le géotourisme devient un outil de promotion et de protection de la composante abiotique de la Terre et des sciences qui s'y intéressent. Il est également conçu comme un moyen de développement durable des territoires, intégrant les populations locales, préservant la ressource tout en générant des retombées économiques (Pralong, 2006a: 10). De ce fait, le géotourisme est à la fois une réalité décrite par les scientifiques et une démarche militante développant une protection dynamique du géopatrimoine. C'est cette approche restrictive qui est utilisée dans ce travail de recherche, notamment dans les chapitres consacrés à la valorisation du géopatrimoine de la RNCM (Chapitres 9 et 10). Pour finir cette aperçu du géotourisme, nous reprenons une définition simple et pertinente proposée par Pralong: «*a multi-interest kind of tourism exploiting natural sites and landscapes containing interesting earth-science features in a didactic and entertaining way*. (Pralong, 2006b: 20)».

Le géotourisme est apparenté à d'autres types de tourisme (voir la figure 1.9). Si les définitions ne l'expriment pas ouvertement, il est (en tout cas pour la définition restrictive) une forme de **tourisme durable** et vise à concilier développement économique et respect du milieu naturel à travers une gestion intégrée de la ressource touristique (le géopatrimoine ici; voir notamment Gray (2004: 367-368) qui reprend les 6 critères d'utilisation durable des ressources de la Terre définis par Crofts en 2001). Le **tourisme durable** est cependant un terme générique applicable à tout type de tourisme répondant à certains critères.

Pour être plus précis dans la typologie touristique, le géotourisme peut être considéré comme une forme de **tourisme de nature** (natural area tourism pour Newsome et al., 2002) défini comme «*une forme de tourisme reposant sur la visite de lieux peu ou pas touchés par la révolution industrielle, autrement dit de lieux dans leur état de «nature»: sites naturels, populations «archaïques», etc.* (Stock et al., 2003: 227; cette définition est utilisée par ces auteurs et à tort à notre sens pour caractériser l'écotourisme)». Le tourisme de nature s'inscrit donc dans le milieu naturel mais il n'est pas porteur d'éthique particulière. En revanche, l'**écotourisme**, forme de tourisme de nature, revendique trois composantes essentielles : un tourisme axé sur la nature, une dimension éducative et un besoin de durabilité (Blamey, 1997 et 2001 repris dans Tardif, 2003: 2). L'écotourisme est «*a sustainable form of natural resource-based tourism that focuses primarily on experiencing and learning about nature, and which is ethically managed to be low-impact, non-consumptive, and locally oriented (control, benefits and scale). It typically occurs in natural areas, and should contribute to the conservation or preservation of such areas* (Fenell, 2003 dans Pralong, 2006b: 21)». L'écotourisme est donc un tourisme qualitatif et éthique auquel on peut rattacher le géotourisme, dans sa définition stricte.

Cependant, le géotourisme peut également s'inscrire dans le milieu urbain (voir par exemple Hose, 2006), dans des sites résultant de l'action humaine (carrières, mines; voir par exemple Cayla, 2007) ou plus largement dans des sites à valeurs multiples (géotopes, voir précédemment). Il est ainsi une forme de **tourisme culturel**, s'intéressant aux valeurs patrimoniales d'un territoire (voir Pralong, 2004b).

Enfin, à la frontière entre le **tourisme d'aventure** et le géotourisme, certaines pratiques comme les excursions glaciaires, volcaniques, la spéléologie, etc., sont basées sur la découverte d'environnements hors du commun et des sensations fortes (Dowling et Newsome, 2006b).

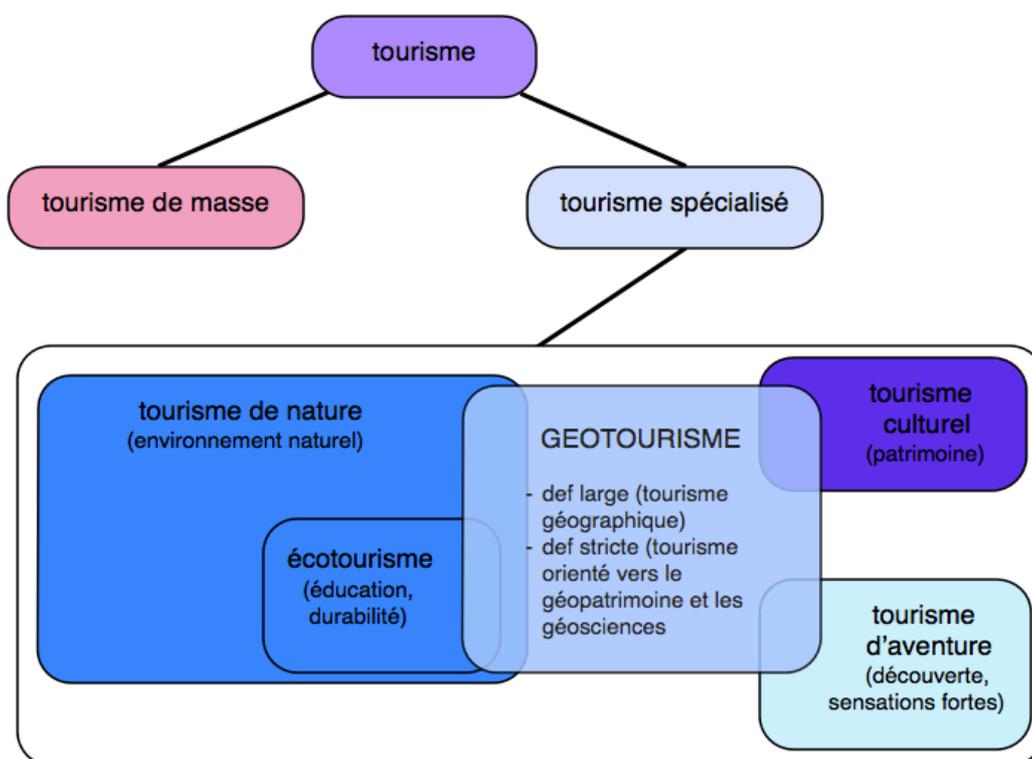


Figure 1.9 : Relation entre le géotourisme et d'autres formes de tourisme spécialisé

Les travaux de l'équipe MIT (voir Equipe MIT 2002 et 2005, Stock et al. 2003) ont récemment construit une **approche géographique du tourisme**. Partant de la déconstruction de l'analyse géographique classique du tourisme (manque de scientificité, incapacité à penser un phénomène complexe), ces chercheurs proposent une refondation à travers une approche constructiviste et actorielle. Ils introduisent la définition du **tourisme** suivante: «*système d'acteurs, de pratiques et de lieux qui a pour objectif de permettre aux individus de se déplacer pour leur récréation hors de leur lieu de vie habituel,*

*en allant habiter temporairement dans d'autres lieux. C'est une des formes de récréation avec les loisirs* (Equipe MIT, 2002: 301)». Le tourisme est ainsi la rencontre de trois éléments essentiels: un déplacement volontaire et temporaire d'individus; un *habiter* temporaire hors des lieux du quotidien; un but de *récréation*. Cette approche, dépassant le déterminisme place donc le *touriste* au coeur du système: c'est à travers ses *pratiques* qu'il crée le *tourisme* et ses *lieux*. C'est son regard qui donne au lieu une valeur touristique. Le besoin de se recréer pousse parfois le touriste vers le «*vide* (Equipe MIT, 2002: 185)» (la montagne, l'océan) et le mythe de la frontière. Le site touristique est donc le fruit d'une rencontre, dans un contexte (économique, social, historique et spatial) précis entre les touristes (en fonction de leur intentions et de leurs attentes) et un lieu (selon ses qualités). Créateur de richesses économiques et d'emplois, le tourisme est souvent utilisé par les acteurs politiques de toute échelle pour dynamiser, moderniser, intégrer un territoire. Le lieu touristique n'est donc pas inerte, prédestiné et directement le fruit de l'accessibilité et des transports.

À travers le prisme de cette approche géographique du tourisme, le géotourisme (dans sa définition stricte) occupe donc une place particulière: s'il se compose des trois éléments essentiels du tourisme (la récréation est ici un apprentissage, une sensibilisation), il est, comme le montre par exemple Hose en 2006, plus le fruit de l'élaboration d'outils d'interprétation et de valorisation par les géoscientifiques qu'une pratique *inventée* par les touristes. Cependant, selon l'équipe MIT, il ne peut y avoir de pratique touristique si l'offre touristique ne répond pas à une attente, une intentionnalité des touristes. Aussi, le succès croissant du géotourisme partout dans le monde (Dowling et Newsome, 2006c) montre que cette attente sociale existe concernant une éducation, une sensibilisation aux richesses du géopatrimoine et des géosciences. Cette attente s'amplifie d'ailleurs dans la société contemporaine, en raison notamment d'une *démocratisation* de l'écologisme. Toujours selon l'approche introduite par l'équipe MIT, un lieu touristique n'est pas prédestiné (déterminisme selon ses caractéristiques géographiques, son accessibilité) mais le fruit d'une rencontre entre les attentes des touristes et les qualités d'un lieu. La «*mise en tourisme* (Equipe MIT, 2002: 300)» d'un site touristique est ainsi une construction sociale. Dans le cas du géotourisme, cette construction sociale est presque toujours initiée par le géoscientifique, les sciences de la Terre et des outils d'interprétation devenant *médiateurs* de l'accès au géopatrimoine. Dans ce prolongement, il n'existe pas de géotourisme sans l'existence de ces médiateurs. Ceux-ci jouent un rôle prépondérant dans la mise en tourisme d'un géopatrimoine non vivant, aux richesses et à la fragilité souvent ignorées (Dowling et Newsome, 2006c). Enfin, dans le géotourisme comme dans l'écotourisme (plus largement le tourisme durable), la mise en tourisme d'un site a la particularité de contenir une forte ambition éthique (durabilité, intégration des populations locales).

### 2.3.2. Caractéristiques: publics, lieux et outils

La définition du tourisme par l'équipe MIT introduit donc la notion de système. Le **géotourisme, comme système**, est donc composé d'un ensemble de pratiques et d'acteurs qui interagissent dans des lieux selon des dynamiques particulières. Ce système touristique peut être pensé à travers une étude classique du tourisme par les notions de produit/marché/client (Pralong en 2010 à Lausanne, lors d'un colloque intitulé *Les géosciences au service de la société*). Précédemment, une autre approche permettant l'étude de ce système a été proposée également par Pralong (2006a: 32-46), dans un *modèle conceptuel* cherchant à intégrer tous les acteurs de ce système en identifiant «*les composantes générales de l'offre et de la demande* (Pralong, 2006a: 32)». Il permet ainsi de mettre en lumière le lien entre une pratique et un site géotouristique. La composante de l'*offre géotouristique* regroupe les principaux acteurs (géoscientifiques, décideurs politiques, professionnels du tourisme) et les lieux (géosites à valeur touristique) qui permettent l'élaboration de biens et services (outils) géotouristiques. La composante de la *demande géotouristique* regroupe les types de publics (touristes, excursionnistes) et leur caractéristiques respectives (sociales, culturelles, temps libre, besoins, etc.) qui induisent des comportements et des actions géotouristiques. Dans cette synthèse théorique, nous avons choisi de nous concentrer et de présenter les principales composantes de ce système, à savoir les *géotouristes*, les *lieux géotouristiques* et les *outils d'interprétation/valorisation du géopatrimoine*.

#### *Géotouristes*

Le géotourisme est une pratique récente. De ce fait, son analyse dans le champ scientifique est en construction et encore aujourd'hui, largement limitée. Ainsi, très peu d'études existent sur les géotouristes et celles qui s'y intéressent (par exemple Hose, 1996, 1998; Pralong, 2004b, 2006a) sont

d'avantage des synthèses élaborées à partir de cas précis que des analyses larges à portée ambitieuse et exhaustive. Des caractéristiques communes des géotouristes ressortent de ces études de cas (réalisées en Grande-Bretagne, en Suisse et en France, le plus souvent avec des enquêtes), où la majorité du public est (ou a) :

- *national* (Pralong, 2004b et 2006a)
- *adulte* (les géotouristes ont majoritairement un âge compris entre 30 et 65 ans pour Hose, 1998; entre 35 et 64 ans pour Pralong, 2004b; un âge moyen de 40 à 43 ans pour Pralong, 2006a)
- *familial* (Hose, 1996; Pralong, 2006a)
- *un niveau socio-culturel plutôt élevé* (Pralong, 2004b et 2006a)
- *pas/peu initié aux géosciences* (Hose, 1996 et 1998; Pralong, 2006a)
- *plus motivé par la découverte de la nature et du paysage et par une approche patrimoniale pluridisciplinaire* plutôt que par une approche trop scientifique et thématique (Pralong, 2006a)
- *intéressé par des interprétations vivantes* (visites guidées), *dynamiques et esthétiques* (Hose, 1998)

Un profil type semble donc se dégager. Hose va même plus loin en proposant une typologie de quatre types de géotouristes, en fonction de leur niveau géoscientifique et des outils didactiques qu'ils recherchent (1998: 80):

- 1) «*beetles*» (scarabées): diplômés en géosciences qui utilisent des guides et des recherches pour approfondir leurs connaissances;
- 2) «*ants*» (fourmis): amateurs de géosciences qui utilisent des guides de terrain pour approfondir leurs connaissances;
- 3) «*wasps*» (guêpes): jeunes étudiants qui visitent des sites accessibles, ils sont sensibles au visuel (panneaux);
- 4) «*butterflies*» (papillons): touristes communs, curieux et sensibles seulement au visuel, ils vont d'un site à l'autre assez rapidement.

Pour l'auteur, les groupes 2 et 3 sont les plus nombreux. Cette typologie rejoint quelque peu celle développée en 1998 par Origet du Cluzeau (relevée dans Pralong, 2006a: 200) pour le tourisme culturel. trois publics-cibles sont désignés et il convient, selon Pralong, d'adapter l'offre géodidactique à chacun d'eux. Les premiers sont des spécialistes d'un thème, *monomaniaques*, possédant un excellent niveau de connaissance et de motivation, «*déjà conquis par les sciences de la Terre* (Pralong, 2006a: 200)» et familiarisés avec la littérature scientifique. Ils sont peu nombreux. Le second public est composé de personnes intéressées et motivées par de nombreux domaines. Ces *boulimiques* de connaissance s'intéressent aux géosciences par intérêt culturel. Les approches larges, mélangeant les sciences de la nature aux sciences humaines (concept d'*Histoire totale* de Pralong, 2004b), ou les analyses paysagères et patrimoniales sont les plus adaptées à ce public. Enfin, le dernier type de géotouristes regroupe les visiteurs occasionnels, curieux, attirés par l'esthétique et les émotions que procure la visite. Ce public, avide de divertissement et rapidement rebuté par le savoir scientifique, doit être stimulé par des outils didactiques ludiques et attractifs.

### *Lieux géotouristiques*

Pour Dowling et Newsome, le géotourisme «*is a specialized form of tourism in that the focus of attention is the geosite* (2006a: 6)». Le lieu géotouristique s'inscrit donc dans ces objets à valeur scientifique et touristique (plus des valeurs additionnelles quand elles existent). Comme nous l'avons exposé précédemment, les géosites ont une taille variable. C'est ainsi que le géotourisme se concentre sur les objets suivants: «*landscape, landforms, fossil beds, rocks and minerals, with an emphasis on appreciating the processes that are creating and created such features* (Dowling et Newsome, 2006a: 3). Comme le montrent certains auteurs (Zouros, 2009; Migon, 2009), ce sont les géomorphosites qui ont les plus de succès touristique, notamment en raison de leur forte dimension esthétique.

Stock et al. (2003:290) définissent un lieu touristique comme «*un lieu créé ou investi par le tourisme et transformé pendant au moins un temps par la présence de touristes. [Différents] types peuvent être distingués, selon que le lieu ait existé avant le tourisme, ou bien qu'il a été créé par le tourisme et selon le degré de transformation induite par le tourisme* ». Il en découle une typologie simplifiée en quatre types hiérarchisés de lieux (dans Stock et al., 2003: 57): un site, un comptoir (un site ayant une capacité d'accueil), une station (un comptoir ayant une population locale) et une ville (une station ayant des fonctions urbaines diversifiées). La mise en tourisme d'un géosite (site) peut se traduire par la création d'une capacité d'accueil (il devient un comptoir) et parfois les richesses et l'offre touristique

dérivée (Pralong, 2006a) qu'il génère peuvent permettre à des populations de vivre à proximité (stations voire villes liées aux géotourismes). Par exemple, le développement du village de Yurala (1000 habitants) est directement lié au géotourisme pratiqué sur le site d'Uluru en Australie.

Allant plus loin, Pralong (reprenant Pralong et Reynard, 2005) propose une classification des géotopes en fonction de leur type d'utilisation et de leur valeur (2006a: 24):

- *géotope au sens strict* (sans valeur économique, sans protection)
- *géotope protégé* (sans valeur économique, avec protection)
- *géotope au sens large* (avec valeur économique et culturelle, sans valorisation)
- *ressource touristique et culturelle* (avec valeur économique et culturelle, avec valorisation)
- *substrat abiotique* (valeur seulement économique, sans utilisation)
- *ressource touristique et économique* (valeur seulement économique, avec utilisation)

De plus, la mise en tourisme d'un géotope est un processus que l'on peut décomposer en trois phases (Pralong, 2004a):

- 1) *phase de valorisation* (valeur touristique extrinsèque donnée par l'Homme à un géotope);
- 2) *phase d'exploitation* (utilisation de cette valeur dans une perspective touristique, retombées économiques);
- 3) *phase de transformation* (impacts positifs/négatifs liés à l'utilisation touristique d'un géotope).

Il faut noter que l'utilisation touristique d'un site peut lui faire perdre d'autres valeurs (scientifiques, esthétiques, etc.).

Les sites géotouristiques sont nombreux et divers (tout géopatrimoine auquel l'Homme donne une valeur touristique). Cayla (2009), dans une étude sur 300 sites géotouristiques de l'espace alpin, montre que si chaque Etat possède globalement le même géopatrimoine (donc le même potentiel géotouristique), la nature des sites géotouristiques est liée à la culture touristique propre à chaque Etat (par exemple, l'offre géotouristique va se focaliser d'avantage sur le patrimoine glaciaire dans certains Etats, minier dans d'autres, etc.). En outre, la mise en tourisme des géosites s'inscrit majoritairement dans des logiques *bottom up* où le géoscientifique joue un rôle prépondérant (à l'inverse, la multiplication des géoparcs en Chine semble s'inscrire d'avantage dans la logique, moins courante, *top down*).

Le géotourisme, nous l'avons vu, est une forme d'écotourisme. Aussi, tout comme cette pratique, il s'inscrit de manière privilégiée dans les aires de protection (Lawton dans Tardif, 2003). En effet, par leur environnement naturel riche et préservé, et par leurs structures de gestion/valorisation, elles attirent les géotouristes. Il existe d'ailleurs deux types d'aire de protection spécialement destinées à la conservation et à la mise en valeur du géopatrimoine en France. Les premières, intégrées dans le réseau des Réserves Naturelles Françaises et créées par la LPN de 1976 et la loi de Démocratie de proximité de 2006, comprennent les *Réserves Naturelles Nationales Géologiques*, les *Réserves Naturelles volontaires à vocations géologiques*, les *Réserves Naturelles Régionales*. Ces 22 territoires ont pour objectif principal de protéger le patrimoine géologique (CPGRNF, 2007). Le second type, les *géoparcs* (voir Jordan et al., 2004; Zouros, 2005; Frey et al., 2006, ou encore Reynard et al, 2007b) ne sont pas issus de la législation française, mais résultent de coopérations territoriales internationales (soft law) sous l'égide de deux réseaux (Réseau Européen des Géoparcs fondé en 2000 et regroupant 37 géoparcs en 2010 et le Global Geoparks Network fondé en 2004 et regroupant 66 géoparcs dans le monde en 2010) et de l'UNESCO (initiative *Géoparcs* lancées par l'UNESCO dès 1997, selon Reynard et al., 2007b). Les *géoparcs* sont ainsi plus un territoire labellisé de géovalorisation qu'une aire de protection stricte. Ils sont définis par l'UNESCO comme des «*territories where the geological heritage of the Earth is safeguarded and sustainably managed: [dans trois buts] educate and teach the broad public about issues in geology and environmental matters (education); provide a tool to ensure sustainable development (tourism); preserve geological heritage for future generations (conservation)* (dans Frey et al., 2006: 112)». Il existe deux géoparcs en France (la Réserve Géologique de Haute-Provence et le Parc Naturel Régional du Lubéron) qui font tous deux parties du réseau européen et mondial. S'ils détiennent ce *label*, ils sont en même temps des aires de protection définie par la législation française.

## *Biens et services géotouristiques*

Nous allons finir ce tour d'horizon sur le géotourisme par la présentation des biens et services géotouristiques existants, dont le but est une interprétation/valorisation du géopatrimoine. Plutôt que de proposer l'inventaire exhaustif des outils géodidactiques (centre d'interprétation, visite guidée, parc à thème, panneau didactique, livre, carte, exposition, guide de terrain, sentier didactique, multimédia, conférence, musée, etc.; voir par exemple dans Gray, 2004), nous allons en présenter les spécificités.

Si le géotourisme est une pratique qui se développe partout dans le monde (Dowling et Newsome, 2006c), certains chercheurs pointent pourtant certaines difficultés persistantes:

- niveau scientifique des outils interprétatifs souvent trop élevé pour le public (Hose, 1998);
- problème de compréhension par le grand public de l'échelle du temps géologique, de la structure et de la dynamique de la Terre (par exemple Kramar, 2003; Pralong, 2003 ou Marthaler, 2004);
- trop peu d'études scientifiques sur les biens et services géotouristiques (Reynard et al., 2003b, Pralong, 2003, Summermatter, 2003);
- biocentrisme largement dominant (des décideurs politiques aux professionnels du tourisme), autant dans une perspective de protection que de valorisation du patrimoine (par exemple Reynard et Gentizon, 2004; Gentizon, 2004 ou Gray, 2004 et 2005).

D'un point de vue général, le géopatrimoine manque donc de reconnaissance, et comme le montrent de nombreux chercheurs (Dowling et Newsome, Gray ou encore Reynard), ses richesses et sa fragilité sont trop souvent sous-évaluées. Il en résulte une difficulté des géosciences à élargir leur public (Kramar, 2005). L'origine de ce phénomène peut s'expliquer en partie par la particularité du géopatrimoine par rapport au patrimoine biologique ou au patrimoine anthropique. En effet, les caractéristiques propres du géopatrimoine (l'échelle de temps géologique, la dynamique de la Terre, l'évolution de la géographie et des structures géologiques, la matière abiotique) le rendent peu accessible aux non-initiés - et ils sont largement majoritaires.

De ce fait, la lecture d'un paysage se révèle très complexe pour une grande partie des individus, d'autant plus que l'espace (paléogéographies, structures tectoniques et types de roches) et le temps géologique sont très souvent disposés de manière désordonnée et incomplète dans celui-ci (par exemple Marthaler, 2001 et 2004; Kramar, 2003 ou Pralong, 2003). Aussi, le géotourisme n'existe pas sans l'existence de médiateurs du géopatrimoine (biens et services géotouristiques) qui en donnent l'accès (Dowling et Newsome, 2006c). Dans cette perspective, partant du caractère intrinsèquement *mystérieux* du géopatrimoine pour le grand public, des chercheurs (Hose, 1998; Marthaler, 2003 et 2004; Pralong, 2003 2006a et 2006b) proposent de s'en servir pour stimuler l'imaginaire et la curiosité de ce public. À ce titre, Marthaler 2003 compare d'ailleurs les géosciences, sciences qui décryptent un environnement à la nature et au passé souvent insoupçonnés (des vestiges océaniques en montagne; des montagnes sous la glace il y a 20 000 ans, etc.), à des «*sciences-fictions* (2003: 113)». Les biens et services proposés par ces auteurs pour attirer le grand public vers le géopatrimoine, cherchent donc à jouer «*sur les émotions, les sensations* (Pralong, 2006a: 201)» et, si elles doivent se fonder sur des réalités scientifiques, elles doivent s'inscrire dans le «*capitalisme du rêve* (Pralong, 2006a: 207; reprenant Jensen, 1999)». À noter qu'une méthode intéressante d'analyse du paysage a été développée à Lausanne au début des années 2000, pour un public possédant des bases dans les sciences de la Terre (voir Kramar, 2003, et 2005; Marthaler, 2003; Pralong, 2003; Marthaler et Kramar, 2004; Pralong et Reynard, 2004). Le paysage, considéré comme un média de valorisation des géosciences (Marthaler et Kramar, 2004) et la porte d'entrée vers l'Histoire de la Terre, est décrypté à travers une étude en 3 histoires: l'histoire des roches (géologie), l'histoire des mouvements et des plis (tectonique) et l'histoire des formes (géomorphologie). Cette méthode de médiation scientifique, si elle n'est pas sans limites (voir par exemple Pralong et Reynard, 2004), met en valeur efficacement et relativement assez le géopatrimoine. Elle repose sur les concepts de *cycles orogéniques* et *océaniques* (de la formation à l'érosion des roches, en passant par leurs déformations) et plus largement sur la *géodynamique de la Terre* (Kramar, 2005).

Le géodidactique demande donc une démarche complexe, entre l'exposé de la réalité scientifique et une information accessible et attractive, entre le partage du savoir et l'éveil de la curiosité et une sensibilisation. En ce sens, une valorisation pertinente d'un géopatrimoine devrait «*tisser des liens entre le local et le mondial, entre le passé et le présent, entre une géométrie apparemment figée mais visible et des processus actifs mais inaccessibles au regard* (Marthaler, 2004: 65)». Voici, pour finir, des propositions émises par les chercheurs pour la production de biens et services géotouristiques:

- mettre l'accent sur la géodidactique (la forme doit mettre en valeur le fond):  
le géoscientifique n'est pas toujours un bon vulgarisateur. La médiation scientifique et la géovalorisation, entre pédagogie et marketing, demandent bien souvent des *savoirs* et compétences particuliers (Pralong, 2003 et 2006a; Kramar, 2010-communication personnelle). Dans ce prolongement, la géodidactique suppose une connaissance du public-cible, de ses attentes et une adaptation de l'offre. Si les supports humains, dynamiques, interactifs, semblent les plus appréciés (Hose, 1998; Reynard et al., 2003b), Summermatter (2003) propose 6 règles dans lesquelles doit s'inscrire une vulgarisation (familiarité, fascination, fidélité, fonctionnalité, formation et fusion).
- une approche transdisciplinaire:  
la pertinence d'une approche ouverte et transdisciplinaire ressort de ces recherches. Tout d'abord, l'offre géotouristique doit mettre en valeur l'ensemble des géosciences. Si la géomorphologie, par son esthétisme et sa visibilité est indispensable dans la géovalorisation, elle doit servir d'accroche, de porte d'entrée vers les autres sciences de la Terre (Pralong, 2003). D'autre part, une approche plus large, intégrant la biologie et les sciences humaines dans une perspective patrimoniale (notion d'*Histoire totale*, de *paysage culturel intégrée*) doit permettre d'élargir le public du géotourisme et d'intégrer cette pratique dans une mise en valeur durable et globale du territoire. Ainsi, les géosciences ont un rôle important à jouer dans le contexte contemporain de prise de conscience écologique des individus, notamment dans les réflexions sur la place de l'Homme face à/dans la Nature, sur le changement climatique, etc..

Après avoir défini ce vaste cadre théorique, nous allons maintenant présenter les principales méthodes que nous allons utiliser.

### 3. Méthodes

#### 3.1. Cartographie

Les cartes, aux échelles 1: 200 000 et 1: 50 000 réalisées dans ce travail de recherche se basent sur les documents suivants:

- **Cartes topographiques IGN** 1: 25 000, feuille 3531 OT *Megève* (1998) et feuille 3531 ET *St-Gervais-les-Bains - massif du Mont-Blanc* (2002);  
**Carte topographique Swisstopo** 1: 200 000, feuille 03 Suisse sud-ouest (2009);
- **Orthophotos** (photographies aériennes) de 2004 mises à disposition par ASTERS pour ce travail de recherche;
- **MNT laser** (Modèle Numérique de Terrain) de résolution de 20 m (maillage de la zone d'étude avec l'altitude d'un point mesuré tous les 20 m, la précision étant inférieure au mètre pour les coordonnées xy du point et d'un mètre pour l'altitude z mesurée) mis à disposition par ASTERS pour ce travail de recherche (le MNT appartient à la *Régie de gestion de donnée Savoie - Haute-Savoie*);
- **Cartes produites par ASTERS** dans le *Plan de Gestion 2006-2010* de la RNCM;
- **Relevés, observations et photographies personnelles** issus des études de terrain effectuées entre novembre 2008 et août 2010;
- **Documents produits par des recherches antérieures** (textes, cartes, figures, etc.);
- **Consultation du logiciel Google Earth**, utilisant les mêmes orthophotos de 2004 que nous avons obtenues auprès d'ASTERS.

Les cartes ont été réalisées avec les logiciels *ArcGis* et *Adobe Illustrator*. L'information représentée sur le fond de carte (hydrographie et les principales lignes de crêtes) a été construite avec les cartes IGN,

Swisstopo et les orthophotos qui sont nos données les plus précises. À l'inverse, les courbes de niveau (ou *isohypse*: ligne d'altitude égale) de 20 m, 50 m et 100 m ont été générées sur SIG (*ArcGis*) à partir du MNT 20 m. En raison de cette résolution initiale, les isohypses interpolées donnent des résultats plutôt concluants à petite échelle et permettent une bonne appréciation des pentes et de leur orientation. Néanmoins, des imprécisions subsistent à grande échelle; en témoignent par exemple les décalages (jusqu'à quelques dizaines de mètres au 1: 50 000) parfois existants entre les thalwegs et interfluves visibles sur les courbes de niveau et les informations hydrographiques et lignes de crêtes construites. Si ces isohypses nous ont donné des informations importantes, les données dessinées sur les cartes ont été construites avec nos données les plus précises: cartes IGN, orthophotos et relevés personnels. Enfin, les cartes produites sont référencées via le système de coordonnées suisses, *CH 1903*.

### 3.2. Observation et cartographie géomorphologique

L'ensemble du territoire de la RNCM a été l'objet d'une cartographie géomorphologique manuelle au 1: 25 000 sur des fonds de cartes topographiques IGN (voir annexe) et numérisée au 1: 50 000 sur *Illustrator*. Cette cartographie a été dessinée pendant et à la suite de la campagne de terrain. Nous avons en effet confronté nos observations et descriptions de terrain avec l'ensemble des données à notre disposition (voir 3.1). Les relevés de terrain sont indispensables dans une démarche de cartographie géomorphologique. Cependant, bien qu'elle permette la *comparaison* et l'*interprétation*, l'observation reste une méthode *subjective* et *spéculative* et elle nécessite de recouper les informations relevées avec d'autres sources quand cela est possible (Scapozza, 2008). Aussi, la synthèse et la confrontation des informations d'origines diverses permet elle de limiter la subjectivité inhérente à tout processus cartographique (Lambiel, 2008a).

Cette campagne de terrain s'est déroulée sur une vingtaine de jours entre 2008 et 2010. L'essentiel de la cartographie a été réalisée entre fin juillet et septembre 2009. Cette cartographie s'appuie sur la méthode de l'IGUL (Holzmann et al., 2006, dans le prolongement des recherches de Schoeneich, 1992a,b).

Il existe de nombreux types de cartes géomorphologiques, fonctions des caractéristiques du relief représentées (genèse, dynamique, chronologie, morphographie, morphométrie, selon Lambiel, 2008a). De plus, au contraire de la cartographie géologique, il n'existe pas de légende internationale uniformisée en géomorphologie. La méthode de l'IGUL est inspirée de la légende officielle française (définie par le CNRS et par les travaux de Tricart dans les années 1970) mais elle est simplifiée. Elle ne comprend en effet pas d'indication sur la géologie, la lithologie des sédiments et sur la topographie. La méthode de l'IGUL distingue les formes d'érosion (fond blanc) des formes d'accumulation (fond de la couleur du processus à l'origine de l'accumulation). Elle est ainsi, en quelque sorte, le négatif d'une carte géologique (Lambiel et al., 2007). La couleur attribuée à chaque processus morphogénétique (voir le tableau 1.10), s'inspire des cartes allemandes et françaises. Elle est définie par un numéro qui renvoie aux crayons *Caran d'Ache Prismalo* et au nuancier *Pantone Euroscale édition 1991/92* (Holzmann et al., 2006).

Cette méthode cartographique donne une information sur le processus d'origine des formes, tandis que la dynamique (actif, inactif, fossile; degré d'activité) n'est pas représentée, mis à part pour les glissements de terrain et les glaciers rocheux. Les cartes produites sont donc morphogénétiques à composantes morphodynamiques (Lambiel et al., 2007). Les formes polygéniques (résultant de l'action simultanée ou successive de différents processus géomorphologiques) sont représentées dans la couleur du processus dominant, actif ou le plus récent. Une combinaison de couleurs peut parfois être utilisées pour ces formes complexes. Les surfaces d'accumulation sont colorisées tandis que les formes trop petites sont représentées par des symboles. La délimitation des formes s'effectue avec un trait quand celle-ci est bien visible. À l'inverse, la délimitation est parfois difficile ou des formes peuvent résulter du passage continu d'un processus à un autre (par exemple, d'un éboulis à un glacier rocheux) et l'utilisation d'un trait n'est pas pertinente.

Domaine morphogénétique	Couleur (n°)
anthropique	Gris (5)
fluviale	Vert (210)
glaciaire	Violet (120)
gravitaire	Ocre (35)
karstique	Turquoise (171)
lacustre	Bleu foncé (160)
nival	Rouge Bordeaux (80)
organogène	Olive (245/249)
périglacière	Mauve (90)
structural	Rouge (60)
hydrographique	Bleu clair (161)

Tableau 1.10: Couleurs associées aux domaines géomorphologiques selon la méthode de l'IGUL

En résumé, la méthode de l'IGUL est simple et lisible, facilement utilisable et compréhensible. Elle présente toutefois les inconvénients d'être simplificatrice (par exemple pour les formes polygéniques), lacunaire (par exemple pour la dynamique des processus), voire de ne pas présenter certaines informations (géologie, lithologie).

L'ensemble de la RNCM a été cartographié. Cependant, en raison d'un accès parfois trop périlleux (voire impossible) dans cet environnement de haute montagne, certains secteurs ont dû être cartographiés indirectement, en fonction des données dont nous disposons (cartes topographiques, cartes géologiques, MNT, orthophotos, *Google Earth*, recherches antérieures d'autres auteurs) et de nos connaissances. Ces secteurs sont:

- du Rocher du Bonhomme à la Tête Nord des Fours et les pentes inférieures (extrémité Sud de la RNCM, une partie du versant Beaufortin)
- la partie haute du glacier de Tré la Tête, du secteur des Conscrits à l'Aiguille de Tré la Tête (extrémité NE de la RNCM)
- la Côte du Plane et la Combe du Covagnet (extrémité NO de la RNCM, une partie du versant Beaufortin)

La cartographie géomorphologique de ces secteurs, produite dans ce travail, est donc indicative et l'information représentée doit être prise avec réserve. Néanmoins, ces secteurs (affleurements de roche en place, couvertures sédimentaires, cirque glaciaire, petit bassin versant et versant enforesté) semblent relativement pauvres d'un point de vue géomorphologique (nombre et diversité des formes). Aussi, une étude de notre part sur le terrain n'aurait peut être pas apporté d'informations supplémentaires même si nous aurions aimé la réaliser.

### 3.3. Reconstitution paléogéographique

Les reconstitutions paléogéographiques cherchent à mettre en évidence les différentes étapes morphogénétiques qui ont abouti au relief actuel. Elles sont élaborées à partir du relevé des formes héritées et des connaissances sur l'histoire alpine au Quaternaire récent. Les reconstitutions tentent ainsi de mieux comprendre le désenglacement progressif des Alpes depuis le LGM et dans ce

prolongement, de voir comment la géomorphologie a évolué jusqu'au relief actuel, des processus remobilisant ou recouvrant certaines formes glaciaires.

Les reconstitutions sont basées sur la notion de stade glaciaire, introduite par Penck et Brückner en 1909. La position du front d'un glacier en équilibre varie peu et le matériel morainique est ainsi déposé globalement au même endroit, construisant des moraines latérales et/ou frontales relativement importantes. Dans ce prolongement, la mise en lumière de ces moraines construites (ou cordons morainiques), dans les vallées et versants des Alpes, illustre différents stades de retrait glaciaire. En relevant ces différentes moraines (quand on les retrouve et si elles existent encore), on peut ainsi reconstituer certaines étapes de la déglaciation, du LGM à la position actuelle des glaciers, sous la forme d'une chronologie relative (voir par exemple Maisch, 1981). Des stades de retrait ont été relevés dans de nombreuses vallées alpines et le calcul de la dépression de la ligne d'équilibre glaciaire (DLEG, voir Gross et al. 1977) permet de comparer ces différentes chronologies relatives. En même temps, des datations absolues ont permis de donner un âge à certains de ces stades ou aux périodes intermédiaires, calibrant ainsi ces chronologies relatives (voir par exemple Schneebeli et Röthlisberger, 1976).

La méthode que nous allons utiliser a été développée en 1998 par Schoeneich, poursuivant le travail d'autres chercheurs. Cette méthode est reprise, par exemple, dans les mémoires de Scapozza, (2008) et Fontana, (2008). Elle se base sur différentes étapes:

- *cartographie des moraines construites* : il s'agit de relever les cordons morainiques d'un secteur et les autres formes témoignant d'un stade glaciaire (plaine d'épandage fluvioglaciaire, terrasse de kame, delta perché, etc.). Cette cartographie doit être précise et il est important de tenir compte de la morphologie générale des moraines (crête, forme arrondie), de la composition lithologique du matériel sédimentaire et des formes plus petites (notamment de la présence de doubles crêtes). À notre sens, si nous avons cartographié avec précision la position et la forme des moraines de la RNCM, notre relevé manque de précision, notamment sur l'analyse des petites crêtes et de la lithologie. Le temps dont nous disposons sur le terrain, la grandeur de celui-ci, l'échelle de cartographie et le fait que l'étude quaternaire ne soit qu'une des nombreuses parties de notre mémoire, explique cette situation. De plus, comme nous le verrons plus tard (voir 5.3.2.3.), nos relevés des moraines construites diffèrent de ceux proposés par Dorthe-Monachon (1986) et Wetter (1987). Nous n'avons en effet pas retrouvé toutes les formes cartographiées par ces auteurs et en même temps nous en avons relevé d'autres. Certaines petits cordons ou certaines zones étaient difficiles à analyser en raison de leur complexité. Nous pensons donc qu'un travail plus poussé et focalisé sur le Quaternaire de la RNCM pourrait être entrepris. Toutefois, la cartographie et les reconstitutions paléogéographiques que nous proposons donnent, selon nous, une approche rigoureuse et de bonnes indications sur le Quaternaire local.
- *reconstitution et numérotation des fronts* : les formes héritées cartographiées sont analysées et mises en relation. En fonction de la morphologie et de la lithologie, les moraines d'un même secteur et présentant des caractéristiques similaires peuvent être rattachées et interprétées comme différentes positions d'un même stade. Les moraines sont numérotées en partant de l'amont, en fonction de la toponymie locale. Enfin, si différentes positions témoignent d'un même stade, la position la mieux définie (moraine la plus volumineuse, la plus anguleuse, etc.) est considérée comme position de référence pour le stade.
- *reconstitution de la surface des paléoglaciers* : à partir de la position de référence du stade, la surface du paléoglacier est reconstituée, en tenant compte de la topographie locale et de la limite probable de la zone d'accumulation en amont. Cette reconstitution de la surface est produite sur SIG.
- *calcul de la ligne d'équilibre du paléoglacier pour chaque stade* : en se basant sur le principe de partage des surfaces dans un glacier en équilibre (rapport 2 : 1 entre la surface d'accumulation et la surface d'ablation, voir par exemple Kerschner, 1976 ou Gross et al., 1977), la ligne d'équilibre glaciaire peut être calculée pour chaque stade à partir d'un SIG et d'un MNT relativement précis. La méthode que nous avons utilisée est un calcul d'interpolation permettant de connaître l'altitude maximale du tiers inférieur (altitude de 33% de la surface correspondant à la ligne d'équilibre glaciaire) du paléoglacier en fonction de la topographie actuelle (MNT). Cette méthode est moins précise qu'un calcul par tranche altitudinale car elle ne prend pas en compte le volume de la glace du paléoglacier (reconstituée manuellement en dessinant les tranches altitudinales). Elle est cependant

efficace pour les calculs de la ligne d'équilibre pour les petits paléoglaciers, dont le volume de glace, relativement faible, fait peu varier l'altitude de la ligne d'équilibre (Scapozza, 2010-communication personnelle).

- *calcul de la dépression de la ligne d'équilibre (DLEG) par rapport au stade de référence de 1850* : l'altitude de la ligne d'équilibre trouvée pour chaque paléoglacier sera soustraite à la ligne d'équilibre du stade de référence de 1850, qui correspond au dernier grand stade où les glaciers alpins étaient en équilibre (dernière grande péjoration climatique du Petit Âge Glaciaire, voir Maisch, 1992) pour calculer la DLEG. En cas de situation complexe où le paléoglacier résulte de la confluence de différents petits glaciers de taille et d'orientations différentes, nous calculerons une moyenne pondérée de la ligne d'équilibre glaciaire de 1850 (voir la figure 1.11 et Maisch, 1981: 30).

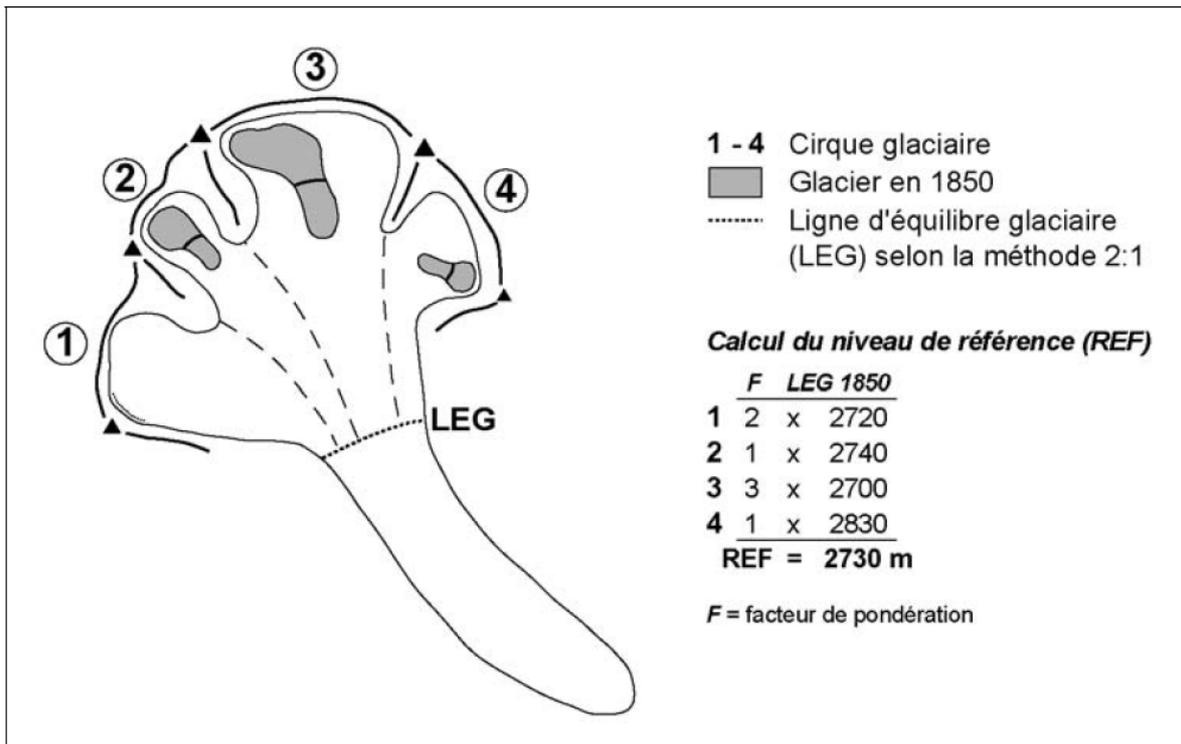


Figure 1.11 : Calcul d'un niveau de référence de 1850 pour le cas d'un paléoglacier formé par la confluence de zones d'accumulation de dimensions et d'orientations diverses (tirée de Scapozza, 2008: 65 et d'après Maisch, 1981)

Quand cela sera possible, nous comparerons la valeur de la DLEG obtenue par la méthode 2 : 1 avec celle obtenue plus rapidement avec les méthodes  $d/2$  (définie par Zienert en 1965 et selon laquelle la DLEG entre deux stades successifs correspond à la différence d'altitude entre les deux fronts divisée par deux) et de l'*enracinement des moraines* (définie par Lichtenecker en 1938 et qui suppose que les moraines latérales ne peuvent se développer qu'en dessous de la ligne d'équilibre, le point le plus haut d'une moraine latérale correspondant ainsi à la ligne d'équilibre du stade glaciaire; cette méthode n'est cependant pertinente que pour des vallées glaciaires à la topographie relativement régulière, des ruptures de pentes pouvant empêcher la formation de moraines latérales comme l'explique Schoeneich en 1998).

La DLEG final que nous obtiendrons sera la moyenne des valeurs obtenues avec les méthodes 2 : 1,  $d/2$  et l'enracinement des moraines.

- *établissement d'une séquence de retrait pour chaque glacier et au niveau local* : cette séquence de retrait prend la forme d'un schéma où la position du front glaciaire de chaque stade est dessinée en fonction de la distance par rapport au fond du cirque glaciaire (en abscisse) et de l'altitude (en ordonnée). Elle regroupe les positions d'un même stade. Une corrélation entre les séquences des

différents glaciers permet d'obtenir une séquence au niveau local. En raison du manque de temps, nous n'avons pas réalisé de séquences de retrait pour les glaciers de la RNCM. Celle-ci ne nous semblaient en effet pas indispensable et nous nous sommes contentés du calcul de la DLEG pour chaque stade.

- *corrélation de la séquence locale avec les modèles régionaux de références* : nous comparerons les DLEG calculées avec celles des modèles régionaux de références de Dorthe Monachon (1986), Wetter (1987), Coutterand et Nicoud (2005) pour la vallée de l'Arve et Maisch (1981) pour le modèle de déglaciation des Grisons.

### 3.4. Evaluation de la valeur géotouristique du géopatrimoine

La troisième partie de ce travail de recherche sera consacrée à la valorisation du patrimoine géomorphologique de la RNCM. Pour cela, nous essaierons dans un premier temps, de mettre en évidence les richesses de ce patrimoine. Ainsi, considérant l'analyse géomorphologique produite dans la deuxième partie, les paysages géomorphologiques remarquables seront dégagés puis évalués selon une méthode inspirée des méthodes d'évaluation du potentiel et de l'utilisation touristiques des sites géomorphologiques (Pralong, 2005 et 2006a), des géomorphosites de l'IGUL (Reynard, 2006; Reynard et al., 2007a) et du patrimoine géologique en France (De Wever et al., 2006). Ce mémoire n'étant qu'en partie consacré à la mise en valeur du patrimoine géomorphologique, l'inventaire et l'évaluation des paysages géomorphologiques proposés ne visent pas l'exhaustivité. Nous avons également décidé de produire cette évaluation sur les paysages géomorphologiques plutôt que sur les géomorphosites pour avoir une approche plus large, sur l'ensemble de ce vaste territoire. L'objectif sera, avec une méthodologie relativement simple, de dégager les secteurs remarquables et d'en évaluer le potentiel géotouristique.

Les critères d'évaluation que nous avons retenus tiennent compte des caractéristiques et des attentes particulières liées à la pratique du géotourisme. Nous renvoyons aux travaux de Pralong, 2005 et 2006a; Reynard, 2006 et De Wever et al., 2006 pour des définitions précises des critères utilisés dans notre évaluation. Le système de notation reprend celui utilisé dans la méthode de l'IGUL, les scores étant compris entre 0 (nul) et 1 (maximum) par intervalles d'un quart de point. Les valeurs scientifique et géotouristique finales sont les moyennes du score des critères en tenant compte des pondérations.

La dimension scientifique (intrinsèque) du géopatrimoine est fondamentale dans le développement du géotourisme. Nous avons donc décidé d'évaluer séparément, la *valeur scientifique* et la *valeur géotouristique*. L'intégrité du paysage géomorphologique nous paraît être l'élément le plus important dans une démarche géotouristique (ce critère possède donc le coefficient le plus élevé, voir le tableau 1.12). Les critères de la rareté et de la représentativité seront évalués par rapport à la situation régionale (versant haut-savoyard du MMB).

<b>Intérêt scientifique (intrinsèque)</b>			
<b>critères</b>	<b>Note de 0 à 1</b>	<b>coefficient</b>	<b>note</b>
Intégrité du site	de mal conservé à bon état	2	
Valeur paléogéographique	de pas d'intérêt à remarquable	1	
Rareté du site	de commun à rare	1	
Représentativité du site	de peu représentatif à exemplaire	1	
<b>Valeur scientifique</b>			

Tableau 1.12: Evaluation de l'intérêt scientifique des paysages géomorphologiques

Le potentiel géotouristique d'un paysage géomorphologique dépend grandement de la valeur scientifique et éducative de celui-ci (coefficients les plus élevés, voir le tableau 1.13). Cependant, d'autres facteurs importants entrent en ligne de compte dans la mise en tourisme (rappelons que selon l'équipe MIT en 2002, une pratique touristique est le fruit d'une rencontre entre une attente des touristes et les qualités d'un lieu). Les critères que nous avons retenus dans l'évaluation de la valeur géotouristique répondent aux hypothèses suivantes:

- les paysages géomorphologiques les plus esthétiques et les plus visibles sont les plus intéressants pour les géotouristes. Malgré la forte composante subjective de ce critère, des facteurs d'évaluation ont été reconnus (voir la définition de la valeur scénique pour Pralong (2005) ou de la valeur esthétique par Reynard (2006);
  - le géotourisme, s'il est axé vers la composante abiotique d'un lieu, s'inscrit mieux encore dans des sites à valeurs multiples, résultant autant de la composante biotique qu'anthropique (voir Reynard (2006) pour la définition et l'évaluation des valeurs additionnelles - écologique, culturelle, économique - des géomorphosites). Dans ce prolongement, le géotourisme peut s'intégrer dans un processus plus global de mise en valeur patrimoniale d'un site ou d'un territoire (voir 2.2.3. et les notions d'*Histoire totale* et de *paysage culturel intégré*);
  - le géotourisme s'inscrit d'avantage dans des lieux faciles d'accès (Hose, 1998);
  - le géotourisme peut être perturbé par des aléas naturels (voir par exemple Smith, 2005 et Smith et al., 2009);
  - des infrastructures touristiques préexistantes (sentiers, hébergement, etc.) peuvent permettre un meilleur développement du géotourisme;
  - le géotourisme, pratique à forte dimension éthique, se veut responsable et durable (voir 2.3.1.); il s'inscrit donc préférentiellement dans des lieux peu vulnérables;
- la popularité préexistante d'un lieux («*attraction*» chez Pralong, 2005), peu importe sa cause, peut favoriser le développement du géotourisme.

<b>Intérêt géotouristique</b>			
<b>critères</b>	<b>Note de 0 à 1</b>	<b>coefficient</b>	<b>note</b>
Valeur scientifique	de pas d'intérêt à remarquable	2	
Valeur éducative	de pas d'intérêt à remarquable	2	
Valeur esthétique	de pas d'intérêt à remarquable	1	
Valeur(s) additionnelle(s)	de pas d'intérêt à remarquable	1	
Accessibilité	de pas/peu accessible à facilement accessible	1	
Aléas naturels (pour les touristes)	de l'existence d'un aléa marqué à l'absence d'aléa	1	
Infrastructures touristiques existantes	de pas d'infrastructure existante à des infrastructures existantes	1	
Vulnérabilité du site	de très fragile à peu vulnérable	1	
Popularité du site	d'un site peu connu à la renommée nationale	1	
<b>Valeur géotouristique</b>			

Tableau 1.13: Evaluation de l'intérêt géotouristique des paysages géomorphologiques

## 4. Le haut Val Montjoie et la Réserve Naturelle des Contamines Montjoie

Ce chapitre est consacré à la présentation de la RNCM et du haut Val-Montjoie où elle se situe. En effet, le milieu physique comme le développement anthropique de la zone d'étude ne peuvent être étudiés sans une approche plus large du contexte de la vallée.

### 4.1 Cadre géographique

L'analyse géomorphologique étant un des objectifs de cette recherche (partie 2), nous nous contenterons de présenter ici les caractéristiques topographiques du Val Montjoie et de la RNCM.

#### 4.1.1. Le Val Montjoie

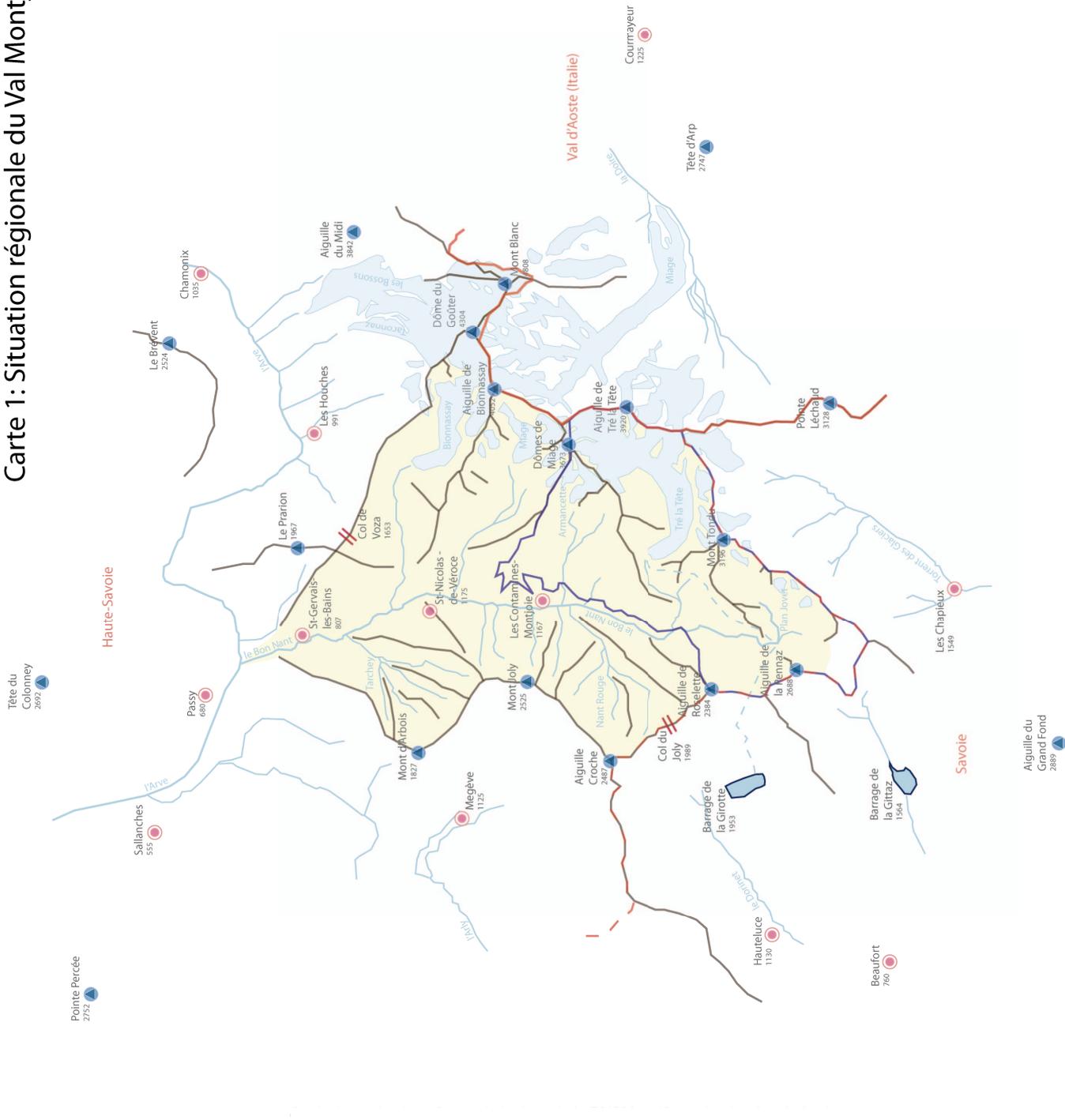
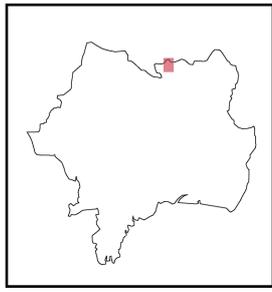
Le Val-Montjoie ou vallée du Bon Nant est une vallée localisée à la frontière Sud de la Haute-Savoie (région Rhône Alpes, France). Elle est ainsi limitrophe de la **vallée de l'Arve** (du MMB au NE au bassin de Sallanches au NO), du **Val d'Arly** (avec le massif du Mont Joly à l'Ouest), du **Beaufortin** (du col du Joly au SO au col du Bonhomme au Sud), de la **Tarentaise** (au SE avec la terminaison du MMB) et du **Val d'Aoste italien** (à l'Est, de l'Aiguille des Glaciers au Dôme du Goûter).

Le Val Montjoie a une superficie d'environ 145 km<sup>2</sup>. La vallée s'étend ainsi sur près de 20 km dans l'axe N-S pour un maximum de 13 km dans l'axe O-E. Le point le plus élevé est le Dôme du Goûter, contrefort du sommet du Mont-Blanc de 4304 m. Le point le plus bas est la confluence entre le Bon Nant et l'Arve à 570 m au Fayet. Près de 1200 m en amont de cette confluence, le val Montjoie domine le bassin de Sallanches d'environ 200 m (gorge de raccordement des thermes des Saint-Gervais). Le Val Montjoie est très escarpé et les versants sont imposants entre d'une part, les sommets de la partie Sud du MMB à l'Est et d'autre part, le massif du Joly à l'Ouest. Aussi, le fond de vallée est rarement plat et sa largeur ne dépasse pas 1000 m. Le Bon Nant s'écoule dans une très grande partie de la vallée dans une gorge dont la profondeur varie de quelques mètres à quelques dizaines de mètres (plus de 50 m à Saint-Gervais). Ces caractéristiques en font une vallée alpine étroite, d'autant plus que les sommets dominant la vallée s'échelonnent de 2400 à 4300 m.

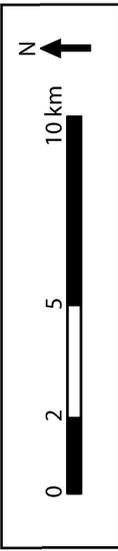
La surface du Val Montjoie correspond au bassin hydrographique du Bon Nant. Ce cours d'eau est un affluent de l'Arve, couvrant environ 8% des 1856 km<sup>2</sup> de son bassin hydrographique, s'étendant du Mont-Blanc à la Jonction avec le Rhône à Genève (Coutterand et Buoncristiani, 2006). Le Bon Nant draine les eaux de la partie Sud du MMB en France, faisant du Val Montjoie, l'homologue Sud de la vallée de Chamonix. Un petit secteur (2,2 km<sup>2</sup>) situé sur la commune des Contamines-Montjoie, au Sud du Col du Bonhomme, fait cependant partie du bassin hydrographique du Doron dans le Beaufortin. De sa source aux lacs Jovets (2174 m à l'extrémité Sud de la vallée), à sa confluence avec l'Arve au Fayet, le Bon Nant s'écoule le long de ses 23 km dans un axe majoritairement S-N. Seuls les deux premiers kilomètres entre sa source et la cascade de la Balme s'écoulent dans un axe NE-SO.

84 km<sup>2</sup> (soit 58%) du bassin versant se situent au dessus de 2000m (Mougin, 1914) et 18 km<sup>2</sup> (soit 12%) sont occupés actuellement par des glaciers se formant sur le MMB. Si l'origine du Bon Nant n'est pas glaciaire (lacs Jovet), il n'est donc pas étonnant que son régime d'écoulement soit fortement influencé par la haute montagne. Ce régime est glaciaire à glacio-nival (grande variation du débit fortement déterminé par le régime thermique (saisonnier, journalier), par la fonte des neiges et les orages). Ce débit varie entre 1.7 m<sup>3</sup>/s à l'étiage en janvier et 12.5 m<sup>3</sup>/s en juin-juillet (Gérard, non daté). À noter que ce débit est aujourd'hui en partie limité par les captages d'eau d'EDF à Plan Jovet et à Tré la Tête (voir 4.1.2 et 4.5.5.), et perturbé par le barrage du Bionnay et les deux usines de production hydroélectrique. Le Bon Nant reçoit les eaux de nombreux affluents qui drainent des bassins versants en rive droite et en rive gauche. Le tableau 1.14 quelques caractéristiques:

# Carte 1: Situation régionale du Val Montjoie



	ville, village
	sommet
	ligne de crête
	cours d'eau permanent
	aqueduc souterrain
	limites de la RNCM
	frontière
	limite départementale
	col
	glacier
	barrage
	Basin versant du Bon Nant (Val Montjoie)



Bassin versant	Position	Superficie (en km <sup>2</sup> )	Occupation glaciaire (en km <sup>2</sup> )	Altitude minimale et maximale (en m)	Pente moyenne (en % entre le points le plus haut et le plus bas)	Lithologie dominante
<b>Bon Nant</b>	<b>Ensemble du bassin versant</b>	<b>145</b>	<b>18</b>	<b>570 (le Fayet) - 4304 (Dôme du Goûter)</b>	<b>16 (entre le Mont Tondu et la Fayet)</b>	<b>crystallin et sédimentaire</b>
Plan Jovet et amont	Source du Bon Nant	9.1	0.3	1900 (Cascade de Jovet) - 3191 (Mont Tondu)	31	crystallin et sédimentaire
Tré la Tête	Rive droite	20.6	9.4	1400 (la Téna) - 3892 (Aiguille de Tré la Tête)	25	crystallin
Armancette	Rive droite	7.8	1	1160 (Cugnon) - 3670 (Dômes de Miage)	46	crystallin
Miage	Rive droite	15	4.8	1000 (le Gerdil) - 4052 (Aiguille de Bionnassay)	37	crystallin
Bionnassay	Rive droite	19.8	2.5	929 (Bionnay) - 4304 (Dôme du Goûter)	31	crystallin et sédimentaire
Nant Rouge	Rive gauche	11.8	0	1160 (les Echenaz) - 2487 (Aiguille Croche)	23	sédimentaire
Tarchey	Rive gauche	9.5	0	820 (les Praz) - 2106 (Nord du Mont Geroud)	25	sédimentaire

Tableau 1.14 : Les principaux bassins versants hydrographiques du Val Montjoie

Le Val Montjoie se distingue par la dissymétrie entre sa rive droite et sa rive gauche. En effet, à la rive gauche principalement sédimentaire, au faite peu éloigné du fond de la vallée, s'oppose la rive droite cristalline, composée de vallon surélevés s'enfonçant profondément vers le SE. 35% du bassin versant se trouve ainsi en rive gauche contre 65 % en rive droite. Peu de différence opposent la valeur des pentes dans les deux versants même si les bassins versants schisteux du Tarchey et du Nant Rouge, en rive gauche, ont les pentes les plus faibles. Par contre, la hauteur de la ligne de faite oppose de nouveau les deux versants. À l'Ouest, celle ci est comprise entre 1830m (Mont d'Arbois) et 2690 m (Aiguille de la Pennaz). À l'Est, elle varie sur le substrat cristallin entre 4300m (le Goûter) et 2650 m (terminaison Sud du MMB). Cette dissymétrie est d'origine géologique. Le cours du Bon Nant suit en effet d'abord grossièrement la limite des structures géologiques entre le Mont-Blanc et sa couverture (voir 4.3), avant de s'insérer vers le Nord dans une dépression axiale, faillée, du massif des Aiguilles Rouges (Gidon, 2010). Les gneiss du MMB, surélevés par la remontée de celui-ci et mieux résistants à l'érosion, ont ainsi *repoussé* le Bon Nant vers l'Ouest et les structures sédimentaires moins résistantes. Le MMB, avec son altitude exceptionnelle, a été érodée par des glaciers dans sa largeur, donnant naissance aux vallées suspendues que l'on retrouve en rive droite du Val Montjoie. Les vallons glaciaires (occupés ou hérités) de Bionnassay, Miage et Tré la Tête dominant par conséquent le Bon Nant de 600 à 800 m, leurs émissaires débouchant dans la vallée à travers des gorges de raccordement.

Une dissymétrie oppose également les versants Ouest et Est du MMB. En effet, mis à part les glaciers de Miage italien et de la Brenva, le versant Italien est très raide et peu profond. Il contraste avec les grands bassins glaciaires du versant français (Bionnassay, Miage, Tré la Tête et Jovet dans le Val Montjoie). Plusieurs explications sont avancées pour expliquer cette dissymétrie. Tout d'abord, la coupole anticlinale du MMB (Gidon, 2010) se déverse légèrement vers le NO (en raison du pli en avant formé par le massif dans l'axe de la subduction et de la surélévation du MBI par rapport au MBE? voir, 4.3), facilitant l'érosion dans cette direction (l'érosion glaciaire s'inscrit bien souvent dans des zones de

fractures hercyniennes et alpines). Le second grand argument repose sur la climatologie. L'orientation et l'altitude du massif (barrage pour les perturbations provenant de l'Atlantique), provoquant une surabondance en précipitations sur le versant français (au vent) par rapport au versant italien (sous le vent). De ce fait, des masses glaciaires plus importantes ont pu se développer sur le versant Ouest et éroder régressivement vers le Sud-Est (Janin, 1980 ou encore Deline, 2008).

Le haut Val Montjoie est occupé par la commune des Contamines-Montjoie (1200 hab. pour 82 km<sup>2</sup>) tandis que le bas de la vallée est situé sur la territoire de Saint-Gervais-Les-Bains (5750 hab. pour 64 km<sup>2</sup>). Les communes limitrophes du Val Montjoie sont: Passy, Domancy, Combloux, Demi-Quartier et Megève, les Houches et Chamonix en Haute-Savoie; Hauteluce, Beaufort et Bourg-Saint-Maurice en Savoie et Courmayeur en Italie.

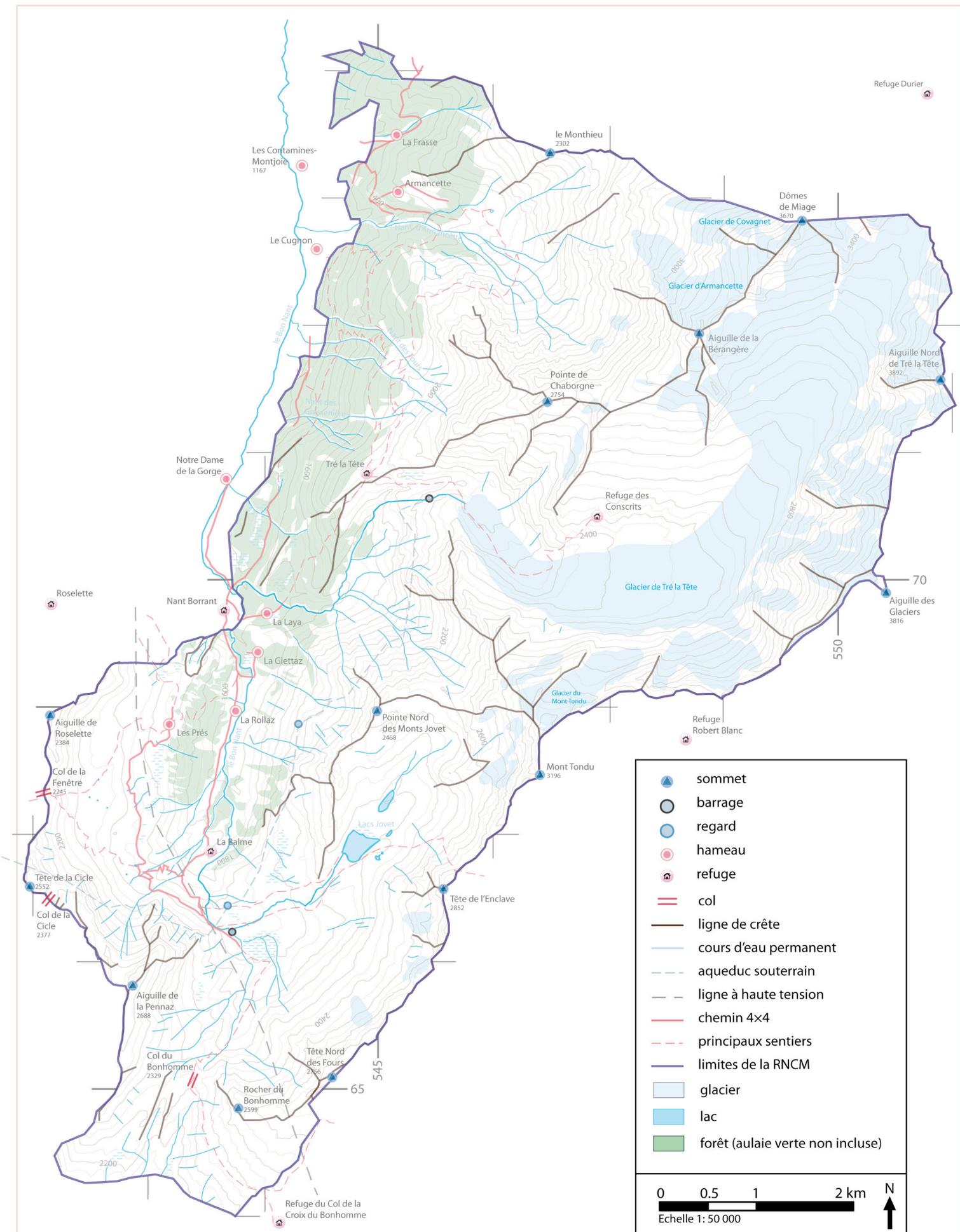
#### 4.1.2. La Réserve Naturelle des Contamines-Montjoie

La Réserve Naturelle des Contamines Montjoie occupe tout le Sud-Est du Val Montjoie. Elle est donc limitrophe du **Val Veny italien** (du col Infranchissable à l'Aiguille des Glaciers), de la **Tarentaise** (de l'Aiguille des Glaciers au col des Fours), du **Beaufortin** (du col des Fours à l'Aiguille de Roselette) et de **secteur du Val Montjoie** (vallon de Roselette, vallée du Bon Nant de la Téna au Champelet, envers du Truc et vallon de Miage).

La limite de la RNCM se superpose à la frontière administrative SE des Contamines-Montjoie. Elle suit les crêtes, exceptées les quelques pentes communales orientées vers le Beaufortin. Avec le reste du territoire communal au NO, cette limite se calque sur les arêtes NE de Roselette, sur le Nant du Lancher, sur le Bon Nant entre Nant Borrant à la Téna, puis sur la crête de la Rosière avant de poursuivre dans le bas du versant (principalement en forêt) en rive droite du Bon Nant.

La RNCM s'étend sur 55 km<sup>2</sup> soit plus du tiers de la surface du Val Montjoie. La distance maximale entre ses extrémités SO et NE est de 12 km contre 6 km entre le NO et le SE. Le point culminant de la RNCM est l'Aiguille Nord de Tré la Tête (ou Tête Blanche) à 3892m. Son point le plus bas se situe à 1120m, au Nord du hameau du Champelet. L'altitude moyenne de 2338 m pour une pente moyenne de 30.9°. La RNCM est donc un espace de haute montagne. L'orientation des pentes est majoritairement O et NO en raison de la géologie locale. La RNCM recouvre en effet la terminaison SO du MMB dont l'axe de la voûte anticlinale est SO-NE. Des caractéristiques de la topographie sont exposées dans les cartes 3. D'un point de vue géographique (et non géologique), on retrouve deux massifs principaux dans la RNCM, le Mont-Blanc, dont l'altitude des principaux sommets varie entre 3900m et 2500m, et le massif de Roselette - La Pennaz, aux sommets moins élevés et compris entre 2700 m et 2300 m.

La Réserve intègre le haut du bassin versant hydrographique du Bon Nant, sur ses 6 premiers km (bassin versant des Jovet, du Bonhomme, de la Pennaz, de Roselette, de Tré la Tête et de la Combe Noir). Elle recouvre également la partie haute des bassins versants de la rive droite du Bon Nant (Chaborgne (Tours/Grande Combe/Grassenières), Armancette, le Covagnet et le Plane). Le Bon Nant, prend sa source au lac Jovet inférieur, puis franchit un premier escarpement avant de retrouver les pentes douces de Plan Jovet où, avec le cours d'eau provenant du Bonhomme, il est en partie capté par EDF pour alimenter le lac de la Girotte (la prise d'eau est dimensionnée à 2,5 m<sup>3</sup>/s, voir 4.5.5.). Le Bon Nant incise ensuite de profondes gorges à la Balme, puis s'écoule calmement en direction du Nord sur près de 2km dans le vallon de la Rollaz. Il franchit ensuite la moraine de Pré Derrière (la Giettaz), repoussé vers l'Ouest dans une gorge. Il reçoit les eaux de Tré la Tête avant de quitter la Réserve. Le torrent de Tré la Tête, s'écoule pour sa part dans une gorge très profonde (jusqu'à 200 à 300 mètres) le long de ses 3,5 km. Ce torrent est capté en partie par EDF depuis 1943 (voir le tableau 1.15 et 4.5.5.). En outre, selon ASTERS (2004), il existe une prise d'eau EDF de 0,15 m<sup>3</sup>/s sous le Mont Tondu. Nous ne l'avons trouvé sur aucune carte. Plusieurs captages d'alimentation du réseau d'eau potable des Contamines-Montjoie sont présents dans la RNCM. Six captages sont situés entre Armancette et les Grassenières, tandis qu'une source est captée à la Balme. Un réservoir de 1000 m<sup>3</sup> est construit à Armancette.



Carte 2 : Situation topographique et principales infrastructures de la RNCM

Débits observés à Tré la Tête et la Laya (données EDF)		
Période	Débit moyen entrant dans la galerie de Tré la Tête (L/s)	Débit moyen la Laya (L/s)
Janvier-février	35	45
Mars-avril	70	150
Mai-juin	2400	600
Juillet-août	3600	700
Septembre-octobre	1450	225
Novembre-décembre	85	40
Moyenne du débit sur 2 mois : somme du débit moyen journalier/nombre de jours		

Tableau 1.15 : Débit influencés par le captage d'eau de Tré la Tête (tiré de ASTERS, 2004: 18)

Les principaux affluents du Bon Nant dans la RNCM sont le torrent du Bonhomme, le torrent de la Pennaz, Nant Borrant et le torrent du Lancher en rive gauche et le torrent de Tré la Tête, le Nant de Grassenières, le ruisseau de la Grande Combe, le Nant des Tours, et le Nant d'Armancette en rive droite. La RNCM est en grande partie composée de la rive droite du Bon Nant (42,2 km<sup>2</sup> soit près de 80% de sa surface). On y retrouve donc largement le massif cristallin élevé et les cirques et combes d'origine glaciaire. Voici les caractéristiques des principaux bassins versants couverts par la RNCM (tableau 1.16):

Bassin versant	Position	Superficie (en km <sup>2</sup> )	Occupation glaciaire (en km <sup>2</sup> )	Altitude minimale et maximale (en m)	Pente moyenne (en % entre le points le plus haut et le plus bas)	Lithologie dominante
Bon Nant	Ensemble du bassin versant	145	18	570 (le Fayet) - 4304 (Dôme du Goûter)	16 (entre le Mont Tondu et la Fayet)	cristallin et sédimentaire
Nant Borrant/ Lancher	Rive gauche	0.2	0	1480 (Nant Borrant) - 1930 (Les Rosières)	45	sédimentaire
Pennaz/ la Cicle	Rive gauche	1.4	0	1600 (la Balme) - 2688 (Aiguille de la Pennaz)	45	cristallin et sédimentaire
Bonhomme	Rive gauche	5.1	0.2	1920 (Plan Jovet) - 2885 (Tête de Bellaval)	44	cristallin et sédimentaire
Jovet	Source du Bon Nant	3.6	0.14	1920 (Plan Jovet) - 3196 (Mont Tondu)	34	cristallin et sédimentaire
Tré la Tête	Rive droite	20.6	9.4	1400 (la Téna) - 3892 (Aiguille de Tré la Tête)	25	cristallin
Tours/ Grande Combe/ Grassenières	Rive droite	2.9	0	1220 (la Bottière) - 2754 (Pointe de Chaborgne)	64	cristallin

Bassin versant	Position	Superficie (en km <sup>2</sup> )	Occupation glaciaire (en km <sup>2</sup> )	Altitude minimale et maximale (en m)	Pente moyenne (en % entre le point le plus haut et le plus bas)	Lithologie dominante
Armancette	Rive droite	7.8	1	1160 (Cugnon) - 3670 (Dômes de Miage)	46	cristallin
Covagnet	Rive droite	0.8	0	1350 (la Frasse) - 2069 (Tête d'Armancette)	53	cristallin et sédimentaire

Tableau 1.16 : Les principaux bassins versants hydrographiques dans la RNCM (les surfaces calculées sont uniquement celles situées dans la Réserve).

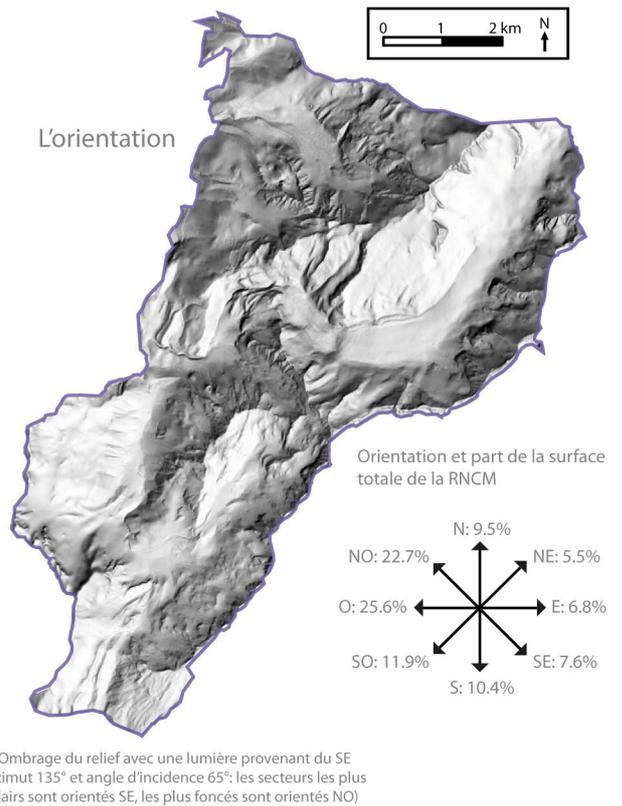
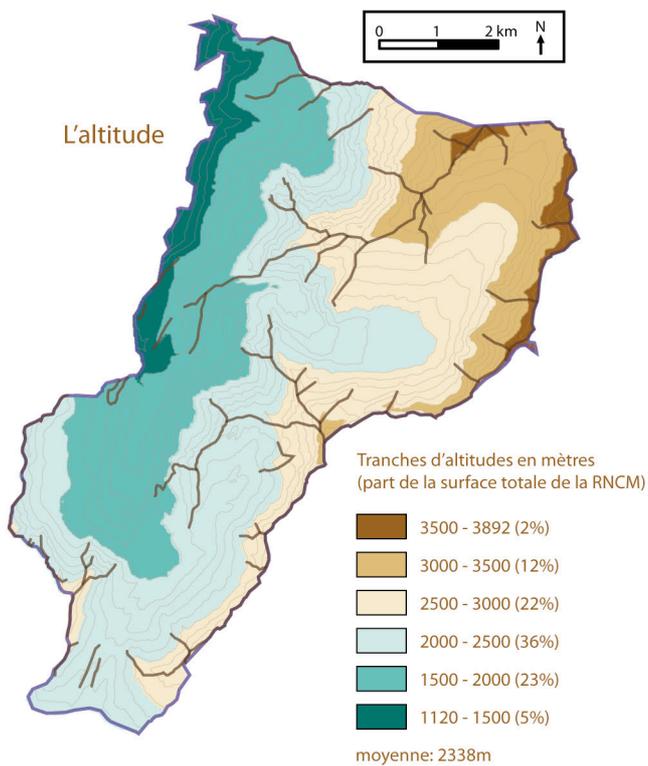
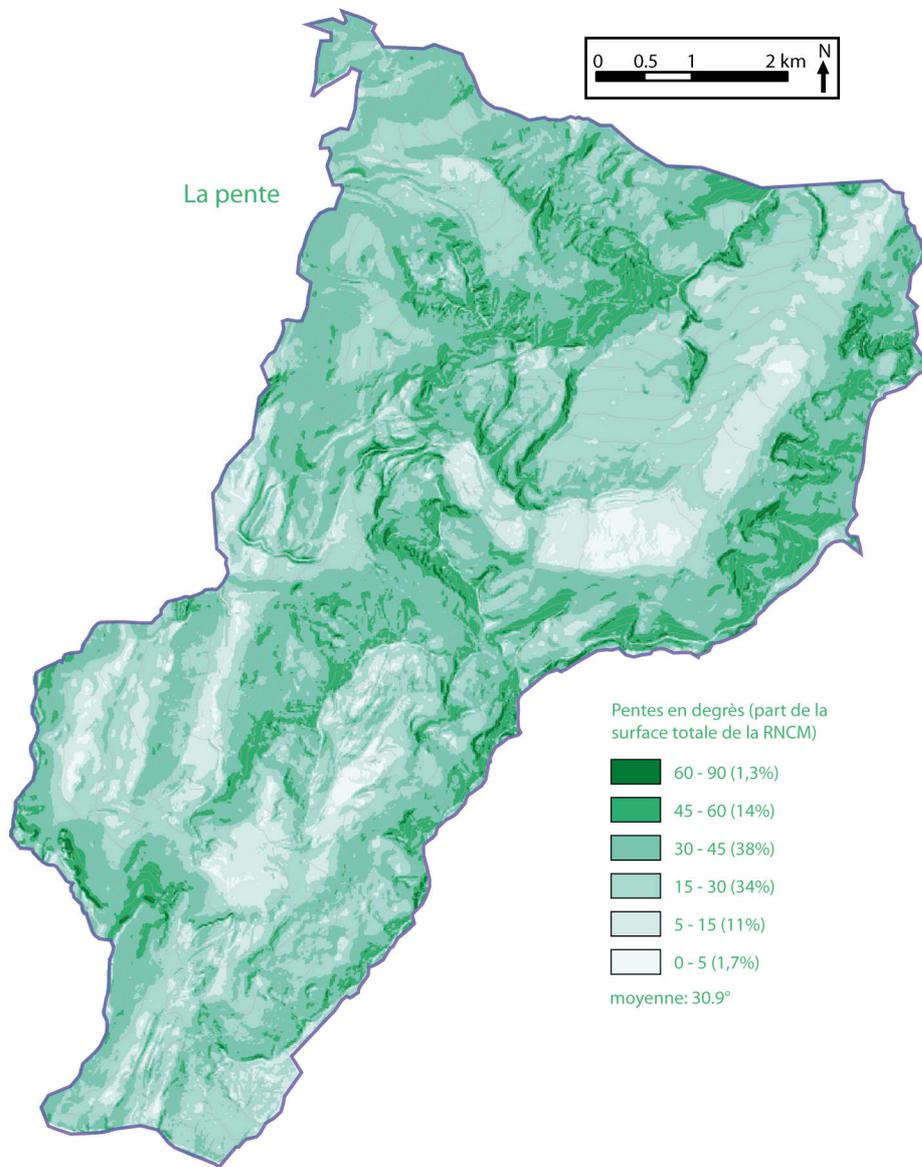
Ces bassins versants sont parfois en partie occupés par des glaciers (voir 5.3.2.2.). On y retrouve également des lacs (voir le tableau 1.17 pour des détails). La pression touristique importante est néfaste pour la qualité de leurs eaux (Sesiano, 1993). Le lac d'Armancette subit le plus de sédimentation. Le lac Jovet supérieur n'a pas d'exutoire et ses eaux s'infiltrent pour certaines dans le lac Jovet inférieur tandis que d'autres jaillissent à la Rollaz près de 700m plus bas. Ce lac se vide l'hiver et est balayé par de nombreuses avalanches (il semble qu'elles le purgent de ses sédiments, à en juger par les carottages effectués en 2000, selon ASTERS, 2004). Des carottes plus importantes (jusqu'à 60 cm de long) ont pu être prélevées dans le lac Jovet inférieur. De plus, des petits plans d'eaux, mares et gouilles existent autour des lacs Jovets (5), au Monts Jovets, au Mauvais Pas (Tré la Tête), au Plan de la Fenêtre et amont des moraines de la Balme.

Lac	Altitude (m)	Surface (m <sup>2</sup> )	Largeur (m)	Longueur (m)	Profondeur Maxi (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	T°(C) Surf / Fond		PH Surf / Fond	
Armancette	1673	1 400	40	52	3,1	2 100	13		7,09	
Grand Jovet	2174	75 500	250	312	8,5	330 000	7	6	7,68	7,62
Petit Jovet	2194	17 400	92	265	9,4	80 000	7,5	6	7,6	7,7

Tableau 1.17 : Principales caractéristiques des lacs de la RNCM. Tiré de ASTERS, 2004: 18 (d'après Sesiano (1993) et Balvay et Blavoux (1981)).

Aux bassins versants qui occupent une très grande partie de la superficie de la Réserve, s'ajoutent des secteurs peu pentus et marécageux: la Rosière - Sololieu (ensemble de tourbières acides), la Rosière des Prés - Pâturages de la Balme - Plan de la Fenêtre (marais alcalins) et le secteur Nord de Plan Jovet (marais alcalins).

Il n'y a aucune habitation permanente dans la RNCM. Cependant, l'Homme, par son activité pastorale, industrielle ou touristique, fréquente (ou a fréquenté) l'intégralité de cet espace. Le tableau 1.18 donne l'origine topographique des principaux toponymes de la RNCM.



**Cartes 3 : Caractéristiques topographiques de la RNCM**

toponymie	signification (d'après Suter, 2009)	toponymie	signification (d'après Suter, 2009)
Plane (la côte du)	érable	Frasse (la)	frêne, défrichement
Cugnon (le)	terrain en pointe d'enfonçant en lisière de forêt	Monthieu (le)	pente par laquelle on gravit un éminence
Buclay (le) et Brulats (les)	endroit défriché par le feu	Chaborgne (pointe de)	corne cassée
Téna (pont de la)	dépression creusée par l'érosion torrentielle	Tré (la Tête, la Petite, la Grande)	au delà
Lancher (nant du)	terrain fortement pentu, impropre à l'exploitation	Laya (la; pointe de la)	bois, forêt
Rollaz (bois de la)	arole (pin cembrot)	Giettaz (la)	pâturage où le bétail s'étend pour se reposer
Roselette (aiguille de) et Rosière (la)	lieu où pousse le roseau	Balme (la)	coteau, éminence
Cicle (col de, tête de)	brèche, crevasse	Jovet (lac, plan, et monts)	terres incultes
Pennaz (aiguille de la)	pointe, sommet, faite	Rebanets (les)	très haut pâturages situés près des crêtes
Thovassets (les)	lieu où l'on trouve de la cargneule	Fours (têtes et col)	lieux éloignés, à l'écart
Bonhomme (col du)	lieu caractérisé par un empilement de pierres (cairn)	Cavets (les)	extrémité d'un terrain
Saussaz (la)	salé (présence de gypse?)		

Tableau 1.18 : Toponymie des lieux de la RNCM (du Nord au Sud), provenant du latin, du vieux français ou du patois savoyard, en lien avec le milieu naturel (d'après Suter, 2009).

## 4.2. Climatologie

Le Val Montjoie, par sa situation en bordure N-O de l'arc alpin, se situe entre les zones climatiques humides des vallées subalpines et les vallées internes sèches. La vallée a ainsi des caractéristiques climatiques intermédiaires entre ces deux régions (Gerard, non daté), étant influencée à la fois par les perturbations provenant de l'Atlantique et par la position d'abri offert par les massifs environnants. Cette position particulière se traduit par des étés généralement chauds et orageux, et des hivers froids et humides (figure 1.19). Ces caractéristiques sont cependant sujettes à une grande variabilité interannuelle (ce qui peut entraîner des perturbations dans les activités agricoles et touristiques). Le printemps et l'automne sont plutôt secs (Botineau, 1979). Les perturbations provenant de l'Ouest se déchargent sur les reliefs alpins et les précipitations diminuent progressivement vers l'est (par exemple, selon Gerard, non daté, il neige un mètre de moins aux Contamines qu'à Megève en raison de la barrière du Mont Joly et les précipitations cumulées des Contamines (1140 m) correspondent à celles mesurées à 3000 m dans le Val d'Aoste selon Janin, 1980).

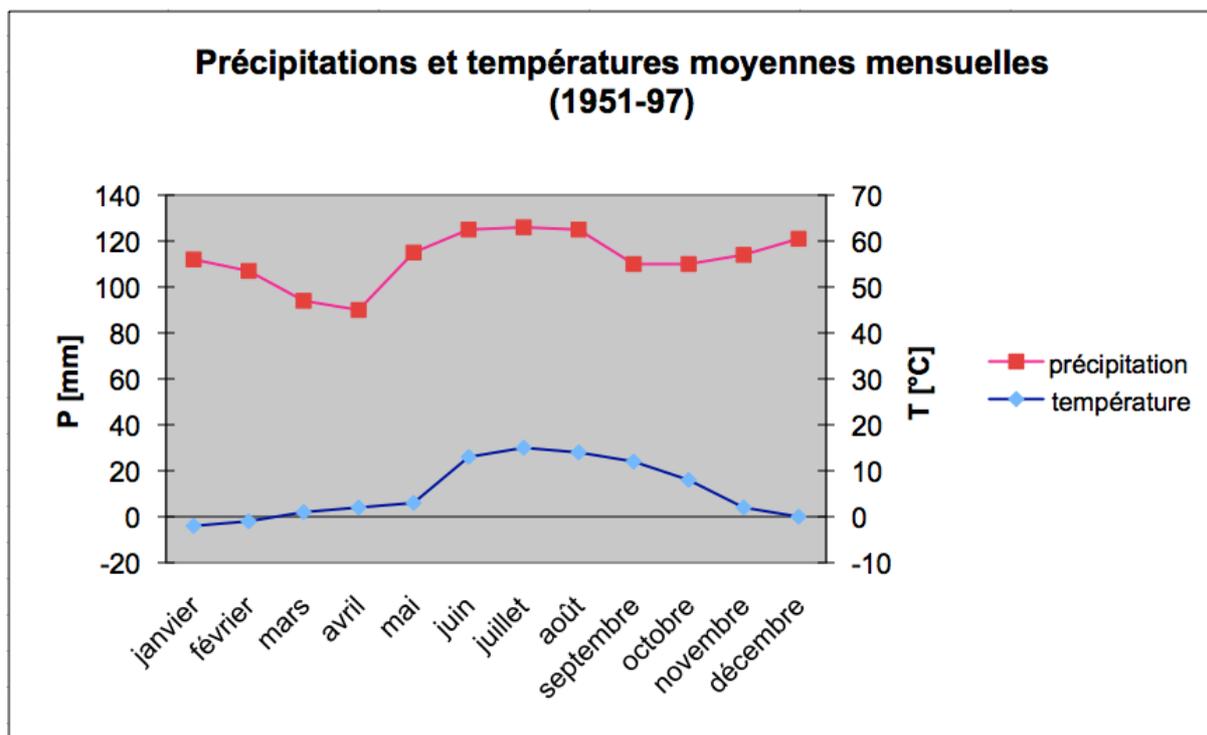


Figure 1.19 : Précipitations et températures moyennes mensuelles (1951-1997). D'après ASTERS, 2004

Le climat semi-continental du Val Montjoie peut s'expliquer en partie par l'influence du Mont-Blanc. En effet, celui-ci génère à la fois nébulosité (barrière topographique, nuages d'orages, brouillard), froid (brise de glacier, ombre, inversion de température) et sécheresse de la vallée (abri). Cette relative rudesse du climat explique ainsi la très grande domination de l'épicéa (pessières) dans la vallée, au détriment du hêtre, du mélèze et du sapin (ASTERS, 2004). L'orientation N-S de la vallée se traduit par une faible différence du climat et de la végétation entre les deux principaux versants, bien que la rive droite du Bon Nant, exposée à l'Ouest, bénéficie de températures plus clémentes (elle reçoit le rayonnement de l'après midi dans un air déjà chauffé).

Les situations de vent d'Ouest dominant la vallée (40% des vents relevés sur la MMB selon Janin, 1980). Cependant, le foehn ou le *piémont* comme il est appelé dans la vallée, est le plus dangereux. Ses rafales chaudes, soufflant vers le Nord jusqu'à 100 km/h, provoquent ainsi des tempêtes destructrices, comme en novembre 1982 où près de 100 toitures et 30 000m<sup>3</sup> d'épicéas furent endommagés (Gerard, non daté). Il empêche également parfois la pratique du ski (danger pour les remontées mécaniques, fonte de la neige et modification de la structure du manteau neigeux pouvant générer des avalanches). Les avalanches liées au climat et à la pente sont nombreuses et l'on dénombre une centaine de couloirs aux Contamines-Montjoie. Les 4 principaux de la RNCM (Armançette, les Tours, les Grassenières et Nant Borrant) font l'objet d'une surveillance régulière.

Quelques caractéristiques du climat des Contamines-Montjoie sont énoncées ci-dessous. Elles sont tirées des mesures effectuées dans la station météorologique située à 1165m, des moyennes de ces mesures (sur une trentaine d'années) et d'une étude réalisée par Breyton en 1976 (on les retrouve dans Gerard, non daté; Botineau, 1979 et ASTERS, 2004). Certaines valeurs datent de la fin des années 1970 et nous n'en avons pas trouvés de plus récentes. Dans le contexte récent d'accélération du réchauffement climatique, ces mesures sont donc probablement légèrement en dessous des réalités contemporaines.

#### Températures (\*= 31 années de mesures)

- Moyenne\*: 6,8°C
- Minimale\*: - 26°C
- Maximale\*: 35°C
- Jours de gel simple/an\*: 156 (gradient : + 6 jours tous les 100m de dénivelé)
- Jours de gel continu/an\*: 32 (gradient : + 4 jours tous les 100m de dénivelé)

- Gradient de température aux Contamines:  $-0,56^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  (mais ce gradient varie fortement entre les saisons; il est plus important en été probablement en raison de la proximité du massif du Mont-Blanc)
- Période végétative (jours où la moyenne est supérieure à  $5^{\circ}\text{C}$ ): 209 ((gradient :  $- 10$  jours tous les 100m de dénivelé)

**Précipitations** (\*= 37 années de mesures; += 59 années de mesures)

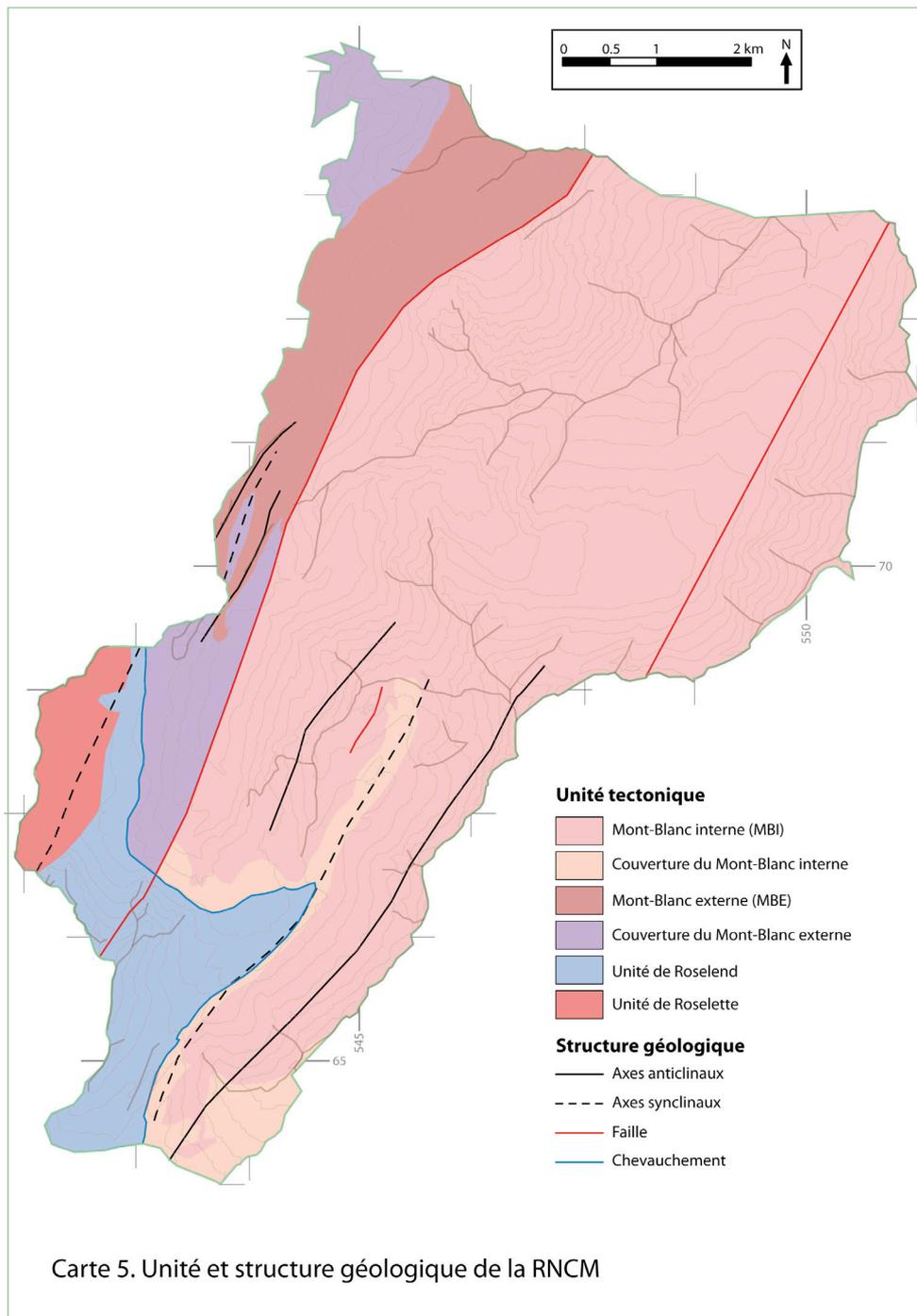
- Moyenne\*: 1460 mm/an
- Minimale\*: 1079 mm/an
- Maximale\*: 1769 mm/an
- Jour où précipitations mesurées\*: 117 jours/an
- Gradient pluviométrique:  $+ 60 \text{ mm}/100\text{m}$  (voir la carte 4 ; comme dans les zones internes sèches mais ce gradient augmente fortement l'été en raison des orages sur les reliefs; par exemple ce gradient est de  $+ 141\text{mm}/100\text{m}$  pendant l'été 1975)
- Optimum pluviométrique dans le Val Montjoie à 3000m
- Coefficient de niviosité (neige/pluviosité totale): 40%
- Chutes de neige cumulées+: 340 mm/an (max: 620cm/an et min: 80cm/an)
- Jour de neige au sol+: 117 jours/an



Carte 4 : Estimation des précipitations (en mm/an) dans la RNCM (d'après Gerard, non daté)

### 4.3. Histoire et structure géologique

La Réserve Naturelle des Contamines-Montjoie jouit d'un patrimoine géologique varié. On y retrouve en effet les roches cristallines du Sud du MMB (gneiss et cristallins divers) ainsi que leurs couvertures sédimentaires (Trias et Lias) et les unités charriées cristallines (gneiss) et sédimentaires (Mésozoïque) de la nappe de Roselette.



## *Le massif du Mont-Blanc et sa couverture*

Si le MMB est composé de granite dans sa partie NE, le socle est métamorphique dans la Réserve. Il est composé de gneiss, de micaschistes, de mylonites, d'amphibolites et de migmatites. Ces roches paléozoïques ont subi l'orogénèse hercynienne et alpine. Elles sont donc polymétamorphiques (faciès amphibolite au Carbonifère d'après Eguienta, 2000). C'est sur ce socle, formant une pénéplaine à la fin de l'ère primaire, que vont se déposer des roches sédimentaires (couverture) au cours de la transgression antéalpine.

Ces dépôts dans la Téthys ont cependant été hétérogènes, autant du point de vue de la nature, que de l'épaisseur des roches formées. C'est ainsi que l'on distingue le Mont-Blanc Interne (MBI) du Mont-Blanc Externe (MBE): le premier a une couverture très hétérogène et lacunaire, le second est la patrie de puissantes séries sédimentaires formant la Nappe de Morcles. Ainsi, le bassin paléogéographique de la nappe de Morcles (MBE en partie) était limité au NO par le seuil des Aiguilles-Rouges (AR) et au SE par le seuil du MBI (voir la figure 1.20). Le MBE est séparé du MBI par une faille précoce paléozoïque qui se traduit par une bande de mylonite: la faille de l'Angle qui se poursuit vers le SO par la faille de la Combe Noire (Epard, 1990). Cette différence entre le MBE et MBI peut s'expliquer par l'importante présence de granite (densité plus faible que les gneiss) dans le MBI, qui aurait limitée sa subsidence (Eguienta, 2000).

La couverture du MBE est donc relativement importante. La Nappe de Morcles est cependant assez peu présente dans la Réserve où se situent ses racines (elle forme une nappe chevauchante en direction du NO, formant notamment le massif des Aravis-Bornes). On y retrouve donc ses séries basales, du Trias (cargneules et dolomies) au Lias (essentiellement schisteux).

Le MBI, s'il marque la limite sud du bassin paléogéographique de la nappe de Morcles, subit quelques transgressions au cours du Mésozoïque. Cela se traduit par une couverture sédimentaire à la stratigraphie lacunaire et relativement peu importante. On retrouve dans la Réserve, les séries du Trias (grès, cargneules et dolomies), les plus fréquentes, et les séries du Lias (schistes, conglomérats, grès, argillites). À noter que cette couverture est composée des *grès singuliers* décrits avec étonnement et justesse par De Saussure: «leur accumulation sur cette cime avait quelque chose de si extraordinaire [...]. mais pour peu que mes yeux s'écartassent à droite ou gauche, je voyais au-dessous de moi des profondeurs immenses; et ce contraste avait quelque chose qui tenait d'un rêve: je me représentais alors avec une extrême vivacité les eaux remplissant toutes ces profondeurs et venant battre et arrondir à mes pieds ces cailloux sur lesquels je marchais (De Saussure, 1779 dans Voyage dans les Alpes, repris par Delamette, 2002: 140)». Ces conglomérats au litage fluvial (Gidon, 2010) datent du Lias Moyen et témoignent d'un dépôt deltaïque en milieu continental (Delamette, 2002). On retrouve la couverture du MBI en lambeau dans la Réserve. Elle a été en grande partie érodée et il n'est pas possible de savoir si des séries ultérieures au Lias ont été déposées.

Au cours de l'orogénèse alpine, socles et couvertures ont subi d'importantes déformations (voir la figure 1.22). La subduction de la plaque continentale européenne sous la plaque continentale africaine (Apulie) s'est traduite par la disparition de la Téthys, la formation d'un prisme d'accrétion sédimentaire et la collision entre l'Europe, l'Ibérie et l'Apulie au Tertiaire (Marthaler, 2001), générant le relief alpin. Le raccourcissement engendré s'est caractérisé dans le MMB par des déformations ductiles (plissements), cassantes (failles), et par la probable disparition d'une partie de ce socle vers les profondeurs (notamment pour le MBE pour Epard, 1990). Le socle est en effet, subducté lors de l'orogénèse alpine. Il subit à ce titre un métamorphisme ( $T=400^{\circ}\text{C}$  et  $P=2,5\text{ kb}$ ) et des déformations cassantes qui se traduisent par le découpage du granite en panneaux (Delamette, 2002). Le socle, devenu plastique, résiste à la subduction et remonte en partie dans le couloir ductile du prisme d'accrétion, formant des «plis en avant» en direction du NO [schistosité des couches vers l'Est?]. Cette grande voûte anticlinale que forme toujours actuellement le MMB (Gidon, 2010) semble ainsi s'être formée au Paléogène (entre -40 et -30 Ma selon Marthaler, 2001). Des failles précoces (l'Angle, la Combe Noire, Tré-la-Tête) jouent de nouveau un rôle dans l'orogénèse alpine. En même temps, le socle subit également des plissements. Apparaissent ainsi les grandes structures anticlinales et synclinales que l'on retrouve actuellement dans la Réserve Naturelle (voir la carte 5).

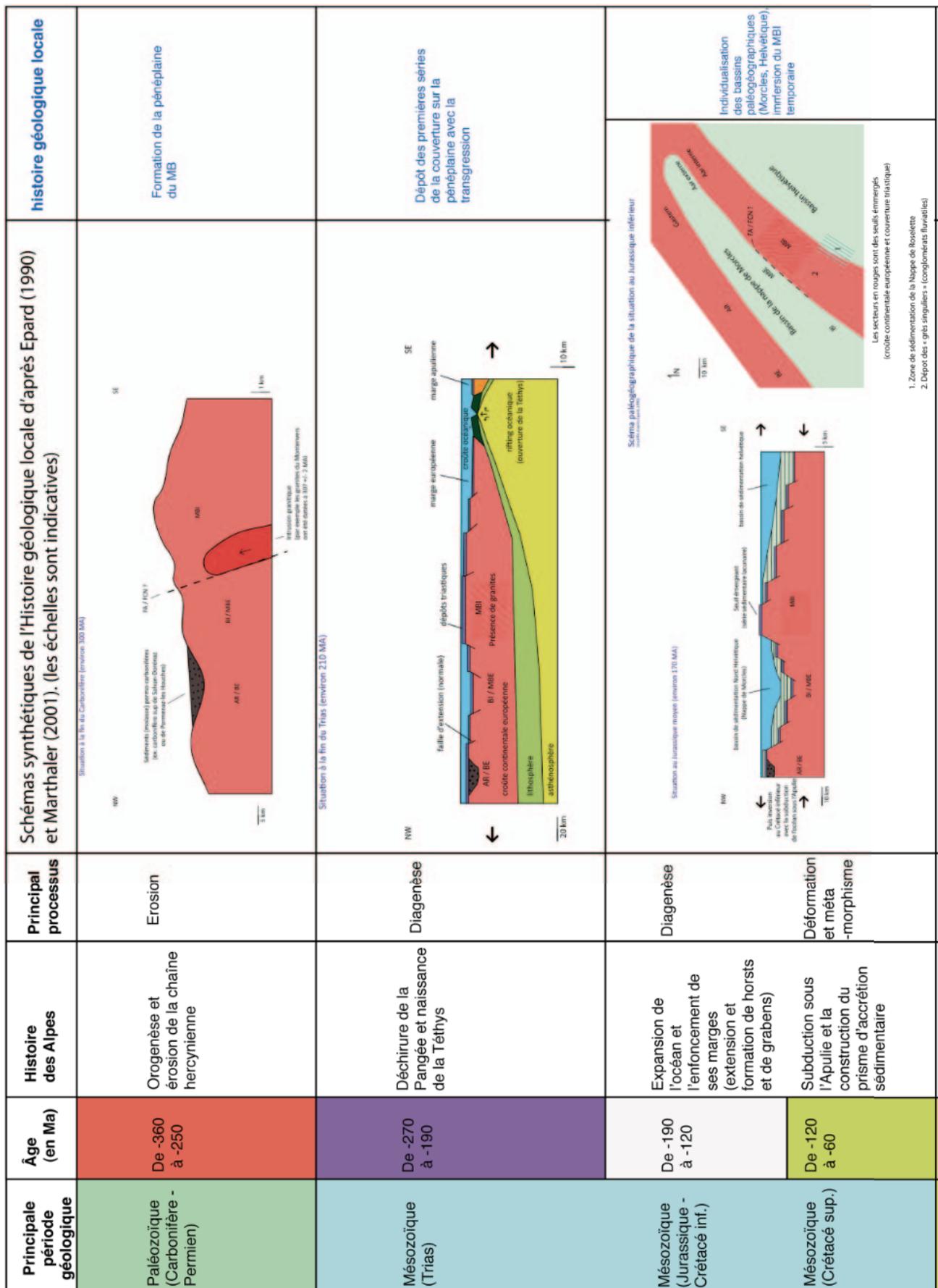


Figure 1.20 : Histoire géologique locale du Paléozoïque au Mésozoïque.

Les fracturations des roches en profondeur permettent le passage de solutions aqueuses. «*Les minéralisations hydrothermales résultantes sont de type BPGC (Blende, Pyrite, Galène et Chalcopyrite)*» dans le Val Montjoie selon Gerard (1989). Des mines ont ainsi été exploitées pour le cuivre, le plomb, le zinc et l'argent, entre le 17ème et le début du 20ème siècle dans la vallée, dont deux se situent dans la Réserve Naturelle (la Bérangère et Tré-la-Chosal). Des cristaux provenant du MMB et comprenant des éléments radioactifs ont été datés aux alentours de -15 Ma, ce qui tendrait à montrer que le massif était alors enfoui sous près de 10 km de roches (probablement sa couverture et les nappes penniques charriées qui formeront le massif du Chablais) (Delamette, 2002).

C'est à la fin de la formation des Alpes (entre -12 et -5 Ma) que le MMB subit un soulèvement qui lui permet d'émerger à nouveau, formant une culmination axiale d'une unité tectonique que l'on retrouve dans les massifs cristallins de l'Aar et de Belledone Interne pour le MBE (le MBI n'a pas de corrélation dans Belledonne). Aussi, les extrémités du MMB s'ennoient au NE et au SO sous la couverture. Cela explique la présence actuelle de roches sédimentaires (argilites, schistes, grès singuliers) sur le faite du massif (la crête des Fours). Le reste de la couverture sédimentaire est érodé et en partie charrié en direction du NO. Il semble que le soulèvement du MB touche principalement le MBI (en raison de la présence importante de granites?). En effet, le MBE est très peu émergé. Cette surélévation est importante (plus de 1000m) au niveau du ressaut des Monts Jovets (MBI) par rapport au vallon de la Rollaz (MBE). La couverture du MBE subit un serrage et un cisaillement horizontal qui l'expulse de son bassin paléogéographique (Gidon, 2010). À noter, comme le fait remarquer Marthaler (2001) que c'est souvent le substratum qui bouge (il est subducté) par rapport à la nappe plus que l'inverse (les deux sont déplacés), en raison notamment du processus d'accrétion. C'est ainsi que la Nappe de Morcles forme actuellement les massifs du Mont-Joly (voir la figure 1.21), de Croisse-Baulet, des Aravis et des Bornes, avec la particularité d'être très étirée, son flanc inverse disparaissant parfois (Epard, 1990). Subsistent donc dans la Réserve ses séries basales en contact stratigraphique (dont le tégument). La couverture du MBI, moins importante et incomplète est, elle, érodée sur place. Aucun indice ne permet de dire qu'elle a été en partie charriée également. On en retrouve uniquement le tégument et quelques séries liasiques.



Figure 1.21 : les schistes du Lias du massif du Mont Joly (nuage sur l'Aiguille Croche) depuis le Plan de la Fenêtre. Peu résistants à l'érosion, ils se caractérisent par une morphologie fortement ravinée.

L'érosion torrentielle et surtout glaciaire (au Quaternaire) exploitent cette structure géologique. L'érosion différentielle se traduit ainsi par le surcreusement des zones de faiblesses tectoniques (failles, bandes de mylonites) ou des zones où se situent les roches les moins résistantes (notamment

les synclinaux où subsiste le tégument), reprenant ainsi l'orientation générale de l'axe de la coupole anticlinale du MMB (SO-NE). Le vallon des Jovets, de Tré la Tête, de la Rollaz, de la Combe Noire ou encore de Notre Dame de la Gorge ont ainsi une origine structurale, exploitée par l'érosion.

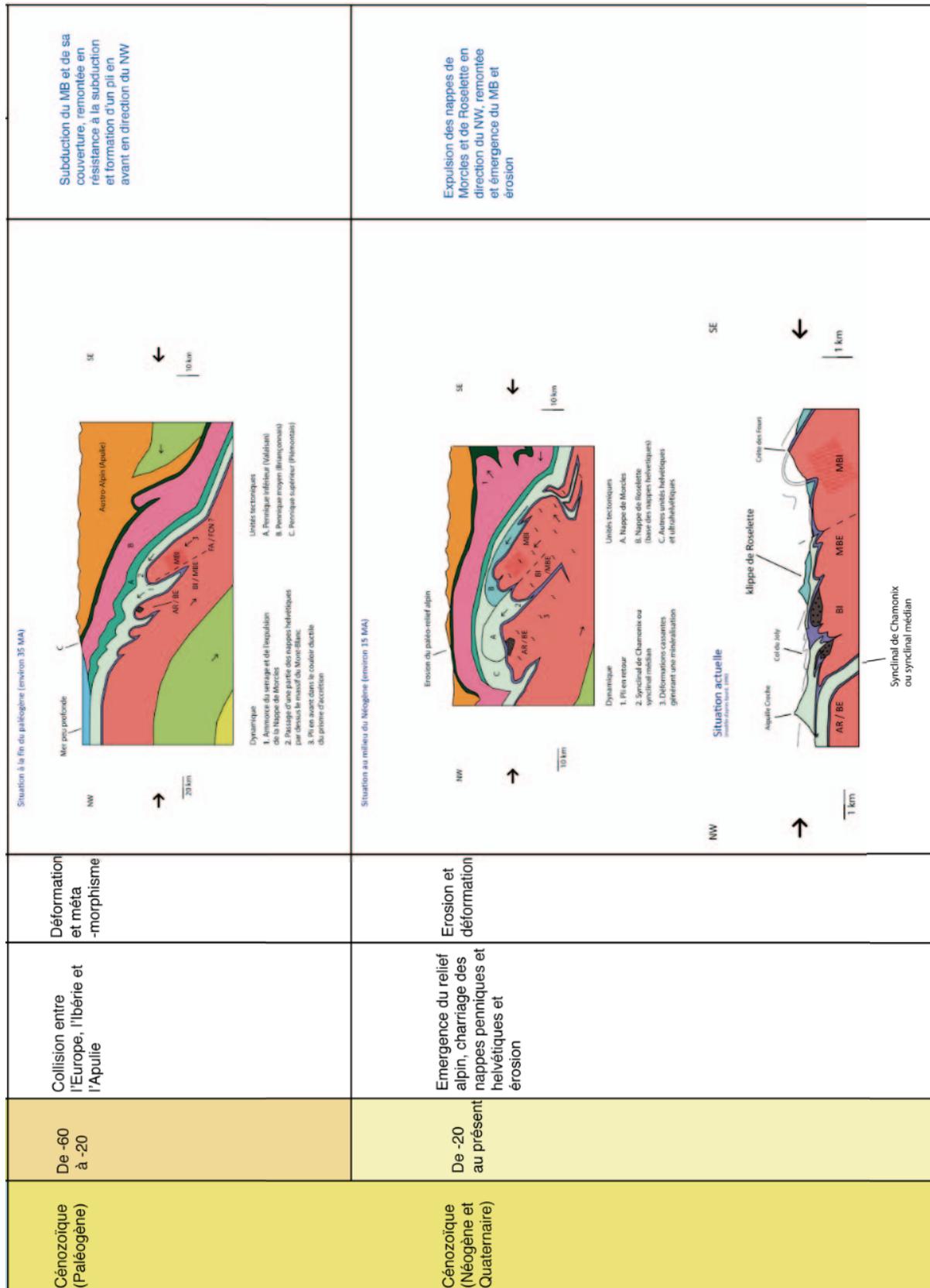


Figure 1.22 : Histoire géologique locale depuis le Cénozoïque.

Pour aller plus loin, l'axe général Nord-Sud du val Montjoie en aval de Notre Dame de la Gorge s'explique par l'incision par le Bon Nant de couches sédimentaires, prolongeant vers le Sud le synclinal de Chamonix (Gidon (2010) parle de faille du Prarion) entre les hameaux du Cugnon et de Tresse. Puis l'écoulement du Bon Nant devient anaclinal (inadapté aux couches géologiques) et incise obliquement le socle cristallin AR-BE qui forme un ensellement axial, s'enfonçant depuis le Prarion sous le massif du Mont Joly au S-O.

### *La nappe de Roselette*

La Réserve Naturelle est donc composée en grande partie des unités «autochtones» décrites précédemment. On retrouve cependant des unités charriées («allochtones») à sa bordure SO, regroupées dans la nappe de Roselette. Cette nappe est composée de 4 unités dont deux seulement sont présentes dans la Réserve: l'unité de Roselend et l'unité de Roselette.

- l'Unité de Roselend est essentiellement sédimentaire. Elle est l'élément basale de la nappe (Epard, 1990) et repose par contact tectonique sur la couverture du MBE et MBI. «Elle se différencie par son contenu stratigraphique, l'histoire de sa déformation et probablement par son métamorphisme» (Epard, 1990) de la nappe de Morcles. Des séries allant du Trias au Crétacé inférieur se situent dans la Réserve en position normale. Elle se caractérise également par des lacunes stratigraphiques. Enfin, la présence de chloritoïdes dans l'Aalénien témoigne d'un faible métamorphisme. Ces séries sédimentaires sont accompagnées de chapelets de copeaux de cristallin (Gidon, 2010) dont l'origine est encore discutée entre chercheurs (Amelot dans Amelot et al. (2008) y voit des écaillés de socle raclées lors du charriage de la nappe de Roselette).
- l'Unité de Roselette est essentiellement cristalline. Elle se situe au dessus de l'Unité de Roselend. Elle est composée de gneiss non rattachés au MMB. Ils sont accompagnés d'une faible série sédimentaire (calcaires gréseux et marnes du Crétacé inférieur) visible au plan de la Fenêtre (Epard, 1990).

Au vu de ces observations, la Nappe de Roselette serait une équivalente lointaine de la Nappe des Diablerets (Epard, 1990). En effet:

- l'unité de Roselend est une série de seuil (lacune stratigraphique) présentant une affinité avec la couverture du MBI au val Ferret italien;
- le cristallin de Roselette peut-être corrélé avec les lames de Rabowski présentes également dans le val Ferret et considérées comme la base des nappes helvétiques.

L'unité de Roselend serait ainsi la couverture interne du MBI (ou de la partie interne de Belledonne Interne) tandis que les autres unités de la nappe, dont l'unité de Roselette, auraient une origine plus interne et constitueraient «l'élément basal de la nappe helvétique au sens strict» (Epard, 1990). La relative faible importance et les discontinuités des séries sédimentaires illustreraient un bassin paléogéographique des nappes helvétiques moins profond à son extrémité SO. Tout comme la nappe de Morcles, la nappe de Roselette (et les nappes helvétiques) a subi un serrage et un cisaillement horizontal (Gidon, 2010). Cela s'est caractérisé par le charriage de la nappe par dessus le MMB en direction du NO au cours du Cénozoïque.

Une grande partie de cette nappe a été érodée, le contact avec sa patrie a aujourd'hui disparu. La nappe de Roselette est ainsi une klippe. Elle a subi des déformations (le plissement en accordéon à l'origine de l'Aiguille de la Pennaz par exemple, pour Gidon, 2010) et des cassures lors de l'orogénèse alpine (faible du col de la Cicle?).

Pour finir cet aperçu de la géologie locale, nous allons nous intéresser à la sismicité de la région. Le dernier séisme important (intensité de VI sur l'échelle MSK de 1954 de XII degrés) date de 1946. Le BRGM, en 1985, après avoir étudié l'historique des séismes depuis 1000 ans, a placé le Val Montjoie en zone Ib, ce qui signifie, sur l'échelle MSK:

- «que la fréquence probable de secousse sismique, d'une intensité supérieure ou égale à IX est considérée comme nulle pour 3 siècles,
- qu'il existe une fréquence probable de secousse sismique supérieure ou égale à l'intensité VIII de l'ordre d'un événement pour 2 ou 3 siècles au maximum,
- qu'il existe une fréquence probable de secousse sismique supérieure ou égale à l'intensité VII de l'ordre d'un événement tous les 3 /4 de siècle (dans ASTERS, 2004: 16)».

#### 4.4. Végétation et faune du haut Val Montjoie

L'objectif de cette section n'est pas faire un inventaire et une description exhaustive des écosystèmes du haut Val Montjoie mais plutôt d'en donner les principales caractéristiques. Tout d'abord, il est important de noter que la composante biologique de l'environnement de la vallée est extrêmement riche en raison de l'important gradient altitudinal (nombreux types habitats), du climat contrasté et de la diversité des sols (résultant de l'altération des roches variées, les sols étant acides sur les gneiss et basiques sur les roches carbonatées).

La faune et la flore du haut Val Montjoie est diversifiée et typique des milieux montagnards. La RNCM est, par exemple, le lieu de vie de 679 espèces floristiques (dont 59 rares et/ou protégées, principalement arctico-alpines, voir ASTERS, 2004) et de 236 espèces faunistiques (ASTERS, 2007). Le patrimoine biologique bénéficie de mesures de protection (la RNCM est également un site proposé au titre de *Natura 2000* (dont la carte 12 dans ASTERS 2004 représente les Habitats d'intérêt communautaire) et abrite en partie une réserve de chasse) et de nombreux inventaires et comptages (voir par exemple dans l'annexe de ASTERS, 2004)). Les unités écologiques que l'on retrouve vont de l'étage montagnard (pessière, pelouse sèche et pelouse fraîche), subalpin et alpin (pessière, landes, aulnaie verte, pelouse calcicole (fraîche et sèche) et acidophile (sèche, fraîche ou à *Carex*)), à nival. Ces étages de végétation sont répartis globalement de la manière suivante aux Contamines Montjoie (Botineau, 1979): étage montagnard jusqu'à 1500m, étage subalpin jusqu'à 2000m, étage alpin, jusqu'à 2600m et étage nival au dessus de 2600m (à noter que dans le contexte de réchauffement climatique, la répartition de ces étages doit être quelque peu revue vers le haut). De plus, ASTERS (2004), relève dans la RNCM des zones humides (tourbières et marais acides (par exemple dans la Combe Noire et la Rosière, très riches en faune et flore), marais alcalins (que l'on retrouve à la Balme et Plan Jovet, avec des espèces végétales très rares dans le département)) et des combes à neige (calciques (secteur du Bonhomme, espèces rares) et acidophiles (plus courantes)). Le patrimoine biologique de la RNCM est, d'un point de vue général, fragile et «*les milieu de haute altitude sont particulièrement sensibles aux pollutions en tout genre* (ASTERS, 2004: 60)». À noter que la chasse est pratiquée dans les 53% de la RNCM non placés dans la Réserve de chasse (pour l'anecdote, le dernier ours de la vallée a été tué en 1885 dans la RNCM, dans le secteur La Laya, Combe Noire) et que la pêche (poissons introduits artificiellement) est pratiquée dans le lac Jovet inférieur et dans une petite partie du Bon Nant (secteur de Nant Borant).

La forêt, dont la limite maximale se situe à 1900m (sous la Tête Noire) en rive droite et 1800m (bois de la Rollaz) en rive gauche, est d'origine naturelle. Le développement du village des Contamines-Montjoie depuis le Moyen Âge, à l'instar d'une situation largement répandue dans les Alpes, a longtemps été synonyme de surexploitation de la forêt (bois de construction et de chauffage), voire de défrichement pour agrandir les zones de cultures et d'alpages. Cette pression anthropique sur le milieu naturel, se traduisant par un accroissement de l'érosion et des dangers naturels, a du être limitée volontairement dès la deuxième moitié du 19ème siècle (création du RTM en France en 1882). De plus, en raison de la déprise agricole, la forêt poursuit aujourd'hui son expansion dans le haut Val Montjoie. C'est l'épicéa (espèce climacique dont les forêts sont appelées pessières) qui compose à 90% les 1200ha de forêt de la commune des Contamines-Montjoie (Botineau, 1979), avec un optimum entre 1200 et 1550m et une préférence pour les sols acides. Cette domination s'explique par la rudesse du climat (froid, humidité et nébulosité) qui gêne le développement d'hêtraies à sapins à l'étage montagnard et de forêts de mélèzes et d'aroles en altitude. Ces essences sont tout de même présentes en faible quantité (selon ASTERS, 2004, le sapin occupe des buttes clairières et des secteurs marécageux), au même titre qu'une multitude de feuillus dans la vallée. Les forêts, si elles permettent le développement de la sylviculture (entre 1500 et 1800 m<sup>3</sup> de bois sont exploités chaque année selon Botineau, 1979), jouent également un rôle très important de protection face aux avalanches, aux chutes de blocs et aux instabilités de versants, notamment sur le versant du MMB. À noter enfin, la colonisation des secteurs humides, des hauts des versants pentus (couloirs d'avalanches, bords de torrents) aux pâturages abandonnés, par l'aulnaie verte (composée des vernes ou voraches). Selon ASTERS (2004), la forêt occupe 13% de la surface de la RNCM (719 ha). 85% (612 ha) de cette forêt est communale. Elle est soumise au régime forestier et gérée par l'ONF, produisant environ 3,5m<sup>3</sup>/ha/an. Près de 100ha ont été détruits en 1982 pendant une tempête de foehn. Le RTM possède 7% de la surface boisée (189ha) dans des surfaces d'érosion (bassins torrentiels). L'exploitation et l'entretien de la forêt induisent l'existence de pistes forestières dans la RNCM (carte 9 dans ASTERS, 2004).

## 4.5. L'Homme et le haut Val Montjoie

### 4.5.1. Les premiers sédentaires

L'occupation humaine du haut Val Montjoie semble précoce, débutant probablement dès le Néolithique, (entre 11000 BP et 5300 BP, ASTERS, 2004). À l'Âge du bronze (2800BP), la vallée est colonisée par les Ceutrons, une peuplade préceltique ligure venant de Tarentaise voisine (Barbier, 1999). Les Ceutrons sont des cultivateurs. Ils savent également forger le cuivre, extrait dans la montagne du Truc, dont le nom est d'origine ligure (ASTERS, 2004). Les Allobroges, peuplade celte, s'installent à l'Âge du fer (2500 BP) au pays du Mont-Blanc mais leur présence dans la vallée est stoppée entre Saint-Gervais-les-Bains et les Contamines, au Champel. Le voisinage entre Allobroges et Ceutrons est tumultueux et la domination romaine est synonyme de pacification et de définition d'une frontière, en particulier avec la *Pax Romana* (Botineau, 1979). À cette époque déjà, la col du Bonhomme (2329 m) est un lieu de passage important entre la vallée de l'Arve (le bassin lémanique et le Valais) et la Tarentaise (la Savoie, le Val d'Aoste). Aussi, les Romains aménagent-ils l'accès au col, notamment par la vire moutonnée de la Gorge (la voie Romaine). La chute de l'Empire Romain se traduit par une situation tumultueuse et diverses invasions (Burgondes, Francs, Sarrasins).

### 4.5.2. Un développement synonyme de pastoralisme

Dès la colonisation du haut Val Montjoie par les Ceutrons, le développement sociale et économique de la vallée est la conséquence de l'agro-pastoralisme. L'apogée de cette activité dans la vallée se situe entre le 17<sup>ème</sup> (85% des terres en champs sont utilisées pour la culture céréalière qui se pratique jusqu'à 1500m selon ASTERS, 2004) et le 19<sup>ème</sup> siècle (surcharge des alpages et déforestation maximales). Les alpages, nombreux mais difficiles d'accès, sont organisés autour d'un habitat concentré (les *montagnettes*). Au 19<sup>ème</sup> siècle, près de 900 bovins parcourent ces alpages, pour une centaine d'exploitations. La situation a aujourd'hui bien changé, en raison du développement du tourisme et de la chute du prix du lait, le cheptel étant de 200 bovins pour une quinzaine d'exploitations. Le pastoralisme a joué et joue encore un rôle prépondérant dans l'entretien du paysage et dans la limitation du danger naturel (Botineau, 1979 et ASTERS, 2004) Le tableau 1.23 présente les activités pastorales dans la RNCM en 2003. Les travaux de Party (1995) et de Saddier (1996) (dans ASTERS, 2004) montrent que les alpages de la RNCM sont sous-exploités mis à part quelques surpâturages des ovins sur sol cristallin.

alpage	superficie	altitude	cheptel
La Rollaz, les Prés	100ha	1700-2000m	46 bovins
Tré la Tête	25ha	1900-2100m	70 ovins
Plan-lacs Jovet	300ha	1900-2450m	100 ovins
La Balme, la Giettaz	24ha	1500-1900m	18 bovins
Combe Blanche	(+ de 50ha)	1600-2000m	100 ovins
Armancette - La Frasse	(- de 30ha)	1300-1600m	16 bovins
La Sausse - Bonhomme	(+ de 200ha)	2000-2400m	2700 ovins

Tableau 1.23 : Les principaux alpages de la RNCM (d'après ASTERS, 2004: 31 et 40).

#### 4.5.3. Du Moyen Âge à la création de la commune des Contamines-Montjoie

Lieu de passage important, le haut Val Montjoie est au Moyen Âge un site stratégique et une frontière entre la Seigneurie du Faucigny, vassal de Genève, et le Comté de Savoie (Barbier, 1999). Ainsi, un château est construit à Montjoie (sur la place de l'actuelle église des Contamines). Le site de la Gorge jouit assez tôt d'une forte valeur religieuse (lieu d'ermitage, de pèlerinage) et la première chapelle est érigée au 13<sup>ème</sup> siècle. 170 habitants vivent dans le haut Val Montjoie en 1350 (Botineau, 1979). Cette population augmente et 750 habitants y vivent lorsque la paroisse et la commune des Contamines est créée en 1760 (séparation avec Saint-Nicolas de Véroce). C'est à cette époque que l'église des Contamines est érigée, selon l'art baroque italien (en particulier de la Val Sesia selon Barbier, 1999) dans le prolongement de la Contre-Réforme. La commune devient française en 1860 avec l'annexion de la Savoie et devient une des plus grande commune du département créé, avec ses 8224 ha. C'est seulement en 1949 que le nom de Contamines-Montjoie est donné à la commune (décret du 26 septembre, voir AARN, 1992). En effet, l'ajout de ce caractère géographique s'inscrit dans la volonté de singulariser la commune (deux autres villages de Haute-Savoie s'appelant également les Contamines) dans un contexte de fort développement touristique.

Une étude toponymique montre que *Contamines* provient du latin *condominium* («*propriété, possession complète d'un bien*» et/ou «*terre appartenant au seigneur et exploitée par la communauté rurale*» selon Suter, 2009) et que *Montjoie* provient de l'ancien français et signifierait selon les auteurs «*monceaux de pierres entassés par les pèlerins* (Suter, 2009)» ou «*hauteur fortifiée près d'une frontière* (Abbé Lacombe repris dans ASTERS, 2004: 1)».

#### 4.5.4. Une profonde mutation au 20<sup>ème</sup> siècle: le développement du tourisme

Avec sa position géographique particulière, le haut Val Montjoie est un lieu de passage pour travailleurs, colporteurs, contrebandiers mais aussi pour les voyageurs et les premières élites pratiquant le *tourisme*. Des récits de De Saussure, Baltard ou encore Töpffer (l'antécime N des Roches Franches porte d'ailleurs le nom de Pointe Toepfer), illustrent par exemple ces premières *visites* (voir Barbier, 1999). Fortement fréquentée, la route du Bonhomme voit très tôt des lieux d'accueil se créer. Le refuge de Nant Borrant est par exemple créé en 1842, tandis que les haltes à la Balme sont relatées dès 1872. Parallèlement, la *découverte de la Haute Montagne* à Chamonix se propage au Sud du MMB et les bassins glaciaires de Bionnassay, Miage et Tré la Tête sont vite prisés par les alpinistes. Aussi, en 1850, la Compagnie des Guides des Contamines voit le jour (la deuxième plus ancienne en France après celle de Chamonix, selon ASTERS 2004) professionnalisant le rapport entre alpinistes et guides locaux. Cependant, ce tourisme génère peu de revenus et se pratique une courte partie de l'année. La val Montjoie poursuit son développement touristique avec, à Saint-Gervais-les-Bains, la construction de l'établissement thermal au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, l'arrivée du train au Fayet en 1898, puis la villégiature et le climatisme dans les années 1910 (Stock et al., 2003; ASTERS, 2004).

Les touristes séjournent durablement l'été aux Contamines (1 hôtel, 3 commerces et 5 cafés en 1900) seulement au début du 20<sup>ème</sup> siècle tandis que les premières résidences secondaires sont construites en 1905 (Barbier, 1999). Si le ski est également introduit dans la vallée au début du 20<sup>ème</sup> siècle, il faut attendre quelques décennies pour voir une véritable exploitation de l'*or blanc*, avec en 1911 l'apparition du Ski Club de Contamines, puis de la première remontée mécanique en 1937 aux Loyers. Le tourisme et la villégiature hivernaux se développent dans les années 1920. L'Ecole de Ski, l'Office du Tourisme et la Société d'Équipement des Contamines sont créés en 1946. Dès lors, le village connaît un fort développement touristique et vit une importante mutation. Le domaine skiable se développe sur le plateau de Montjoie, entre Roselette et le col du Joly (depuis 1949), vers la Savoie voisine (Belleville en 1971) et l'Aiguille Croche, les aménagements et l'exploitation étant confiés à la Société d'Équipement Touristique et Sportif de la station (site internet de la commune, 2010). Le village se transforme ainsi en station touristique, adaptant ses infrastructures pour faire face à de fortes affluences. À la fin des années 1970, la station compte 30 hôtels, restaurants et bars, 80 commerces, 2400 places de location et 650 résidences secondaires (Botineau, 1979). Le tourisme estival connaît également un succès non négligeable, notamment autour de la randonnée (succès du Tour du Mont-Blanc, création de la Réserve Naturelle en 1979), et de l'alpinisme (refuge des Conscrits dans le bassin de Tré la Tête en 1942 (voir par exemple AARN, 1991) puis reconstruit en 1997 pour accueillir 80 personnes). La station jouit aujourd'hui d'un domaine skiable important (120 km de pistes entre 1180 et 2450 m pour 24

remontée mécaniques et 177 enneigeurs, intégré dans l'espace *Evasion Mont-Blanc* avec les stations de Saint-Gervais, Megève, Combloux, etc.) pour une capacité d'hébergement de 14000 lits (Saint-Gervais-les-Bains dispose de 20000 lits).

#### 4.5.5. L'hydroélectricité

Le Beaufortin (voir la figure 1.24), situé au S-O du Val Montjoie, est un massif où l'exploitation hydroélectrique s'est particulièrement bien développée (barrages de Roselend, la Gittaz, Saint-Guérin et la Girotte), notamment pour garantir l'approvisionnement en électricité des aciéries d'Ugine. Le barrage de la Girotte est le plus proche du Val Montjoie. Il est localisé dans un ombilic contenant un ancien lac naturel à 1720m (exploité dès 1903 pour produire de l'électricité). La construction du barrage date de 1923 pour un volume d'eau de 29 millions de m<sup>3</sup> (Waeber (1943) et repris par AARN (1995)). L'eau est turbinée à Belleville (1215m) et alimente une chaîne de 6 centrales sur le Doron. Déjà, l'insuffisance d'alimentation en eau du barrage pose problème (bassin versant trop petit avec très peu d'écoulement de surface, sécheresse) et différents captages de cours d'eau voisins sont nécessaires. Ainsi, en 1932, le Bon Nant est en partie capté à 1910m à Plan Jovet, via la perforation d'une galerie de 4700m sous la Tête de la Cicle (ASTERS, 2004). L'acier produit à Ugine prenant une valeur stratégique de premier ordre pour la machine de guerre nazie pendant l'occupation, le barrage de la Girotte est rehaussé à partir de 1941 (fin des travaux en 1949). La Girotte est tenue secrètement par des résistants (sous l'impulsion du Capitaine Bulle; voir dans 4.5.6), responsable de l'Armée Secrète du Beaufortin, le chantier devient une couverture permettant le rassemblement de réfractaires au STO et de résistants, leur organisation et entraînement dans ce qui formera la *Compagnie du Lac*, qui participera activement à la libération du Beaufortin et de la haute Tarentaise). Cependant, le rehaussement se fera sans armatures métalliques (l'acier est envoyé en Allemagne), la construction du barrage uniquement en béton pose actuellement des problèmes de fissuration et de fuites (EDF, dans un rapport confidentiel en 2006 et relevé sur la page *wikipedia* du barrage de la Girotte).

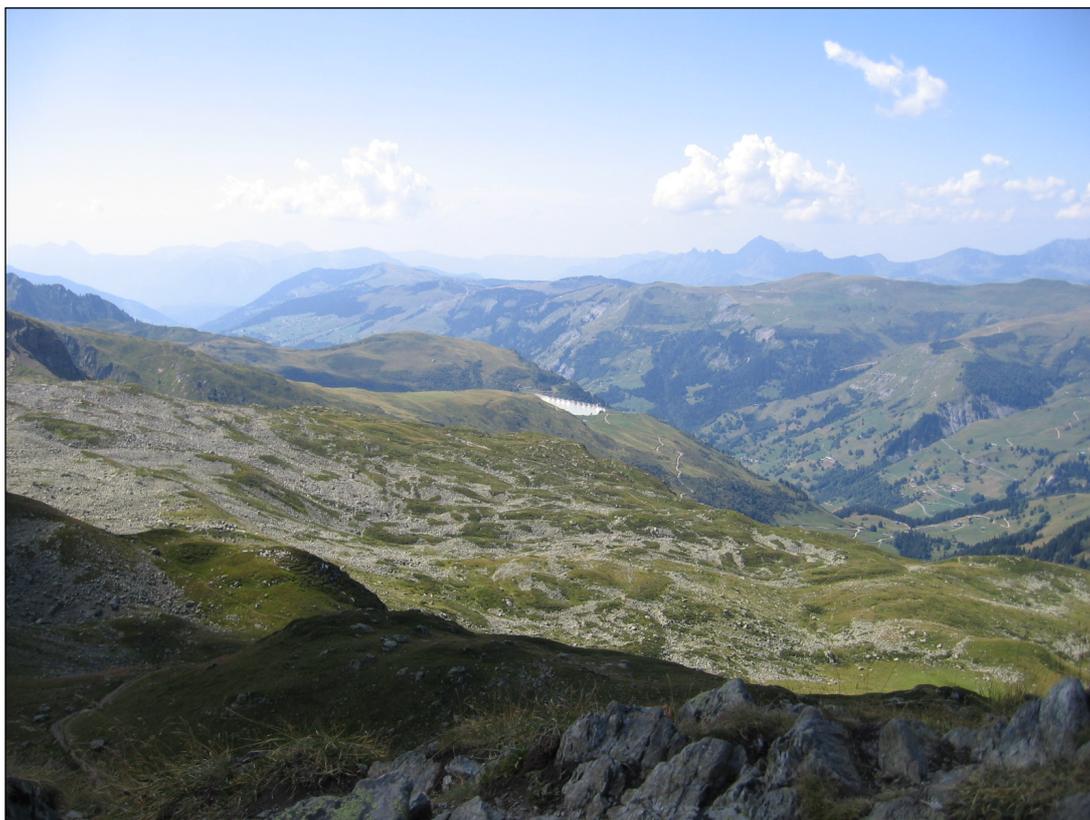


Figure 1.24 : le Beaufortin depuis le Plan de la Fenêtre. On devine le barrage de la Girotte (en clair au milieu). Au premier plan, on distingue l'immense glacier rocheux fossile de la Grande Pierrière.

Pour alimenter ce bassin à la nouvelle capacité de 44 millions de m<sup>3</sup>, les travaux de captage de l'émissaire de Tré la Tête débutent en 1941, son régime glaciaire sécurisant l'approvisionnement en eau (Waeber, 1943). Le front du glacier se situant au dessous de 1910m, le captage a été construit sous la langue glaciaire (une première en Europe) à 1934m, permettant un écoulement gravitaire dans une galerie de 5300m jusqu'au captage de Plan Jovet préexistant. Ces creusements ont permis des études sous glaciaires, environnements très peu connus à l'époque (Jacquet Maffei, 2004). Les débits captés à Tré La Tête varient entre 35 et 3600 l/s. La construction d'aqueducs souterrains par EDF dans la Réserve Naturelle a généré des infrastructures importantes: 3 bâtiments (3 cantines et annexes), des téléphériques (aujourd'hui démantelés mais il subsiste des ruines) et de dépôts liés au percement des galeries (vers le regard de Plan Jovet par exemple). La concession de l'Etat à EDF pour l'exploitation du barrage de la Girotte est de 75 ans et prend fin en 2039.

#### 4.5.6. La Deuxième Guerre Mondiale

Fait historique mal connu et non relevé dans les différents ouvrages présentant la RNCM ou le haut Val Montjoie, le Sud du MMB a été le lieu d'intenses combats pendant la *bataille des Alpes* de juin 1940. La France, alors en pleine débâcle face à l'armée allemande (l'armistice sera signé le 22 juin), est attaquée à revers par l'Italie fasciste qui souhaite «prendre du butin (dans Emprin, 2002: 84)». La frontière alpine est ainsi attaquée par des troupes italiennes nombreuses, tandis que la défense française est profondément affaiblie, une partie des troupes alpines se battant plus au Nord face aux Allemands, une autre étant rapatriée d'urgence dans la Somme après la campagne victorieuse de Norvège. La défense française se compose donc des bataillons alpins de forteresses (BAF), de quelques bataillons de chasseurs alpins, de sections d'éclaireurs skieurs (SES, section d'élite) et de troupes d'artillerie (des batteries sont installées aux Contamines et tirent par dessus le MMB).

Sites stratégiques de première importance, les cols de la Seigne et de l'Enclave (frontière Est de la RNCM) sont la cible d'attaques italiennes depuis le val Veny, dans des conditions exécrables (tempête de neige, orage menaçant faisant crépiter piolets, armes et casques, selon D'Arbaumont, 1972). Le 22 juin, tandis que les troupes d'élites italiennes (de l'école de ski et d'alpinisme d'Aoste) attaquent, malgré l'artillerie et une avalanche, le col de l'Enclave par le Mont Tondu, 300 *alpinis* remontent en direction du col depuis le vallon des glaciers. Le col est défendu par une trentaine de la SES du 80ème BAF commandée par le lieutenant Bulle (qui sera par la suite le chef du maquis du Beaufortin) et dont la base arrière sont les chalets de Jovet. Les combats se déroulent à plus de 2600m et à des températures inférieures à -10°C. Le lieutenant Bulle, installé sur la Tête de l'Enclave (dans la RNCM) entre dans la légende en mettant en déroute les italiens par un tir à revers au fusil mitrailleur, après être descendu de la paroi en rappel (Plan et Lefevre, 1982). Le lendemain, la SES se replie vers Plan Jovet et la Balme après un dangereux rappel depuis la Tête de Bellaval assuré par Bulle pour chacun de ses hommes (il fera sept fois l'itinéraire). Elle y apprend que l'armistice est signé et rejoint les Contamines puis Beaufort.

#### 4.5.7. La situation socio-économique actuelle

Le recensement des Contamines-Montjoie le plus récent date de 2006 et dénombre 1211 habitants, soit une densité de 28 hab./km<sup>2</sup>. La population de la commune était d'environ 900 habitants à la fin du 18<sup>ème</sup> siècle. Elle s'abaisse ensuite longtemps aux environs de 600 pour connaître une nette progression (elle double en 50 ans) depuis les années 1950 (ASTERS, 2004). L'école maternelle et primaire de la commune compte 127 élèves en 2000. En période touristique et en particulier en hiver, la population peut dépasser 12 000 habitants et vacanciers. Nous l'avons vu, si la commune s'est d'abord développée autour du pastoralisme, l'apparition du tourisme (principalement les sports d'hiver dans la seconde moitié du 20<sup>ème</sup> siècle) a induit une profonde mutation de la situation socio-économique (voir la figure 1.25). Une grande partie des emplois est aujourd'hui dépendante directement ou indirectement de l'activité touristique. Ainsi, en 2000, la station compte 12 hôtels restaurants, 9 restaurants d'altitudes, 19 bars-restaurants, 3 refuges, 348 meublés, 2 résidences de tourisme, 6 centres de vacances, 1 camping, 15 magasins de sports et 25 commerces divers (ASTERS, 2004). Le secteur agricole pour sa part, poursuit sa régression avec 15 exploitants (activité à temps partiel) possédant 100 bovins, 9 équins et 123 ovins. La sylviculture pour sa part, si elle touche de grands secteurs, génère très peu

d'emplois. Enfin, le secteur secondaire regroupe 24 entreprises d'artisanat et 2 entreprises industrielles (BTP et construction métallique). Enfin, de nombreux Contaminards travaillent à Saint-Gervais ou dans la vallée de l'Arve, empruntant la D 902 vers le Nord.



Figure 1.25 : activité agricole au village des Contamines Montjoie. Le développement de la station a fortement réduit la surface agricole locale. Le village s'étend sur le cône fluviale fossile de la Frasse. (tirée de [www.lescontamines.com](http://www.lescontamines.com)).

#### 4.5.8. L'occupation du sol et l'aménagement du territoire

La commune des Contamines-Montjoie occupe donc tout le Sud du Val Montjoie sur 82 km<sup>2</sup>. La répartition de la surface entre les différentes unités paysagères est la suivante: Rochers et glaciers: 65%; Forêts et taillis: 13%; Landes: 10% et Terres cultivables, prés, habitations et pâturages: 12% (Botineau, 1979). La transformation du village en station de sports d'hiver s'est traduite par l'amaigrissement de la surface agricole du fond de vallée au profit d'une urbanisation pas toujours maîtrisée (mitage du territoire). Dès 1978, le plan d'occupation des sols (POS) cherche d'ailleurs à protéger l'agriculture (achat de terrain menacés d'urbanisation et mis à la disposition des agriculteurs, création d'une étable communale, etc.). Malgré ces dispositions, le nombre d'exploitants agricoles ne cesse de diminuer dans la commune et des secteurs d'alpages sont abandonnés (par exemple la combe d'Armancette depuis 2001), induisant une colonisation par la végétation et une *fermeture* du paysage. En 2000, les Contamines-Montjoie comptent 650 résidences secondaires pour 320 résidences principales (ASTERS, 2004).

L'aménagement du territoire d'une commune comme celle des Contamines nécessite donc de trouver un équilibre entre d'un côté, le développement touristique et l'urbanisation et de l'autre, la préservation d'un milieu naturel d'exception et le maintien d'activités traditionnelles. Ainsi, depuis près de quatre décennies, les acteurs du développement communal tentent de trouver cet équilibre, ce qui a abouti de manière significative en 1979, avec la création de la RNCM, que nous allons maintenant présenter avec plus de détails.

## 4.6. La Réserve Naturelle des Contamines Montjoie (RNCM)

### 4.6.1. La création, l'histoire et quelques caractéristiques de la RNCM

Dans les années 1970, voulant équilibrer l'aménagement du territoire de la commune lors de l'élaboration du premier POS, les élus divisent le territoire en trois parties: la zone habitée dans le fond de vallée (environ 10% de la surface totale), le domaine skiable sur le secteur du col du Joly (environ 20% de la surface totale) et une zone de préservation de la nature sur le versant Mont-Blanc et le Sud du Val Montjoie (environ 70% de la surface totale). Cette volonté politique s'inscrit également dans le prolongement de la création des grandes réserves de chasse impulsées en 1968 par la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF). C'est dans ce contexte de volonté de protection des biotopes que l'idée de création d'une Réserve Naturelle dans le Sud du Val Montjoie voit le jour, et, après décision du Conseil Municipal, enquête publique, avis de la Commission Départementale des Sites, du Préfet et consultations ministérielles, la RNCM est créée le 29 août 1979 par le décret 79-748 du Premier Ministre (ASTERS, 2004). Ce décret classe les 5 115 hectares situés au SE de la commune en Réserve Naturelle mais officieusement, et avec le consensus de tous les acteurs, la RNCM couvre 5500 ha (ou 55 km<sup>2</sup>), prenant en compte le secteur des Prés-Roselette (qui figurait sur le périmètre présenté lors de la mise à l'enquête publique).

La taille du périmètre classé (environ 68% du territoire communal) témoigne de la volonté de protéger un espace très vaste dans une approche biocentrée (volonté de protection de biotopes). Ainsi, la RNCM ne se calque pas sur une unité paysagère, géologique ou géomorphologique précise (comme c'est le cas pour d'autres RN du département comme en témoigne la RN du delta de la Dranse) mais recouvre une multitude et une diversité de biotopes et de géotopes. De plus, la réflexion sur le périmètre s'est limitée au territoire communal alors qu'une approche plus large, voire plus *cohérente* envers le milieu physique, aurait pu être proposée avec les vallées voisines, aux caractéristiques naturelles proches ou complémentaires (vers le Nord et le MMB, vers l'Est et le Val Veny italien ou encore vers le Sud et le Beaufortin (voir la figure 1.26), du vallon de la Sausse à celui des Chapieux) (Hobléa, 2009-communication personnelle).



Figure 1.26 : La Grande Pierrière et le versant Beaufortin de la Tête de la Cicle. Ce glacier rocheux fossiles est une des plus grandes formes de fluage périglaciaire du Nord des Alpes françaises. Au premier plan à droite, les dolines du Bolchu témoignent de la présence sous-jacente de roches solubles.

Les principales dates importantes depuis la création de la RN sont (d'après ASTERS, 2004):

- 1982: première réunion du **Comité Consultatif de gestion** de la RNCM;
- 1983: création de l'association des **Amis de la Réserve Naturelle des Contamines Montjoie** (AARN);
- 1984: création d'un poste de **garde animateur saisonnier** et installation de **panneaux d'information** sur certains accès;
- 1986: **balisage** de la RNCM (cairns sur les accès en altitude);
- 1991: création d'un poste de **garde-animateur annuel** et mise à la disposition par la mairie d'une **salle d'exposition permanente** (dans le bâtiment de la mairie, au centre du village);
- 1995: un **Plan de gestion** de la RNCM devient obligatoire. Il doit contenir l'évaluation des besoins et les impératifs de gestion. «*Le plan de gestion est un bilan synthétique des connaissances existantes sur la Réserve Naturelle qui permettent d'aboutir à un plan de travail opérationnel sur 5 ans répondant aux objectifs de conservation du patrimoine* (ASTERS, 2004: préambule)». Le *Plan de gestion* est rédigé en concertation avec tous les acteurs. Il peut servir de base au document d'objectif des *Zones Spéciales de Conservation* (ZSC, instaurées par la *directive Habitats* de 1992) du réseau écologique communautaire *Natura 2000*;
- 1998: rédaction d'une méthodologie pour l'élaboration du *Plan de gestion* et création d'un poste d'**animateur**;
- 2000: création d'**ASTERS** (Agir pour la Sauvegarde des Territoires et Espèces Remarquables ou Sensibles) avec la fusion de l'Agence Pour l'Etude et la Gestion de l'Environnement (APEGE) et du Conservatoire de la Nature Haut-Savoyarde. La mission d'ASTERS est de recevoir des financements et coordonner les actions et la gestion des réserves naturelles départementales. Création d'un nouveau poste de **garde animateur saisonnier**.

La commune est propriétaire de près de 95% du foncier de la RNCM, les autres petits propriétaires étant des privés et des organismes publics (EDF, Ministère de l'Agriculture, ONF, etc.). Au total, un inventaire du bâti en 2002 (repris dans ASTERS, 2004) dénombre 55 bâtiments avec toitures (dont 27 chalets et annexes, 3 refuges et annexes, 3 fermes et annexes, 3 bâtiments EDF et annexes, 1 bâtiment des Douanes et 2 bâtiments ONF et RTM, DDAF et des résidences saisonnières). Les activités pratiquées dans la RNCM (voir les parties précédentes pour plus de détails sur certaines de ces activités) sont nombreuses mais fortement réglementées: sylviculture, pastoralisme (alpages loués par la commune), chasse, pêche, production hydroélectrique (captages et galeries), tourisme (randonnée, ski de randonnée, alpinisme, escalade, vtt, etc., avec l'existence de 3 refuges dans la Réserve de 2 refuges et une buvette en limite; la présentation des activités touristiques dans la Réserve sera développé dans le chapitre 3). 16 km de pistes pour 4x4 parcourent la RNCM (avec un accès réglementé) au même titre que les 70 km de sentiers (balisés ou non) et les 40 km d'itinéraires (sur roche, névé, glacier ou éboulis). Enfin, une ligne à haute tension 225kV du Réseau de Transport Electrique traverse la RNCM sur 5,4 km (des Rosières des Près au SO de la Tête Sud des Fours, voir la carte 2).

#### 4.6.2. La RNCM et les aires de protection

Une Réserve Naturelle est un «*espace naturel protégeant un patrimoine naturel remarquable par une réglementation adaptée* (site internet de RNF)». Ses caractéristiques sont les suivantes:

- «*un instrument réservé à des enjeux patrimoniaux forts de niveau régional, national ou international : espaces, espèces et objets géologiques rares ou caractéristiques, milieux naturels fonctionnels et représentatifs,*
- *un outil de protection à long terme pour les générations futures,*
- *un territoire géré à des fins conservatoires et de manière planifiée, par un organisme local spécialisé et une équipe compétente,*
- *un site dont la gestion est orientée et évaluée de façon concertée, notamment grâce à un comité consultatif réunissant les acteurs locaux,*
- *un lieu de sensibilisation à la protection de la biodiversité, de la nature et d'éducation à l'environnement,*
- *un pôle de développement local durable* (site internet de RNF)».

En 2010, le territoire français en dénombre 355 avec des statuts divers. L'initiative du classement revient à la région (*RN régionales*) ou à l'Etat (*RN nationales*), avec des consultations locales. La Haute-Savoie comporte pour sa part 9 RN nationales, qui s'étendent sur 21 000 ha, ce qui en fait «*le département le plus richement doté de France*» (site internet de ASTERS). Elles sont gérées par ASTERS et sont soumises à des réglementations communes (voir le dépliant *Ensemble, préservons la nature* disponible sur son site internet) ou particulières (selon le décret de création). Les six d'entre elles qui protègent un territoire montagnard (Aiguilles Rouges, Vallon de Bérard, Carlaveyron, Sixt-Passy, les Comtamines-Montjoie et Passy), sont localisées dans le Sud du département. La RNCM est distante d'une dizaine de km au S-SO des autres Réserves précédemment citées, qui forment un ensemble contigu dans le massif montagnard entre Sixt-Fer-à-Cheval et Chamonix. À noter que le poste de garde saisonnier créé en 2000 est réparti entre la RNCM et la RN de Passy.

ASTERS (et par extension toutes les aires de protection que l'association gère) est membre de différents réseaux de coordination et d'échanges: *Alparc* (le réseau alpin des espaces protégés), *RNF* (organisme de gestion des RN françaises, nationales et régionales), *Espace naturels de France* (réseau des Conservatoires), *Conservatoire Régional des Espaces Naturels* (partenariat entre les conservatoires départementaux de Savoie, d'Isère et de Haute-Savoie) et *Empreinte 74* (réseau départemental de sensibilisation à l'environnement). Dans un autre registre, l'ensemble de la RNCM fait parti de l'*Espace Mont-Blanc*, qui regroupent les 35 communes qui ceignent le *toit de l'Europe* en France, en Italie et en Suisse. Cet espace n'est pas une aire de protection stricte mais une initiative de coopération transfrontalière cherchant à participer à la conservation et la valorisation du territoire. Pour cela, il soutient des projets dans les thématiques suivantes: développement durable, agriculture de montagne, nature et paysage, tourisme intégré et transport. Dans la RNCM, l'*Espace Mont-Blanc* a participé au démantèlement de l'antenne radiophonique de Tré la Tête (à 3930 m) en 2004. Par ailleurs, il finance également un poste d'animateur à raison de 30 000 euros par an (ASTERS, 2007).

La RNCM se superpose également à d'autres périmètres de protection, préexistants ou créés ultérieurement (voir le tableau 1.27; pour une délimitation précise, voir ASTERS, 2004).

Périmètres de protection et inscription aux inventaire	Nom, description	Echelle réglementaire d'origine
Réseau Natura 2000	La RNCM est inscrite comme <b>Site d'Intérêt Communautaire au titre de la Directive "Habitats" 92/43/CEE</b> . À ce titre, le <i>Plan de gestion</i> de la RN peut servir de base au <i>Document d'objectifs</i> d'une Zone Spéciale de Conservation. L'Etat s'engage à maintenir un état de conservation favorable des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. L'inscription de la RNCM au réseau Natura 2000 concerne l'ensemble de son périmètre.	Communautaire

Périmètres de protection et inscription aux inventaires	Nom, description	Echelle réglementaire d'origine
Inventaire des Sites et Monuments Naturels	<p><b>Site classé du Mont-Blanc : (S.CL 16/06/1979)</b>  <i>Dans un site classé, tous travaux susceptibles de modifier ou détruire l'état ou l'aspect des lieux sont interdits, sauf autorisation expresse du ministre après avis de la Commission des Sites. Le camping, la création de villages de vacances, l'affichage, la publicité sont interdits, sauf dérogation du ministre. L'effet de l'inscription suit les terrains concernés, en quelque main qu'ils passent.</i></p> <p><b>Site inscrit : (abords du Col du Bonhomme S.I. 23/09/1942)</b>  <i>Toute modification de l'état ou de l'aspect des lieux et tous travaux ne peuvent être faits par le propriétaire sans qu'ils aient été déclarés quatre mois à l'avance auprès du Préfet qui consulte l'architecte des bâtiments de France. Le camping et l'installation de villages de vacance sont interdits sauf dérogation. L'effet de l'inscription suit les terrains concernés, en quelque main qu'ils passent.</i></p>	Nationale
Inventaire des Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF)	<p><b>ZNIEFF de type 1 (n° 7499 066)</b>, qui correspond à la partie basse forestière de la Réserve Naturelle.</p> <p><b>ZNIEFF de type 1 (n° 7401 070)</b>, qui correspond aux parties d'alpages et de rochers de la Réserve Naturelle.</p> <p>L'inventaire des ZNIEFF est en cours de révision.</p>	Nationale
Réserve cynégétique	<p>Sur proposition de l'Association Communale de Chasse Agréée des Contamines-Montjoie, une Réserve de Chasse de 2510 hectares est créée le 18 août 1975. Cette Réserve est située sur le secteur de Tré la Tête. Pratiquement la totalité de cette Réserve de Chasse est incluse dans la RNCM au moment de sa création en 1979. La superficie de cette Réserve a été redéfinie en 1995 (arrêtés préfectoraux du 28/08/95 et du 08/09/95) définissant la nouvelle <b>Réserve de Chasse dite de "Tré la Tête"</b> d'une superficie de 2600,27 hectares.</p>	Départementale
Arrêté municipal de circulation	<p><b>Arrêté municipal du 22 juin 1984 réglementant la circulation des véhicules sur des chemins de montagne</b>, modifié par arrêtés du 23/07/85 et du 31/07/87 (circulation interdite du premier juillet au premier week-end de septembre entre 7 heures et 19 heures).</p>	Communale

Tableau 1.27 : Autres mesures de protections se superposant à la RNCM (modifié d'après ASTERS, 2004: 2)

#### 4.6.3. La gestion actuelle

La gestion de la RNCM est assurée par l'association ASTERS suite à une convention avec le Préfet, lui confiant la gestion de toutes les RN du département, le 08 août 2003. Cependant, différents organes sont impliqués dans la gestion de la RNCM (la figure 1.28 donne un aperçu des compétences et des relations entre chacun de ces organes).

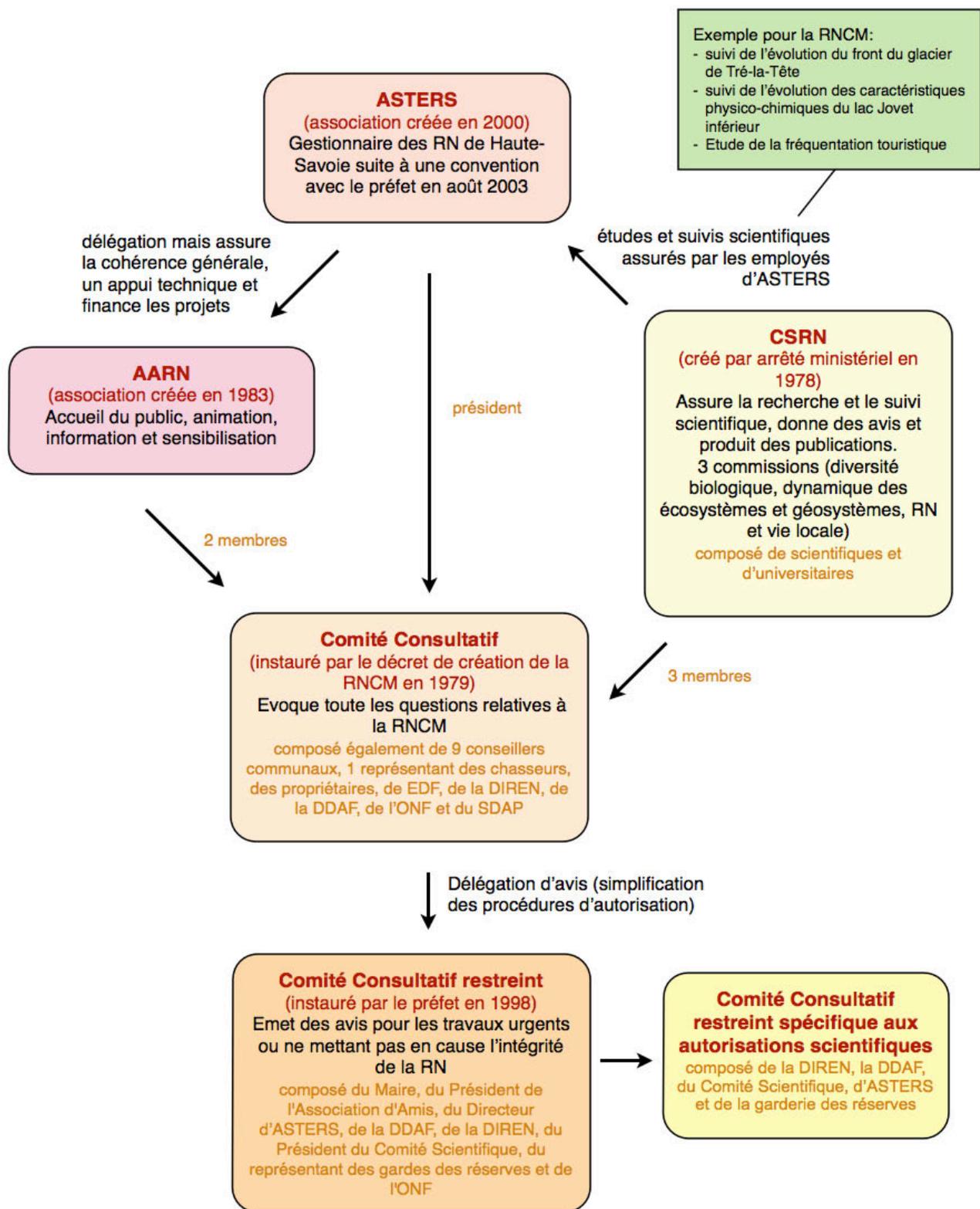


Figure 1.28 : Les principaux acteurs de gestion de la RNCM (d'après ASTERS, 2004: 3-4)

La gestion de la RNCM peut se diviser selon 3 types activités:

- **conservation et protection**: concernent la rédaction (tout les 5 ans) et la mise en oeuvre du *Plan de gestion*, la concertation avec les acteurs locaux, la surveillance, le suivi des travaux et l'information

(en 2007, un conservateur, un garde permanent et un garde saisonnier s'occupent de ses activités pour la RNCM, selon ASTERS, 2007).

- **recherche**: concerne l'animation du Comité Scientifique et le suivi des études scientifiques (en 2007, deux personnes à temps partiel s'en chargent selon ASTERS, 2007).
- **sensibilisation et valorisation**: la mission d'accueil du public, de sensibilisation et d'information a été déléguée par ASTERS à l'Association des Amis de la Réserve Naturel (AARN) depuis 2003. L'AARN a été créée dès 1983 pour «favoriser le développement et le fonctionnement de la Réserve Naturelle en suscitant toutes les initiatives nécessaires en matière éducative, touristique et scientifique (dans ASTERS; 2004: 49)». L'association compte 220 membres en 2002 et jouit d'une salle d'exposition permanente, *la Maison de la Réserve Naturelle* (documentation, vidéos, ordinateurs, échantillons, expositions renouvelées tous les 6-8 mois, etc.) dont l'accueil est assurée par une hôtesse (en 2007, cette salle a accueillie environ 5500 personnes, selon ASTERS, 2007).

Le budget annuel de la RNCM en 2007 est de 220 000 euros (ASTERS, 2007). 150 000 euros (68%) proviennent d'ASTERS (qui reçoit des financements de l'Etat), 30 000 euros de l'*Espace Mont-Blanc* (14%), 25 000 de AARN (11%) et 15 000 de la commune (7%).

Le *Plan de gestion* est l'élément central de la gestion de la RNCM. Il est rédigé tous les 5 ans à partir d'informations collectées par ASTERS, le Comité Scientifique des Réserves Naturelles de Haute-Savoie (CSRN) et l'AARN. Il est discuté par tous les acteurs concernés lors des réunions du Comité Consultatif, des réunions thématiques et des excursions sur le terrain.

Les 5 objectifs à long terme du *Plan de gestion* 2006 - 2010 sont (ASTERS, 2004: 62):

1. *Préserver la richesse des milieux présents et les paysages, en lien avec les activités humaines;*
2. *Favoriser la préservation des espèces et de leurs habitats;*
3. *Organiser la fréquentation dans un objectif de conservation des milieux d'intérêt et des espèces, tout en valorisant l'espace protégé;*
4. *Améliorer la connaissance et anticiper l'évolution de la Réserve Naturelle;*
5. *Favoriser l'intégration de la Réserve Naturelle dans l'environnement socio-économique local.*

#### 4.6.4. Le géopatrimoine et le paysage

Pour finir cet présentation de la RNCM, nous allons nous intéresser à la façon dont le patrimoine géomorphologique et plus largement le paysage, sont intégrés par les professionnels dans leur gestion de cet espace. L'étude du document de base, le *Plan de gestion*, montre l'important déséquilibre qui existe entre le patrimoine biologique et le patrimoine abiotique (dont le patrimoine géomorphologique fait partie). Le premier est en effet largement reconnu, étudié et géré activement, au contraire du second. *Les pôles d'intérêt particulier* du patrimoine géologique (au sens large) sont énumérés de la manière suivante :

- *les formes glaciaires variées actuelles ou postwürmiennes, la datation d'un stade d'englacement +/- 10 250 ans, dit de la Villette, localité située en rive gauche du Bon Nant ;*
- *les déformations alpines du socle cristallin paléozoïque : bombement périclinal de l'extrémité sud du Mont-Blanc, clivage tectonique entre Mont-Blanc et rameau interne du cristallin de Belledonne ;*
- *l'identification des enveloppes sédimentaires mésozoïques : couverture tégumentaire réduite du Mont-Blanc, série dauphino-helvétique à l'avant du Mont-Blanc, série de Roselette, à l'arrière du Mont-Blanc (ultrahelvétique) ;*
- *les rapports structuraux socle-couverture : clivages tectoniques : faibles décrochements, chevauchements* (Gübler Y., Delamette M., 1992 dans ASTERS, 2004: 59).

La connaissance du géopatrimoine de la RNCM dans le *Plan de gestion* est donc partielle et superficielle comme le prouve également le petit paragraphe de description géomorphologique (ASTERS: 14-15). Elle mériterait d'être approfondie. Dans ce même document, l'évaluation de la valeur patrimoniale de la RNCM s'intéresse d'ailleurs presque exclusivement au patrimoine biologique (faune, flore, habitats), tandis que la biodiversité est évaluée qualitativement.

Par ailleurs la reconnaissance de la géodiversité est indirecte. La beauté des paysages de la RNCM résulte de leur diversité (ASTERS, 2004: 51). Celle ci s'explique par le grand étagement en altitude, la juxtaposition des terrains sédimentaires et cristallins et par l'utilisation de ce territoire par l'Homme. Ces critères sont liés à la géodiversité, l'étagement altitudinal résultant de la *géohistoire*, tandis qu'il est

responsable, au même titre que la diversité du substratum, de la multitude de minéraux, roches, formes et processus que l'on retrouve dans la RNCM. Enfin, l'activité humaine est également liée à la géodiversité puisque les terrains les plus pentus en dessous de 2000m permettent la sylviculture (paysage *fermé*) tandis que les zones planes et accessibles sont consacrées au pastoralisme (paysage *ouvert*). La géodiversité est donc le support de la diversité du paysage et de la biodiversité de la RNCM.

Le géopatrimoine et la géodiversité de la RNCM souffrent donc d'un manque de connaissance et de reconnaissance de la part des gestionnaires, par rapport notamment au patrimoine biologique et à la biodiversité. Cette recherche se propose donc d'approfondir la connaissance sur le patrimoine géomorphologique de la RNCM.



# Partie II. Géomorphologie

## 5. Géomorphologie

### 5.1. Introduction

Ce chapitre porte sur l'étude de la géomorphologie actuelle de la RNCM. Cette étude est basée sur la carte géomorphologique numérisée au 1: 50 000 que nous avons produite à partir de nos levés de terrain, de nos cartes dessinées au 1: 25 000 (voir annexe) et des documents dont nous disposons. Le processus de numérisation de la carte (contraintes techniques), le changement d'échelle et de nouvelles analyses portées sur la géomorphologie ont induit quelques différences entre les cartes dessinées et la carte numérisée. Celle-ci, bien que moins précise en raison de l'échelle, est notre interprétation géomorphologique la plus aboutie (notamment pour la distribution et la délimitation des formes glaciaires et périglaciaires). Elle a donc servi de base à toutes les analyses produites dans ce chapitre. Le passage de l'échelle 1: 25 000 à 1: 50 000 nous a contraint à ne pas relever certaines des formes les plus petites (inférieures à la dizaine de mètres, par exemple certaines dolines, des loupes de gelifluxion, un bloc laboureur, etc.). Pour plus de détails, il faut se reporter aux cartes dessinées (voir annexe).

La RNCM s'insère dans le contexte topographique, climatique et géologique du Val Montjoie (voir 4.1., 4.2. et 4.3.). Sa géomorphologie dépend donc de ce contexte particulier et sa morphogenèse est intimement liée à celle de l'ensemble de la vallée. Aussi, avant de présenter notre analyse de la géomorphologie de la RNCM, il nous paraît pertinent d'introduire brièvement les caractéristiques du relief du Val Montjoie.

### 5.2. La géomorphologie du Val Montjoie

L'écoulement du Bon Nant à la sortie de la RNCM (après les premiers 6km) est tantôt adapté, tantôt inadapté à la structure géologique. En effet, celui-ci s'écoule dans un synclinal entre la Gorge et le Cugnon, après avoir franchi une cluse aux gorges de la Téma (incision de part en part de l'anticlinal de la Saint Chapel, voir Epard, 1990) et avant d'éroder obliquement un autre anticlinal cristallin (massif AR-BE) au Cugnon (voir la figure 5.1). Le Bon Nant s'écoule ensuite dans la faille du Prarion (prolongement méridional du *synclinal de Chamonix* (Gidon, 2010)) pour atteindre La Villette. Enfin, jusqu'à son débouché dans la vallée de l'Arve dans le bassin de Sallanches, le lit de la rivière recoupe les structures géologiques (cluse du Bionnay), s'insérant dans une dépression axiale du massif cristallin externe AR-BE. Les glaciers ont joué un rôle important dans l'incision du fond de la vallée actuelle. De ce fait, les différentes cluses traversées par le Bon Nant ne se traduisent pas par un resserrement perceptible du fond de la vallée, mis à part à La Villette. L'écoulement actuel du Bon Nant est donc partiellement d'origine structurale, puisque si celui-ci est parfois guidé par les structures géologiques et l'érosion différentielle de roches, il est parfois inadapté.



Figure 5.1: La haute vallée du Bon Nant depuis les Rosières des Prés au début de l'automne. Le Bon Nant incise les structures géologiques dans la gorge que l'on devine au premier plan avant de s'écouler dans un synclinal jusqu'au Cugnon (constructions). La vallée a une morphologie encore passablement héritée de l'érosion glaciaire dans la partie haute (auge mais rééquilibrage des versants). Les principaux sommets à droite sont Tête Noire (dans la Forêt), puis la Grande Roche de Tré la Tête, l'Aiguille d'Armancette, les Dômes de Miage et l'Aiguille de Bionnassay.

La présence du MMB en rive droite de la vallée (au même titre que pour la vallée de Chamonix avec le MMB en rive gauche) a profondément influencé la morphologie actuelle de la vallée du Bon Nant. Si du grand système glaciaire qui recouvrait une grande partie de la vallée au LGM (voir 6.2.), il ne subsiste aujourd'hui que des glaciers de vallée (Bionnassay, Miage et Tré la Tête), des glaciers de cirque et de paroi (voir la figure 5.2), «remontés» dans le haut des versants et dans les vallées secondaires de la rive droite, de nombreuses formes sont héritées de cette histoire glaciaire. L'érosion glaciaire s'est traduite par un creusement différencié des vallées. Les glaciers principaux, plus puissants (largeur, épaisseur), ont en effet érodé davantage les fonds de vallée que les glaciers secondaires plus «modestes». Il en résulte une morphologie hiérarchisée entre la vallée principale et les vallées suspendues. Une gorge de raccordement épigénétique, conséquence de l'érosion régressive (sous-glaciaire et post-glaciaire), relie actuellement ces vallées surélevées à la vallée principale. Ainsi, la vallée du Bon Nant domine la plaine de l'Arve de 200m (gorge des thermes de Saint-Gervais), étant elle-même dominée par les vallons ou combes de Bionnassay (200m, gorge du Bionnay), de Miage (500 m, gorge de la Gruyaz), d'Armancette (350m, gorge du Cugnon) et du haut Val Montjoie (150 m, à Notre Dame de la Gorge). On ne retrouve pas cette morphologie glaciaire typique en rive gauche de la vallée. Les vallons secondaires y sont peu nombreux, de plus petite taille, tandis que la lithologie largement dominée par les schistes se traduit par un important ravinement fluvial postglaciaire et des glissements de terrain fréquents.



Figure 5.2: L'Aiguille de Bionnassay (4052m) et l'Aiguille de Tricot (3665m) depuis une antécime du Monthieu. L'érosion glaciaire de ces *horns* est typique, découpant les grandes faces rocheuses en cirques glaciaires. Le glacier de Tricot prend naissance dans ce cirque orienté O. Sa langue est aujourd'hui partiellement recouverte d'une couverture morainique. Le grand vallum morainique en aval est holocène (voir 5.3.2.2.).

Les formes glaciaires (dépôt et érosion) de la vallée du Bon Nant sont cependant relativement peu nombreuses, en raison de la remobilisation et de l'érosion postglaciaires. Les cônes de déjection polygéniques de la rive droite (ILa Gruvaz et Le Cugnon) ont une origine à la fois fluvioglaciaire et fluviale. Les cordons morainiques et les terrasses de kame sont de petite taille et assez peu nombreux (Dorthe-Monachon, 1986 et Wetter, 1987) tandis que des trimelines du LGM sont identifiées à plus de 2300 m au Monthieu et à la Grande Roche de Tré la Tête (Coutterand et Buoncristiani, 2006). D'un point de vue général, les gneiss du sud du MMB subissent davantage l'érosion glaciaire que les granites du nord du MMB (Chardonnet, 1938) mais ils résistent relativement bien aux processus atmosphériques. Il en découle un modelé glaciaire important et bien conservé que l'on ne retrouve pas dans les autres lithologies de la vallée (voir la figure 5.3). Enfin, le delta du Fayet (coupe de *topset beds* et de *foreset beds* mis en évidence par l'incision de la gorge de raccordement) témoigne de la formation de lacs d'obturation du Bon Nant par le barrage de la vallée par le glacier de l'Arve au milieu du Tardiglaciaire (stade du Fayet d'en Haut et du Milieu, d'après Coutterand et Nicoud, 2005).

À l'Holocène, les glaciers se sont retirés dans les vallées secondaires de la rive droite ayant une influence morphogénétique moins importante. Cependant, des événements comme les nombreuses laves torrentielles survenues (par exemple à Armancette en 2005) ou la rupture d'une poche d'eau intraglaciaire de 100 000 m<sup>3</sup> à Tête Rousse en 1892 (elle a détruit les thermes et tué 175 personnes, voir par exemple Vivian, 2005 ou Amelot et Coutterand, 2006; à noter qu'une nouvelle poche d'eau de 65 000 m<sup>3</sup> s'est à nouveau formée dans le glacier Tête Rousse comme le confirment des mesures effectuées en juillet 2010; des travaux de vidange seront entrepris fin août 2010) et témoignent des aléas permanents qui touchent les glaciers et les moraines de la vallée).

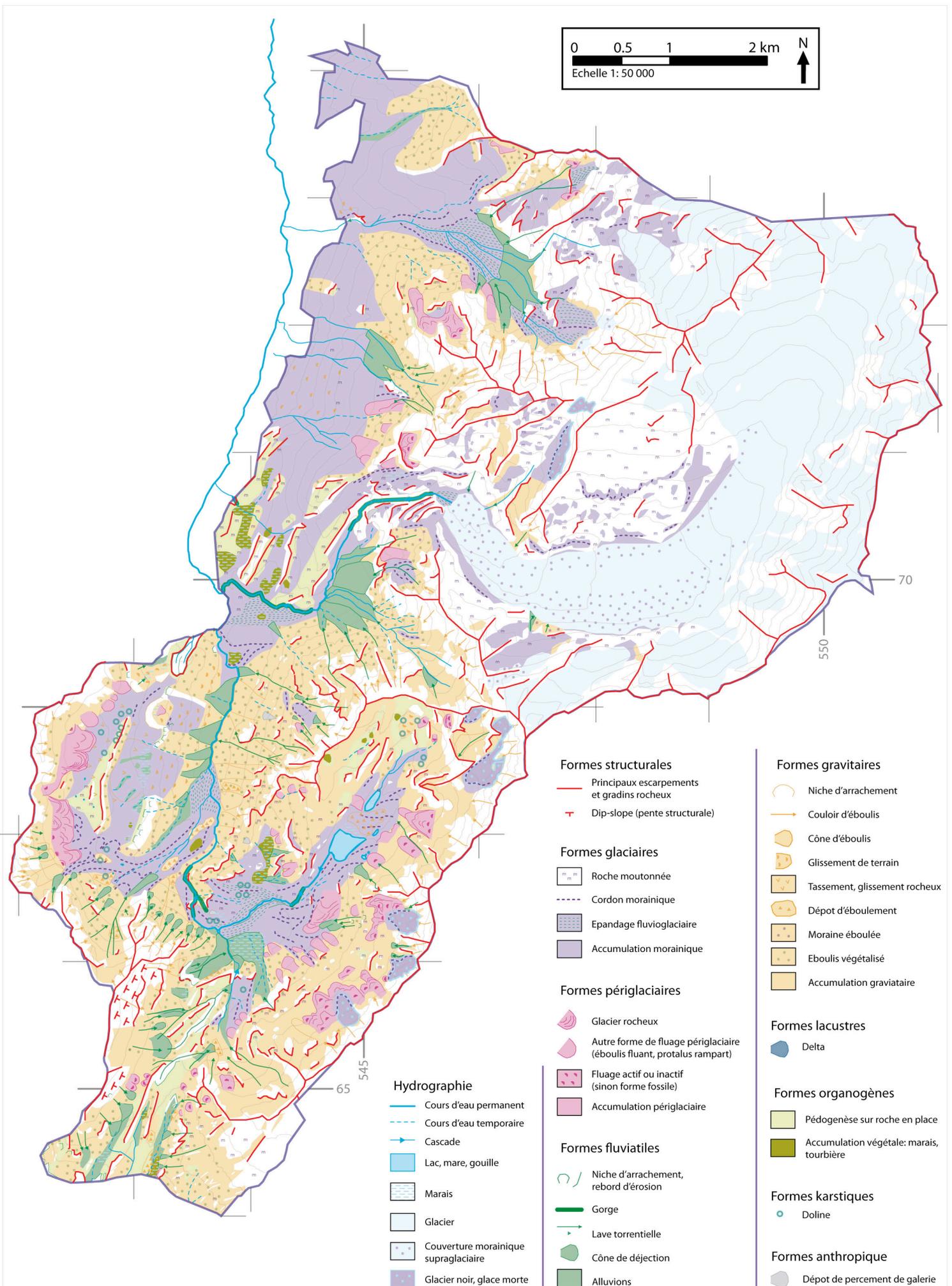
Le fond de la vallée est occupé par de nombreux cônes de déjection principalement d'origine fluviale. De plus, le rééquilibrage postglaciaire des versants (éboulis, mouvements de terrains superficiels et profonds) de part et d'autre du Bon Nant, se traduit par un adoucissement des pentes vers le fond de la vallée. Il en résulte un profil transversal de la vallée principalement en V. La largeur du fond de la vallée n'est jamais supérieure à 1 km et le Bon Nant s'écoule très souvent dans une gorge, incisant le matériel meuble et la roche en place. Le remplissage alluvionnaire et l'érosion postglaciaire se traduisent par un rééquilibrage du profil en long du Bon Nant et la pente régulière ne s'apparente pas à la morphologie glaciaire typique de verrous et d'ombilics.

Enfin, pour finir ce rapide tour d'horizon de la géomorphologie du Val Montjoie, si les processus glaciaires, gravitaires et fluviaux, typiques de la géomorphologie alpine, sont dominants, le processus périglaciaire est relativement peu développé (le glacier rocheux fossile du Truc est tout de même le plus grand du versant occidental du MMB). Cela s'explique par l'importance des précipitations dans la vallée (position de barrage pour les perturbations atlantiques) qui s'est traduit depuis le LGM par le développement de systèmes glaciaires au détriment des formes périglaciaires que l'on retrouve abondamment dans des secteurs d'abri (par exemple le Valais ou la Maurienne).

### 5.3. La cartographie géomorphologique

#### 5.3.1. Carte géomorphologique au 1 : 50 000

La carte géomorphologique de la RNCM au 1 : 50 000 réalisée d'après la légende de l'IGUL est l'objet de cette partie. La superficie de la réserve (55 km<sup>2</sup>) nous a contraint à produire une carte d'échelle relativement petite. Aussi, toutes les formes relevées lors de la campagne de terrain ou présentes dans la légende de l'IGUL n'ont pas été retranscrites sur la carte numérisée et des ajustements ont dû être apportés à la légende en raison des contraintes d'échelle et techniques. Certaines formes figurent uniquement dans les cartes complémentaires de la notice explicative. Cette notice, essentiellement descriptive, est réalisée par processus. La morphogenèse est parfois introduite mais il faut se rapporter au chapitre 6 pour davantage de développements. Certaines formes cartographiées laissent peu de doute quant à leur formation (par exemple, les moraines de la Balme et de Pré Derrière-la Giettaz, éboulis des Jovet, etc.). Par contre, d'autres formes ont été dessinées selon nos interprétations et nos hypothèses. Celles-ci sont fondées sur nos observations, nos connaissances et les documents dont nous disposons. Elles sont donc sujettes à discussion (nous essaierons toujours d'argumenter nos interprétations dans la notice) et des mesures complémentaires de terrain (prospection géophysique) pourraient confirmer ou réfuter ces interprétations (notamment au sujet de la répartition et de la délimitation des formes glaciaires et périglaciaires).



Carte 6. Géomorphologie de la RNCM

### 5.3.2. Notice explicative

Conformément à la méthode de cartographie géomorphologique de l'IGUL, les formes ont été relevées et dessinées par processus morphogénétique. Cette notice explicative est donc organisée par la description et l'analyse des formes selon le processus d'origine. Cependant, certaines formes sont polygéniques (plusieurs processus participent à leur formation, comme par exemple pour une cône de déjection gravitaire et fluviale) ou se succèdent dans le temps (par exemple un éboulis recouvrant une moraine). Ces formes ont été cartographiées en fonction du processus dominant ou du plus récent mais nous reviendrons sur leur complexité dans cette notice. L'ordre des processus abordés dans cette notice est dicté par l'ancienneté et l'importance de ces processus dans la formation du relief de la RNCM. Cependant, comme le montre par exemple le chapitre 6, les processus agissent souvent en interaction ou simultanément, et l'histoire morphogénétique est propre à chaque secteur. L'ordre retenu dans cette notice est donc indicatif.

#### 5.3.2.1. Formes structurales

Les formes structurales ne sont pas représentées sur la carte géomorphologique au 1: 50 000, mis à part les principaux escarpements rocheux et les dalles en *dip slope* de l'Aiguille de la Pennaz.

Ces escarpements rocheux varient de quelques mètres à quelques centaines de mètres de hauteur et correspondent à des secteurs où la roche en place affleure. Ces secteurs d'érosion sont bien souvent dépourvus de sol et de végétation. On retrouve des affleurements rocheux partout dans la RNCM, mais ils occupent préférentiellement le haut des versants et les secteurs les plus raides (tous les secteurs où la présence de sol et de couverture sédimentaire est moins fréquente et les processus d'altération (principalement la gélifraction dans cet environnement de haute montagne) sont plus actifs). L'orientation des escarpements, majoritairement SO-NE est la conséquence de la structure géologique (voir 4.3.). Ces escarpements correspondant souvent à des couches géologiques de forte résistance à l'érosion, leur affleurement résultant essentiellement de l'érosion différentielle (érosion des couches les moins résistantes et des zones de faiblesse géologique (failles, diaclases, charnières anticlinales)). Aussi, les sommets topographiques actuels correspondent-ils fréquemment à des couches résistantes (calcaires massifs de la Pennaz et des Roches Franches, gneiss de Roselette, la Cicle et des sommets du MMB). Dans ce prolongement, il nous semble que les grands sommets du MMB que l'on retrouve dans la réserve, sont des crêtes, sommets d'anticlinaux cristallins largement érodés. Cependant, nous n'avons relevé (voir la carte 7) que les anticlinaux du Mont Tondu et des Mont Jovet, n'ayant pas pu prouver que les lignes de crête de Tré la Tête - les Glaciers et de Miage - Bérangère étaient également des anticlinaux.

Les pentes SE de l'Aiguille de la Pennaz sont coiffées de deux grandes dalles de calcaires clairs et massifs du Malm (Gidon, 2010). Le pendage de ces couches (environ 35° vers le SE (Mennessier, 1976)) correspond à celui de la pente topographique, caractérisant une morphologie en *dip-slope* (ou pentes structurales). L'érosion de ces dalles résulte principalement du glissement couche sur couche.

Les principaux traits géologiques structuraux représentés sur la carte 7 influencent fortement la géomorphologie de la RNCM (voir la figure 5.3), bien que nous n'ayons pas reporté davantage de formes sur la carte géomorphologique (pour ne pas la surcharger). Le relief plissé et faillé, orienté SO-NE explique en grande partie les formes macrogéomorphologiques - vallées s'insérant dans les synclinaux et les failles (voir 5.3.2.2.); surélévation du MMB (massif du MBI selon Epard, 1990) par rapport aux autres massifs (unités autochtones et allochtones) - de la RNCM. Les failles (voir la figure 5.4) et les plis sont probablement beaucoup plus nombreux que ceux relevés.

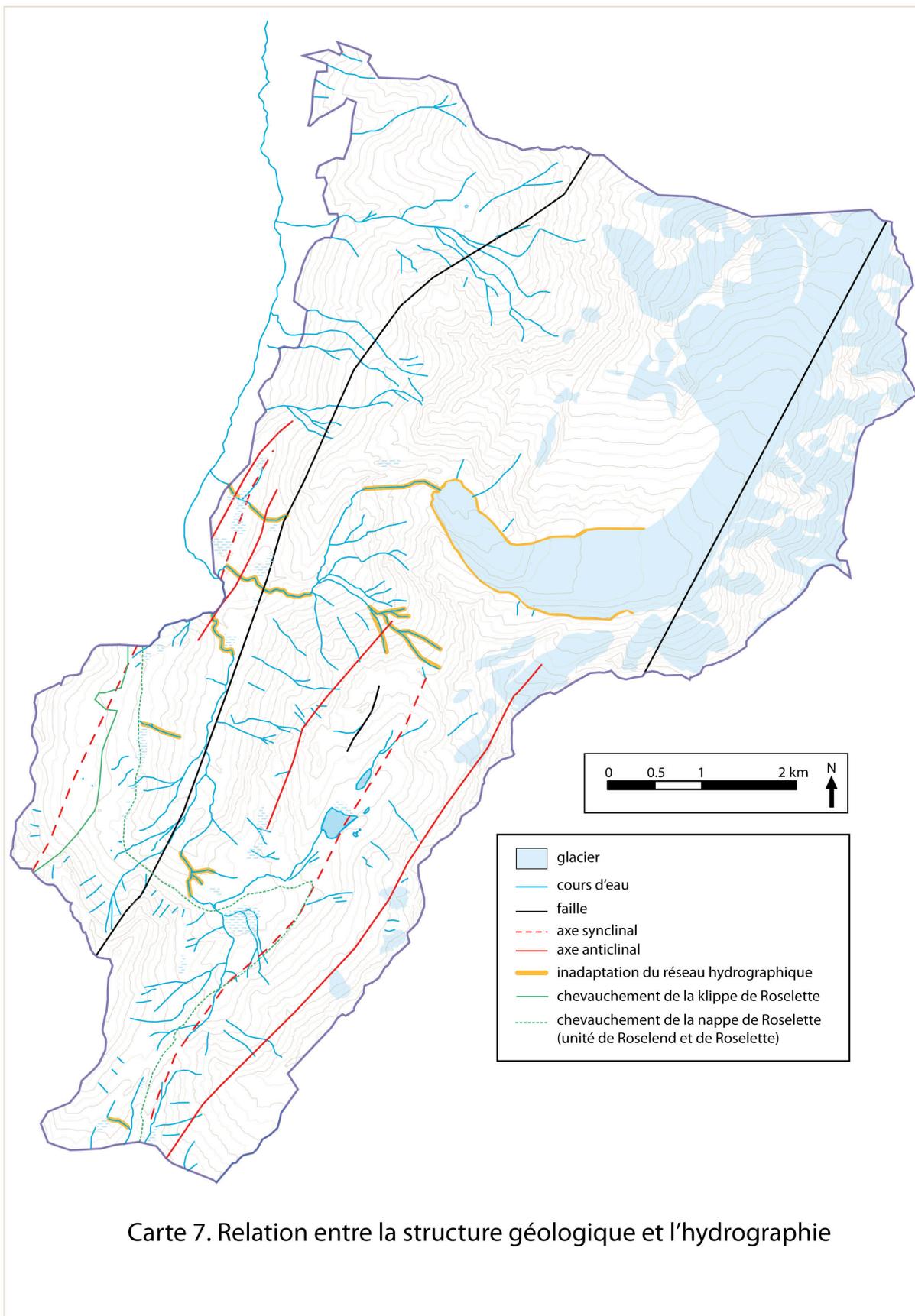




Figure 5.3 : Un axe synclinal place le col du Bonhomme dans le prolongement SO des lacs Jovet. Ce synclinal est composé en grande partie de roches triasiques facilement érodables (elles subissent des processus de dissolution et des mouvements de terrain au premier plan). Elles contrastent avec les roches plus résistantes (gneiss aux Jovet (escarpements au premier plan à droite), dans la terminaison de MMB (à gauche) et les calcaires massifs de la Pennaz (sommet à droite dont on devine les dalles en *dip-slope*). De la même façon, le Rocher du Bonhomme et ses *grès singuliers* apparaît au loin en raison de l'érosion différentielle. Enfin, le col du Bonhomme marque également la limite E du chevauchement de la nappe de Roselette.

Le chevauchement du MMB et de sa couverture sédimentaire par la nappe de Roselette est une autre macroforme structurale. Provenant du versant savoyard, cette nappe passe par dessus la terminaison S du MMB. Aujourd'hui, le contact de l'unité de Roselette avec ses racines est érodé ce qui en fait une klippe.



Figure 5.4: Faille des Mont Jovet orientée NNE-SSW. Le miroir de faille est un escarpement d'environ 5m de hauteur. Au loin, la Tête de l'Enclave a été dégagée par l'érosion différentielle.

### 5.3.2.2. Hydrographie

(voir également 4.1.2.)

Le réseau hydrographique de la RNCM est complexe en raison de la délimitation de cette aire protégée (délimitation autant administrative que topographique qui n'englobe pas la vallée principale au NO de la Téna, alors que quelques pentes faisant partie du bassin hydrographique du Doron sont intégrées) et de la diversité de ses composantes (cours d'eau permanents et temporaires, glaciers blancs et glaciers noirs, lacs et secteurs marécageux).

Le réseau hydrographique est organisé autour du Bon Nant et de ses principaux affluents. La forme de ce réseau est, à petite échelle, parfois semi dendritique à parallèle (voir la carte 7). Cette morphologie dendritique (arborisation, ramification) est la conséquence de l'homogénéité de la lithologie (schistes dans le secteur du Bonhomme et gneiss à la Combe du Chaborgne et d'Armancette). La tendance au parallélisme de ces petits réseaux s'explique par la pente qui oriente les talwegs. À l'inverse, d'autres secteurs (Tré la Tête - Combe Blanche, Plan Jovet) ou plus largement l'ensemble du réseau hydrographique de la RNCM, la morphologie a une forme en treillis (ou en baïonnette) résultant des ruptures structurales de ce relief plissé et faillé (voir la figure 5.5). Ainsi, les cours d'eau et les glaciers s'écoulent principalement de manière adaptée aux structures géologiques (dans des dépressions synclinales, parallèlement à l'axe de plissement, dans les lignes de failles et sur les pentes des anticlinaux, perpendiculairement à l'axe de plissements). Des inadaptations et l'incision de part en part des anticlinaux (la Cascade de la Balme, aval du front du glacier de Tré la Tête, Combe Blanche, la Laya, etc.) donnent des thalwegs orientés SE-NO (voir la carte 7). La résistance de ces lithologies incisées par ces cluses se traduit bien souvent par la formation de gorges.

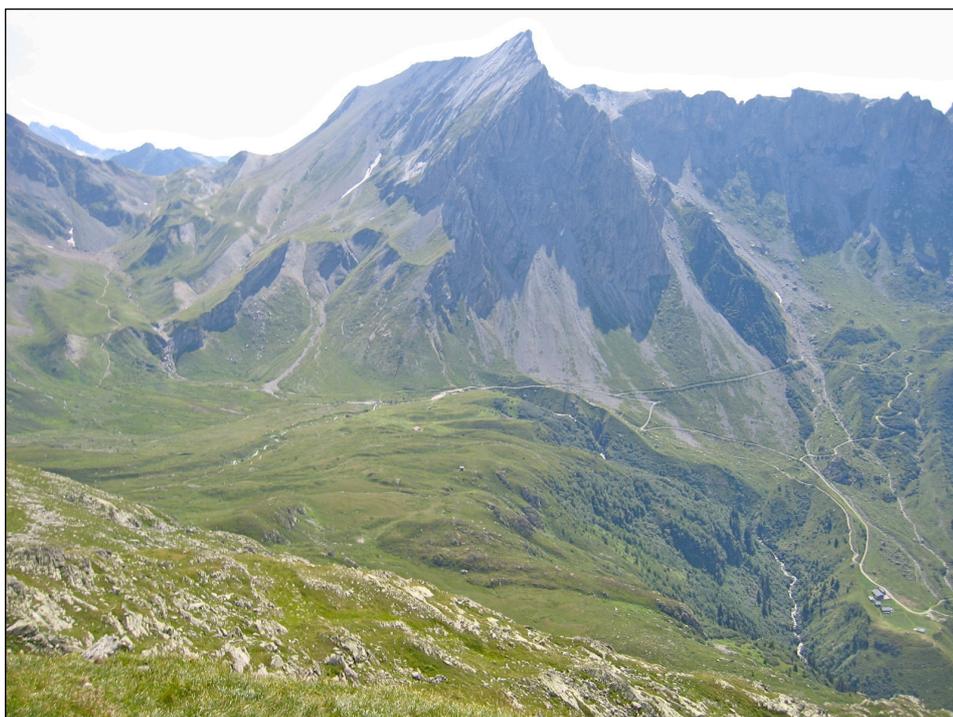


Figure 5.5: Le réseau hydrographique est adapté à la structure géologique dans le secteur de Plan Jovet (écoulement dans le synclinal passant dans le secteur plat à gauche) et de la Balme (écoulement contre la moraine, parallèlement à la faille de la Combe Noire). À l'inverse, le torrent du Bonhomme recoupant les barres calcaires (en haut à gauche) et le Bon Nant incise le prolongement de l'anticlinal des Jovet dans les gorges de la Balme (au centre).

Comme le fait remarquer Chardonnet (1938), le réseau hydrographique actuel du Bon Nant laisse présager d'éventuelles anciennes captures. Le glacier de Tré la Tête, par son tracé actuel en équerre, semble par exemple résulter de deux captures. La faille de Tré la Tête peut être prolongée en direction du NE vers le col de Bionnassay, et du SO par le secteur des Lanchettes (Gidon, 2010). Il paraîtrait ainsi qu'une ancienne vallée suivait cette faille, s'écoulant du col de Bionnassay vers la vallée des Glaciers. Les systèmes glaciaires du Miage (italien) et de Tré la Petite (vallée du Bon Nant) auraient

ainsi capturé respectivement la partie amont et la partie centrale de ce bassin versant. Ces captures, découlant probablement de recul de tête, expliqueraient les virements brusques de ces vallées glaciaires (coude de capture). Une autre hypothèse peut être formulée dans le vallon synclinal des Jovet-Col du Bonhomme. L'écoulement actuel du Bon Nant vers le N résulte-t'il également d'une capture au détriment d'un écoulement antérieur vers le Beaufortin? Nous ne disposons pas d'informations pouvant infirmer ou confirmer cette hypothèse.

L'importante extension verticale de la RNCM induit des pentes relativement fortes. Aussi, les tracés des cours d'eau sont-ils majoritairement rectilignes, parfois sinueux dans les pentes moins prononcées. La morphologie actuelle de l'ancienne plaine d'épandage fluvio-glaciaire (provenant du vallon des Jovet) et du cône de déjection fluviatile (provenant du vallon du Bonhomme) à Plan Jovet, témoignent de cours d'eau au tracé tressé. En effet, les nombreux anciens chenaux montrent la mobilité et la dynamique importante de ces cours d'eau, conséquentes de l'adoucissement de la pente, des variations de débit et des grands volumes de sédiments mobilisés. À ce propos, le Bon Nant dessine actuellement quelques tresses dans le replat de la Rollaz.

Il nous a été impossible d'estimer précisément la part de l'écoulement souterrain par rapport à l'écoulement de surface. L'écoulement souterrain semble cependant peu important dans la RNCM en raison de la forte domination des roches imperméables en surface (quelques évaporites et roches calcaires présentent tout de même des formes d'infiltration karstique, voir la figure 5.6 et 5.3.2.8.). De plus, les sources et résurgences sont assez rares dans les versants et les vallées. L'écoulement semble donc essentiellement superficiel bien que le réseau hydrographique soit hérité de conditions climatiques permettant un écoulement plus important (par exemple, les derniers stades tardiglaciaires avec la présence de glaciers dans le haut de nombreux versants). En effet, le réseau hydrographique est quelque peu contracté et des vallons comme celui du Covagnet ne sont plus que parcourus par des cours d'eau temporaires (bien que le cône de déjection fluviatile qui en résulte, sur lequel est construit le coeur du village des Contamines-Montjoie (voir la figure 1.25), en dehors de la réserve, soit de taille importante).



Figure 5.6: L'infiltration des eaux dans une doline résultant de la dissolution des roches triasiques sous-jacentes. Au second plan, le lac Jovet supérieur n'a pas d'émissaire et son eau s'infiltré vers le lac Jovet inférieur et le vallon de la Rollaz (voir 4.1.2.).

Les glaciers occupent actuellement environ une superficie de 10,8 km<sup>2</sup> dans la RNCM, soit l'équivalent de 20% de sa surface. La vingtaine de glaciers est répartie dans les trois bassins glaciaires (Armançette, Tré la Tête et le haut vallon des Jovet), les autres secteurs étant déglacés. La figure 5.7 donne une indication de la distribution glaciaire régionale dans le MMB tandis que les tableaux 5.8 et 5.9 mettent en lumière les principales caractéristiques de ces bassins glaciaires et de ces glaciers.

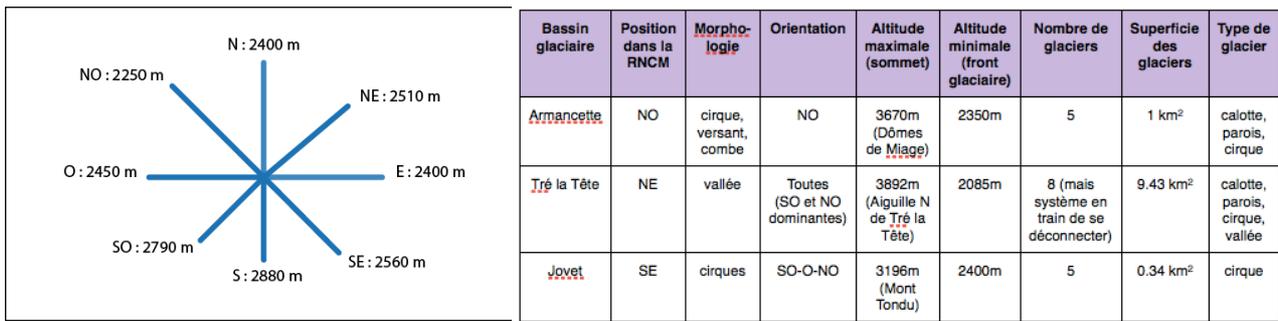


Figure 5.7: Altitude moyenne des fronts des glaciers dans le massif du Mont-Blanc selon l'exposition, modifié d'après Vivian, 1972 (ces altitudes ont évidemment évolué et sont remontées depuis mais l'indication est intéressante) et Tableau 5.8: Principales caractéristiques des bassins glaciaires de la RNCM

Glaciers	altitude max	altitude min	dénivellation	longueur (m)	pente moyenne (%)	surface (km2)	orientation	typologie	Parois d'alimentation	couverture	dynamique
<b>Bassin d'Armancette</b>											
Glacier de Covagnet (dans la RNCM)	3670	2800	870	1450	60	0.3	O-NO	calotte glaciaire/ glacier suspendu	non	non	oui
Glacier d'Armancette	3670	2700	970	1850	52.43243	0.65	O-NO	calotte glaciaire/ glacier suspendu	non	non	oui
Glacier de la Combe d'Armancette 1	2650	2500	150	220	68.18182	0.02	O	glacier de cirque/ régénéré/ névé	oui	80% éboulis-moraine	non ou faible
Glacier de la Combe d'Armancette 2	2500	2350	150	200	75	0.02	O-NO	glacier de cirque/ régénéré/ névé	oui	80% éboulis-moraine	non ou faible
Glacier NO de la Bérangère	2800	2580	220	300	73.33333	0.01	NO	glacier de parois	oui petite	non	non ou faible
					<b>Surface totale:</b>	<b>1</b>					
<b>Bassin de Tré la Tête</b>											
Glacier de Tré la Tête	3892	2085	1807	6900	26.18841	8.3	SE-S-SO-O-NO	glacier de vallée/ complexe glaciaire	oui	20% moraine-éboulis	oui
Glacier de Tré la Grande Sommet	3030	2850	180	300	60	0.02	O	glacier de cirque	oui petite	?	non ou faible
Glacier de Tré la Grande Combe	2780	2600	180	100	180	0.04	O	glacier de cirque	oui	100% enterré sous M-E	non ou faible
Glacier SO de la Bérangère	3350	3050	300	750	40	0.15	SO	glacier de cirque/ de parois	oui petite	non	faible
Glacier des Lanchettes	3080	2600	480	650	73.84615	0.41	N-NO	glacier de cirque/ de parois	oui	non	oui
Glacier Nord du Mont Tondu	3100	2640	460	1200	38.33333	0.37	NE	glacier de cirque/ de parois	oui	non	oui
Glacier de la Pyramide Chaplan	3030	2930	100	300	33.33333	0.06	N	glacier de cirque/ de parois	oui petite	non	faible
Glacier des Chasseurs, de la Pallisade	2880	2650	230	200	115	0.08	NO-N-NE	glacier de paroi/ suspendu/ régénéré	oui	30% éboulis-moraine	faible
					<b>Surface totale:</b>	<b>9.43</b>					
<b>Bassin des Jovet</b>											
Glacier Ouest du Pain de Sucre	2770	2680	90	180	50	0.02	O-SO	glacier de cirque	oui petite	100% enterré sous M-E	non ou faible
Glacier Ouest du Mont Tondu	2900	2610	290	450	64.44444	0.12	O SO	glacier de cirque/ de parois	oui	100% enterré sous M-E	non ou faible
Glacier de l'Enclave	2680	2500	180	320	56.25	0.07	O	glacier de cirque	oui	100% enterré sous M-E	non ou faible
Glacier de Bellaval	2650	2520	130	240	54.16667	0.05	O NO	glacier de cirque	oui	100% enterré sous M-E	non ou faible
Glacier des Rebanets Chassots	2600	2400	200	320	62.5	0.08	NO	glacier de cirque	oui	100% enterré sous M-E	non ou faible
					<b>Surface totale:</b>	<b>0.34</b>					

Tableau 5.9: Principales caractéristiques des glaciers de la RNCM

La présence glaciaire est donc relativement importante dans la réserve. Elle résulte de conditions topographiques (altitude, orientation, relief) et climatiques (température et précipitations) favorables. L'englacement du MMB et en particulier de son versant O est ainsi exceptionnel dans les Alpes, conséquence de l'altitude mais surtout de sa position privilégiée par rapport aux perturbations océaniques provenant de l'O. Celles-ci se déchargent en effet abondamment sur ce premier grand obstacle, l'altitude se traduisant par des chutes de neige importantes. De ce fait, les sommets, les cirques et les vallées les plus élevés sont les lieux d'une importante cryogénèse, la glace s'écoulant ensuite vers les vallées. Cependant, malgré ces conditions favorables, les glaciers de la RNCM, dans leur morphologie actuelle, sont des formes héritées et en déséquilibre dynamique. En effet, les glaciers comme les formes de fluage périglaciaire (voir Lambiel, 2006) ont une inertie dynamique par rapport à l'évolution des conditions climatiques (voir exemple Schoeneich et De Jong, 2008). Bien que leur volume (surface, épaisseur) se réduise actuellement partout dans les Alpes comme conséquence du réchauffement climatique, les systèmes glaciaires sont encore largement hérités des conditions climatiques du Petit Âge Glaciaire (PAG, récurrence glaciaire holocène traduisant une période de faible refroidissement (-1°C en moyenne) et une hausse des précipitations (+25% des chutes de neiges hivernales selon le LGGE et l'ETHZ repris par Coutterand dans Amelot et al., 2008) entre environ 1550 et 1850).

Aussi, tous les glaciers de la RNCM sont-ils en déséquilibre et, en dépit de quelques petites réavancées au 20ème siècle (le glacier de Tré la Tête entre 1900 et 2000 a perdu plus de 1000 m de longueur mais il a aussi progressé de 100 m dans les années 20 et au début des années 1980, voir CSRN (non daté b)), ont constamment reculé depuis la fin du PAG. Depuis 30 ans, la fonte glaciaire s'est accélérée et le bilan de masse annuel (bilan hydrologique fonction de l'accumulation et de l'ablation glaciaire) est négatif, ce qui se traduit par une remontée constante de la ligne d'équilibre glaciaire.

Chacun des systèmes glaciaires de la réserve a des caractéristiques (orientation, altitude, topographie, couverture supraglaciaire) et donc une dynamique particulière. De ce fait, il réagit individuellement (sauf pour le complexe glaciaire de Tré la Tête ou les systèmes glaciers suspendus/régénérés d'Armancette) et différemment au contexte de réchauffement climatique. Tenant compte de cette spécificité dynamique individuelle, nous avons cependant observé, par comparaison de cartes et de photographies aériennes, que tous ces glaciers subissent une perte de volume, se traduisant bien souvent par un recul du front. À titre d'exemple, le glacier des Lanchettes s'est déconnecté du complexe de Tré la Tête pendant les années 2000. La campagne de terrain a également mis en lumière des signes de déséquilibre et de fonte sur chaque glacier observé (voir les figures 5.10 et 5.11 : apparition de secteurs rocheux et déconnexion des glaciers dans le bassin de Tré la Tête et d'Armancette, enfouissement des glaciers régénérés d'Armancette, contrepentes internes et rides superficielles dans les glaciers enterrés des Jovet, secteur proglaciaire récemment déglacés, etc.).



Figure 5.10: Apparition de roches moutonnées à la suite de la déconnexion du glacier des Lanchettes avec le glacier de Tré la Tête. Figure 5.11: Enfouissement du glacier enterré de l'Enclave (à gauche) en dessous du niveau de sa moraine latérale (au centre)

Les systèmes glaciaires de la RNCM sont divers puisqu'ils vont du grand système de type alpin typique, le glacier de Tré la Tête, à des formes plus petites et complètement enterrées, les glaciers des Jovet. Nous allons les présenter brièvement par bassin glaciaire.

Le glacier de Tré la Tête est un glacier de vallée, confiné dans une auge qu'il a incisée. En perte de volume et de longueur, il occupe actuellement le fond de cette auge dont les flancs sont, dans sa partie inférieure, recouverts par des moraines latérales historiques (PAG), qui subissent un rééquilibrage gravitaire (voir la figure 5.12). On retrouve des traces de ces moraines jusque sous la Pointe de Conscrits à environ 2850m d'altitude. Son front est une langue de glace qui s'amincit. Elle se termine à près de 2085m par un portail glaciaire d'où jaillit l'émissaire du glacier. Les lames de glace qui forment ce portail laissent apparaître du matériel fin (argile, limon) et du matériel plus grossier. La position actuelle du front, à une centaine de mètres en amont du verrou de Tré la Tête, permet le développement depuis quelques années, d'un petit sandur (plaine d'épandage fluvioglaciaire) où l'émissaire est tressé en raison des variations de débit et de la charge sédimentaire importante (voir la figure 5.13). Cet émissaire remobilise également les dépôts de la moraine d'ablation. Le complexe glaciaire de Tré la Tête relie de nombreux glaciers de cirque, de paroi et suspendus de la partie N du bassin au glacier de vallée. Ces glaciers prennent naissance à des altitudes importantes (au dessus de 3300m) et alimentent le glacier de vallée. À l'inverse, les glaciers de cirques et de parois de la partie S du bassin sont déconnectés du glacier principal (glaciers de la Bérangère, glaciers de Tré la Grande, glacier des Lanchettes, glaciers du secteur du Mont Tondu). Le système glaciaire de Tré la Tête est polythermique. Les racines froides (les secteurs élevés, collés aux parois abruptes du N du bassin) à la dynamique faible (température de la glace en dessous du point de fusion) s'opposent à la langue tempérée et dynamique (température de la glace proche du point de fusion, probable présence d'un film d'eau sous glaciaire). À ce titre, selon Vivian (2005), la langue glaciaire, d'une épaisseur de 100m, a une vitesse maximale d'environ 150m/an. Tout comme la Mer de Glace, le glacier de Bionnassay ou encore du Miage, le glacier de Tré la Tête est un glacier noir dans sa partie aval, à partir des séracs de Tré la Grande (voir la figure 5.12). Cette importante couverture morainique superficielle s'explique par la gélifraction des parois qui le dominent (voir par exemple Deline, 1998, 1999a, 1999b, 2003, 2008, ou encore Mazué et al., 2009, pour la description de différents et de nombreux processus liés à la cryoclastie dans le Sud du MMB, versant Italien), le rééquilibrage gravitaire des moraines historiques ainsi que par la remontée du matériel morainique intraglaciaire et sous glaciaire dans les lames de glace de la zone d'ablation. Le bilan de masse négatif du glacier (le glacier fond plus vite que la glace n'avance d'où le recul du front) se traduit par un affaiblissement de la dynamique et le glacier ne parvient plus à évacuer l'ensemble de sa charge sédimentaire. Cependant, cette couverture superficielle limite les effets du réchauffement climatique sur le glacier, isolant partiellement la glace des conditions atmosphériques (voir par exemple sur le glacier du Miage, Deline, 1999a et 1999b). La couverture superficielle diminue progressivement vers l'amont, bien que d'importantes moraines médianes, conséquentes de l'écoulement laminaire des glaces (coalescence de deux moraines latérales), sont visibles sur le glacier (surtout un rive gauche), prenant naissance à une altitude maximale d'environ 2750m (voir la figure 5.14). Les déformations du glacier, résultant de la topographie et de sa dynamique d'écoulement, se traduisent par des secteurs de crevasses (failles d'extension glaciaire, essentiellement marginales (provenant de la différence de vitesse entre le bord et le centre du glacier) et transversales (liées aux discontinuités topographiques) sur le glacier de Tré la Tête), de rimayes (entre les glaciers de paroi et le glacier principal) et de séracs (accélération avec rupture de pente, par exemple à Tré la Grande ou sur les Pentes N de l'Aiguille N de Tré la Tête). Enfin, lors de nos visites, nous n'avons pas relevé d'écoulements supraglaciaires ni de signes d'accumulation d'eau intra/sous-glaciaire.



Figure 5.12: La partie aval du glacier de Tré la Tête, glacier noir s'écoulant dans une auge et entre ses moraines historiques. La rupture de pente au bout de cette auge en rive droite correspond à la trimline de la Grande Roche de Tré la Grande à 2450m. Figure 5.13: Le portail glaciaire formé par des lames de glace et le petit sandur. Figure 5.14: La partie centrale du glacier et les moraines médianes

Les glaciers de la Combe d'Armançette sont moins nombreux et moins développés que ceux du bassin de Tré la Tête. Une partie des glaces de la calotte des Dômes de Miage s'écoule vers l'Ouest dans la Combe d'Armançette. Cette glace se divise en deux langues principales (glaciers de paroi), les glaciers d'Armançette et de Covagnet. Ces appareils sont les plus importants de la Combe, bien que le glacier de Covagnet s'oriente majoritairement vers le vallon de Miage. La présence en aval et entre ces deux glaciers de secteurs rocheux moutonnés et clairs traduit leur récente perte de volume. Le front actuel du glacier d'Armançette se situe d'ailleurs à plus de 600m de distance de sa moraine historique droite, encore bien préservée (voir la figure 5.15). Ces deux appareils se caractérisent par de nombreuses crevasses et séracs, dus à leur pente importante. Ils ne sont pas recouverts de moraines superficielles. Il est possible que les secteurs les plus hauts de ces glaciers aient un régime thermique froid (glace collée à des pentes très raides) mais il nous semble que ces complexes ont une dynamique dominante de glaciers tempérés et des vitesses d'écoulement non négligeables. Le versant rocheux abrupt qui domine la combe en dessous de l'Aiguille de la Bérangère montre également des signes d'un déglacement récent (roches claires, fraîcheur des importants dépôts morainiques du haut de la combe). Les données sur le tout petit glacier de paroi que nous avons relevées (voir le tableau 5.9) sont à prendre avec précaution car nous nous sommes basés sur les cartes IGN et les orthophotos mais nous n'avons pas pu recouper ces données avec les observations de terrain. Par contre, au pied de cette paroi, deux petits glaciers régénérés/névés permanents subsistent, malgré un recouvrement sédimentaire d'origine gravitaire en cours (voir la figure 5.16). Ces petits cônes glaciaires sont en train de disparaître. Leur altitude trop basse, en dessous de 2700m, empêche la cryogenèse tandis que les glaciers qui les alimentaient par des chutes de séracs n'existent plus. Ces formes se situent tout de même en dessous de couloirs d'avalanches qui les alimentent abondamment en neige. La dynamique de ces glaciers est actuellement nulle. L'état des appareils de ce versant témoigne du réchauffement subi et ces formes sont des lambeaux du glacier qui recouvrait la paroi rocheuse au PAG (voir le chapitre 6).



Figure 5.15: La Combe d'Armançette, au centre de la photo, plâtrée par les premières chutes de neige d'octobre: le glacier d'Armançette est la langue glaciaire qui s'écoule depuis les Dômes de Miage (sommets arrondie au centre à gauche), son front blanc contraste avec les secteur de rochers alentours tandis que sa moraine historique droite forme un arc sombre 250m plus bas ; au centre au premier plan, l'Aiguille de la Bérangère domine un versant rocheux dont la base est composée d'un glacier régénéré que l'on devine au milieu de la photo ; au fond, le Mont Blanc. Figure 5.16: L'Aiguille de la Bérangère, les deux glaciers régénérés de la Combe d'Armançette et les moraines historiques (couvertes de pelouse alpine) de ce glacier de versant.

Enfin, le vallon des Jovet abrite des glaciers complètement enterrés. Ces petits glaciers de cirque, à dynamique faible ou nulle (glacierets) et probablement dépourvus d'accumulation actuelle de glace (glace morte) sont les vestiges de petits appareils développées au cours du PAG. On retrouve également ce type de glacier dans le vallon à l'O de Tré la Grande dans le bassin de Tré la Tête. La qualification de ces formes d'accumulation sédimentaire en glacier dans ce travail est inédite et nous n'avons retrouvé de traces de ces glaciers dans aucun des documents et des cartes consultés (quand ces formes ne sont pas ignorées, elles sont interprétées comme des glaciers rocheux (par exemple par Wetter, 1987)). Aussi, la qualification de ces formes en glaciers enterrés est-elle pour l'instant une hypothèse que nous formulons, conséquente de nos interprétations, des relevés de terrain, d'excavations et de discussions avec des géomorphologues de l'IGUL (Emmanuel Reynard, Christophe Lambiel et Cristian Scapozza). Seule une campagne de géophysique pourrait infirmer ou confirmer cette hypothèse. Voici les arguments que nous avançons :

la morphologie de ces formes, bien que proche des glacier rocheux actifs (accumulation de blocs au pied d'un éboulis, langue avec un front raide et instable où quelques gros blocs sont incorporés dans un matériel fin, absence de drainage superficiel) présentent toutes des caractéristiques relativement atypiques : hauteur de la langue dépassant les 50m ; netteté des contours de la langue et enfoncement de l'ensemble de la zone centrale dans ces contours ; rides superficielles de compression existantes mais peu développées. Aux Rebanets Chassots par exemple (sous la Tête Nord des Fours), la forme décrite contraste avec un glacier rocheux (probablement actif) par la taille et la hauteur (environ 100m contre environ 30m) de sa langue, par la présence moins importante de rides superficielles et par l'enfoncement généralisé de sa partie centrale, alors que cette partie est bombée sur le glacier rocheux (voir la figure 5.11).

- ces formes se situent toutes dans des petits cirques glaciaires et sont dominées par des parois rocheuses importantes (100m et plus) alors que les glaciers rocheux actifs relevés se développent parfois dans des secteurs dépourvus de parois rocheuses supérieures (par exemple au Col des Tuf, voir la figure 5.17).



Figure 5.17: Les Rebanets Chassots à la fin du mois d'octobre. Au centre, le glacier enterré construit un dépôt de matériel morainique de près de 100m de hauteur. Ce glacier prend racine dans le petit cirque situé juste au dessus. Il contraste avec les glaciers rocheux environnants (GR du col des Tuifs à gauche, GR des Rebanets Chassots à coté du glacier à droite, etc.) par sa taille, la morphologie simple et affaissée.

- Au Mont Tondu, en dépit de l'exposition la moins propice au développement glaciaire (voir la figure 5.7), un petit glacier (le glacier d'Enclave) occupe actuellement le cirque S (hors RNCM) avec un front aminci à 2770 m tandis que le vallum morainique (moraines latéro-frontales) historique se situe à 2570 m. De plus le glacier du Mont Tondu s'écoule actuellement vers le NE sur une longueur de 1200 m et un front à 2640 m. Le cirque NO, bien que présentant l'orientation la plus favorable au développement glaciaire dans le MMB selon Vivian (1972), est dépourvu actuellement de glace en surface. Il abrite cependant une forme équivalente à celle décrite précédemment avec la construction d'une langue de matériel sédimentaire à 2600 m.
- L'altitude des langues observées, entre 2400 et 2700 m, pour une orientation généralement O, correspond à l'altitude moyenne des fronts O relevée dans le massif par Vivian en 1972. En outre, nous avons vu que les glaciers actuels ont une morphologie encore largement héritée du PAG et l'altitude moyenne des fronts au PAG était sensiblement plus basse que dans les années 1970. Théoriquement, il n'y a donc pas de facteurs empêchant la formation de glaciers dans cette orientation et à l'altitude où nous avons observé ces langues. Enfin, la topographie de petits cirques est favorable à l'accumulation de glace. L'exemple des glaciers S et NE du Mont Tondu montre que localement et même avec des expositions parfois désavantageuses, des glaciers se sont développés avec des parois d'alimentation culminant à 2900 m.
- L'Holocène s'est caractérisé par des oscillations climatiques nombreuses. Ainsi, à l'opposé des optimums climatiques, une dizaine de petites récurrences glaciaires se sont développées, les plus importantes atteignant environ l'amplitude du PAG (voir la partie 6.1 ou par exemple Coutterand dans Amelot et al., 2008; Scapozza, 2008 ou Coutterand, 2010). Ainsi, l'altitude des fronts glaciaires n'a cessé d'évoluer depuis 10 000 ans et les positions les plus basses se situent approximativement à la même altitude. Quand les moraines construites lors des récurrences glaciaires précédentes n'ont pas été érodées, les glaciers ont donc déposé de nouveaux dépôts par dessus, remobilisant et remodelant également probablement les anciennes moraines. À ce titre, Deline (1999a et 1999b), puis Deline et Orombelli (2005) montrent, par exemple, comment les importantes constructions morainiques du Miage (plus de 100m de hauteur) résultent de dépôts effectués pendant les nombreuses pérorations climatiques de l'Holocène, les dépôts du PAG n'ayant fait que «rajouter une couche (Deline, 1999a: 13)». Ainsi, ces moraines holocènes polyphasées sont nombreuses dans les Alpes et l'accumulation morainique de plusieurs stades permettant la construction de hautes

moraines. Les vallums morainiques érigés pendant l'Holocène sont d'ailleurs parfois appelés des bastions morainiques en raison de leur morphologie massive et de leur taille importante (voir l'exemple des bastions morainiques du glacier de Tricot (voir la figure 5.2), de Tsarmine ou des Aiguille-Rouge d'Arolla en Valais).

- Ces indices morphologiques, ces réflexions sur la distribution glaciaire locale et nos connaissances nous ont amené à considérer ces formes comme glaciaires et non périglaciaires. Nous avons donc décidé de pratiquer des excavations sur la langue et l'Enclave (l'accès sur la langue raide et déséquilibrée y est périlleux), puis sur celle des Rebanets Chassots un an plus tard. En enlevant les blocs puis les matériaux fins manuellement, nous avons retrouvé un niveau de glace vive à près de 60 cm de profondeur sur la langue de l'Enclave en août 2009 (voir la figure 5.18). À l'inverse, nous n'avons pas trouvé de glace avec les quelques excavations réalisées sur la langue des Rebannets Chassots en juillet 2010, le névé encore présent nous empêchant d'excaver dans le secteur le plus intéressant (dépression centrale). Ces excavations sont difficiles à interpréter et si la glace très pure retrouvée à l'Enclave, nous semble être de la glace sédimentaire, elle peut également être de la glace de congélation et le toit du niveau de permafrost (limite inférieure de la couche active).



Figure 5.18: Niveau de glace massive atteint lors de l'excavation (environ 60cm) réalisée au glacier de l'Enclave en août 2009.

À la vue de tous ces éléments et à défaut de prospection géophysique, nous formulons donc l'hypothèse que les langues sédimentaires relevées (cinq dans le vallon des Jovet et une à Tré la Grande, mais bien que nous n'ayons pas pu nous approcher des formes de ce secteur, les photographies aériennes nous font penser qu'il y en a davantage) sont les vestiges des glaciers développés au PAG et pendant certaines phases froides de l'Holocène. Ces glaciers étaient probablement déjà en partie recouverts au PAG mais nous pensons que de la glace affleurerait. Peu de traces d'incision sur le bastion morainique témoignent d'un écoulement proglaciaire. La dynamique de ces appareils devait donc être faible et l'eau devait percoler à travers le bastion morainique (quelques sources existent actuellement en contrebas). L'altitude de ces glaciers induit un régime thermique tempéré. La morphologie dépressionnaire interne est la conséquence de la fonte de la glace (glace morte) à l'intérieur du vallum morainique (voir la figure 5.11 et la figure 5.19)). La morphologie irrégulière de la surface témoigne d'une fonte différentielle de la glace et de la dynamique de fluage (déformation par compression et extension) qui touche certains secteurs (voir la figure 5.20). La morphologie des fronts (instabilité) indique que ces langues sont dynamiques. Cependant, celle-ci est insuffisante pour que ces glaciers évacuent leur couverture morainique, ce qui se traduit par un enterrement de la glace. Cette couverture est essentiellement d'origine gravitaire, d'autant plus que les parois rocheuses dominantes, d'altitude moyenne (entre 3200 et 2600 m) doivent être soumises, dans le contexte de réchauffement climatique actuel, à des cycles de gel/dégel prononcés (voir la figure 5.21). La taille importante de ces bastions morainiques illustre probablement un développement polyphasé et donc la construction de ces formes pendant plusieurs phases de l'Holocène. Cependant, à notre sens, la langue O du Mont Tondu s'est uniquement développée dans la dernière partie du PAG, car les glaciers de ce secteur devaient être plus importants pendant les phases les plus froides du PAG (voir le chapitre 6).



Figure 5.19: le glacier enterré des Rebanets Chassots (au centre) et les formes périglaciaires environnantes. Noter la forme et l'affaissement de la zone centrale par rapport au bastion morainique. Au fond, la Tête N des Fours. Figure 5.20: sur la *carapace* de blocs du glacier de l'Enclave, la glace a été retrouvée lors de l'excavation où se situe l'individu au milieu.

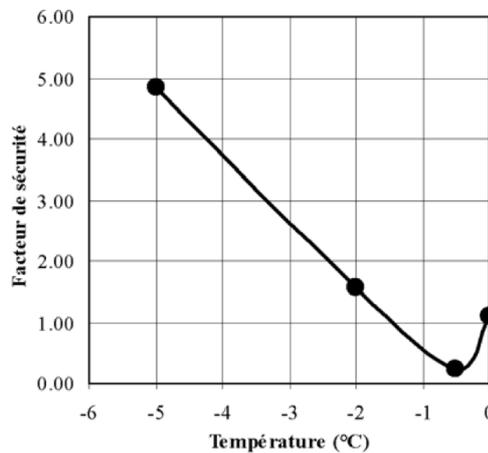
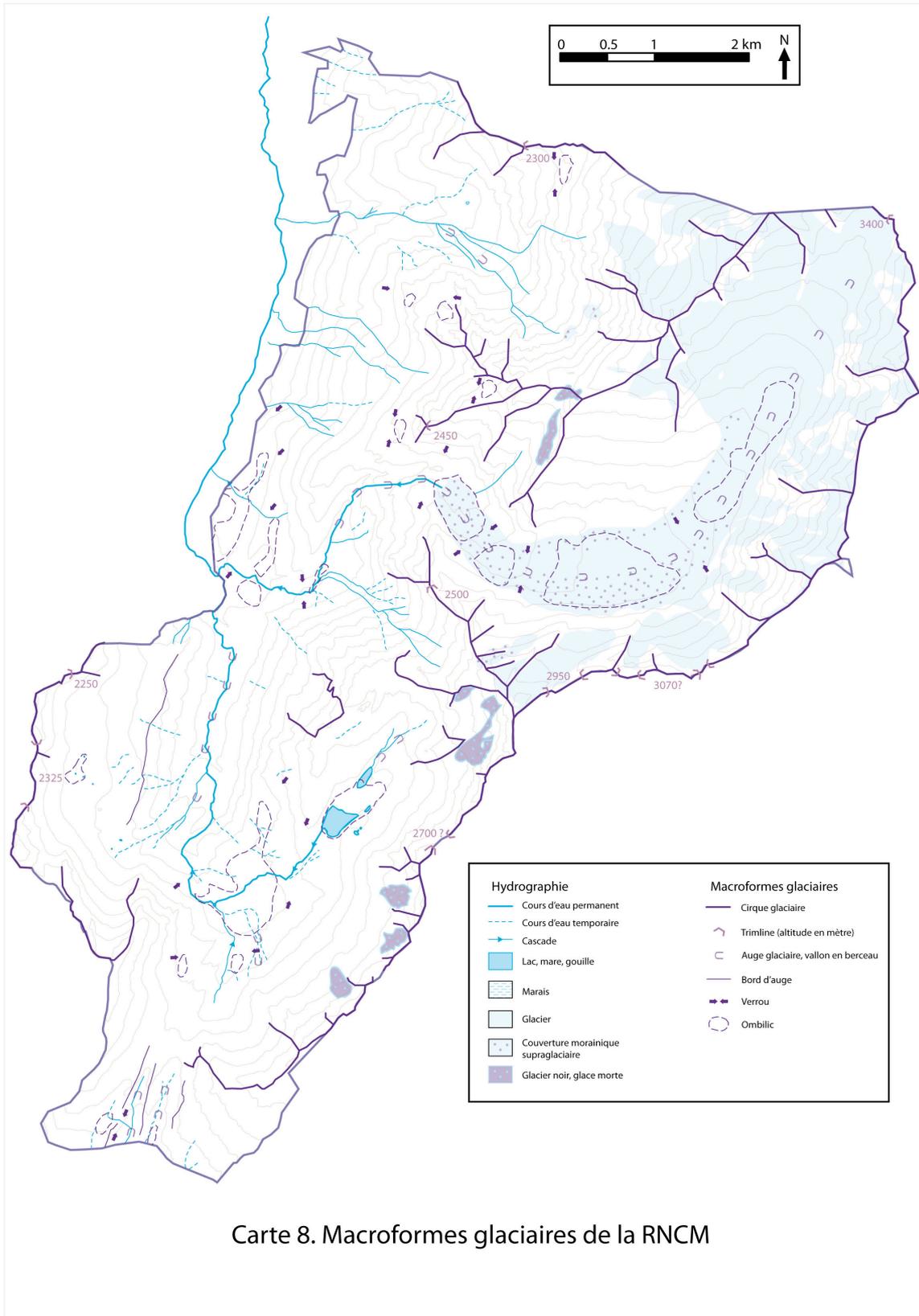


Figure 5.21: Les changements du facteur de sécurité (rapport entre la contrainte et la résistance où le facteur est maximale quand le rapport est élevé) d'une paroi rocheuse dont les fissures sont remplies de glace, pour une pente de 70° et une discontinuité avec une inclinaison de 40° (Tirée de Scapozza, 2008 reprenant Davies et al., 2001: 140).

### 5.3.2.3. Formes glaciaires

Les glaciers actuels que nous venons de décrire ne sont pas les seules formes glaciaires que l'on retrouve dans la RNCM. Sa morphologie générale a en effet une origine glaciaire prépondérante, tandis que de nombreuses formes d'érosion et de dépôt plus petites, traduisent partout ce riche héritage glaciaire. La réserve recouvre en partie le MMB. Nous avons vu que celui-ci est un lieu très favorable (topographie, climat) pour le développement glaciaire dans les Alpes. Les glaciers ont joué un rôle important dans la morphogenèse locale (voir le chapitre 6), et depuis 2 millions d'années (à travers de nombreuses glaciations et interglaciaires), ils ont profondément incisé le relief et poursuivi, par intermittence, l'action des cours d'eau dans l'érosion des Alpes. Si les macroformes d'érosion existent donc probablement depuis plusieurs glaciations (plusieurs centaines de milliers d'années), les formes plus petites relevées dans la carte géomorphologique sont relativement récentes (à l'échelle du temps géologique). Selon notre interprétation, elles datent de la dernière glaciation, (le Würm entre 115 000 BP et 10 000 BP) et de l'interglaciaire contemporain (l'Holocène depuis 10 000 BP). Plus précisément, elles ont été construites entre le LGM (estimé dans le secteur du MMB comme antérieur à 28 000 cal BP selon Coutterand et Buoncristiani, 2006) et aujourd'hui. Nous reviendrons sur cette histoire morphogénétique dans le chapitre 6.

Au même titre que pour une partie des formes structurales, nous n'avons pas relevé les macroformes glaciaires de la RNCM sur la carte géomorphologique pour ne pas la surcharger. Elles figurent sur la carte 8.



L'érosion du relief alpin a débuté dès son émergence il y a environ 20 millions d'années (Marthaler, 2001). Cependant, jusqu'à l'apparition des glaciers au Quaternaire, le principal agent de cette érosion est l'eau, incisant les premières vallées alpines. La morphologie des vallées actuelles est donc la conséquence de ce double héritage, fluvial et glaciaire, et il paraît difficile de discerner la part de chacun de ces processus dans la construction du réseau de vallées que nous connaissons. La RNCM regroupe toutefois des environnements de haute montagne et les glaciers y occupent encore une surface importante (20% de la surface totale). Ainsi, bien que nous soyons dans un interglaciaire et que les glaciers aient reculé depuis 30 000 ans, le modelé glaciaire de la réserve est encore jeune et dominant (macroformes et microformes). Cette conservation importante des formes s'explique également par la bonne résistance à l'érosion par les agents atmosphériques des roches cristallines (voir par exemple Coutterand et Buoncristiani, 2006). Ces roches sont dominantes dans la zone d'étude (voir 4.3.).

Au LGM, les glaces ennoient pratiquement l'ensemble de la RNCM (le niveau des glaces atteint 2400m dans le haut Val Montjoie, voir le chapitre 6) et seules quelques nunataks émergent (les principaux sont le Monthieu, la Pointe de Covagnet, l'arête de l'Aiguille de la Bérangère à la Grande Roche de Tré la Tête, l'arête de la Tête Carrée au Mont Tondu, l'arête de la Palissade, l'arête du Mont Tondu à la Tête Nord des Fours, le Rocher du Bonhomme, l'Aiguille de la Pennaz, les Roches Franches, la Tête de la Cicle et l'Aiguille de Roselette, voir par exemple les figures 5.25 et 5.26). Ces nunataks dominent des cirques, des combes et des vallons glaciaires, formes de surcreusement où la glace s'accumule à la base, sur des surfaces relativement planes. Certains sommets sont ainsi cernés par des cirques (Aiguille de la Bérangère, Aiguille des Glaciers, Mont Tondu, Tête de Bellaval-Enclave, etc.) ce qui en fait des horns au sommet pyramidal.

L'occupation glaciaire isole des conditions atmosphériques et donc des cycles de gel/dégel. À l'inverse, elle se caractérise par une importante érosion par l'abrasion mécanique (voir les figures 5.22, 5.23 et 5.24), l'arrachement de la roche en place et l'action des eaux sous-glaciaires. Ainsi la morphologie polie, moutonnée des affleurements récemment déglacés contraste-t-elle avec les secteurs libres présentant une forte rugosité. La limite séparant ces deux parties d'un versant, passant d'un modelé d'érosion à un autre, s'appelle la trimline (voir par exemple Coutterand et Buoncristiani, 2006). Les secteurs de la RNCM ne présentant pas de modelé glaciaire sont assez peu nombreux et sont les nunataks cités. Les formes d'abrasion glaciaire sont également absentes de la surface des secteurs calcaires et schisteux de la Pennaz et des Roches Franches. Cela s'explique par la faible résistance de ces lithologies aux agents d'érosions atmosphériques, les modelés glaciers étant rapidement décapés. À l'inverse, les secteurs de roches moutonnées et polies sont nombreux dans les affleurements de gneiss. Les principaux que nous avons relevés sont les dalles situées en aval du glacier d'Armançette et du Covagnet, les escarpements de la Combe d'Armançette, les dalles de Tré la Grande et de Tré la Petite, les pentes aval N du Mont Tondu et de la Palissade, les anticlinaux de Tête Noire, Nanterve et de la Sainte Chapelle (secteur sucré de la Rosière et de la Combe Noire), les affleurements de gneiss de Plan Jovet et du vallon des Jovet, les Rebanets Chassots et les dalles de grès et de gneiss de la Tête Sud des Fours.



Figure 5.22 et figure 5.23: Roches moutonnées dans le secteur de Tré la Tête. L'érosion glaciaire décape les roches, qui peuvent présenter des stries parallèles à la direction d'écoulement de la glace (voir la figure ), résultant de l'érosion de la roche en place par des débris transportés par le glacier. Les secteurs localement moins résistants sont surcreusés (ils permettent la formation d'un sol sur la figure). Figure 5.24: Les dalles polies de la Duchère présentent des voies d'escalade très fréquentées à la bordure O de la RNCM.

Les trimlines que nous avons relevées sont toutes inscrites dans les roches métamorphiques (voir la carte 8, les figures 5.12, 5.25 et 5.26). Cependant, ces limites de modelé d'érosion sont parfois difficiles à distinguer en raison de l'activité de la cryoclastie sur les polis glaciaires libérés de la glace. De plus, la trimline se situe souvent sur des escarpements rocheux abrupts. Nous pensons que les limites que nous avons cartographiées datent toutes du LGM (voir Coutterand et Buoncristiani, 2006). Les altitudes relevées correspondent globalement au modèle proposée par Coutterand et Buoncristiani en 2006 (cartographie des trimlines et modélisation de la paléogéographie via une interpolation par un SIG), mais nous rehaussons quelques peu l'altitude des glaces dans le bassin de Tré la Tête (voir 6.2). Par manque de temps, nous n'avons pas développé davantage cette analyse des trimlines présentes dans la RNCM et il existe probablement d'autres limites que celle relevées.



Figure 5.25: Le massif de Roselette et le col de la Fenêtre avec les niveaux de trimlines relevées. L'Aiguille de Roselette et la Tête de la Cicle étaient de petit nunataks au LGM. Figure 5.26: Vue sur la Tête de la Cicle depuis le col de la Fenêtre (versant Hauteluce, limite O de la RNCM). Le modelé moutonné contraste avec le secteur supérieur plus anguleux.

L'érosion glaciaire progressive d'une vallée se caractérise par un profil transversal en auge (forme de U, on parle également de vallon en berceau à plus petite échelle). Ce profil typique s'illustre par un fond de vallée relativement plat et par des versants raides, résultant des contraintes latérales exercées par le glacier. Après le retrait glaciaire, les versants ont tendance à se rééquilibrer (décompression postglaciaire) et les pentes diminuent. Cette morphologie en auge est plutôt bien conservée dans le haut Val Montjoie (voir par exemple la figure 5.1) et on retrouve deux auges principales dans la RNCM: le vallon de la Rollaz (voir la figure 5.27) et la partie aval du bassin de Tré la Tête (voir la figure 5.12). Le vallon de la Rollaz, compris en 1700 m et 1500 m, bien que déglacé depuis de nombreux millénaires, à une morphologie glaciaire héritée en auge, incisant en rive gauche des schistes du Lias (couverture du MBE) et des gneiss (MBI, anticlinal des Jovet) en rive droite. Ce vallon s'est développé par érosion différentielle dans une section de la faille de la Combe Noire. Le bord de l'auge, uniquement visible en rive droite entre 1930m et 1790 m, dessine une rupture de pente importante entre la vallée principale surcreusée et l'épaulement des Pâturages de la Balme, qu'occupaient des glaciers moins importants. On ne retrouve pas cette rupture de pente dans le versant plus élevé de la rive droite mais des polis glaciaire témoignent de la présence d'anciens glaciers. Les versants du vallon de la Rollaz subsistent, depuis le retrait glaciaire des réajustements topographiques (voir 5.3.2.5.). L'auge de Tré la Tête s'est pour sa part développée avec l'enfoncement progressif du système glaciaire dans les gneiss. Si on peut la prolonger du Col Infranchissable à la Combe Blanche sur près de 9 km, elle est la mieux développée dans la partie aval actuelle du glacier de Tré la Tête, orientée SE-NO sur environ 1,5 km. Les gneiss étant très résistants, l'érosion glaciaire a dégagé et poli des flancs très raides. Ceux ci, sont dans la partie basse, recouverts par les moraines latérales du PAG. Ces constructions très instables sont le lieu d'un rééquilibrage gravitaire et fluvial. Les épaulements de la Mine, de la Palissade, de Tré la Grande et de Tré la Petite témoignent, ici encore, de l'érosion différente entre les zones occupées par le glacier principal et les glaciers secondaires. À la Grande Roche de Tré la Tête, le rebord de l'auge correspond également à une trimline (voir la figure 5.12). D'autres formes d'auges et de vallées en berceau ont été relevées mais sont de taille plus petite et sont parfois moins

bien conservées (Combe d'Armançette). Enfin, les vallons en berceau de la Saussaz et à l'E du Plan des Dames ont une origine glaciaire et structurale (correspondant à l'érosion différentielle de couches de calcaires massifs, voir la figure 5.28).

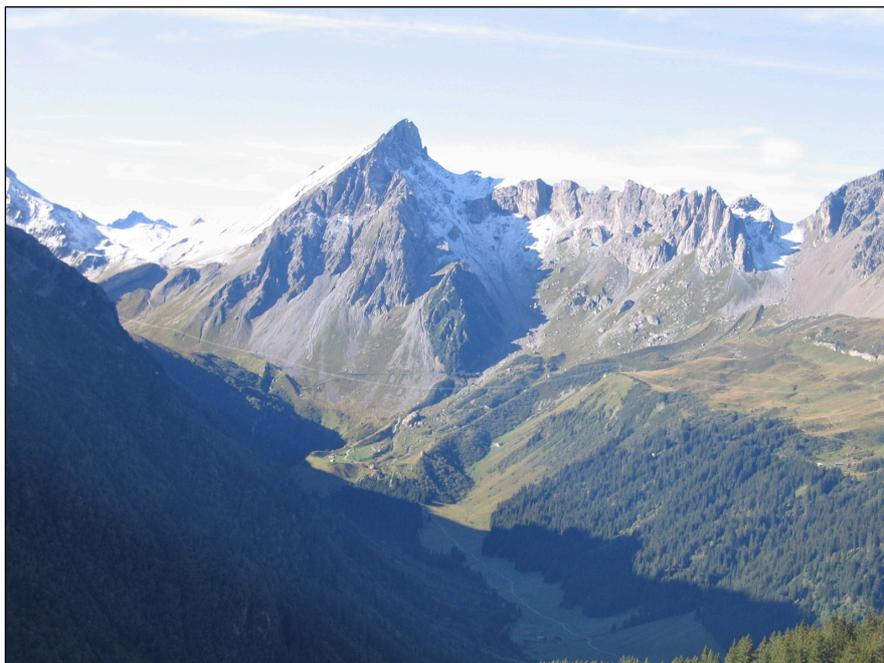


Figure 5.27: L'auge de la Rollaz depuis l'Hôtel de Tré la Tête. La rive gauche (à droite) marque une importante rupture de pente qui correspond également à la limite supérieure de la forêt. On distingue peu la rive droite dans l'ombre (à gauche). Les pentes des deux versants sont en cours de rééquilibrage. Le fond de ce vallon est occupé par la moraine de la Balme.

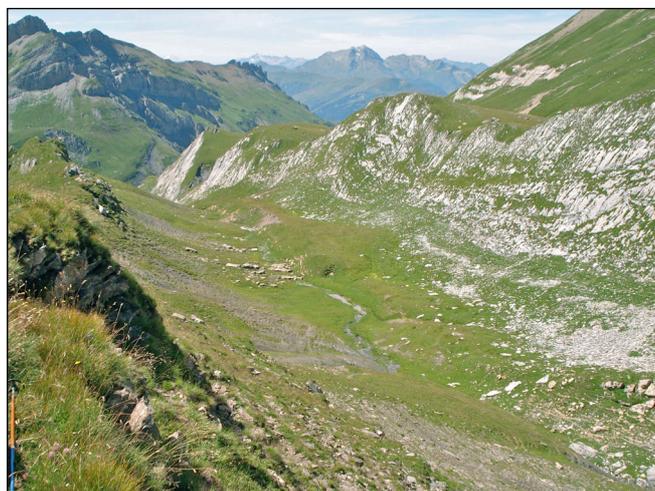


Figure 5.28: Vallon en berceau des Cavets résultant de l'érosion différentielle glaciaire et fluviale de dalles calcaires en dip slope (pendage d'environ 50° vers l'O-SO).

L'érosion différentielle glaciaire se traduit par un profil en long particulier, composé de formes de surcreusement (les ombilics) et de formes moins érodées (les verrous). Ainsi, une vallée glaciaire est caractérisée par cette succession de paliers et de dépressions, fonction de la résistance de la roche (lithologie, tectonique) mais aussi de la dynamique de l'écoulement de la glace (l'exemple du verrou de Saint-Maurice dans la vallée du Rhône illustre la complexité de cette érosion différentielle puisque le verrou calcaire atteint près de 1000 m de haut, alors que des roches cristallines (massif des Aiguilles Rouges), sensées être plus résistantes, sont profondément incisées 5km en amont). Le profil longitudinal du Bon Nant sur ces six premiers kilomètres (voir la figure 5.29) illustre cette érosion

glaciaire différentielle. Son profil se rééquilibre avec l'érosion régressive fluviale (gorges de raccordements) et l'alluvionnement postglaciaire mais il conserve une morphologie glaciaire marquée, où on devine la succession de quatre ombilics entrecoupés de trois verrous. Le premier ombilic est la dépression des lacs Jovet (km 0 du Bon Nant), forme de surcreusement du synclinal triasique. Tous les lacs Jovet présentent un barrage morainique aval. Ils expliquent la formation des lacs supérieurs. Le lac Jovet inférieur, s'il est également barré par une moraine peu épaisse, résulte principalement du surcreusement de la roche en place (voir la figure 5.30). En aval de cet ombilic, le verrou cristallin d'une centaine de mètres de hauteur est traversé par le Bon Nant avec des gorges et des cascades (voir la figure 5.37). D'un point de vue général, la formation des gorges est bien souvent à la fois sous-glaciaire (érosion par l'eau sous glaciaire à la charge solide très importante) et postglaciaire (érosion régressive d'un verrou développant une gorge épigénétique). Le verrou cristallin est suivi du large ombilic de Plan Jovet, conséquent également de l'érosion des roches triasiques autochtones et allochtones. Les affleurements moutonnés de gneiss qui le délimitent au NE et surtout la cascade de la Balme (gorge sur 200m de dénivelé) illustrent l'incision par le Bon Nant d'un nouveau verrou (km 2). Le cours d'eau s'écoule ensuite avec des pentes douces, pendant près de 2km dans le vallon de la Rollaz (faille de la Combe Noire). La rupture de pente de Nant Borrant (km 5,5) a une origine à la fois morainique (barrage du vallon de la Rollaz par une ancienne moraine du glacier de Tré la Tête, voir le chapitre 6) et structurale (petit verrou) puisque l'incision par le Bon Nant fait affleurer des gneiss, appartenant au prolongement de l'anticlinal de Nanterve vers le SO. Enfin, le secteur en aval de Nant Borrant, contournant un cône de déjection fluviale, est également un ombilic qui précède l'important verrou de la Gorge (environ 200m de haut).

### Profil longitudinal du Bon Nant dans la RNCM

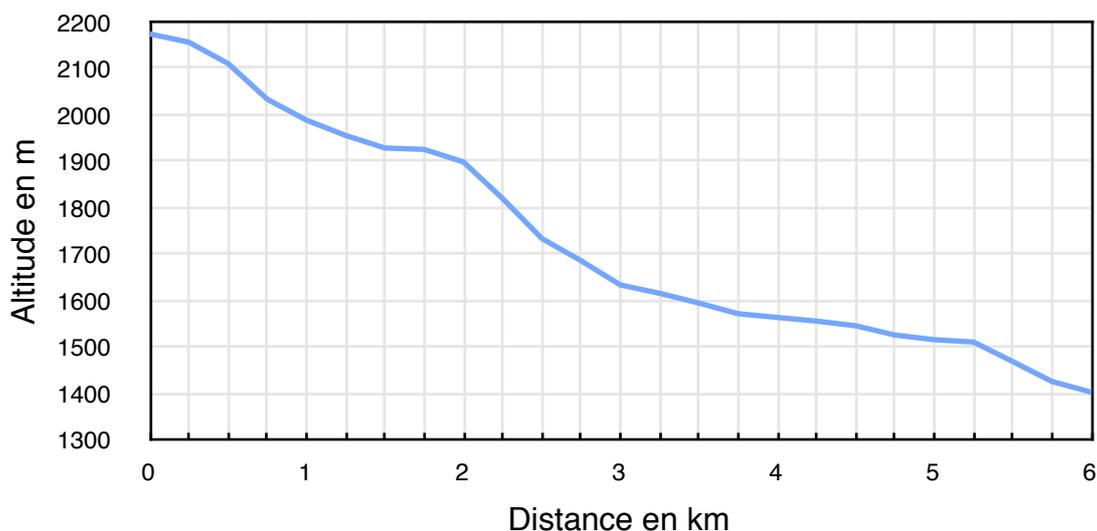


Figure 5.29: Profil longitudinal du Bon Nant sur ses six premiers kilomètres.

Comme le montre la carte 8, le glacier de Tré la Tête et son émissaire parcourent jusqu'à la Combe Blanche de nombreux verrous et ombilics. Ces zones sont visibles sur la morphologie du glacier, les secteurs les plus pentus (verrous) se traduisant par des fracturations en séracs et crevasses, les secteurs plats (ombilics) comprimant la glace et refermant en partie ces cassures. Le verrou en aval du front glaciaire actuel est le plus grand que l'on retrouve dans la RNCM. Il mesure plus d'un kilomètre de long où l'émissaire de Tré la Tête franchit 400m de dénivellation en incisant de profonde gorge dans les gneiss (voir la figure 5.31). De nombreux autres verrous et ombilics sont présents dans la Réserve et l'érosion différentielle glaciaire a décapé préférentiellement les roches triasiques et les schistes au profit des calcaires et des gneiss. Les verrous ont souvent un aspect moutonné (Plan Jovet, Pointe de Nanterve, etc.) tandis que les ombilics sont des lieux généralement humides où des plans d'eau (vallon des Jovet et Plan de la Fenêtre) et des secteurs marécageux peuvent se développer (Plan Jovet, la Rosière, voir 5.3.2.7.), le surcreusement induisant une rétention de l'eau.



Figure 5.30: le lac Jovet inférieur et la Pointe Sud des Monts Jovet (2362m). Le lac, bien que précédé de dépôts morainiques (à gauche, en partie lessivés), résulte avant tout du surcreusement de la roche en place. Il faut noter le placage morainique important et le modelé glaciaire dominant des Monts Jovet. Figure 5.31: le verrou aval du glacier de Tré la Tête et la profonde gorge qui incise les gneiss. Au centre, les constructions anthropiques et les dépôts de mines sont liés au captage des eaux proglaciaires. Au dessus dans les pelouses, un cordon morainique s'oriente vers la prise de vue.

Les formes d'érosion glaciaire d'érosions de la RNCM sont donc nombreuses et nous n'avons pas relevé les formes les plus petites, en raison de notre échelle cartographique. Elles sont complétées par des formes de dépôt qui sont de deux types: les moraines (placages et constructions morainiques) et les alluvions fluvio-glaciaires.

En plus d'être des agents d'érosion, les glaciers sont des agents de transport sédimentaire puisqu'ils déplacent une charge (moraine résultant de l'érosion glaciaire ou de dépôt de d'autres processus sur le glacier). Cette charge est ensuite déposée sous le glacier ou lors de son retrait sous forme de placage morainique. Le placage, s'il existe, dépend de nombreux facteurs, les principaux étant la quantité de la charge sédimentaire glaciaire (moraine sous-glaciaire, intraglaciaire et supraglaciaire), la dynamique glaciaire (progression, équilibre ou régression) et de la topographie (par exemple, les secteurs où la glace est décollée du substratum sont les plus propices aux dépôts sous-glaciaires). Le placage morainique est relativement important dans la réserve, d'autant plus que le glacier de Tré la Tête ou les glaciers enterrés du vallon des Jovet semblent indiquer que les glaciers locaux déplacent une charge sédimentaire considérable. Les glaces qui recouvrent en grande partie la vallée au LGM ont disparu mais elles se sont traduites par des dépôts nombreux, auxquels il faut ajouter les dépôts tardiglaciaires et holocènes. Ainsi, quand ces accumulations n'ont pas été érodées, remobilisées par d'autres processus ou recouvertes, la couverture morainique domine la roche en place. On retrouve ce placage dans la Combe et les dalles d'Armanette, sur l'ensemble des parties basses du versant dominant la vallée principale au NO de la RNCM, dans les dalles de la Palissade, du Tondu, de Tré la Grande et de Tré la Petite, au Plan de la Fenêtre et aux Pâturages de la Balme, à Plan Jovet et dans le vallon des Jovet (voir la figure 5.30). Cette couverture morainique est bien souvent végétalisée et donc parfois difficile à discerner (voir les figures 5.32 et 5.33).



Figure 5.32 et figure:5.33 Placages morainiques végétalisés en forêt (les Plans) et dans les landes/pelouses alpines (pentes O du Monthieu).

Ce placage morainique est complété par de nombreuses moraines construites. Elles résultent de l'accrétion sédimentaire sur le front et les côtés d'un glacier, dans sa zone d'ablation. Les cordons relativement importants (volume de sédiments, taille, hauteur) que l'on retrouve dans la RNCM illustrent à notre sens des stagnations glaciaires. En effet, lorsqu'un glacier a un bilan de masse en équilibre (climat stabilisé), la position de son front varie peu (stade glaciaire) et il construit d'importantes crêtes morainiques (latéral, frontal, vallum, bastion). L'édification de ces moraines dépend toutefois de la topographie (peu ou pas de construction sur des versants raides) et de la quantité de la charge sédimentaire glaciaire. Certains cordons du vallon des Jovet ou de la Combe de la Pennaz, nous semblent cependant être des moraines de retrait glaciaire, construites lors de petites période de stagnation par un glacier en regression. Nous avons retrouvé de nombreux cordons dans la réserve, certains très évidents (la Balme, Pré Derrière, Plan Jovet, Tré la Tête, etc.), d'autres plus difficiles à discerner et dépendant de notre interprétation (Plan Jovet amont, les Prés, Armancette, etc.). De ce fait, nos relevés diffèrent quelque peu de ceux de Dorthe-Monachon (1986, elle en relève nettement moins) et de Wetter (1987, il en relève plus, notamment dans les secteurs des Pâturages de la Balme, du Plan de la Fenêtre, de la Giettaz et de la Rosière mais nous n'avons pas retrouvé toutes ces constructions et leurs morphologies étaient souvent peu évidentes). N'ayant pas assez de temps et ne faisant pas un travail uniquement quaternaire, nous avons seulement relevé les cordons qui nous semblaient les mieux dessinés. En ce sens, la RNCM contient probablement plus de cordons que ceux cartographiés mais leur inventaire et analyse nécessiterait un travail spécifique. Les cordons que nous avons relevés sont des constructions glaciaires latérales (moraines des Grassenières, de Tré la Tête, des Prés, du Plan de Dames, certaines du vallon des Jovet, de Plan Jovet et de la Balme), latéro-frontales (vallums d'Armancette, des dalles de Tré la Grande, de la Mine, du vallon des Jovet et de Plan Jovet, de la Balme) et des bastions morainiques (en plus de ceux décrits dans le 5.3.2.2., les bastions de la Balme voir la figure 5.34, du NE des Monts Jovet voir la figure 5.35 et du Chaborgne). Le nombre remarquable de ces formes volumineuses d'accumulation morainique témoigne, à notre avis, encore ici de l'importance de la gélation dans les parois dominantes et donc de la charge élevée de matériel supraglaciaire. De plus, ces bastions ont été construits par des anciens glaciers de cirque relativement petits et dont la dynamique assez faible ne permettait pas une bonne évacuation de la charge. En phase de retrait glaciaire, nous pensons donc que ces glaciers se sont progressivement enterrés dans leurs bastions et sous leurs moraines superficielles. Enfin, pour finir cette rapide typologie des constructions morainiques relevées, le petit lobe de la Giettaz, les deux situés à la limite gauche de la moraine de la Balme ou ceux situés à droite de l'ancien glacier du NE de Plan Jovet sont des formes particulières puisqu'il s'agit de petites excroissances morainiques latérales. L'origine de ces cordons «subconcentriques (Deline, 1999b: 61)» est liée à des petits débordements glaciaires par dessus les moraines latérales (Deline, 1999b). Le petit lobe débordant remobilise en partie la moraine latérale et construit, également avec ses propres apports, une nouvelle crête. On retrouve par exemple ce type de formes atypiques à l'amphithéâtre du Miage ou sur la moraine gauche du glacier de Tsessette dans le massif du Combin.



Figure 5.34: Le complexe morainique de la Balme est ses nombreux cordons. Le bastion morainique principal de la Balme (chalet et secteur d'alpage en bas) domine de près de 100m le vallon de la Rollaz. Il a été forgé par le glacier du Cirque de la Pennaz, des Roches Franches et de la Tête de la Cicle. Sa morphologie centrale actuelle, peu dépressionnaire, témoigne de l'enfoncement progressif de la glace sous une couverture morainique importante. La moraine gauche (à droite sur la photo) est longiligne avant de se perdre en amont dans deux petits lobes résultant du débordement glaciaire.

Les cordons morainiques relevés dans la RNCM ont donc des origines diverses. Cette hétérogénéité caractérise également la hauteur, la longueur et la largeur. Par exemple, la moraine gauche de la Combe d'Armançette mesure une quarantaine de mètres de haut, pour une longueur d'environ un kilomètre et une largeur maximale de 200 m. À l'inverse, la petite moraine située au dessus du tumulus du Plan des Dames a les dimensions suivantes : 1/100/20 m. La morphologie des moraines est également diverse et des crêtes effilées (les Roches Franches, dalles d'Armançette, etc.) s'opposent à des bombements arrondis (Plan Jovet, les Grassenières, etc.). La présence de ces cordons barre parfois l'écoulement hydrologique et entraîne la formation de lacs. C'est le cas des lacs Jovet supérieurs (voir la figure 5.36) et du lac d'Armançette.



Figure 5.35: Petit cirque glaciaire au NO des Monts Jovet. Une moraine latérale droite du glacier du Bon Nant dessine une pente végétalisée en bas du cirque. Les vestiges du bastion morainique développés dans ce petit cirque le dominant, formant une crête arrondie en U (au centre). Figure 5.36: Deux petits lacs Jovet supérieurs formés par un barrage morainique (cordon d'une trentaine de mètres).

Enfin, les dernières formes glaciaires que nous avons cartographiées sont les plaines d'épandage fluvio-glaciaire (sandur). Ces formes, consécutives de la mobilisation des dépôts morainiques par l'eau s'écoulant du glacier, se caractérisent par une pente globalement régulière. Elles se différencient toutefois des cônes fluviaux par une morphologie et une granulométrie plus hétérogène, conséquence de l'importance du volume et de la diversité du matériel morainique mobilisé, et de la variation des débits du cours d'eau proglaciaire. Les sandurs de Plan Jovet (voir la figure 5.37), de la Balme et de Covagnet, situés juste en aval d'importantes accumulations et constructions morainiques, présentent une morphologie en cônes bombés. On ne la retrouve pas aux plaines d'épandage de la Laya, de Tré la Tête et d'Armançette.

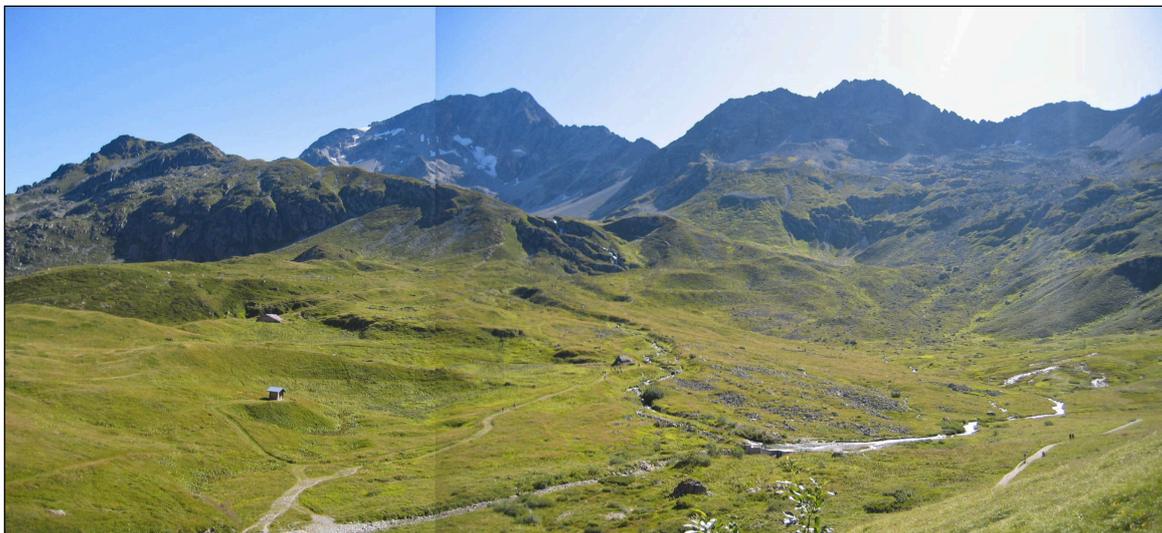


Figure 5.37: Vue de Plan Jovet depuis les pentes de la Pennaz. La pente centrale, bombée, où s'écoule le Bon Nant (ravinement), est une ancienne marge proglaciaire qui se caractérise par la présence d'anciens chenaux, sa régularité et quelques champs de blocs lessivés. Cette morphologie contraste avec le vallon qui s'enfonce vers les Jovet sous Bellaval (à droite). Le vallonnement complexe, les crêtes arrondies et la présence de nombreux blocs traduisent le front d'un ancien glacier noir. Les buttes, à gauche, sont partiellement morainiques puisque certaines correspondent à des roches moutonnées (gneiss) aujourd'hui végétalisées. À gauche, les Monts Jovet, au fond le Mont Tondu et à droite les Têtes de l'Enclave et de Bellaval.

#### 5.3.2.4. Formes périglaciaires

Le terme périglaciaire désigne les environnements froids mais non glaciaires. D'un point de vue général, la morphogenèse du domaine périglaciaire est la conséquence de l'alternance gel/dégel (voir la figure 5.38), de la température en permanence négative d'une partie du sol ou du soubassement rocheux (pergélisol ou permafrost) et/ou de la présence importante de neige. Le domaine périglaciaire renvoie donc à l'extension des conditions climatiques qui lui sont associées (Scapozza, 2008). Dans les Alpes, ce domaine est ainsi compris entre la limite des neiges persistantes (qui correspond à la ligne de névé ou à l'altitude de la ligne d'équilibre glaciaire) et l'altitude où les températures moyennes annuelles (Mean Annual Air Temperature: MAAT) sont trop élevées pour permettre l'association de ces facteurs climatiques (ce niveau correspond globalement à la limite d'expansion supérieure de la forêt (timberline), fortement variable dans les Alpes).



Figure 5.38: Exploitation des fissures rocheuses par la cryoclastie dans un escarpement de gneiss au Monts Jovet (2350m). La transformation de l'eau (qui s'infiltré dans ces zones de faiblesses géologiques) en glace se traduit par une augmentation de 9% de son volume et de 15kg/cm<sup>2</sup> de pression, la roche encaissante est donc fragilisée. À l'inverse, la fonte de cette glace induit une décompression. La répétition de ce cycle fragilise et fracture ainsi le matériel rocheux.

Une des principales caractéristiques de ce domaine morphogénétique est la présence de pergélisol. Ce terme renvoie au matériel de subsurface dont la température est inférieure à 0°C pendant au moins une année. Il est donc un état thermique et non hydrologique et ne dépend pas de la présence de glace. On distingue ainsi en fonction de la présence de glace ou non (qui dépend de l'existence de vide et d'un apport en eau) et de sa proportion, le pergélisol sec, sous-saturé, saturé et sursaturé (voir par exemple Morard et al., 2009). Le pergélisol sursaturé se traduit souvent par la mise en mouvement et la déformation du corps gelé sous l'effet de la gravité; nous y reviendrons. Le pergélisol, selon sa température moyenne annuelle (Mean Annual Ground Temperature: MAGT) et sa température maximale, peut être froid, tempéré ou semi tempéré (voir Delaloye, 2004). Le fluage périglaciaire tout comme la cryoclastie (Davies et al., 2001) sont maximaux dans le permafrost tempéré et semi-tempéré, l'alternance gel/dégel y étant plus fréquente. Cette typologie ne prend pas en compte la couche active, à savoir les quelques décimètres ou mètres de la surface qui sont dégelés pendant les mois les plus chauds. On distingue enfin un pergélisol en aggradation, en équilibre ou en dégradation selon l'évolution de ses caractéristiques thermiques, le permafrost comme les systèmes glaciaires ayant la particularité d'avoir une inertie thermique et dynamique face aux variations climatiques (voir par exemple Delaloye, 2004 ou Lambiel, 2006).

La distribution du pergélisol dépend de nombreux facteurs, le principale étant la température. Viennent ensuite divers autres facteurs climatiques, topographiques, nivologiques, géologiques et géomorphologiques (voir Lambiel, 2006). En plus des échanges thermiques convectifs (substratum/atmosphère), la distribution locale est également dépendante d'échanges thermiques advectifs et conductifs (à l'intérieur de la roche en place et des terrain sédimentaires, voir par exemple Delaloye, 2004; Lambiel, 2006 ou Scapozza, 2008). Au niveau local on discerne le permafrost continu (il occupe plus de 80% de la surface et correspond à une MAAT inférieure ou égale à -8°C, on le retrouve dans

les Alpes au-dessus de 3500 m), discontinu (il occupe plus de 30% de la surface et correspond à une MAAT inférieure ou égale à  $-1^{\circ}\text{C}$ , on le retrouve dans les Alpes au-dessus de 2500 m) et sporadique (il occupe des secteurs localisés dont la MAAT peut être positive et dépend souvent de facteurs microclimatiques (endogènes et exogènes) et microtopographiques, on peut le retrouver à des altitudes relativement basses, en-dessous de 2000 m, voir par exemple Delaloye, 2004). Tenant compte de la température (et donc de l'altitude) et de l'orientation, Bodin et al., 2008 proposent un modèle de répartition du pergélisol dans les Alpes françaises (voir la figure 5.39).

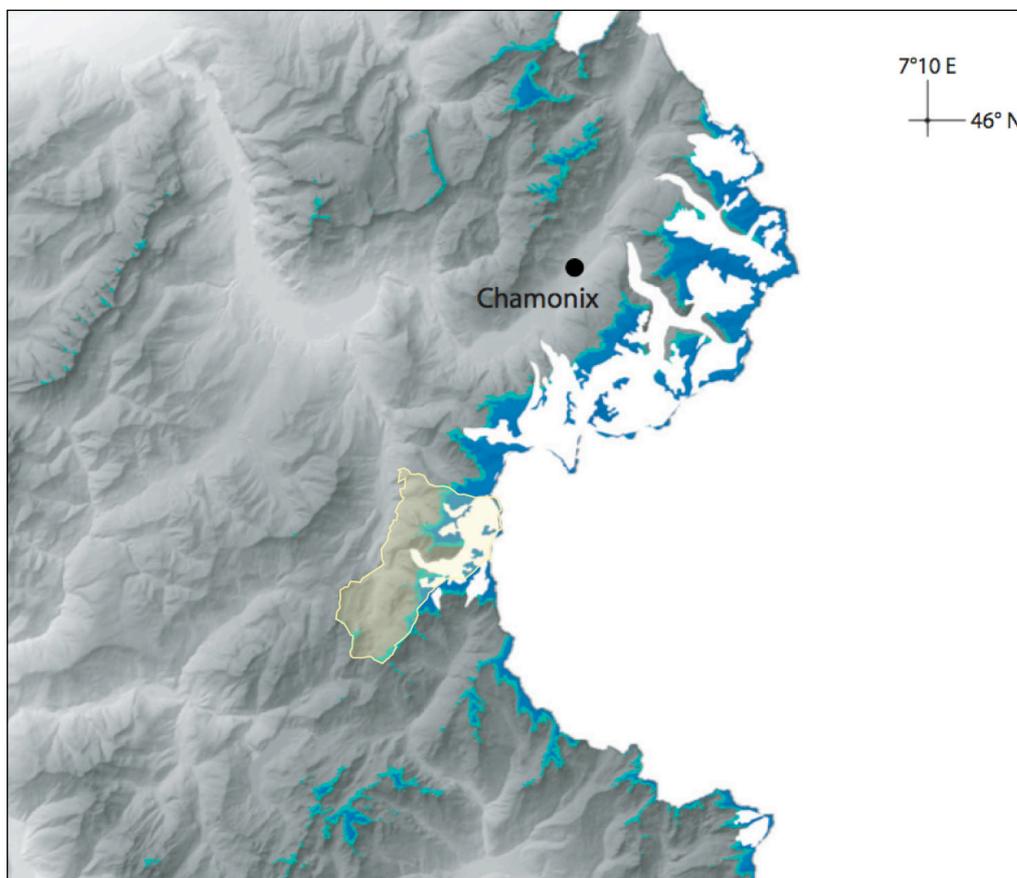


Figure : 5.39 Modèle de répartition du pergélisol des Alpes françaises dans la région du Mont-Blanc. Ce modèle est calculé selon la radiation solaire incidente potentielle (orientation de la pente) et l'altitude. Il est calibré sur un inventaire de glaciers rocheux dans le massif des Ecrins. Les secteurs en bleu correspondent aux zones de racines potentielles de glaciers rocheux (globalement le pergélisol continu) et les secteurs en vert renvoient aux zones de fronts potentiels des glaciers rocheux (globalement le pergélisol discontinu). Les nombreux glaciers du MMB limitent passablement l'extension du pergélisol. La RNCM est au centre en jaune.  
(modifié d'après Bodin et al., 2008 et repris dans Schoeneich et al., 2010).

Dans la RNCM, ce modèle calcule une limite inférieure potentielle du pergélisol discontinu au alentour de 2400m (voir la figure 5.40), tenant compte de l'exposition dominante NO et de la latitude (Alpes du Nord). Les principaux secteurs potentiels dégagés par ce modèle sont la Combe de la Pennaz, les Rebanets Chassots, les pentes supérieures du vallon des Jovet, les dalles de la Palissade et de Tré la Grande et le haut de la Combe d'Armancette. On retrouve des formes de fluage périglaciaires à l'intérieur de cette zone, mais également plus bas (voir la figure 5.41). Les secteurs de répartition du permafrost continu sont localisés dans les sommets de l'Enclave/Bellaval, le Mont Tondu, les parois supérieures du bassin de Tré la Tête et de la Combe d'Armancette.

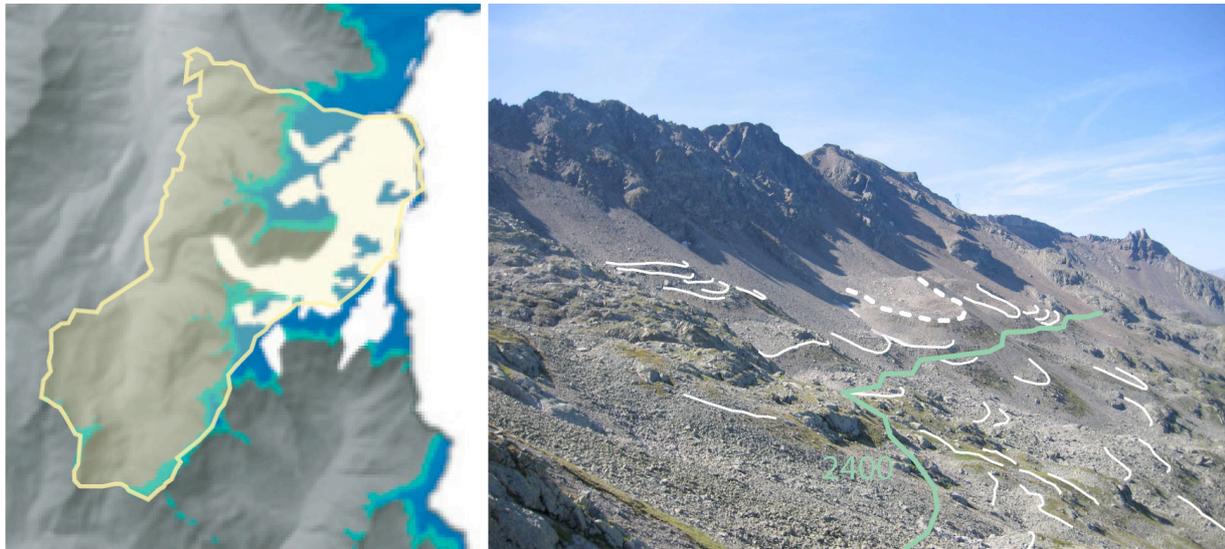


Figure 5.40: Modèle de répartition du pergélisol des Alpes françaises dans la RNCM. Les glaciers du bassin de Tré la Tête et de la Combe d'Armançette limitent l'extension du pergélisol dans ces secteurs (modifié d'après Bodin et al., 2008). Figure 5.41: Les Rebanets Chassots et l'Arête des Fours. La forme en pointillés correspond au bastion du glacier enterré. Les traits blancs dessinent les principales crêtes et sillons résultant du fluage périglaciaire. Enfin, la ligne verte illustre globalement la courbe de niveau de 2400 m qui est, selon Bodin et al., 2008, la limite inférieure du pergélisol discontinu de ce secteur (nos observations sur le terrain placent plutôt cette limite une cinquantaine de mètres plus bas, voir ci-dessous).

L'extension du domaine périglaciaire alpin est donc grossièrement comprise entre le domaine glaciaire et la timberline. Aussi, elle est étroitement liée à l'humidité du climat. En effet, avec des conditions identiques (altitude, MAAT, exposition, etc.), un secteur sec d'abri (continental) aura un domaine périglaciaire fortement développé vers l'amont tandis qu'un secteur humide (océanique, position de barrage) aura un domaine restreint par un important développement glaciaire (voir la figure 5.42). Comme nous l'avons déjà vu, le MMB est un secteur humide de barrage et les précipitations au dessus de 2530m (altitude que nous avons calculée pour une MAAT de  $-1^{\circ}\text{C}$  (limite inférieure théorique du pergélisol discontinu) en tenant compte de la MAAT de la station météo des Contamines de  $6,8^{\circ}\text{C}$  à 1140m et d'un gradient de température de  $0,56^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ) sont supérieures à 1800 mm/an. D'après le modèle de répartition des domaines glaciaires et périglaciaires d'Haerberli (2005, voir la figure 5.42), les secteurs élevés de la RNCM sont donc, en raison de l'importance des précipitations annuelles, théoriquement très favorables au développement glaciaire. La ceinture périglaciaire est ainsi, fortement limitée vers l'amont par le domaine glaciaire. Le faible développement des formes périglaciaires dans le MMB (par rapport à des secteurs comme le Valais ou la Maurienne) est donc d'origine hydrologique, les fortes précipitations neigeuses induisant une importante cryogénèse. La RNCM présente cependant une densité de formes périglaciaires plus importante que le reste du versant occidental du MMB (voir par exemple Dorthe Monachon, 1986 et Wetter, 1987). Cette situation s'explique par la topographie de la RNCM, où les gneiss du Sud du Massif, l'enneolement de la coupole cristalline au Sud et les sommets allochtones sont globalement moins élevés que la partie centrale et N du massif et sont de ce fait, moins favorables à la formation de grands systèmes glaciaires. De nombreux secteurs y sont donc déglacés ou présentent un englacement limité. Ces secteurs, des plus hauts sommets à la limite supérieure de la forêt (1850 m en moyenne dans la RNCM, voir 4.4.) sont donc soumis aux processus périglaciaires (gélification, fluage lié à la présence de pergélisol, nivation, etc.). Ceux-ci sont maximaux dans la ceinture du pergélisol discontinu, dont la limite inférieure dans la RNCM doit se situer autour de 2350 m, tenant compte des facteurs climatiques (MAAT  $-1^{\circ}\text{C}$  théoriquement à 2530 m), topographiques (exposition), endogènes (effet de cheminée: circulation d'air interne aux corps sédimentaires non saturés en glace se caractérisant par un refroidissement de la base, voir Delaloye, 2004 et Lambiel, 2006) et de nos observations.

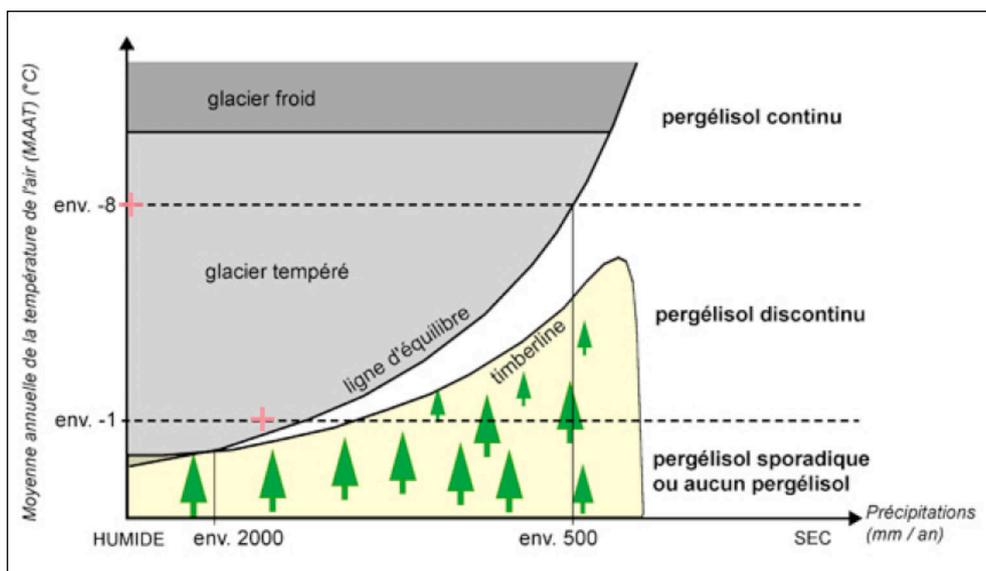


Figure 5.42: Modèle de cryosphère exprimant la distribution spatiale entre les glaciers et le pergélisol, en fonction de la MAAT et des précipitations annuelles. Les points rouges correspondent à la situation de la RNCM (MAAT de -1°C pour 2530m et plus de 1800 mm/an et MAAT de - 8 °C pour 3780m et plus de 3000 mm/an). Ils montrent que le climat y est théoriquement plus favorable aux glaciers qu'aux formes périglaciaires (adapté de Morard et al., 2009 et d'après Haeberli, 2005).

Malgré l'extension limitée du domaine périglaciaire, les formes périglaciaires sont nombreuses et complexes. Nous nous sommes limités pour des raisons d'échelle, aux formes de déplacement en masse. La présence de glace pérenne (pergélisol) dans les accumulations sédimentaires (éboulis, moraines) induit un fluage généralisé, dont le moteur est la gravité. La présence d'un pergélisol (de sous-saturé à sursaturé) dans ces corps sédimentaires se traduit par une mise en mouvement commune de l'ensemble des éléments et non plus par des mouvements individualisés hétérogènes. Ce mouvement se traduit aussi bien dans les microformes (voir la figure 5.43) que dans les formes plus conséquentes. Nous avons distingué les formes simples (éboulis fluants et protalus ramparts) des formes complexes (glaciers rocheux). Les éboulis fluants résultent du mouvement de niveaux gelés qui se traduit par la formation de lobes (voir la figure 5.44) ou de loupes de gelifluxion dans la pente. Les travaux de Delaloye (2004) et Lambiel (2006) ont mis en évidence que ces éboulis sont sous saturés en glace, ce qui permet une circulation d'air interne. Cette circulation, conséquence des différences de températures entre l'air atmosphérique et l'air situé à l'intérieur de l'éboulis (inversion du rapport entre l'hiver et l'été), produit un effet de cheminée. Il se traduit par un surrefroidissement de la partie inférieure de l'éboulis et par le réchauffement de la partie haute. La partie basse, plus froide se met parfois en mouvement, d'où la formation d'un lobe. Autre preuve de cet effet de cheminée, le manteau neigeux a tendance à fondre rapidement dans la partie haute de l'éboulis (cheminées, couloirs de fontes, voir Lambiel, 2006) alors qu'il s'attarde dans le bas du versant (névés, taches de neige). Le protalus rampart est pour sa part une forme intermédiaire entre l'éboulis fluant et le glacier rocheux. Ce bourrelet situé en pied de versant pouvant atteindre quelques décimètres à quelques dizaines de mètres d'épaisseur, est formé par le ralentissement du fluage d'un corps sédimentaire gelé en raison de la topographie (adoucissement de la pente). On retrouve des éboulis fluants et des protalus ramparts dans tous les secteurs élevés de la RNCM. L'occurrence de ces formes est toutefois plus importante dans la partie S, peu ou pas englacée.



Figure 5.43: Bloc laboureur situé au NO du lac Jovet supérieur. Le fluage de ce bloc dans le sol gelé se caractérise par la formation d'un bourrelet en aval (trait blanc). Figure 4.44: Eboulis fluant du col de l'Enclave. Le lobe lié au fluage du pergélisol est mis en évidence par la végétation. Ce lobe se situe au milieu du versant à 2300m et migre vers l'aval (la végétation semble cependant indiquer une activité très faible).

Les glaciers rocheux, s'ils résultent du même processus, sont des formes plus abouties et plus complexes. Les glaciers rocheux se forment dans des secteurs relativement peu pentus et résultent de l'accumulation et de la déformation de matériel sédimentaire gelé. Une typologie (Barsch, 1996) distingue les langues de vallée (tongue-shape rock glacier) des lobes de pied de versant (lobate rock glacier) et, en fonction de l'origine du matériel mobilisé, les glaciers rocheux provenant d'éboulis (talus rock glacier) de ceux issus de dépôts morainiques (debris rock glacier). Les glaciers rocheux que nous avons cartographié sont principalement des lobes de pied de versant (voir le tableau 5.45) qui se sont développés dans des secteurs déglacés à la fin du Tardiglaciaire et à l'Holocène. Le nombre peu élevé de langues de vallée résulte selon nous des conditions climatiques locales favorable au développement des systèmes glaciaires (voir la figure 5.42). Les glaciers rocheux se sont ainsi formés dans de petits vallons, combes et versants ne permettant pas la cryogenèse. L'importance de l'extension du domaine glaciaire dans la RNCM jusqu'à récemment explique aussi l'importance des dépôts morainiques mobilisés en partie par les glaciers rocheux.

Glaciers rocheux	altitude max	altitude min	dénivellation	longueur (m)	pente moyenne (%)	orientation	typologie	Origine	depression thermokarstique	couverture végétale	dynamique probable
Glacier rocheux du Triangle	2260	1860	400	500	80	NO	langue de vallée	Moraine / Eboulis	oui	40% (partie basse)	Faible à nul
Glacier rocheux de la Grande Roche de Tré la Tête	2250	2130	120	170	70.5882	O	lobes de pied de versant	Moraine / Eboulis	non ou faible	5%	Faible à nul
Glacier rocheux du col Jovet	2620	2500	120	150	80	O	lobes de pied de versant	Moraine / Eboulis	non	5%	Oui
Glacier rocheux du col de l'Enclave	2420	2220	200	400	50	O	éboulis fluant complexe	Moraine / Eboulis	non	10% (lobe principal)	Faible à nul
Glacier rocheux de l'Enclace	2550	2370	180	350	51.4286	O	lobes de pied de versant	Moraine / Eboulis	oui	10% (partie basse)	Oui pour le haut puis faible à nul
Complexe des Tufs, Rebanets Chassots	2600	2290	310	600	51.6667	NO	lobes de pied de versant	Moraine / Eboulis	oui	5% (fronts)	Oui pour le haut puis faible à nul
Glacier rocheux du vallon des Jovets	2180	2080	100	500	20	SO	langue de vallée	Moraine / Eboulis	oui	30%	Nul
Glacier rocheux de la Cicle	2200	2080	120	300	40	E	lobes de pied de versant	Moraine / Eboulis	oui	10% (fronts)	Faible à nul
Glacier rocheux de la Roselette	2200	2010	190	350	54.2857	E	lobes de pied de versant	Moraine / Eboulis	oui	20% (fronts)	Faible à nul

Tableau 5.45: Principales caractéristiques des glaciers rocheux de la RNCM.

Les déformations nombreuses et chaotiques (rides, sillons, bourrelets) de la surface des glaciers rocheux s'expliquent par la topographie, par la dynamique complexe du corps sédimentaire (zones d'extension, de compression, vitesse de fluage différentielle), par son activité (bombements lié à la présence de glace ou dépressions thermokarstiques liées à la fonte différentielle de la glace) et par son histoire morphogénétique (glacier rocheux monophasé, polyphasé, réactivé, etc.). Les morphologies de surface les plus irrégulières concernent certains des glaciers rocheux fossiles que nous avons relevés: le vallon des Jovet, la Cicle et Roselette (voir la figure 5.46).

Enfin, pour finir cette rapide analyse des formes de fluage périglaciaire de la RNCM, il nous semble que l'activité y est majoritairement faible à nulle. Ces formes seraient ainsi en grande partie héritées de conditions climatiques plus froides (voir le chapitre 6). Divers indices relevés sur ces formes semblent témoigner de cette fossilisation: végétalisation des fronts et des surfaces, développement de lichens, pentes des fronts relativement faibles (inférieures à 35°), dépressions thermokarstiques et morphologies globales dépressionnaires (voir la figure 5.46). De plus, ces formes se retrouvent bien souvent à des altitudes inférieures au domaine du pergélisol discontinu (environ 2350m et plus). Cependant, tenant compte de facteurs locaux de répartition et comme le montrent les études de Delaloye (2004) et Lambiel (2006), de la glace peut subsister à basse altitude et des mouvements (centimètres/an, décimètres/an) peuvent être relevés sur des formes considérées comme fossiles. Dans les secteurs les plus hauts, certaines formes présentent toutefois des signes d'activité: fronts raides (pentes supérieures à 35° voir 40°) et instables (présence de gros blocs dans une matrice fine), absence de végétation et de lichens, morphologies globales bombées (voir la figure 5.47). La vitesse maximale de ce fluage peut atteindre quelques mètres par an. Nous reviendrons sur l'évolution

contemporaine du domaine périglaciaire de la RNCM et sur la probable déstabilisation de certaines formes (chapitre 7).



Figure 5.46: Front du glacier rocheux fossile de Roselette (2010m). La morphologie arrondie, dépressionnaire et le front faiblement pentu et végétalisé démontrent la fossilisation. Figure 5.47: Front du glacier rocheux du col Jovet (2500m). La pente importante et déséquilibrée du front (présence de gros blocs incrustés dans des fines) et l'absence de végétation semblent indiquer l'activité du fluage.

### 5.3.2.5. Formes gravitaires

Les formes gravitaires sont des formes liées aux instabilités de terrain et dont l'agent principal du mouvement est la gravité. D'autres acteurs morphogéniques entrent évidemment en jeu dans les processus gravitaires mais les formes générées dépendent essentiellement de la gravité. Une instabilité est une rupture de l'équilibre (la contrainte exercée devient supérieure à la résistance du matériel) d'un versant ou d'une paroi. Elle peut résulter de causes nombreuses et souvent complexes (perte de cohésion, augmentation du poids, modification du profil topographique, action de facteurs exogènes comme le gel, etc.). La présence d'eau et de glace joue bien souvent un rôle prépondérant dans le déclenchement d'une instabilité (augmentation du poids, augmentation de la pression interstitielle, lubrification). Les principaux processus gravitaires sont la chute, le glissement et le fluage. Nous avons simplement cartographié les formes les plus importantes, que l'on peut diviser, selon le type de mise en mouvement des éléments, en deux groupes, les formes résultant de mouvements individualisés et celles générées par les mouvements de masse.

Les formes gravitaires cartographiées consécutives d'un déplacement individuel des éléments sont de deux types: les éboulis et les dépôts d'éboulement/écroulement rocheux. L'ébouillement est une des formes les plus fréquentes de la RNCM. Cette accumulation détritique de matériel rocheux est mise en place par la chute d'éléments érodés des parois rocheuses. L'ébouillement est un processus lent et continu, conséquence de la désagrégation de la roche, dont la principale cause est la cryoclastie. L'érosion exploite les zones de faiblesse géologique et la récurrence de l'ébouillement peut générer des couloirs d'ébouillement qui canalisent les chutes de blocs. Le déplacement chaotique des blocs (chute, rebonds, glissement) éléments par éléments, est fonction de leur énergie cinétique (elle dépend de la hauteur de chute, du volume du bloc, de sa rugosité et de celle du sol). En général, plus un bloc est volumineux, plus il parcourt une longue distance. Les éboulis, forme d'accumulation qui en résultent, ont donc deux caractéristiques morphologiques principales: le granoclassement des éléments (volume des éléments grandissant vers le bas, voir la figure 5.48) et la régularité de la pente. Cette régularité tire son origine de la quantité de matériel accumulé et de la lenteur du processus. Un ébouillement a ainsi généralement une pente régulière légèrement concave et ne dépassant pas ou peu les 35°. La valeur de la pente dépend cependant de la rugosité (angle de friction interne) et varie selon la nature et la taille du matériel dominant. Les éboulis sont des formes postérieures au retrait glaciaire. Celui-ci se caractérise en effet bien souvent par un déséquilibre topographique (pente trop raides érodées par les glaciers, dépôts morainiques instables (voir la figure 5.49)) et par la décompression des versants. Si les parois rocheuses dominantes produisent suffisamment de matériel, un ébouillement peut occuper un espace de plusieurs centaines de mètres de hauteur, du pied du versant aux escarpements rocheux, et

rééquilibrer la topographie. Les immenses éboulis gneissiques de la rive droite du vallon de la Rollaz en sont un exemple (jusqu'à 700m de dénivellation). Selon l'origine géographique du matériel éboulé, le voile d'éboulis (pente régulière construite par un matériel à l'origine hétérogène) se distingue du cône d'éboulis (pente régulière présentant un bombement circulaire à l'aval et dont le matériel provient d'une source localisée (couloir d'éboulis)). Les voiles d'éboulis sont les formes que l'on retrouve le plus régulièrement dans la RNCM et témoignent des secteurs d'érosion nombreux sur les parois. Quelques cônes d'éboulis à la morphologie typique sont tout de même présents dans la RNCM (la Rollaz, la Balme, Plan des Dames (voir la figure 5.48), etc.) en aval de couloir d'éboulis. La présence importante de végétation sur les éboulis, principalement dans ceux situés dans les secteurs les moins élevés, semble témoigner de la faible activité de l'éboulisation dans les escarpements dominants. Aussi, nombre de ces formes seraient aujourd'hui en cours de fossilisation. À l'opposé, le processus d'éboulisation des secteurs élevés et en particulier dans le vallon des Jovet-Bonhomme, semble particulièrement actif. Ces éboulis sont parfois sujets à un recouvrement superficiel fluvatile (éboulis ruisselés comme par exemple à la Cicle, à la Balme ou au Plan des Dames (voir la figure 5.48)) ou à une mobilisation périglaciaire (éboulis fluants de Roselette, de l'Enclave, etc., voir 5.3.2.4)



Figure 5.48: Le cône d'éboulis du Plan des Dames (2170m). La forme semi-circulaire s'explique par l'origine localisée des dépôts (petits couloirs à l'O du rocher du Bonhomme). L'éboulis est granoclassé et les blocs les plus volumineux se concentrent à l'aval. L'éboulis est parcouru également par des laves torrentielles, les dépôts ont donc probablement une double origine, gravitaire et fluvatile (éboulis ruisselés). Enfin, les tâches de végétation témoignent de la relative stabilisation de la partie haute. Figure 5.49: Rééquilibrage gravitaire des dépôts morainiques (moraine éboulée) du secteur N du Mont Tondu, et recouvrement de ces dépôts par l'éboulisation des parois dominantes. Les éboulis sont donc en cours de formation dans ce secteur, récemment déglacé.

Nous avons relevé quelques dépôts d'éboulement/écroulement rocheux (la différence entre ces deux termes varie selon les auteurs mais renvoie à l'importance du volume rocheux mobilisé par ces processus, celui de l'écroulement étant le plus important) dans la RNCM. On les retrouve dans des secteurs majoritairement peu pentus, au vallon de la Saussaz, au Plan des Dames, à Plan Jovet, entre le lac Jovet inférieur et supérieur, à la Balme et sous les Roches Franches. Ces dépôts sont essentiellement composés de calcaires massifs et de gneiss. À la différence des éboulis, la morphologie de ces dépôts se traduit par son irrégularité et par l'absence de granoclassement (voir la figure 5.50). La densité des gros blocs y est très importante et contraste souvent avec la granulométrie environnante. Ils résultent d'un détachement gravitaire brusque de volume rocheux importants d'une paroi. La chute complexe et les nombreuses interactions entre éléments (on parle parfois d'avalanche rocheuse pour décrire ce type de déplacement) lors de cet événement très rapide induit ces dépôts chaotiques, pouvant s'étendre sur de grandes superficies. Les dépôts que nous avons cartographiés illustrent un volume mobilisé relativement faible. Ces dépôts nous semblent anciens, en partie végétalisés et en cours de recouvrement par d'autres processus (éboulisation, alluvionnement). Ces dépôts sont majoritairement postglaciaires (décompression des parois) et dominent des accumulations

morainiques. Cependant les dépôts situés sur la moraine de la Balme (à l'intérieur du bastion) sont probablement supraglaciaires et ont été déplacés par le glacier jusque dans sa zone aval (voir la figure 5.51). Le secteur sédimentaire chaotique qui sépare le lac Jovet inférieur des lacs Jovet supérieurs est composé d'accumulations morainiques et de cordons. Nous retenons toutefois l'hypothèse d'Amelot (dans Amelot et al., 2008), qui y relève également des dépôts irréguliers d'un écoulement postglaciaire provenant du secteur du col de l'Enclave (voir la figure 5.50). La morphologie chaotique et l'absence de ruissellement superficiel du secteur (la présence de fines rend souvent les moraines imperméables) seraient dus aux dépôts grossiers et perméables de l'éboulement, permettant ainsi aux eaux du lac Jovet supérieur de percoler vers le lac Jovet inférieur. Enfin, si l'éboulement et les éboulements de petite taille sont nombreux dans le bassin glaciaire de Tré la Tête comme en témoigne l'importante couverture morainique superficielle du glacier, le bassin semble moins sujet aux grands écoulements rocheux qui ont touché le MMB à l'Holocène (voir par exemple Deline, 2003, 2008; ou Ravanel, 2009). Nous pensons que les gneiss du S du massif sont moins facilement soumis à ce type d'événements que le granite du N du massif, dont la structure en grands monolithes subverticaux facilite les déstabilisations massives. Nous n'avons pas retrouvé de traces d'écroulements (dépôts, niches d'arrachement) importants dans le bassin de Tré la Tête mais Deline et al. (2008) montrent par exemple que le secteur y est potentiellement sensible.



Figure 5.50: Le complexe sédimentaire entre les lacs Jovet. Si des cordons morainiques ont été relevés, la morphologie irrégulière dominante serait due à un écoulement rocheux holocène provenant du secteur de l'Enclave (coin en bas à droite). Ce phénomène expliquerait l'absence de ruissellement superficiel. Figure 5.51: Le bastion morainique de la Balme et les dépôts d'écroulement supraglaciaire (entourés en blanc). Ces gros blocs seraient déposés sur le glacier et auraient avancé avec lui jusqu'à son secteur aval.

L'autre groupe de formes gravitaires englobe les formes résultant d'un déplacement en masse où tous les éléments d'un même secteur sont affectés par des mouvements interdépendants. Nous ne reviendrons pas dans cette partie sur les déplacements en masse liés à la présence de pergélisol (voir 5.3.2.5.). Ces instabilités touchent aussi bien la couverture superficielle que le rocher. Elles sont parfois difficiles à discerner et concernent probablement d'autres secteurs, en plus de ceux que nous avons relevés. Nous distinguons les glissements de terrain, qui touchent de manière relativement localisée, les couches superficielles du sol et des unités géologiques (dizaines de mètres), des tassements et glissements rocheux qui concernent de grandes parties de versant et l'ensemble des couches jusqu'à des profondeurs importantes (centaines de mètres). La présence de secteurs de rétention d'eau (marais, moraine, couche géologique imperméable) est bien souvent déterminante dans le déclenchement des glissements de terrain que nous avons observés. À l'inverse, le tassement rocheux y est moins directement lié et il est plutôt la conséquence d'une déstabilisation du versant (décompression) qui exploite des zones de faiblesses géologiques (failles, fissures, etc.). Les glissements de terrain de la RNCM sont situés au col Jovet dans les roches triasiques, à la Rollaz et à la Rosière des Prés dans les schistes autochtones du Lias et la couverture morainique (voir la figure 5.52), dans l'Envers du Cugnon et dans la Côte d'Auran dans la couverture morainique (voir la figure 5.53). La morphologie de ces mouvements (nous n'avons pas toujours réussi à délimiter précisément la

niche d'arrachement) semble témoigner de glissements rotationnels d'une profondeur maximale est d'une cinquantaine de mètres (les Prés). La surface irrégulière et bombée montre des mouvements complexes et différentiels (voir la figure 5.53) mais ceux-ci ont une vitesse relativement faible à notre sens (quelques cm/an maximum). Le tassement rocheux que nous suspectons (également selon Gidon, 2010 et Epard 2010-communication personnelle) se situe dans le versant E de Roselette (voir la figure 5.52). Il semble déstabiliser tout le versant, depuis l'altitude de 2050 m. Bien qu'il ne se caractérise pas par des secteurs de dislocations rocheuses superficielles témoignant d'une forte activités, divers témoins géomorphologiques illustrent la dynamique probablement très lente de cette instabilité : failles apparentes au Plan de la Fenêtre, petite double crête dans les barres calcaires jurassiques centrales, morphologie irrégulière complexe, glissements de terrain superficiels.



Figure 5.52: L'aiguille de Roselette et le versant de la Rollaz. Les glissements de terrains qui touchent les schistes et la couverture morainique, prennent naissance dans des secteurs marécageux. Ils se traduisent par des dépressions à l'amont et par le bombement de la partie aval (déformation du rebord d'auge glaciaire de la Rollaz). Le tassement rocheux semble toucher l'ensemble du versant depuis la base des escarpements de Roselette (traitillés en haut de la photo). Figure 5.53: Forêt déstabilisée sur la couverture morainique de la Côte d'Auran (1300m), au dessus du Cugnon. L'inclinaison (dans différentes orientations) des troncs illustre un mouvement de terrain superficiel et récent (les arbres poussent à la verticale et leurs troncs ont tendance à se redresser quand ils sont déstabilisés, ce qui n'est pas encore le cas sur la photo).

### 5.3.2.6. Formes fluviales

On retrouve, dans la RNCM, les formes fluviales typiques de haute montagne, avec des zones d'érosions et des zones de dépôts bien marqués, des systèmes torrentiels et de nombreuses laves torrentielles. La haute montagne se caractérise par des accumulations sédimentaires importantes (moraines, éboulis, etc.) et par la forte variation de débit (précipitation, fonte des neiges, dégradation du pergélisol, fonte de la glace, etc.) de ses cours d'eau. L'eau joue donc un rôle (et possède un potentiel) morphogénétique très important en haute montagne. La compétence d'un cours d'eau (charge solide mobilisée) dépend du débit du cours d'eau, de l'énergie du relief (accélération, diminution de la vitesse d'écoulement) et de la nature (taille, densité, etc.) de cette charge solide. En fonction de cette compétence, l'eau va éroder, transporter et déposer la matière solide (voir la figure 5.54). On distingue ainsi, dans la RNCM, des secteurs d'érosions et des secteurs de dépôts fluviaux. Ces secteurs sont nombreux et interconnectés (par exemple l'érosion remobilise des secteurs de sédimentation). Les secteurs d'érosions se situent préférentiellement sur le haut des versants. Ils se traduisent par une incision profonde du relief par les cours d'eau, pouvant aboutir par une morphologie de badlands (paysage ruiniforme et fortement raviné, par exemple de secteur N du col du Bonhomme). Le ravinement et les niches d'érosions sont cependant maximaux dans les schistes (secteur du col du Bonhomme (voir la figure 5.55) et de Nant Borrant (voir la figure 5.56). Ces roches imperméables et peu résistantes sont facilement mobilisables par l'eau, donnant ainsi la morphologie fluviale la plus

développée (ravinement profond, forte densité de drainage) de la RNCM. À l'inverse, les gneiss sont plus résistants et la morphologie fluviale y est moins marquée, hormis les secteurs S de la Combe Blanche, la Combe du Chaborgne et d'Armançette qui présentent une forte incision des hauts des versants et des zones de dépôts en aval. Si les schistes mobilisés sont principalement des dépôts d'éboulis et de la roche en place, la mobilisation fluviale concernent préférentiellement dépôts morainiques dans les gneiss (remobilisation postglaciaire). Le ravinement fluviale varie de quelques décimètres à plusieurs dizaines de mètres (secteur amont de Nant Borrant). L'incision de dépôt meuble peut d'ailleurs former des rebords d'érosions ou terrasse. C'est ainsi que le Bon Nant s'est enfoncé dans l'ancienne marge proglaciaire de Plan Jovet et y a formé deux niveaux de terrasses (voir la figure 5.55). Les secteurs d'alluvionnement sont principalement concentrés dans des secteurs faiblement pentus (la déclinaison de la pente se traduit par une diminution de la compétence du cours d'eau et le dépôt de la charge solide). Les principaux secteurs alluviaux de la RNCM sont les vallons S du col du Bonhomme, le Plan des Dames et la partie S de Plan Jovet, la rive gauche du vallon de la Rollaz, le fond de la Combe Blanche et les pentes centrales des Combes du Chaborgne et d'Armançette. À noter enfin que les captages d'eau (EDF, eau potable) limitent les débits et donc la capacité des cours d'eau du Bon Nant à partir de Plan Jovet et de l'émissaire de Tré la Tête.

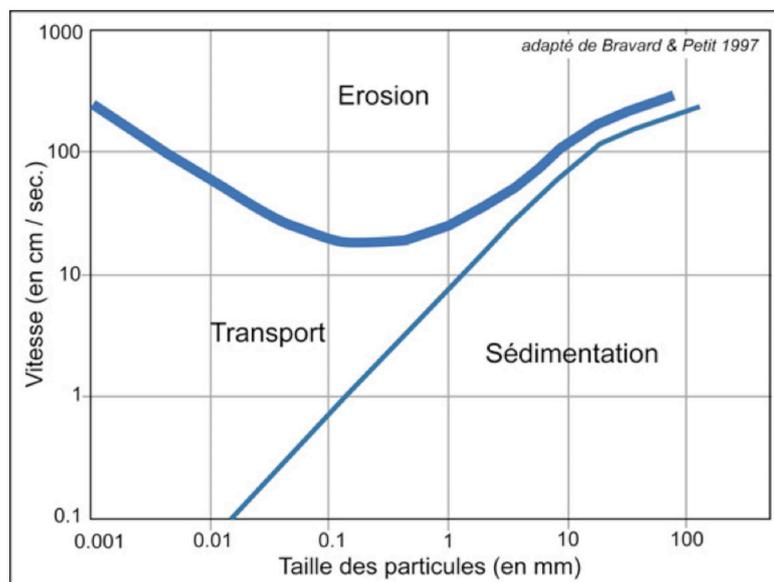


Figure 5.54: Diagramme empirique de Hjulström montrant l'évolution de la compétence d'un cours d'eau en fonction de sa vitesse d'écoulement (tirée de Morard et al., 2009)



Figure 5.55: Plan Jovet et le vallon du Bonhomme. Au premier plan, l'incision par le Bon Nant d'une ancienne marge proglaciaire a dessiné deux niveaux de terrasses (rebords d'érosion). Le vallon du Bonhomme est contrasté entre la rive droite cristalline (à gauche), à la morphologie essentiellement gravitaire, et la rive gauche schisteuse (à droite), à la morphologie marquée par les processus fluviaux (ravinement, chenal d'écoulement, cône de déjection).

La RNCM est composée de systèmes torrentiels. Ceux-ci se forment sur des pentes importantes et avec des cours d'eau à l'écoulement spasmodique (forte variabilité de débit en fonction des précipitations). La morphologie de ces systèmes est composée de trois parties distinctes (voir la figure 5.56): le bassin de réception en amont (forme d'entonnoir avec des thalwegs nombreux et convergents vers le chenal d'écoulement), le chenal d'écoulement dans la partie centrale (étroit et encaissé), puis le cône de déjection résultant du dépôt de la charge sédimentaire (adoucissement de la pente, éventail bombé vers l'aval). Toutefois, en raison de ces délimitations parfois indépendantes de la topographie, des systèmes torrentiels sont seulement présents partiellement dans la RNCM. Aussi, les cônes de déjection de la Frasse, du Cugon et de Nant Borrant (voir la figure 5.56) ne font pas partie de la réserve. Les autres systèmes torrentiels que l'on retrouve sont de taille plus modeste (Combe Blanche, Plan Jovet, etc.).



Figure 5.56: Morphologie torrentielle typique du Nant Borrant (bassin de réception, chenal d'écoulement et cône de déjection). Le cône ne fait pas partie de la RNCM. Sa formation a repoussé l'écoulement du Bon Nant vers l'Ouest et la Laya (bas de la photo). À noter le ravinement profond de la partie droite (à gauche) du bassin de réception, dans les schistes du Lias.

Enfin, nous avons relevé les formes (érosion, accumulation) résultant de l'activité des laves torrentielles et des coulées boueuses. Elles résultent de la mise en mouvement de terrains saturés en eau (ayant dépassé leur limite de liquidité, voir la figure 5.57).

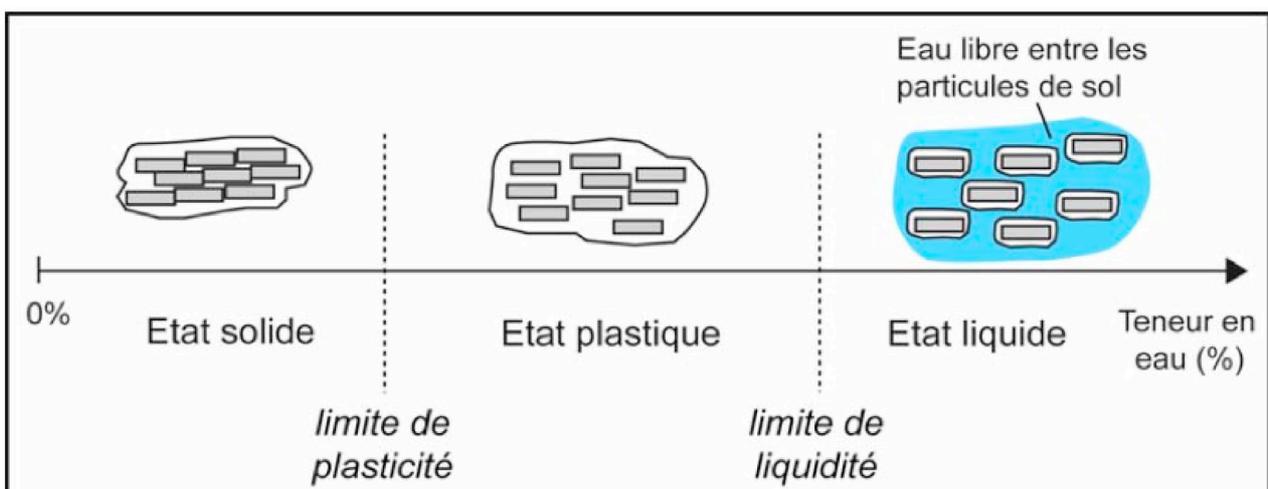


Figure 5.57: «Limite de consistance d'un sol en fonction de sa teneur en eau [...]. Au dessus de la limite de liquidité, le sol se comporte comme un liquide. Sa résistance au cisaillement est nulle et il se répand lorsqu'on le déverse (tirée de Morard et al., 2009)».

Les laves torrentielles sont des fluides hyperconcentrés (eau, fines et blocs) au comportement visqueux qui se forment dans le réseau hydrographique avec la mobilisation de matériel sédimentaire par un apport d'eau important (principalement les orages). Ce fluide, à la grande capacité de charriage (les gros blocs sont mobilisés), peut atteindre des vitesses importantes (plus de 10 m/s). Il a donc une capacité d'érosion considérable, que ce soit dans le secteur amont (incisions, voir les figures 5.58 et 5.59) ou aval, dans les zones de dépôts. Dans une pente, ces dépôts se traduisent par des bourrelets latéraux que l'on appelle levées (voir la figure 5.58). On retrouve de nombreuses laves torrentielles dans la RNCM. Elles se déclenchent autant dans les parois rocheuses (les Fours, la Cicle, etc.) que dans les dépôts morainiques (Combe d'Armançette, la Mine, etc.) et les éboulis (la Pennaz, Monts Jovet, etc.). La plupart d'entre elles sont de petite taille et les dépôts se situent à quelques centaines de mètres des zones de déclenchement. Les laves d'Armançette et de la Combe Blanche sont de taille plus importante.

Nous avons également relevé quelques coulées boueuses (elles sont cartographiées comme les laves torrentielles, le figuré n'existant pas dans la légende de l'IGUL). Elles se distinguent par leur formation en dehors du réseau hydrographique (sous le glacier rocheux de l'Enclave par exemple). Ces coulées sont essentiellement composées d'eau et de fines et les blocs mobilisés sont rares. Globalement, elles se déplacent sur de plus petites zones que les laves torrentielles.



Figure 5.58: Laves torrentielles (au centre) dans la Combe NO des Fours. Elles prennent naissance dans la partie haute de ces éboulis et leurs dépôts sont accumulés à Plan Jovet, environ 600m en dessous. On distingue, tout le long de l'écoulement, des levées résultant de dépôts latéraux. Figure 5.59: Incision de la marge proglaciaire d'Armançette par des laves torrentielles. Il faut noter la quantité de dépôts morainiques (gros blocs principalement) disponibles dans le chenal et probablement mobilisés lors des prochains événements.

### 5.3.2.7. Formes lacustres et organogènes

Nous avons relevé une seule forme lacustre dans la RNCM avec le petit delta qui se forme au NE du lac Jovet supérieur à 2194m (voir la figure 5.60). Ce delta mesure à peine quelques m<sup>2</sup> et résulte de la sédimentation dans le lac de la charge du cours d'eau drainant le haut du vallon. La faiblesse de cet alluvionnement est probablement à rapprocher avec la dissolution dans la couverture triasique (voir 5.3.2.7.). Ces infiltrations empêchent ainsi un drainage plus important de ce secteur. Les carottages effectués dans ce lac en 2000 (voir 4.1.2.) montrent d'ailleurs l'absence de sédimentation au fond de ce lac. Les autres lacs et petits plans d'eau de la RNCM subissent un alluvionnement relativement faible. L'absence de cours d'eau permanent les alimentant explique l'absence de deltas. Il nous semble que le lac d'Armançette est celui dont le remplissage a la dynamique la plus importante (dépôts gravitaires, fluviaux et nivaux depuis les versants supérieurs).

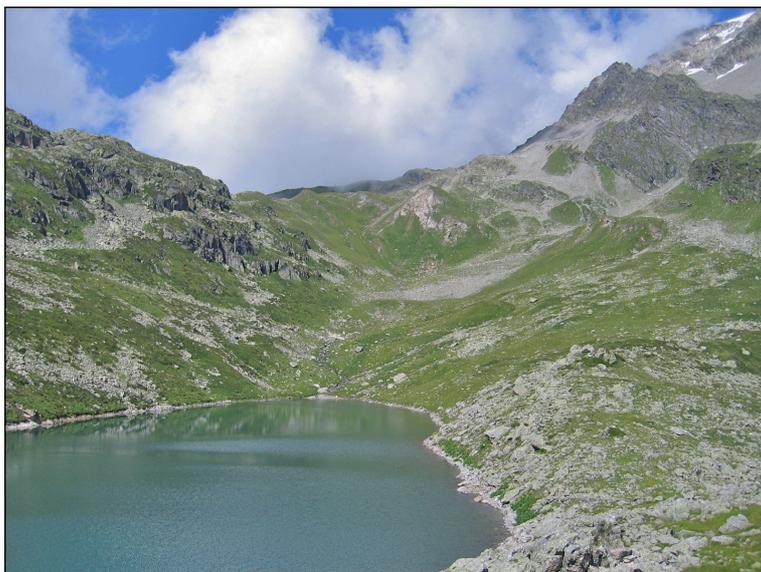


Figure 5.60: Le lac Jovet supérieur et le col Jovet. Un petit delta se forme au bout de ce lac, par le dépôt de sédiments provenant du vallon. Cependant, la couverture triasique dominante limite l'écoulement de surface par de nombreuses infiltrations (voir 5.3.2.8.). L'importante accumulation morainique au centre de la photo (zone grisée) correspond selon nous aux dépôts déposés par le glacier SO du Mont Tondu au maximum du PAG.

Si la dynamique de sédimentation lacustre est peu développée actuellement dans la RNCM, nous avons cartographié de nombreux secteurs d'accumulation végétale qui témoignent du comblement sédimentaire et/ou de l'atterrissement par la végétation de lacs et plans d'eau. D'anciens lacs occupaient ainsi de petits ombilics aux Monts Jovet et à Plan Jovet (voir la figure 5.61) et ont aujourd'hui disparu. De même, nous pensons que des petits lacs se sont formés sur la moraine de la Balme (dans le secteur où sont construits actuellement les chalets, voir la figure 5.51) et à l'intérieur de l'excroissance morainique de la Giettaz (cette situation existe actuellement à l'Amphithéâtre du Miage (Italie) où le lac du Miage occupe une partie de l'excroissance morainique). La topographie (secteur plat) et surtout la nature de la couverture végétale (bas marais, pelouses contrastant avec l'environnement) de ces secteurs nous conduisent à les considérer comme des anciens lacs. Il est possible que le remplissage des secteurs de la Balme et de la Giettaz soit de nature glacio-lacustre (varves, dropstones). Nous nous demandons également si le secteur morainique du Pont de la Rollaz, situé juste en amont de la Giettaz, n'est pas également lié au remplissage d'un lac d'opturation glaciaire, formé à la suite du barrage de la vallée par la moraine de Pré Derrière - la Giettaz.

De nombreux autres secteurs marécageux ont été relevés dans la réserve. Ils traduisent la stagnation de l'eau dans des zones peu pentues et sur des sols imperméables (roche en place, moraine). Cette rétention de l'eau se caractérise par un appauvrissement du sol en oxygène, ce qui empêche donc une décomposition complète des végétaux. Les végétaux s'accumulent ainsi sous forme d'humus et de tourbe. Dans les bas marais, la végétation est en lien avec la nappe phréatique et les écoulements de surface. La présence d'éléments nutritifs est donc abondante (Vittoz, 2008) dans le sol et permet le développement de espèces faunistiques et floristiques particulières. On retrouve des bas marais à Plan Jovet et au pâturage de la Balme. À l'inverse, les hauts marais qui recouvrent les secteurs d'ombilic de roches triasiques et de gneiss moutonnés de la Rosière (voir la figure 5.62), du Sololieu et de la Combe Noire sont isolés en partie de la nappe phréatique par l'accumulation trop importante de matière organique. Ces tourbières sont donc pauvres en éléments nutritifs et permettent seulement à des espèces adaptées de se développer (sphaignes). Preuve de cette pauvreté du sol, l'âge d'un épicéa, dont le tronc mesurait 20 cm de diamètre, a été estimé à 230 ans (ASTERS, 2004: 58). Le passage d'un bas marais à un haut marais (marais de transition) s'effectue par accumulation de tourbe (environ 1mm/an).



Figure 5.61: Lac comblé à Plan Jovet (1990m). Il est mis en évidence par la pelouse jaunâtre qui le recouvre et contraste avec la lande environnante. Il s'est formé dans un petit ombilic entre deux affleurements de gneiss moutonnés. Le comblement de ce lac résulte de la sédimentation produite par de petits cours d'eau et par l'accumulation de matière organique (tourbe). Figure 5.62: Pessière à sphaignes de la Rosière (1420m). Cette haute tourbière s'est formée dans un ombilic moutonné (affleurements apparents au fond) par l'accumulation de matière organique partiellement décomposée. Ce secteur est une des grandes richesses écologiques de la RNCM (ASTERS, 2004).

Enfin, nous avons relevé de nombreux secteurs dominés par la pédogenèse. Ces secteurs sont plus nombreux que ceux cartographiés et n'existent pas uniquement sur la roche en place. Par exemple, la végétalisation d'éboulis, de moraines ou de formes périglaciaires montre que la formation de sol touche d'innombrables secteurs sédimentaires stabilisés (voir les figures 5.63 et 5.64). La légende géomorphologique de l'IGUL met cependant l'accent sur ces formes sédimentaires et la pédogenèse est uniquement relevée sur la roche en place. Les secteurs cartographiés comme tel concernent donc les principales zones sans dynamique d'érosion et transport de matière. La roche mère y est altérée in situ par la formation d'un sol. Les principaux secteurs concernés sont les Monts Jovet et le Col Jovet, la zone du col du Bonhomme, le Plan de la Fenêtre, les affleurements situés de la Combe Noire à la Rosière. Les différentes études pédologiques (dans ASTERS, 2004: Breyton, 1976; Cabaret, 1980 et Le Blevec, 1981) entreprises dans la RNCM montrent la jeunesse des sols d'altitude en raison de la dynamique d'érosion. Les sols, fréquemment renouvelés, sont donc fortement influencés par la roche mère et des rankers se développent sur les roches silicieuses (gneiss) tandis que les calcaires sont recouverts de rendzines plus ou moins brunifiées. On retrouve dans les secteurs moins pentus des sols plus épais et le développement de sol bruns acidifiés témoigne partout de la diminution de l'influence de la lithologie sous-jacente.



Figure 5.63: Pointe Nord des Mont Jovet depuis le col Jovet. La pédogenèse se traduit par la pelouse alpine qui recouvre ce secteur gneissique. Dans des petites dépressions, les accumulations végétales ont provoqué l'atterrissement d'anciens petits plan d'eau. Figure 5.64: Pédogenèse sur secteur calcaire et schisteux au SO du col du Bonhomme. Celle-ci touche autant la roche en place (ressaut à gauche) que les secteurs sédimentaires (accumulations fluviales et gravitaires au centre et à droite). Au fond, le Beaufortin.

#### 5.3.2.8. Formes karstiques

La morphologie karstique est assez peu développée dans la RNCM en raison de la présence relativement limitée des roches carbonatées. Le modelé karstique provient de la dissolution des roches solubles (calcaires, schistes calcaires, dolomie, gypse/anhydrite). Dans les calcaires, l'eau, acidifiée par le dioxyde de carbone, dissout le carbonate de calcium présent dans la roche. Cette dissolution est variable et dépend de nombreux facteurs (pureté du calcaire, quantité d'eau, teneur en CO<sub>2</sub>, couverture végétale, etc.). Elle est ainsi maximale dans les gypses/anhydrites et faible dans les dolomies. On retrouve les deux formes les plus courantes d'exokarst dans la RNCM, les dolines et les lapiés. Toutefois, nous avons limité notre cartographie aux dolines, les lapiés présents s'étant développés sur des surfaces limitées et localisées. Les lapiés sont des cisures superficielles de la roche, formées notamment par la dissolution exercée par l'écoulement des eaux météoriques. Des petits secteurs de lapiés de ruissellement (cannelures, rigoles) témoignent de l'incision des dalles calcaires à l'Ouest du col du Bonhomme (voir la figure 5.65) et sur des zones limitées de l'Est de la Pennaz. Ces mêmes microformes de dissolution sont également présentes sur quelques-uns des gros blocs calcaires éboulés que l'on retrouve au coeur de la moraine de la Balme. Nous n'avons malheureusement pas eu le temps de nous rendre dans le secteur de la Tête Sud des Fours pour y étudier la morphologie des dalles du Lias mais nous pensons que les chances d'y trouver des modelés karstiques sont faibles (grès et conglomérats autochtones). Les dolines sont plus nombreuses mais elles-aussi de taille limitée (quelques mètres de largeur et de profondeur). Leur représentation cartographique au 1: 50 000 est donc indicative et les secteurs où elles sont relevées présentent bien souvent davantage de formes que celles dessinées. Les dolines sont des dépressions en forme d'entonnoirs. Elles peuvent résulter de la dissolution de roches solubles superficielles (infiltration de l'eau) ou d'effondrements survenus dans un réseau endokarstique. Des dolines, à la morphologie arrondie, sont présentes dans les calcaires au Plan de la Fenêtre, sous les Roches Franches, au Plan des Dames, dans les dolomies à Plan Jovet (voir la figure 5.66) et dans les évaporites au vallon des Jovet (voir la figure 5.67). La karstification est accélérée dans les gypses en raison de leur importante solubilité. Aussi, les dolines y présentent-elles une morphologie plus anguleuse et les entonnoirs y sont plus profonds. Dans ce prolongement, on retrouve un champ d'entonnoirs asymétriques (en raison de la pente) en dessous du col Jovet (voir la figure 5.68).



Figure 5.65: Petits lapiés de ruissellement dans les affleurements calcaires situés à l'Ouest du Col du Bonhomme. La dissolution a sculpté ces microformes. Un sol s'est développé dans les secteurs les plus fortement incisés.  
 Figure 5.66: Dolines de dissolution de Plan Jovet dans la couverture triasique (dolomie selon Delamette, 2002).

Nous n'avons pas trouvé de signes d'un réseau endokarstique important. La forte présence de roches imperméables (gneiss, schistes) en surface ou en dessous des séries carbonatés explique selon nous cette situation. Nous pensons cependant qu'une étude plus poussée de la morphologie karstique peut être entreprise dans la RNCM et dans le secteur allant du Col du Bonhomme au Col de la Cicle, les calcaires massifs du Malm qui composent l'unité de Roselend doivent présenter davantage de formes karstiques que celles cartographiées. Enfin, le col des Tufs, situé à la limite E de la RNCM, entre la Tête de Bellaval et les Fours, ne semble pas présenter de concrétions carbonatées comme son nom l'indique. Ces concrétions résultent du processus inverse de la dissolution des calcaires et se traduit par la précipitation de carbonates de calcium dans une eau surchargée. Nous pensons que le nom de ce col est originaire du vallon (le Grand Tuf) provenant du col et s'orientant vers le SE et la Ville des Glaciers. Aucune indication sur la carte géologique ne semble toutefois y montrer la présence de tufs.



Figure 5.67: Doubles chapelets de dolines dans le vallon des Jovet. Ces entonnoirs résultent de la dissolution des roches sous-jacentes. Ces alignements sont d'origine structurale. Figure 5.68: Dolines dans les gypses du Col Jovet. La vitesse de dissolution importante se traduit par cette morphologie anguleuse.

### 5.3.2.9. Formes nivales

Nous n'avons pas cartographié de formes nivales dans la RNCM. Celles-ci sont en effet peu développées ou, si elles existent, le processus nival n'est pas le processus morphogénétique dominant. Nous n'avons pas retrouvé de moraines de névé (accumulations de blocs tombant et glissant au pied

d'un névé). Par exemple, nous savons que la combe NO de la Pennaz était recouverte d'un névé permanent au PAG et jusqu'au début du 20ème siècle (Chardonnet, 1938). Nous n'avons cependant pas relevé de trace d'accumulation de blocs, la pente importante et instable actuelle témoignant de l'activité des processus gravitaires et fluviatiles. Ces processus ont ainsi remobilisé les dépôts nivaux si ceux-ci ont existé.

Les avalanches sont par contre nombreuses dans la RNCM, favorisées par les importantes chutes de neige, l'énergie du relief et l'absence de végétation en altitude. Elles prennent naissance autant dans des couloirs (couloirs d'éboulis se transformant en couloir toboggan en hiver) que dans les versants. Ces aléas sont nombreux et touchent tous les secteurs pentus de la réserve, les forêts de la vallée principale jouant cependant un rôle important de stabilisation du manteau neigeux. Quatre secteurs principaux sont soumis à des avalanches régulières et de grande ampleurs (ASTERS, 2004): Nant Borrant (voir la figure 5.56), le Nant des Grassenières (voir la figure 5.69), le Nant des Tours (voir la figure 5.69) et le Nant d'Armancette (voir la figure 5.15). Ces avalanches se forment donc dans des secteurs pentus et soumis le reste de l'année à d'autres instabilités géomorphologiques (laves torrentielles, éboulisation). Ces avalanches se traduisent par la colonisation de l'aulnaie verte dans les secteurs balayés, jusqu'à des altitudes relativement basses (1400m environ), l'épicéa (espèce forestière dominante) ne pouvant se développer en raison de l'occurrence des événements (voir la figure 5.69). Les témoins géomorphologiques des avalanches sont peu nombreux et nous n'avons pas cartographié de dépôts rocheux d'avalanches. Cependant, nous pensons que de nombreux éboulis et des accumulations gravitaires que nous avons dessinés, sont en partie remobilisés par des avalanches de fond, participant ainsi au transfert du matériel sédimentaire vers l'aval. Les dépôts de versants sont ainsi bien souvent polygéniques et résultent de l'action (successive, simultanée ou interdépendante) de différents processus (voir la figure 5.70). Par exemple, de nombreux éboulis (Combe Blanche, rive droite de la Rollaz, la Balme, col de l'Enclave, etc.) présentent une forme concave prononcée à l'aval et des dépôts sédimentaires mêlant le matériel grossier et fin dans leurs parties distales. Cette morphologie semble témoigner du transport sédimentaire par les purges printanières du manteau neigeux.



Figure 5.69: Zones de dépôts d'avalanches dans la Combe du Chaborgne (à gauche, le Nant des Tours et à droite, le Nant des Grassenières). La végétation automnale contrastée (aulnes et autres essences contre pessière climacique) met en évidence les secteurs fréquemment parcourus par les avalanches. Les lignes blanches marquent grossièrement les limites inférieures des avalanches de taille moyenne tandis que les avalanches exceptionnelles peuvent continuer vers la vallée principale dans les tirets. Figure 5.70: Eboulis polygéniques de la Tête de la Cicle. Ces formes, cartographiées comme gravitaires, résultent également des processus périglaciaires (fluage du matériel dans la partie basse), fluviatiles (ruisselement et dépôts de petites laves torrentielles prenant naissance dans les couloirs supérieurs) et nivales (dépôts non classés de matériel grossier et fin dans la partie distale par des avalanches de fond).

### 5.3.2.10. Formes anthropiques

Les dernières formes que nous avons relevées sont anthropiques. Bien que l'Homme laisse de nombreuses traces et influence la géomorphologie de la RNCM (voir le chapitre 6), nous avons seulement relevé les quatre dépôts témoignant du percement de la galerie de Tré la Tête. Ils prennent la forme de petits cônes réguliers d'accumulation de blocs à la granulométrie relativement homogène et dont la hauteur maximale est une trentaine de mètres. Ils recouvrent discrètement le versant de la prise d'eau de Tré la Tête (voir la figure 5.71) à Plan Jovet.



Figure 5.71: Petit cône formé avec des dépôts d'excavation en dessous de la cantine de Tré la Tête (en bas à gauche).

## 5.4. Synthèse

La géomorphologie de montagne, nous l'avons vu tout au long de cette notice explicative, se caractérise par sa complexité et sa diversité. Les formes, des plus petites aux plus grandes, résultent bien souvent de l'interaction de différents processus, et d'une histoire morphogénétique particulière, où la géologie, la climatologie et la topographie occupent une place importante dans la dynamique et la répartition des processus géomorphologiques.

Tout processus de cartographie est une représentation et une simplification de la réalité. Aussi, la réalisation d'une carte géomorphologique dans la RNCM selon la méthode de l'IGUL et à une échelle relativement petite (au 1: 50 000) nous a conduit à relever uniquement les formes les plus importantes et les processus dominants. Cette cartographie réduit donc fréquemment la complexité géomorphologique du terrain et fait abstraction des plus petites formes. En gardant cela à l'esprit, cette cartographie nous apporte cependant des informations intéressantes sur la géomorphologie de la RNCM:

- les conditions géologiques structurales (répartition, géométrie et composition des unités tectoniques; relief structural; zones de faiblesse) influencent fortement la géomorphologie de la RNCM.
- la géomorphologie actuelle résulte en grande partie du processus glaciaire, qu'il se traduise par des formes actives ou par des formes fossiles et héritées.
- l'activité du processus glaciaire diminue (surface touchée, volume glaciaire) mais nous avons mis en évidence que ce processus touche toujours des secteurs où il semblait avoir disparu (hypothèses des glaciers rocheux enterrés).
- le processus gravitaire est très important dans les secteurs d'altitudes et pentus. Les formes sont globalement actives en altitude et fossiles dans les versants de la vallée principale.
- le processus périglaciaire occupe une place plus restreinte dans la morphologie et il se traduit par des formes localisées fossiles, inactives et actives (principalement en fonction de l'altitude).

- le processus fluvial se caractérise principalement par des zones d'érosions sur les versants et des zones de dépôts dans les secteurs où la pente s'adoucit. Il a tendance à remobiliser et recouvrir les dépôts de d'autres processus.
- les autres processus morphogénétiques sont peu importants dans la RNCM et les formes qui en résultent sont de tailles relativement modestes.

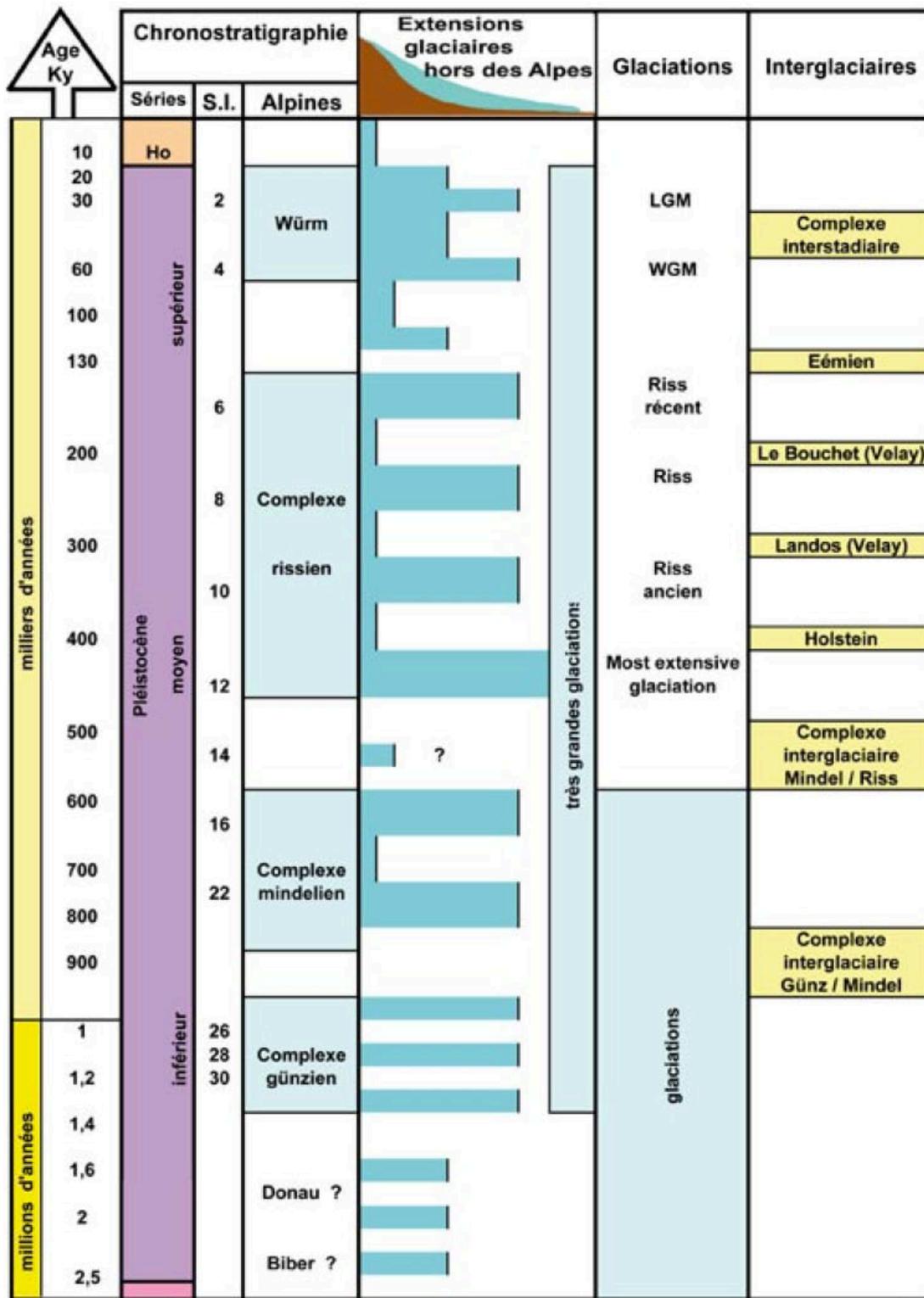
Enfin, cette cartographie peut servir de base à d'autres analyses sur la géomorphologie de la RNCM: l'analyse morphogénétique (et les reconstitutions paléogéographiques) et l'analyse de la dynamique géomorphologique actuelle. Nous allons rapidement développer ces analyses dans ce mémoire (chapitre 6 et 7), à la fois par manque de temps, mais aussi et surtout parce qu'elles pourraient chacune être l'objet d'un travail de recherche conséquent.

## 6. Morphogenèse

### 6.1. Introduction

Cette partie sera consacrée à la morphogenèse de la RNCM et plus particulièrement à ses étapes depuis le LGM. L'objectif de cette introduction est de faire un bref rappel des variations climatiques quaternaires pour permettre de comprendre les oscillations glaciaires et l'héritage qui en découlent dans la RNCM. Nous introduirons également la notion de *période paraglaciale* qui correspond à la période de remobilisation postglaciale des sédiments. La réserve étant en grande partie déglacée, la crise paraglaciale a donc joué un rôle morphogénétique important.

Le Quaternaire est une période géologique qui comprend le Pléistocène et l'Holocène (voir la figure 6.1). Cette période est actuellement l'objet de nombreux débats au sein de la communauté scientifique (voir par exemple Brugal et al., 2007, et plus largement le numéro 18/1-2007 de *Quaternaire* sur le colloque Q5 de 2006 (limites et spécificités du Quaternaire)), notamment sur les questions de la datation de sa limite inférieure, de son intégration au Néogène et donc plus largement au Cénozoïque (ère Tertiaire). Les chercheurs ont d'ailleurs proposé lors de ce colloque de rabaisser la limite de l'ère Quaternaire de 1.8 Ma à 2.6 Ma. Une vingtaine de glaciations et d'interglaciaires ont caractérisé le climat de cette période, en fonction de l'évolution de mécanismes endogènes et exogènes influençant le climat à moyen et à long terme (voir par exemple Falot, 2008). Les nombreux glaciers et cours d'eau qui se sont succédés pendant cette période ont ainsi largement poursuivi l'érosion du relief alpin et l'incision des vallées.



Sources : P. Mandier, C.Schlüchter

HO : Holocène SI : Stades Isotopiques marins

LGM : Last Glacial Maximum

WGM : Würm Glacial Maximum

© S. Cutterand

Figure 6.1: Chronologie du Quaternaire Alpin, tirée de Cutterand, 2010.

La dernière grande glaciation quaternaire dans les Alpes est le Würm et dure environ 120 000 ans jusqu'au début de l'interglaciaire contemporain, l'Holocène, il y a 10 000 ans BP. Les maximums glaciaires würmiens sont atteints aux alentours de 60 000 BP et entre 40 000 et 20 000 BP, les datations et les interprétations sur le dernier maximum glaciaire (LGM) variant de manière importante entre les glaciers alpins et selon les auteurs (voir par exemple Cutterand, 2010). Le Pléniglaciaire

(pendant lequel s'inscrit le LGM) prend fin aux alentours de 18 000 BP, la fonte initié partout dans les Alpes correspondant à une augmentation de l'intensité du rayonnement solaire dans l'hémisphère N en été (Fallot, 2008). Cette période de désenglacement rapide est appelée le Tardiglaciaire. Elle est marquée par quelques réavancées et périodes d'équilibre glaciaire, durant lesquelles les moraines des stades tardiglaciaires sont construites (voir la figure 6.2). Au Dryas récent, entre 11 000 et 10 000 BP, un ralentissement de la circulation thermohaline mondiale (circulation des courants océaniques) provoque un net refroidissement du climat qui marque le dernier stade tardiglaciaire, généralement bien conservé dans les Alpes. Enfin, depuis 10 000 BP et le rétablissement de la circulation thermohaline, l'Holocène est synonyme de réchauffement du climat et de passage dans une période interglaciaire. Le climat continue cependant d'osciller en fonction des conditions océaniques et solaires. L'Holocène est en ce sens composé de majorations climatiques (par exemple l'optimum climatique atlantique entre 8000 et 4700 BP) et d'une dizaine de péjorations climatiques d'une amplitude globalement similaire au PAG (voir la figure 6.2).

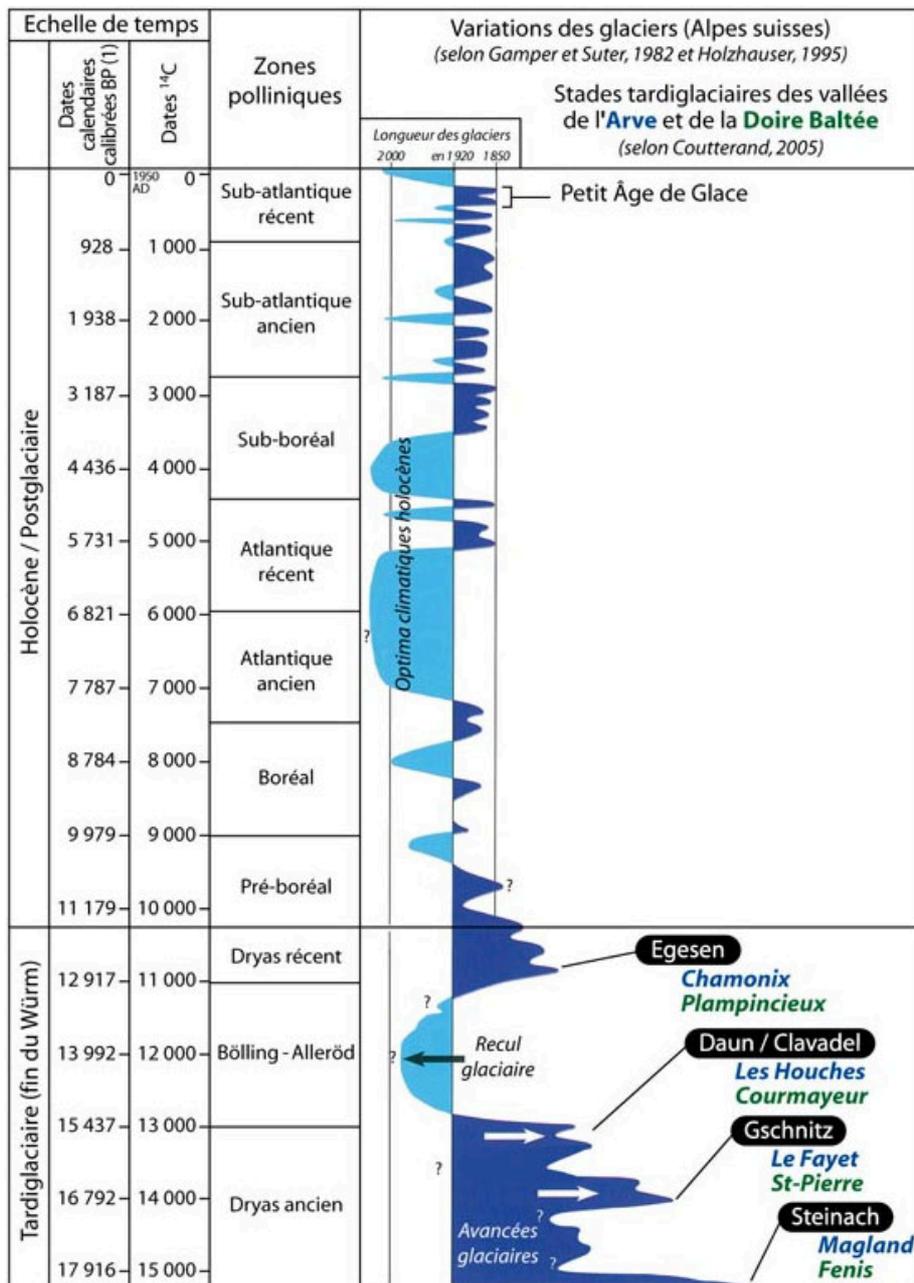


Figure 6.2: Chronologie du Tardiglaciaire et de l'Holocène dans les Alpes. La partie droite montre les principales variations glaciaires pendant ces périodes et les stades de retrait glaciaire associés. Tirée de Coutterand, 2010.

À partir de la connaissance de ces évolutions climatiques, de leurs conséquences glaciaires et de différentes études produites sur le Quaternaire alpin, nous pouvons donc dire que les formes glaciaires que l'on retrouve dans la RNCM datent, pour les plus anciennes, du LGM. La glace ennoie alors en effet une très grande partie de la réserve (voir les figures 6.5 et 6.6 et la carte 9). Les formes d'érosion et les dépôts antérieurs sont remobilisés et disparaissent (voir 6.2). De plus, la réserve étant située dans un secteur d'altitude où les grands glaciers alpins prennent naissance, nous pouvons également penser que les constructions morainiques de la RNCM sont héritées de la dernière partie du Tardiglaciaire, au moment où les glaciers se sont désunis et ont vu leurs fronts fondre, pour se retrouver plus haut dans les vallées alpines. Enfin, nous avons vu que l'Holocène est composé de nombreuses phases froides de l'intensité du PAG. Les constructions glaciaires de cette période n'ont donc cessé d'être remobilisées et/ou recouvertes, pouvant ainsi générer, par accumulations successives, des bastions morainiques à la hauteur importante (voir 5.3.2.2. et 5.3.2.3.).

De nombreuses études sur l'héritage glaciaire alpin ont été entreprises. Les auteurs ont cherché ainsi à reconstituer l'histoire du désenglacement progressif depuis le LGM jusqu'à la situation actuelle. Si les formes d'accumulation sont variables et ont parfois disparu, des similitudes existent toutefois (morphologie, valeur de la dépression de la ligne d'équilibre glaciaire (DLEG), etc.) et on les retrouve dans différentes régions des Alpes. La corrélation de différents travaux a abouti à l'élaboration d'une échelle de référence relative de désenglacement, à partir des travaux de Maisch dans les Alpes orientales en 1981. Cette échelle est ainsi composée de différents stades (dont les noms correspondent pour la plupart à des lieux des Grisons). Ces stades sont reliés à des périodes de récurrence ou d'équilibre glaciaire. Des datations absolues viennent éclairer cette chronologie relative, mais elles sont parfois variables entre les régions. Dans ce prolongement, Scapozza (2008) a réuni les caractéristiques communes de ces différents stades qui s'échelonnent du Pléniglaciaire à l'Holocène (voir le tableau 6.3).

Stade	Moraines, morphologie	Situation régionale	Dépression de la LEG	Âges <sup>10</sup> Be BP	Position chronostratigraphique
Kromer/ Kartell	Moraines à gros blocs bien définies et à plusieurs vallums. Petits glaciers rocheux. Localités type : Cirque de Kartell (1) (Groupe du Ferwall) et Kromertal (2) (Groupe de la Silvretta).	Glaciers de cirque et glaciers de vallée, plus grands qu'au PAG mais plus petits de la position Egesen minimale.	-120 à -60 m selon la localité (2, 3, 4)	8400 ± 700 : Kromertal ; 10'800 ± 1000 : Cirque de Kartell.	Phase froide de Misox ? (± événement GH 8.2 kyr) (4)
Egesen	Moraines construites à crêtes bien marquées et plusieurs vallums (5). Parfois à gros blocs. Trois phases de réavancée des glaciers de cirque et de vallée. Développement de gros glaciers rocheux vers la fin du stade (4, 6, 7). Localité type : Vallée du Stubai, SW de Innsbruck (5).	Glaciers de cirque et glaciers de vallée, petits réseaux glaciaires dendritiques	-450 à -180 m pour l'avancée maximale selon la localité (6)	Maximum (I) : 12'300 ± 1500 (Col du Julier) ; 12'200 ± 1000 (Schönferwall). Fin de la phase d'activité des glaciers rocheux : 11'300 ± 900 (Col du Julier)	Dryas récent (8, 9, 10)
Interstade Bølling-Allerød	Pas d'évidences morphologiques d'avancées glaciaires, pourtant pendant les périodes plus froides les glaciers ont pu avancer. Les dépôts ont été probablement remaniés pendant le Dryas récent.	Glaciers de cirque et glaciers de vallée ( ? )	Moins qu'à l'Egesen		Bølling-Allerød
Daun	Moraines bien définies mais aplanies, avec relativement peu de blocs. Elles ont été remaniées par solifluxion au Dryas récent (5). Elles sont absentes dans les zones à climat plus océanique des Alpes (remaniées à l'Egesen ?) (11). Localité type : Vallée du Stubai, SW de Innsbruck (12).	Glaciers légèrement plus étendus qu'à l'Egesen, mais plus petits qu'au Clavadel/Senders	-400 à -250 m selon la localité (2)		Avant le Bølling (3, 13)
Clavadel/ Senders	Moraines bien définies, très riches en sédiments (3, 13, 14, 15). Localités type : Clavadel (Davos) (3) et Senders (Innsbruck) (15). Probablement équivalent au stade de Zwischbergen au Col du Simplon (16, 17).	Glaciers de cirque, glaciers de vallée et réseaux glaciaires dendritiques clairement plus petits qu'au Gschnitz.	-500 à -400 selon la localité (16, 17)		Avant le Bølling
Gschnitz	Grandes moraines à versants abrupts, sans traces de solifluxion au-dessous de 1400 m. Première grande récurrence du Tardiglaciaire (18). Localité type : Gschnitztal (S de Innsbruck) (12).	Glaciers de cirque, glaciers de vallée et réseaux glaciaires dendritiques.	-700 à -600 selon les localités	> 15'400 ± 1400 (Trins, Gschnitztal)	Avant le Bølling (événement de Heinrich 1) (19)
Début du Tardiglaciaire	Phases de retrait des lobes de piémont à l'intérieur des vallées marquées par des petites oscillations des marges du glacier. Comprend les stades classiques de « Bühl » et « Steinach » (12, 20).	Réseaux glaciaires dendritiques	Assez indéfini. Entre le LGM et -800 m		Avant le Bølling, plus vieux que 15'400 ± 470 C <sup>14</sup> BP (20).
LGM	Dômes de glace dans les Alpes, glaciers de piémont au débouché des grandes vallées alpines (21, 22, 23).	Lobes de piémont	> -1200 à -1000 m	19'900 ± 1600 (ER 1) ; 20'500 ± 1400 (ER 2) ; Wangen a.A. (24)	21'000 – 19'000 BP

1 : Fraedrich (1975) ; 2 : Gross *et al.* (1977) ; 3 : Maisch (1981) ; 4 : Sailer (2001) ; 5 : Heuberger (1966) ; 6 : Kerschner *et al.* (2000) ; 7 : Sailer & Kerschner (1999) ; 8 : Patzelt (1972) ; 9 : Kerschner (1986) ; 10 : Ivy-Ochs *et al.* (1996) ; 11 : Hertl (2001) ; 12 : Mayr & Heuberger (1968) ; 13 : Maisch (1982) ; 14 : Maisch (1987) ; 15 : Kerschner & Bertold (1982) ; 16 : Müller (1982) ; 17 : Müller (1984) ; 18 : Kerschner *et al.* (1999) ; 19 : Ivy-Ochs *et al.* (2006) ; 20 : van Husen (1977) ; 21 : Florineth & Schlüchter (1998) ; 22 : Florineth & Schlüchter (2000) ; 23 : Kelly *et al.* (2004) ; 24 : Ivy-Ochs *et al.* (2004).

Tableau 6.3: Les principales caractéristiques communes des stades de retrait glaciaire dans les Alpes. Tirée de Scapozza, 2008: 117 et d'après les compilations de Ivy-Ochs *et al.*, 2006 et 2007.

Le système morphogénétique glaciaire, tout comme le système morphogénétique périglaciaire, est un système stable (conditions climatiques et énergétiques en équilibre, voir Scapoza, 2008 et la figure 6.4). Le réchauffement du climat rompt cet équilibre et se traduit par une crise morphogénique *paraglaciaire*. Ce terme a été introduit dans les années 1960, puis développé dans les années 1970 (Church et Ryder, 1972). Des auteurs (Benn et Evans, 1998; Ballantyne, 2002) proposent plus récemment de recentrer la définition sur la notion de *période paraglaciale*. Celle-ci peut se définir comme la « *période de réponse déclenchée par la remobilisation de sédiments glaciaires non consolidés et par la verticalité accrue des pentes rocheuses soumises à la décohesion postglaciaire. La période paraglaciale s'achève théoriquement une fois que les taux de sédimentation diminuent pour atteindre des valeurs caractéristiques des bassins-versants non englacés* (Mercier, 2008) ». Ce réajustement postglaciaire se traduit donc par une érosion et une sédimentation accrue. Le désenglacement se caractérise par la mise à découvert de nombreux secteurs (rocheux et sédimentaires) où, en raison des conditions climatiques, le domaine périglaciaire se développe (voir la figure 6.4). La cryoclastie importante dans ce domaine et les autres processus associés (notamment le fluage) induisent la création et l'aggradation des formes périglaciaires et gravitaires (écroulement/ébroulement, éboulis, etc.). Si le climat se stabilise, on parle d'équilibre périglaciaire. Cet équilibre peut être mis à mal par de nouvelles variations climatiques et le système transite alors de nouveau vers un système glaciaire (augmentation de l'énergie et cryogenèse) ou vers un système tempéré (diminution de l'énergie et processus de fossilisation des formes glaciaires, périglaciaires et gravitaires).

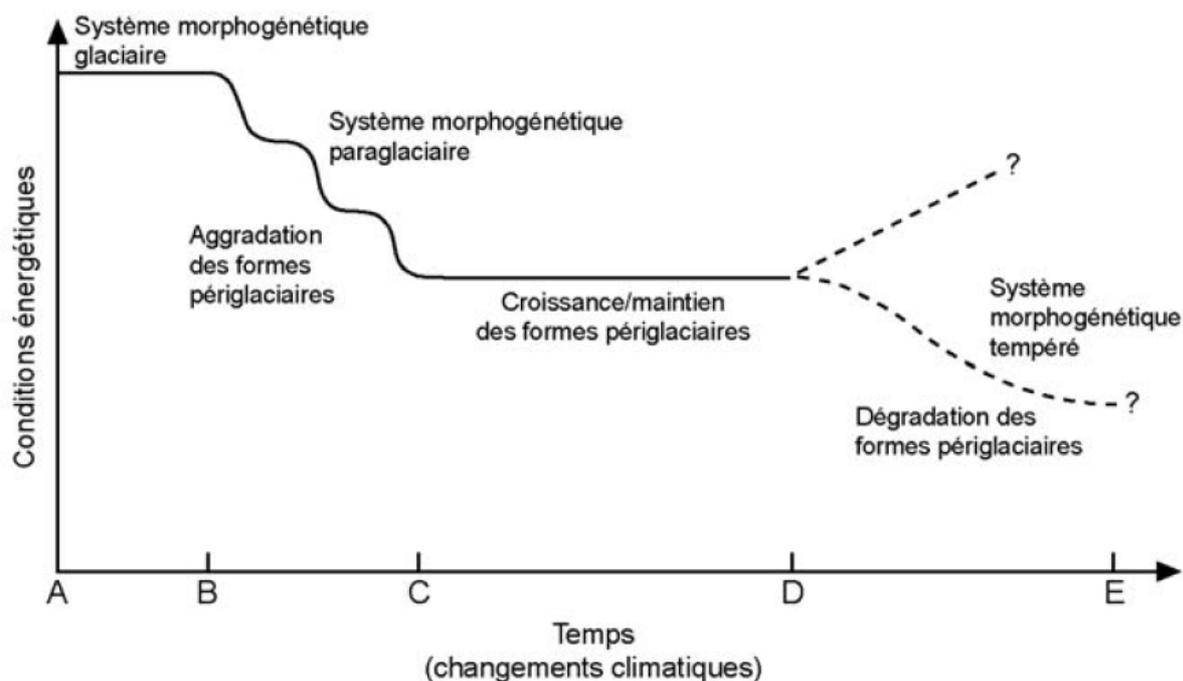


Figure 6.4: Relations entre les systèmes morphogénétiques glaciaire, paraglaciale, périglaciaire et tempéré en fonction des changements climatiques (changement des conditions énergétiques). A-B: glaciation; B-C: déglaciation; C-D: équilibre périglaciaire; D-E: réenglacement ou passage à un système tempéré. Tirée de Scapoza, 2008: 27 et d'après Thorn et Lowenherz (1987) et French (1996).

D'un point de vue général, la géomorphologie de la RNCM découle donc depuis le LGM et jusqu'à aujourd'hui, de cette succession de systèmes morphogénétiques. Les fluctuations climatiques et le retrait glaciaire ont cependant été variables et, bien que les glaciers se soient retirés depuis le LGM et que les conditions énergétiques aient chuté, cette évolution n'a pas été constante. Les conditions énergétiques ont parfois augmenté sur des périodes relativement courtes (réurrence glaciaire,

aggradation périglaciaire), comme par exemple au Dryas récent ou pendant les péjorations climatiques holocènes. Il est important également de comprendre que depuis le désenglacement, des systèmes morphogénétiques glaciaires, périglaciaires et tempérés cohabitent dans la RNCM à des altitudes globalement différentes et selon les conditions climatiques. Cet étagement morphogénétique évolue en fonction des fluctuations climatiques. Depuis le PAG, il s'opère partout dans les Alpes une remontée de cet étagement (voir le chapitre 7) et le désenglacement généré se traduit par une crise paraglaciale .

Si ce chapitre sur la morphogenèse porte sur l'ensemble de la RNCM, nous limiterons nos reconstitutions paléogéographiques à la haute vallée du Bon Nant (en amont de Nant Borrant). Des études détaillées ont en effet déjà été entreprises sur la partie aval de la RNCM (glacier de Tré la Tête et d'Armançette) par Dorthe-Monachon en 1986 et Wetter en 1987. Elles ont été synthétisées et réinterprétées cartographiquement par Coutterand en 2005. Ces auteurs se sont relativement peu intéressés à l'extrémité Sud de la vallée et leurs reconstitutions, quand elles existent, divergent quelque peu.

## 6.2. Le LGM et la fin du Pléniglaciaire dans le Haut Val Montjoie

Les formes d'érosion glaciaire (notamment les trimlines) que l'on retrouve actuellement dans les secteurs cristallins les plus élevés des Alpes, où prennent naissance les grands glaciers, sont des formes relativement jeunes. Elles datent en effet du Würm et plus précisément du LGM, comme le montrent les vitesses d'érosion glaciaire *rapides* (entre 4 et 10 mm/ka en fonction des auteurs, voir Coutterand et Buoncristiani, 2006) de ces roches. De plus, comme l'expliquent également ces auteurs, les derniers maximums glaciaires se sont caractérisés par des fronts distants de quelques kilomètres dans les piémonts. L'altitude de la ligne d'équilibre et donc de la glace dans les hauts secteurs d'accumulation a ainsi probablement très peu varié.

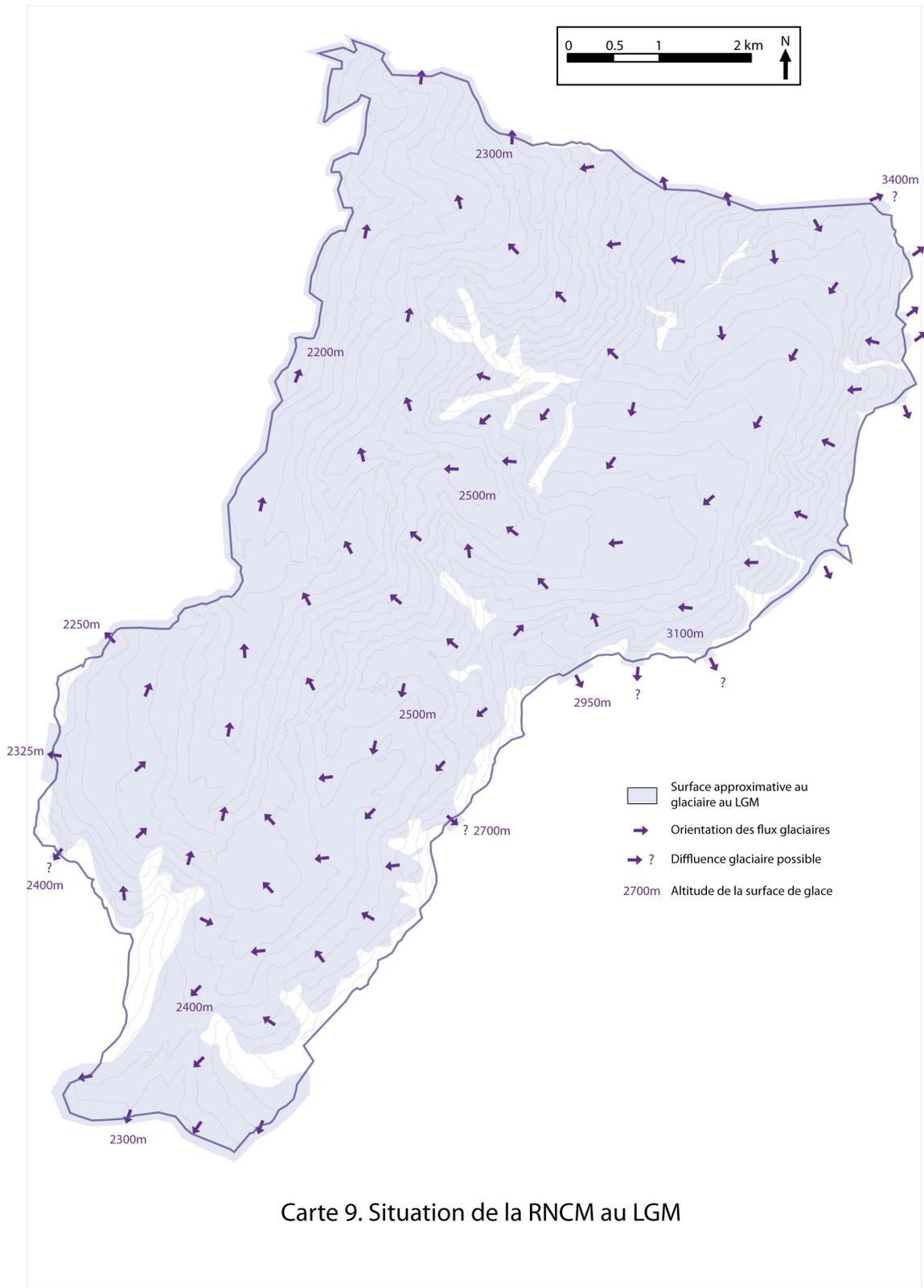


Figure 6.5 et 6.6: Situation de la région du Mont-Blanc au LGM. La RNCM se trouve à l'extrémité S des cartes.

Nous pensons, comme le montre la figure 6.6 (tirée de CSQ (Commission Suisse pour la recherche sur le Quaternaire) et *Swisstopo*, 2009), que le niveau des glaces était important et permettait davantage de diffuences que celles représentées sur la figure 6.5 (tirée de Coutterand, 2005).

Nous avons relevé quelques trimlines dans la RNCM (voir 5.3.2.3. et la carte 9) mais certaines restent hypothétiques (col de l'Enclave, Col des Glaciers). Elles témoigneraient ainsi d'un niveau d'englacement important du haut Val Montjoie laissant apparaître seulement quelques nunataks. Recoupant ces relevés avec ceux de Coutterand et Buoncristiani (2006) et la modélisation produite par ces auteurs (voir la figure 6.5), nous pensons que le niveau d'englacement dépassait 2450 m dans le vallon des Jovet-Bonhomme et 2300 m au Plan de la Fenêtre. Il s'élevait rapidement dans le vallon de Tré la Tête. En plus des diffuences glaciaires du col de la Fenêtre (2245 m) et de du Col du Bonhomme (2329 m) vers le Beaufortin, nous émettons l'hypothèse que des diffuences ou des glaciers de transection devaient permettre à la glace de s'écouler vers le Beaufortin via le col de la Cicle (2377 m), vers la haute Tarentaise par les cols de l'Enclave (2672 m), du Mont Tondu (2895 m) des Lanchettes (3043 m) et des Glaciers (3063 m), et vers le Val Veny par le col Infranchissable (3349 m). En ce sens, la situation de la RNCM au LGM devait être celle d'une haute surface d'accumulation

glaciaire d'où les flux de glace divergeaient vers différentes directions (voir la carte 9). Nous pensons que le niveau des glaces dans la haute vallée du Bon Nant devait être quelques peu supérieur à celui modélisé par Coutterand et Buoncristiani (2006) et se rapproche donc probablement plus de celui proposé par la CSQ et *Swisstopo* (2009 voir la figure 6.6).



Carte 9. Situation de la RNCM au LGM

Le LGM équivaut dans les Alpes à une dépression de la ligne d'équilibre glaciaire de 1000 à 1200 m par rapport au PAG. L'ensemble de la surface de la RNCM se situe donc en zone d'accumulation glaciaire. Cela se traduit par l'absence de dépôts glaciaires et une importante érosion. Les dates du LGM varient pour différents secteurs alpins et selon les auteurs entre 40 000 et 21 000 BP (voir Coutterand dans Amelot et al. 2008). Cet épisode est estimé dans la région du Mont-Blanc comme antérieur à 28 000 cal BP selon Coutterand et Buoncristiani (2006). Une phase de réchauffement succède au LGM et le front des glaciers alpins quitte les piémonts pour revenir dans les vallées. Une stabilisation du climat, voire un petit refroidissement, stabilise les fronts glaciaires dans le bas des vallées. Il s'agit du stade des Lacs caractérisé par de nombreuses moraines dans les Alpes. Pendant ce stade, soit entre 25 000 et 20 000 cal BP, le glacier de l'Arve stationne aux Rocailles (SE de Reignier). La RNCM est toujours largement englacée bien que le niveau des glaces ait quelques peu diminué. Des diffluences disparaissent ainsi. L'intégralité de la RNCM demeure toutefois en zone d'accumulation glaciaire.

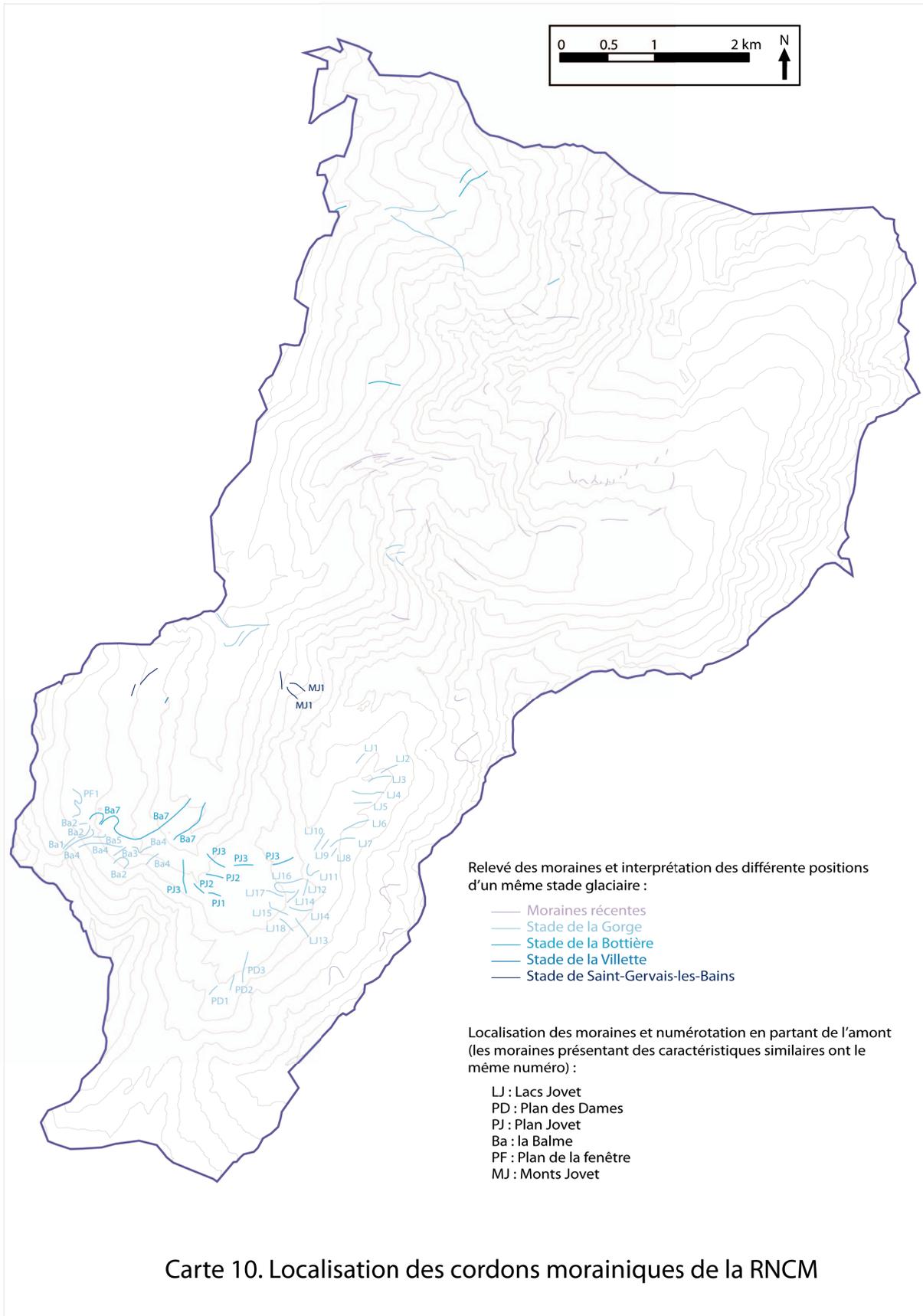
### 6.3. Reconstitutions paléogéographiques tardiglaciaires et holocènes

Le Tardiglaciaire et l'Holocène correspondent à une fonte rapide des glaciers alpins sur environ 20 000 ans. Cette fonte marque le passage d'une glaciation à un interglaciaire. Nous avons vu que cette fonte est irrégulière et que quelques réavancées glaciaires (réurrences) se sont intercalées. Au cours de cette période, les grands glaciers alpins vont s'individualiser et remonter vers leur zone d'origine. On trouve des traces de cette fonte progressive et irrégulière sous la forme de moraines construites lors des équilibres ou des petites péjorations climatiques. Nous allons donc maintenant nous intéresser à cette phase de déglaciation dans la RNCM, à partir des travaux de Dorthe-Monachon (1986), Wetter (1987), Coutterand (2005 et dans Amelot et al. 2008), Coutterand et Nicoud (2005) et de nos relevés cartographiques. En confrontant et synthétisant ces données, nous proposerons des reconstitutions paléogéographiques des stades de retrait glaciaire de la Haute vallée du Bon Nant.

#### 6.3.1. Cartographie des cordons morainiques et stades de retrait glaciaire

La carte géomorphologique que nous avons élaborée dans la RNCM nous a permis de mettre en évidence la présence de nombreuses moraines construites. Si certaines de ces moraines sont encore en contact avec les glaciers locaux (notamment dans le vallon des Jovet), la majorité d'entre elles en sont distantes (parfois jusqu'à plusieurs km). De plus, leur morphologie (rondeur, ennoiement, affaissement, présence d'instabilités) et la présence fréquente de couverture végétale montre une dynamique avancée de fossilisation dans le bas des versants et à l'inverse, un rééquilibrage paraglaciale dans les secteurs fraîchement déglacés (Tré la Tête). Ces moraines sont donc en grande partie des *héritages morphoclimatiques* et témoignent de conditions morphogénétiques qui n'existent plus. Les cordons morainiques sont érigés par des glaciers en équilibre. Aussi, avec le relevé de ces formes (quand elles ont été conservées) et leur étude (altitude, position, morphologie), il est possible de reconstituer l'histoire du désenglacement et de mettre en évidence des stades glaciaires où les glaciers étaient en équilibre. La carte 10 montre et analyse les moraines que nous avons relevé dans la RNCM.

Nous avons regroupé les moraines comme différentes positions d'un même stade en fonction de leurs caractéristiques communes (position, forme, altitude) et de nos hypothèses sur l'écoulement glaciaire. Ces moraines ont également été regroupées à partir de l'analyse des formes postglaciaires (actives, fossiles) relevés dans la RNCM. Par exemple, la présence de la plaine d'épandage fluvioglaciaire fossile de Plan Jovet, recouvrant en partie ou contournant les constructions morainiques locales, montre l'existence de deux stationnements glaciaires distincts, à des périodes et à des altitudes différentes. Les moraines de Plan Jovet (PJ) témoignent donc d'un stade glaciaire antérieur à celui qui a construit les moraines des Lacs Jovet (LJ) et le sandur de Plan Jovet. Nous y reviendrons.



Carte 10. Localisation des cordons morainiques de la RNCM

La nomenclature des stades de retrait glaciaire proposée pour la haute vallée du Bon Nant est en partie tirée des travaux de Wetter (1987) et de Coutterand (2005 et dans Amelot et al. 2008) mais elle est inédite. La toponymie employée est celle des localités où le front du paléoglacier du Bon Nant puis de Tré la Tête stationnait pendant un stade. Six stades de retrait tardiglaciaires et holocènes ont été mis en évidence dans la vallée de l'Arve (en amont du verrou de Cluse) et du Bon Nant par rapport à la position actuelle des glaciers. Voici les localités, de l'aval vers l'amont, où se trouvait le front glaciaire pendant ces stades (la distance en km de ces anciens fronts par rapport à la position actuelle est indiquée entre parenthèses) :

- Magland (34)
- Saint-Gervais-les-Bains (16)
- La Villette (11.5)
- La Bottière (6.5)
- La Gorge (5)
- La Combe Blanche (2.5)

On ne retrouve pas d'accumulations morainiques du stade de Magland dans la RNCM. Celle-ci se trouve en effet, pour ce stade encore, uniquement en zone d'accumulation glaciaire et si le glacier érode, il dépose ses sédiments plus en aval.

Les moraines les plus anciennes de la RNCM se situent selon nous, dans la Combe NO des Monts Jovet et à la Rosière des Près. Leurs altitudes sont relativement importantes (entre 1850 et 2050 m) et témoignent du niveau des glaces dans le haut Val Montjoie au moment où certains petits glaciers latéraux (NO Monts Jovet, Roselette) se déconnectent du glacier principal. Leur morphologie est fortement arrondie et ces moraines sont végétalisées. Le vallum morainique du NO des Monts Jovet (voir la figure 5.35), par sa forme complètement massive et affaissée, paraît être le témoin de la disparition progressive d'une langue de glace sous sa couverture morainique. Dans le prolongement de Wetter et Coutterand, nous pensons que ces moraines sont contemporaines du stade de Saint-Gervais-les-Bains.

Une petite moraine fortement arrondie située en aval du chalet des Près (1780 m) marque la présence d'un glacier du Bon Nant moins important dans la haute vallée. En raison de cette perte de volume, le glacier principal est contenu dans l'auge de la Rollaz (voir la figure 5.35). Les glaciers provenant de Roselette stationnent aux Pâturages de la Balme et déposent des accumulations morainiques importantes et aujourd'hui très arrondies (voir la figure 6.7). Nous n'avons pas réussi à en dégager des cordons comme Wetter (1987) ou Amelot (2008) mais nous rejoignons ces auteurs et pensons qu'elles marquent un stade glaciaire. Nous attribuons cependant ces formations au stade de la Villette (contre la Bottière pour Wetter en 1987).

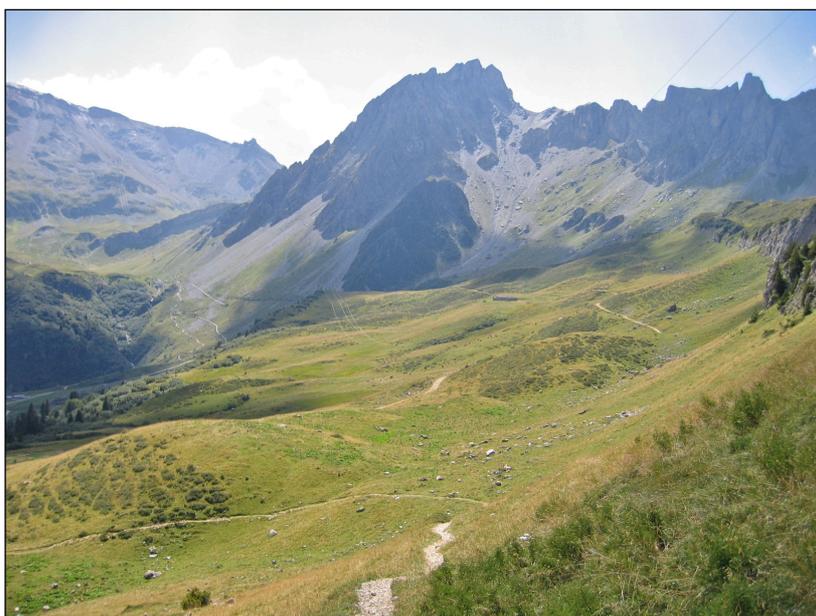


Figure 6.7: Les accumulations morainiques des Pâturages de la Balme. La morphologie très arrondie de ces dépôts semble témoigner de leur ancienneté et rééquilibrages gravitaires.

Des moraines plus nombreuses, plus massives et plus nettes contrastent avec les formes de ces premiers stades. Ces constructions, que l'on retrouve au dessus du Cugnion, sur les pentes du Monthieu (voir la figure 5.33), dans la Combe du Chaborgne, à la Balme ((voir les figures 5.27, 5.34 et 5.51) et à Plan Jovet (voir la figure 5.37), caractérisent le retrait des fronts glaciaires vers l'amont et la déconnexion des principaux appareils. Encore une fois, les accumulations morainiques provenant de Roselette-La Cicle sont importantes au Plan de la Fenêtre et au Pâturage de la Balme mais nous n'arrivons pas à délimiter des cordons dans ces formes chaotiques et bombées. L'immense bastion de la Balme (avec ses excroissances sur le cordon gauche) est la construction morainique la plus importante et une des mieux conservées de la RNCM. Elle résulte d'un apport important de matériel morainique (éboulements et éboulisation des calcaires) sur un glacier à la dynamique faible. Nous rattachons l'ensemble de ces moraines au stade de la Bottière, où, en raison d'un climat plus doux que pour les stades précédents, de nombreuses zones d'ablation glaciaire se situent dans la RNCM.

De nombreux cordons se situent à l'intérieur de la ceinture morainique du stade de la Bottière. Leurs morphologies globalement anguleuses, nettes, leurs tailles importantes et surtout leur nombre illustrent un stationnement long et irrégulier des fronts glaciaires à une tranche d'altitude qui varie peu. On retrouve ces moraines dans la Combe d'Armancette, sur les pentes de la Pointe de la Mine, à Prés Derrière-la Giettaz, en amont du bastion de la Balme (voir la figure 5.34), au Plan de la Fenêtre, au Plan des Dames, au NE de Plan Jovet (voir la figure 5.37) et dans le vallon des lacs Jovet (voir la figure 5.36). Ces moraines sont très nombreuses et difficiles à corréliser (la Balme, les lacs Jovet). De plus, des formes fossiles de fluage périglaciaire remobilisent parfois les dépôts et rendent la morphologie encore plus complexe (Plan de la Fenêtre, vallon des Jovet (voir la figure 6.8)). Ces moraines correspondent au stade de la Gorge.



Figure 6.8: Le complexe morainique du vallon des Jovet (au centre de la photo et faisant un virage à gauche vers Plan Jovet) est la conséquence d'un enchevêtrement de moraines en partie remobilisées par un glacier rocheux, aujourd'hui fossilisé.

Enfin, les dernières moraines que l'on retrouve vers l'amont sont beaucoup plus récentes. Elles se situent à Armancette (voir les figures 5.15 et 5.16), dans le bassin de Tré la Tête (voir les figures 5.12, 5.31 et 5.71), à la Combe Blanche, dans les parties hautes du vallon des Jovets (voir les figures 5.17 et 5.19). Elles se distinguent par une absence quasi totale de végétation (mis à part en aval de Tré la Tête et à la Combe Blanche) et une morphologie bien souvent instable (présence de gros blocs dans une matrice fine et ravinée). Ces moraines sont rattachées, pour les plus anciennes, au stade de la Combe

Blanche (avancée glaciaire maximum du PAG) et d'autres, plus petites, sont postérieures. Comme nous l'avons déjà vu, les bastions morainiques du vallon des Jovet sont des formes qui ont été construites successivement lors des nombreuses péjorations climatiques holocènes.

### 6.3.2. Corrélation avec les modèles régionaux

La cartographie des moraines tardiglaciaires et holocènes de la RNCM et leur attribution à des stades de retrait glaciaire permettent donc de construire une chronologie relative. Nous l'avons dit, nous nous inscrivons dans le prolongement des travaux effectués par Dorthe Monachon, Wetter et Coutterand pour la partie N de la RNCM (Combe d'Armanette et du Chaborgne, vallon de Tré la Tête). Nous pensons que le niveau des glaces et la position des fronts proposés par ces auteurs sont très pertinents pour la partie basse de ces glaciers et nos relevés de terrains vont dans le même sens. Cependant, nous rehaussons systématiquement le niveau des glaces dans les zones d'accumulation et nos interprétations montrent l'existence de petits systèmes glaciaires plus nombreux et plus développés que dans les autres recherches (voir 6.3.5). Ces petites divergences induisent des changements très faibles sur les lignes d'équilibre glaciaire calculées par ces auteurs et nous les rejoignons.

Nous nous sommes par contre d'avantage intéressés à la haute vallée du Bon Nant, où ces auteurs ont des interprétations plus diverses, notamment sur la fin du Tardiglaciaire, avec l'individualisation progressive des glaciers de Roselette-La Cicle, de la Balme et du glacier provenant du vallon des Jovet. Nous avons concentré notre analyse sur les glaciers du vallon des Jovets et de la Balme, dont les nombreux dépôts morainiques nous ont permis de définir différents stades (voir la carte 10):

- deux stades distincts correspondant au stade de la Bottière et de la Gorge pour le glacier de la Balme;
- le stade de Plan Jovet (contemporain du stade de la Bottière), des lacs Jovet et du Plan des Dames (correspondant au stade de la Gorge) et les constructions et les dépôts datant du PAG (stade de la Combe Blanche) pour les glaciers des Jovet.

Ces stades ont bien souvent des positions multiples. Nous avons utilisé les positions les plus externes comme référence pour chaque stade, car elles traduisent le niveau d'englacement maximal d'un stade. Ces positions sont:

- Ba7 pour le glacier de la Balme au stade de la Bottière
- Ba4 pour le glacier de la Balme au stade de la Gorge
  
- PJ3 pour le glacier des Jovet au stade de la Bottière
- PD1, PD3, LJ18, LJ16 et LJ1 pour le glacier des Jovet au stade de la Gorge
- les bastions morainiques des Rebanets Chassots et de l'Enclave pour le stade de référence du PAG pour le glacier des Jovet.

Nous avons établi un niveau de référence de la ligne d'équilibre glaciaire (LEG) au PAG pour le vallon des Jovet en fonction de nos relevés de terrain (ce bastion est déglacé au PAG selon les autres auteurs). L'altitude de la LEG de référence des bastions morainiques des Rebanets Chassots et de l'Enclave, du glacier SO du Mont Tondu et de la Combe du Rocher du Bonhomme a été obtenue par numérisation des surfaces englacées sur *S/G* puis le calcul de la ligne d'équilibre selon la méthode 2 : 1. Les surfaces englacées numérisées correspondent aux bastions morainiques des Rebanets Chassots (LEG de 2425 m), de Bellaval (LEG de 2540 m) et de l'Enclave (LEG de 2540 m). Nous pensons que les petits bastions présents au SO du Mont Tondu se sont formés à la fin du PAG et donc que ce secteur était plus englacé pendant le maximum du PAG (qui date du début du PAG dans le MMB, voir par exemple Dorthe Monachon (1986) mais d'autres auteurs le place vers 1820 dans le MMB), conformément à l'altitude des moraines historiques que l'on retrouve sur les autres faces du Mont Tondu (voir 5.3.2.2). Nous avons donc reconstitué la surface du glacier du SO du Mont Tondu au *PAGmax* selon nos relevés de terrain et les accumulations de moraines récentes que nous avons cartographiées (voir la figure 5.60). La LEG obtenue pour le glacier SO du Mont Tondu au PAG est de 2480 m. La combe du Rocher du Bonhomme est pour sa part très probablement recouverte d'un névé permanent au PAG (absence de bastion morainique). Nous avons donc utilisé la LEG proposée par

Wetter (1987) pour le vallon des Jovet (2550 m), qui nous semble un valeur réaliste et proche des valeurs que nous avons calculé. Enfin, pour définir une LEG moyenne pour l'ensemble du vallon des Jovet, nous avons utilisé la méthode de la moyenne pondérée définie par Maisch (voir la figure ?, 1981). En tenant compte de l'importance du volume, de l'altitude et de l'orientation des glaciers, nous avons défini un coefficient de pondération de 2 pour le glacier SO du Mont Tondu et de 1 pour les autres glaciers. La LEG de référence pour le vallon des Jovet est donc de 2500 m ( $(2 \cdot 2480 + 2540 + 2540 + 2425 + 2550) / 6$ )

Le massif de la Pennaz-Roches Franche, dont les moraines de la Balme sont originaires est déglacé au PAG. Nous savons toutefois qu'un névé permanent recouvrait le secteur en aval du Col des Chasseurs à cette période (Chardonnet, 1938). Cette petite combe (voir la figure 6.9), orientée au N et dominée par des sommets compris entre 2400 et 2700 m, devait donc se situer aux alentours de la ligne d'équilibre glaciaire (ou ligne de névé) mais sa morphologie et sa petite taille ne devaient pas permettre de cryogenèse. Wetter (1987) propose une ligne d'équilibre au PAG pour le secteur de la Balme à 2550 m, ce qui nous semble pertinent et proche de notre valeur calculée dans le vallon des Jovet.

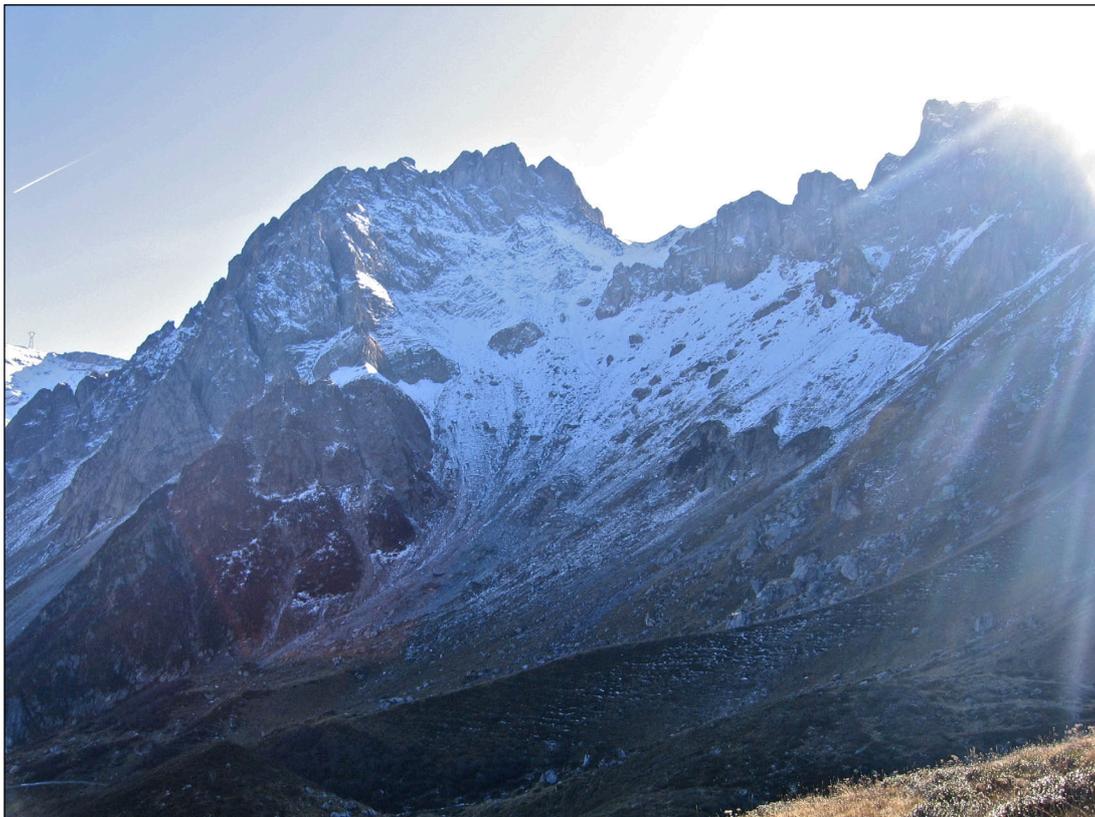


Figure 6.9: la petite combe des Chasseurs en automne 2009. Les accumulations sédimentaires du col des Chasseurs montrent des signes d'instabilité (versant raide, présence de gros blocs dans des fines recouvertes de neige). Elles sont le secteur d'origine de laves torrentielles. Au premier plan, la grande moraine gauche correspondant au stade de la Gorge (Dryas récent).

Nous avons reconstitué la surface des paléoglaciers sur SIG à partir des positions de référence (les cartes 11 et 12). Les résultats obtenus par les différentes méthodes utilisées pour le calcul de la DLEG des stades de déglaciation du haut Val Montjoie sont synthétisés dans le tableau 6.10:

méthode	2 : 1			d/2	enracinement des moraines	2 : 1		d/2	enracinement des moraines
	LEG de référence (PAG)	LEG au stade de la Gorge	DLEG au stade de la Gorge	DLEG au stade de la Gorge	DLEG au stade de la Gorge	LEG au stade de la Bottière	DLEG au stade de la Bottière	DLEG au stade de la Bottière	DLEG au stade de la Bottière
<b>glacier des Jovets</b>	2500m	2230m	270m	205m	220m	2180m	320m	280m	380m
<b>glacier de la Balme</b>	2550m	2050m	500m	-	450m	1965m	585m	-	540m
<b>Moyenne pour le Haut Val Montjoie</b>	<b>2525m</b>	<b>2140m</b>	<b>385m</b>	-	<b>335m</b>	<b>2070m</b>	<b>450m</b>	-	<b>460m</b>

Tableau 6.10: Calcul de la DLEG au stade de la Gorge et de la Bottière pour les glaciers des Jovet et de la Balme selon différentes méthodes. La Figure 6.11, ci dessous, détaille les calculs.

#### **Calcul selon la méthode 2 : 1:**

Altitude de la LEG du glacier des Jovet au stade de la Gorge (Lac Jovet et Plan des Dames): 2230m donc DLEG = 205m

Altitude de la LEG du glacier des Jovet au stade de la Bottière (Plan Jovet): 2180m donc DLEG = 280m

Altitude de la LEG du glacier de la Balme au stade de la Gorge (interne à la Balme): 2050m donc DLEG = 500m

Altitude de la LEG du glacier de la Balme au stade de la Bottière (la Balme): 1965m donc DLEG = 585m

#### **Calcul selon la méthode d/2:**

Altitude moyenne pondérée des fronts des Glaciers des Jovet au PAG = 2360m

Altitude du front du glacier des Jovet au stade de la Gorge: 1950m donc DLEG = 205m

Altitude du front du glacier des Jovet au stade de la Bottière: 1800m donc DLEG = 280m

#### **Calcul selon la méthode d'enracinement des moraines:**

Altitude max des moraines du glacier des Jovet au stade de la Gorge: 2280m donc DLEG = 220m

Altitude max des moraines du glacier des Jovet au stade de la Bottière: 2120m donc DLEG = 380m

Altitude max des moraines du glacier de la Balme au stade de la Gorge: 2100m donc DLEG = 450m

Altitude max des moraines du glacier de la Balme au stade de la Bottière: 2010m donc DLEG = 540m

Les moyennes des DLEG calculées avec les différentes méthodes, par stade et par glacier sont donc les suivantes:

**Glacier des Jovet au stade de la Gorge: 230m**

**Glacier de la Balme au stade de la Gorge: 475m**

La DLEG moyenne obtenue pour le stade de la Gorge dans le haut Val Montjoie est donc: 350m

**Glacier des Jovet au stade de la Bottière: 325m**

**Glacier de la Balme au stade de la Bottière: 560m**

La DLEG moyenne obtenue pour le stade de la Gorge dans le haut Val Montjoie est donc: 440m

On note une différence constante entre les valeurs de la DLEG obtenues pour les glaciers de la Balme et des Jovet. La valeur calculée à la Balme est toujours plus importante. Cela s'explique à notre avis par la topographie fortement pentue de la combe des Chasseurs. Ainsi, à l'inverse d'un glacier à la topographie très plate, une petite variation de la température se traduit tout de suite par une importante variation de la ligne d'équilibre glaciaire dans ces pentes prononcées. Par ailleurs, l'orientation de ce cirque au N permet une cryogenèse à des altitudes inférieures aux autres orientations, ce qui explique aussi une valeur de la DLEG plus importante. Les paléoglaciers des Jovet ont une topographie glaciaire plus *classique* et, s'ils résultent de la confluence complexe de petits glaciers de cirque, la

pente générale moins raide se traduit par des variations moins importantes de la LEG entre les stades. Les valeurs obtenues dans le vallon des Jovet correspondent d'ailleurs très bien avec les valeurs caractérisant la DLEG dans les stades de retrait glaciaire du MMB ou d'autres secteurs alpins (voir le tableau 6.12).

Haute vallée du Bon Nant Bosson (2010)	Vallée du Bon Nant et de l'Arve Dorthe-Monachon (1986)	Vallée du Bon Nant et de l'Arve Wetter (1987)	Vallée de l'Arve Coutterand et Nicoud (2005)	Alpes Orientales Maisch (1981)
Dryas récent la Balme, Lacs Jovets (la Gorge, Chamonix) 230 - 475 m	Dryas récent la Gorge (Chamonix) 250 m	Dryas récent la Gorge, Combe d'Armançette, la Fenêtre, la Balme, Lacs Jovets (Chamonix) 255 - 275 m	Dryas récent Chamonix 240 m	Dryas récent Egesen 250 m
la Balme, Plan Jovet (la Bottière, les Houches) 325 - 560m	la Bottière (les Houches) 300 m	la Botitière, le Cugnon, les Près, la Balme, Plan Jovet (Montagne de la Parsa) 510 - 545 m	Les Houches 320 - 430	Daun 350 m
stades antérieurs		la Villette (Servoz) 610 - 660 m	Complexe du Fayet: - Fayet d'en Bas 620 - 720 m - Fayet du Milieu - Fayet d'en Haut 650 - 800 m - Amerands - Robinson	Clavadel 650 m
	Saint-Gervais, la Balme, Lacs Jovet (Sallanches) 650 - 700 m	Saint-Gervais (le Fayet d'en Haut) 710 - 760 m		Gschnitz 650 - 700 m
	stades antérieurs	stades antérieurs	stades antérieurs	stades antérieurs

Tableau 6.12: Corrélations des stades de retrait tardiglaciaires dans le secteur du Mont Blanc. Les couleurs renvoient aux stades du glacier de l'Arve et du Bon Nant (coalescents), stades du glacier de l'Arve, stades du glacier de Bon Nant (glacier de Tré la Tête, glacier de la Combe d'Armançette, glacier de Roselette, glacier de la Balme, glacier des Jovets). La valeur est la DLEG correspondante.

Ce tableau de synthèse modifié à partir de Coutterand et Nicoud (2005) montre d'ailleurs les corrélations entre les stades de retrait glaciaire mis en évidence par différents chercheurs dans la vallée de l'Arve et du Bon Nant. Ces chercheurs, à quelques petites variations près, reconnaissent tous des stades de retrait glaciaire aux caractéristiques proches (position des fronts, surfaces glaciaires, DLEG calculées). De plus, les quatre stades mis en évidence dans les vallées du Bon Nant et de l'Arve concordent bien avec modèle de désenglacement des Alpes Orientales proposé par Maisch

(1981). Ainsi, les stades de Saint-Gervais-les-Bains et du Fayet d'en Haut correspondent au Gchnitz, les stades de la Villette et de Servoz correspondent au Clavadel, les stades de la Bottière et des Houches correspondent au Daun, les stades de la Gorge et de Chamonix correspondent à l'Egesen. De nombreuses datations réalisées dans les Alpes placent la construction des importantes moraines corrélées avec l'Egesen dans le fort refroidissement climatique survenu pendant environ 1000 ans au Dryas récent (à la fin du Tardiglaciaire). Wetter (1987) a d'ailleurs daté de la matière organique dans une tourbière de la Laya (secteur englacé pendant le stade de la Gorge) à 9335 (+/- 135) BP. Ce stade, plus ancien que la matière organique datée, est ainsi rattaché au Dryas récent, il y a environ 11 000 BP.

### 6.3.3. Signification paléogéographique des formes périglaciaires

Les formes de fluage périglaciaire, actives ou fossiles (*héritages morphoclimatiques*) sont des indices importants pour les reconstitutions paléogéographiques. Des calculs prenant en compte la dépression du permafrost pour les glacier rocheux fossiles et la dépression de la ligne d'équilibre glaciaire permettent par exemple de définir la température moyenne annuelle (MAAT) à un stade glaciaire donné (voir par exemple Scapozza, 2008).

Comme le montre la figure 6.4, l'aggradation de ces formes commence bien souvent dès la déglaciation d'un secteur. Ainsi, sans dater précisément ces formes, il est possible d'en savoir l'âge relatif maximal, en tenant simplement compte de la déglaciation locale (voir le tableau 6.13).

Localisation des formes de fluage périglaciaire	Âge relatif maximal de l'aggradation des formes (voir la figure 6.4)	Altitude minimale du/des fronts (en mètres)	Orientation	Activité
Tête d'Armancette	Après le Stade de Magland	2050	SO	Non
les Près	Après le Stade de Saint-Gervais-les-Bains	1800	SE	Non
SO Monts Jovet	Après le Stade de la Villette	2000	SO	Non
Tré la Tête	Après le Stade de la Bottière	2050	O-SO	Faible
Pointe de la Mine	Après le Stade de la Bottière	1920	O	Non
NO Monts Jovet	Après le Stade de la Bottière	2040	NO	Non
O Col du Bonhomme	Après le Stade de la Bottière	2370	SE-O	Faible à nul
Covagnet	Après le Stade de la Gorge	2200	S-O-NO	Faible à nul
Combe d'Armancette	Après le Stade de la Gorge	1800	NO	Non
Mont Freugé/ le Triangle	Après le Stade de la Gorge	1850	NO	Faible à nul
Combe du Chaborgne	Après le Stade de la Gorge	1850	O	Non
Roselette	Après le Stade de la Gorge	2010	E-SE	Faible à nul
la Cicle	Après le Stade de la Gorge	2080	E	Faible
SE Mont Jovet	Après le Stade de la Gorge	2200	SE	Faible à nul
Col Jovet	Après le Stade de la Gorge	2400	S-SO	Oui
O Enclave	Après le Stade de la Gorge	2370	O	Oui
Les Rebanets Chassont	Après le Stade de la Gorge	2290	NO	Oui

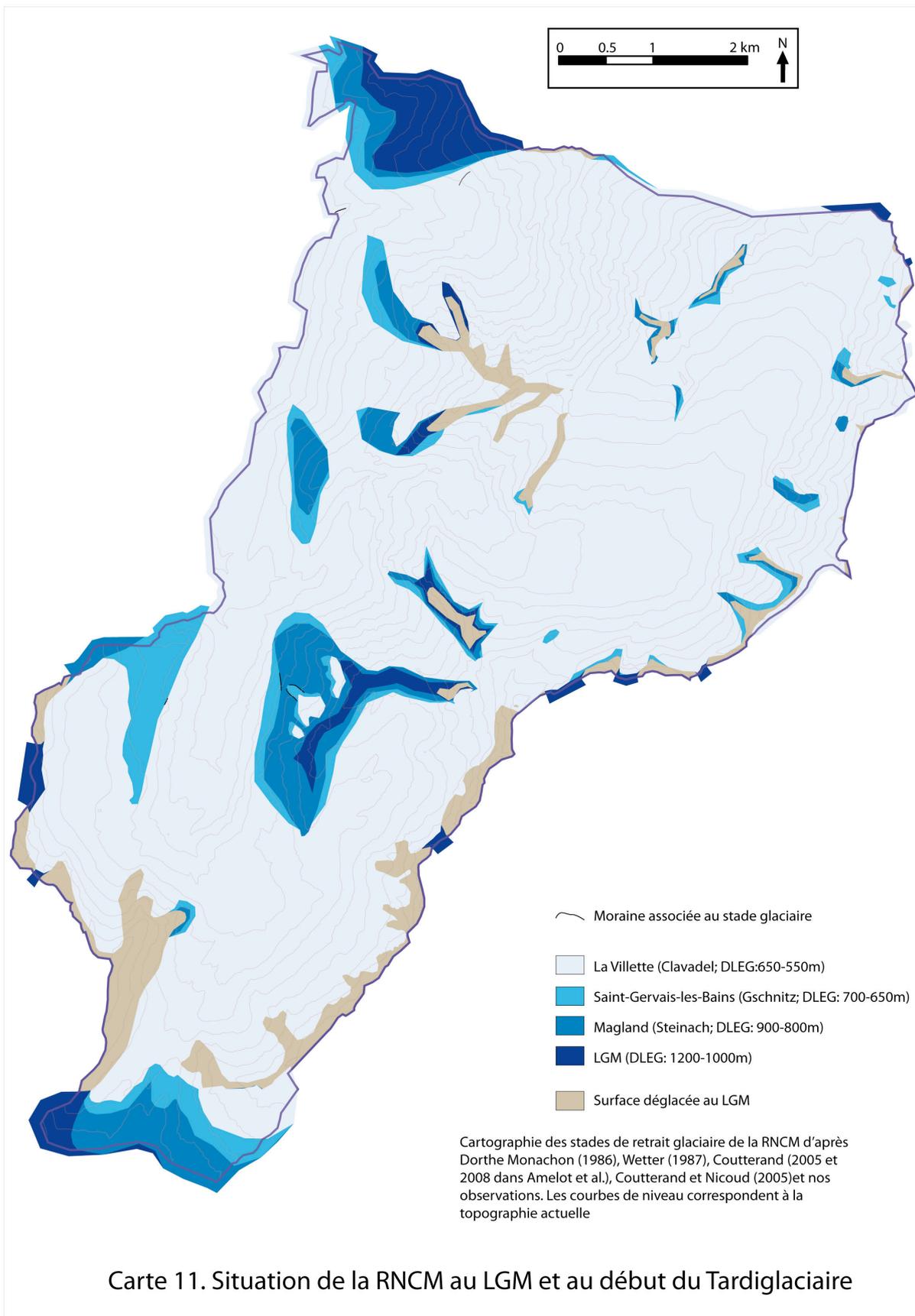
Localisation des formes de fluage périglaciaire	Âge relatif maximal de l'aggradation des formes (voir la figure 6.4)	Altitude minimale du/des fronts (en mètres)	Orientation	Activité
SE Plan Jovet	Après le Stade de la Gorge	1980	NO-O-SO	Non
Rocher du Bonhomme	Après le Stade de la Gorge	2250	O-NO	Faible
NO Enclave	Après le PAGmax	2200	NO	Faible à nul

Tableau 6.13: Altitude relative des formes de fluage périglaciaire de la RNCM en fonction des stades de retrait glaciaire.

Comme le montre le tableau 6.13 (Scapozza (2008) et Ivy-Ochs et al. (2006 et 2007)), les stades de retrait tardiglaciaires et holocènes se caractérisent parfois par l'aggradation de formes périglaciaires. C'est notamment le cas du Dryas récent. Le fort refroidissement de cette période s'est traduit partout dans les Alpes par d'importantes récurrences glaciaires. Le climat varie tout de même pendant ce millénaire et atteint des températures minimales au cours de trois petites périodes successives, au froid décroissant. Ces oscillations climatiques influencent directement les glaciers (avancée, recul, équilibre, réavancée, etc.) et expliquent par exemple la complexité et le nombre important des dépôts morainiques du stade des Lac Jovet. Lors du dernier *pic* de froid du Dryas récent, les glaciers n'avancent pas aussi loin que lors des phases froides précédentes et de nombreuses accumulations morainiques fraîchement déposées (quelques dizaines ou centaines d'années) sont soumises aux conditions atmosphériques. Certaines de ces accumulations se transforment alors en glaciers rocheux. Dans ce prolongement, nous pensons que les glaciers rocheux fossiles du Triangle, de la Grande Roche de Tré la Tête, du vallon des Jovet, de la Cicle et de Roselette (voir le tableau 6.13) se sont formés dans la dernière partie du Dryas récent. Ils s'installent ainsi dans la ceinture des moraines construites au maximum de ce stade glaciaire. Les glaciers rocheux fossiles ou inactifs des Rebanets Chassots et de l'Enclave (voir le tableau 6.13 et les figures 5.17 et 5.41), se situant plus haut dans les versants, se sont développés lors des phases froides de l'Holocène.

#### 6.3.4. La morphogenèse de la RNCM depuis le Tardiglaciaire

Nous allons dans cette partie, synthétiser brièvement les étapes de la morphogenèse de la RNCM depuis le Tardiglaciaire. Nous donnerons les principales caractéristiques de ces différentes périodes. Ces reconstitutions paléogéographiques seront appuyées par deux cartes de synthèse (carte 11 et 12) et par des figures montrant la situation régionale pendant ces périodes (tirées de Coutterand dans Amelot et al., 2008).



*Stade de Magland* (voir Coutterand et Nicoud (2005, voir la figure 6.14); il équivaut au Steinach):

- le glacier de l'Arve et du Bon Nant sont coalescents
- la diffifluence glaciaire vers le Beaufortin existe seulement au col du Bonhomme
- le niveau des glaces est encore élevé dans les parties hautes mais les diffifluences vers l'E (Italie et Tarantaise) diminuent
- le faite des Monts Jovet est déglacée
- le niveau des glaces est d'environ 1400 m dans le bas de la vallée, ce qui se traduit par le désenglacement probable de la Frasse
- on ne retrouve pas de moraines construites dans la RNCM qui se trouve dans la zone d'accumulation glaciaire
- DLEG: environ 900-800 m
- Âge environ 18 000 cal BP



Figure 6.14: Situation régionale au stade de Magland. Ce stade correspond à la construction des moraines et des terrasses de kame de la région de Combloux-Cordon. (tirée de Coutterand dans Amelot et al., 2008)

*Stade de Saint-Gervais-les-Bains* (Fayet d'en Haut pour Coutterand et Nicoud (2005, voir la figure 6.15); il correspond au Gschnitz)

- ce stade est en fait un ensemble de positions mis en évidence par le complexe morainique du Fayet. Des cordons morainiques sont étagés entre 615 m et 930 m et témoignent de cinq positions différentes du glacier de l'Arve (la moraine la mieux construite est celle du Fayet du Milieu)
- la déconnexion du glacier du Bon Nant avec le glacier de l'Arve a probablement lieu au stade du Fayet d'en Haut. Elle est caractérisée par un lac d'obturation glaciaire à 740 m dont témoignent actuellement des dépôts deltaïques (l'érosion postglaciaire a dégagé diverses coupes de foreset beds et de bottomset beds).
- au stade du Fayet du Milieu, le niveau de glace est abaissé et lac d'obturation est à 710 m
- au stade du Fayet d'en bas, le lac d'obturation disparaît et l'émissaire du glacier du Bon Nant s'écoule le long du glacier de l'Arve
- la position du front du glacier du Bon Nant pendant le stade du Fayet d'en Haut est aux alentours de Saint-Gervais-les-Bains puis remonte légèrement dans la vallée.
- ce stade marque la fin de la diffifluence des glaces vers le Beaufortin

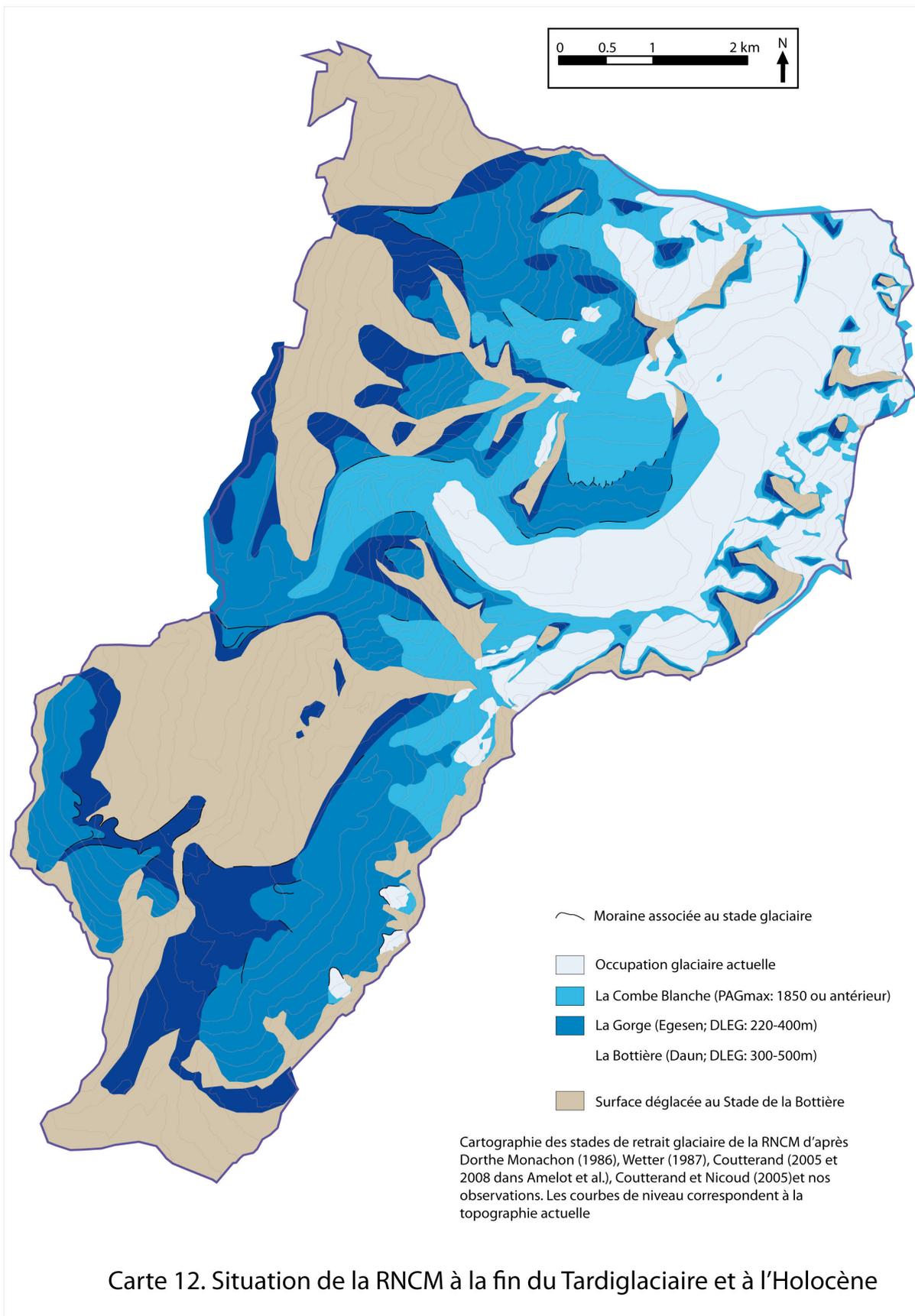
- les glaciers de la vallée du Bon Nant sont coalescents
- peu de construction morainiques dans la RNCM mais on retrouve tout de même des moraines de ce stade pour le glacier NE des Monts Jovet, et de petits cordons à la Rosière des Prés
- le glacier de Tré la Tête contourne désormais Tête Noire
- les parties basses de la RNCM continuent de se désenglacier (sous les Monts Jovet, les Plans, le Covagnet,)
- début de la crise paraglaciale dans la RNCM avec le réajustement des versants
- DLEG: environ 700-650m
- âge environ 16 000 cal BP.



Figure 6.15: Situation régionale au stade de Saint-Gervais-les-Bains. Ce stade correspond à la déconnexion du glacier du Bon Nant par rapport au glacier de l'Arve. (tirée de Coutterand dans Amelot et al., 2008)

*Stade de la Villette* (Wetter (1987); il correspond au Clavadel)

- le glacier de la haute vallée du Bon Nant se déconnecte avec le glacier de Bionnassay
- la position du front du glacier du Bon Nant se situe alors à la Villette
- ce stade correspond selon nous à la construction de la moraine latérale des Prés qui témoigne de l'abaissement général du niveau des glaces. La construction de cette moraine latérale montre une probable déconnexion du glacier de la vallée principale dans l'auge de la Rollaz avec les petits glaciers de Roselette/la Cicle. Ceux-ci construisent les accumulations morainiques des pâturages de la Balme
- DLEG: environ 650-550 m
- âge environ 15 000 cal BP



*Stade de la Botitière* (les Houches pour Coutterand et Nicoud (2005), voir la figure 6.17); il correspond au Daun)

- les glaciers principaux sont individualisés
- seuls les glaciers de Bionnassay et de Tré la Tête occupent encore la vallée principale du Bon Nant
- le désenglacement est important pour les versants les plus bas de la RNCM ce qui induit un rééquilibrage paraglacière
- le front du glacier d'Armançette s'arrête sur la Côte d'Auran juste au dessus de la vallée principale et construit le cône proglaciaire du Cugnon (voir la figure 6.16)



Figure 6.16: le cône proglaciaire du Cugnon (situé juste à l'extérieur de la RNCM). Sa construction est postérieure au stade de la Villette et au désenglacement du secteur. Ce cône, largement anthropisé est aujourd'hui parcouru par des laves torrentielles prenant naissance dans la Combe d'Armançette. Des digues ont été construites pour limiter leurs impacts.

- le grand cône de la Frasse est également construit à partir de cette période avec la mobilisation du matériel morainique et l'érosion des schistes de la couverture du MBE
- un glacier de cirque avec deux langues s'écoule du Chaborgne
- le vallon de la Rollaz est complètement déglacé et subit un rééquilibrage paraglacière. Il est barré par le glacier de Tré la Tête. Il n'existe toutefois pas de trace d'un lac d'obturation glaciaire
- ce stade marque la construction du bastion morainique de la Balme, moraine de progression glaciaire (une autre hypothèse plausible est que sa construction soit antérieure et date du stade de la Villette, selon les caractéristiques énoncées dans la figure 6.3 (absence du Daun dans les secteurs alpins océaniques, moraines du Clavadel très riches en sédiments) mais nous pensons que l'hypothèse du Daun est la plus pertinente vis à vis des reconstitutions paléogéographiques proposées
- les glaciers de la Cicle/Roselette stationnent au Plan de la Fenêtre
- la haute vallée est englacée jusqu'à Plan Jovet
- peu de traces témoignent de l'englacement des versants orientés vers le Beaufortin mais ils remplissaient probablement les vallons de la Saussaz
- un lac est probablement présent au NO de Plan Jovet mais il est en cours de comblement (voir la figure 6.16)
- DLEG: environ 500-300 m
- âge : environ 14 000 cal BP



Figure 6.17: Situation régionale au stade de la Bottière. Ce stade correspond à l'individualisation des glaciers de la vallée du Bon Nant. (tirée de Coutterand dans Amelot et al., 2008)

*Stade de la Gorge* (Chamonix pour Coutterand et Nicoud (2005, voir la figure 6.19); il correspond à l'Egesen)

- cette importante récurrence glaciaire triphasée est marquée par de nombreuses moraines construites
- le glacier d'Armanette stationne au dessus de la vallée principale et continue d'alimenter le cône proglaciaire du Cugnon. Les autres versants de la Combe sont déglacés et se rééquilibrent
- un glacier se développe au Mont Freugé (le Triange) et se transforme probablement en glacier rocheux à la fin du Dryas récent
- la combe du Chaborgne est probablement occupée par un petit glacier de paroi/cirque qui alimente en dépôt fluvio-glaciaire le versant inférieur
- le glacier de Tré la Tête a son front aux alentours de la Gorge. Son tracé est de plus en plus complexe car il est guidé par la structure géologique en raison de sa perte de volume. La combe Noire et la Rosière sont englacés. L'excroissance morainique de la Giettaz se développe et génère peut être un lac d'obturation à la Rollaz mais nous n'en retrouvons pas de témoins géomorphologiques
- un petit glacier recouvre le cirque de la Mine
- le front du glacier de la Balme est remonté vers l'amont comme la présence de nombreux cordons en témoigne.
- nous pensons que de petits glaciers de cirque se développent à la Cicle et à Roselette au début du Dryas récent puis leurs dépôts évoluent en glaciers rocheux
- le glacier des Jovet stationne aux lacs Jovet et sa langue glaciaire, probablement fortement recouverte de sédiment, atteint le NE de Plan Jovet (voir la figure 5.37 et 6.8). Le cône d'épandage fluvio-glaciaire de Plan Jovet (voir la figure 6.18) se construit à partir d'un front situé non loin des cascades des Lacs Jovet. La morphologie général complexe du secteur des Lacs Jovet témoigne des différentes positions glaciaires et de évolution d'une partie de la langue de Plan Jovet en glacier rocheux (probablement dans la dernière phase du Dryas récent).



Figure 6.18: les dépôts fluvio-glaciaires du cône d'épandage de Plan Jovet. Ces dépôts sont actuellement incisés par le Bon Nant

- les lacs NO de Plan Jovet devaient poursuivre leur comblement
- quelques moraines au Plan des Dames marquent des positions du glacier provenant des Fours mais il en reste peu de traces
- aucun héritage géomorphologique de cette période ne subsiste sur le versant Beaufortin mais nous pensons que de petits appareils peu dynamique existaient.
- DLEG: environ 220-400 m
- âge environ 12 000 cal BP



Figure 6.19: Situation régionale au stade de la Gorge. Les glaciers poursuivent leur retrait vers les vallées latérales et seul le glacier de Tré la Tête occupe la vallée principale. (tirée de Coutterand dans Amelot et al., 2008)

### *Le Petit Âge Glaciaire et les moraines historiques*

- existence de nombreux petits systèmes glaciaires dans les cirques
- seul les glaciers de Tré la Tête et Armancette ont une dynamique importante
- les différents glaciers de la Combe d'Armancette remplissent la combe avec leurs dépôts fluvioglaciaires. La paroi dominant la Combe est en partie englacée comme en témoigne le moutonnement et la teinte claire qu'elle présente actuellement
- un glacier de faible épaisseur stationne sur les dalles de Tré la Grande et construit de nombreuses moraines
- le glacier de Tré la Tête avance au maximum au dessus de la Laya où il participe au comblement fluvioglaciaire. Les glaciers Sud du vallon de Tré la Tête sont connectés au glacier principal
- un glacier très raide s'écoule au dessus de la Combe Blanche comme en témoigne une moraine effilée (voir la figure 6.20).
- les bastions morainiques de l'Enclave, de Bellaval et des Rebanets Chassots dominent le vallon des Jovet. Un glacier provenant du cirque SO du Mont Tondu s'écoule juste en amont du secteur des lacs.
- les combes du Rocher du Bonhomme et du col des Chasseurs sont recouvertes par des névés permanents
- les glaciers rocheux des Rebanets Chassots et de l'Enclave sont actifs

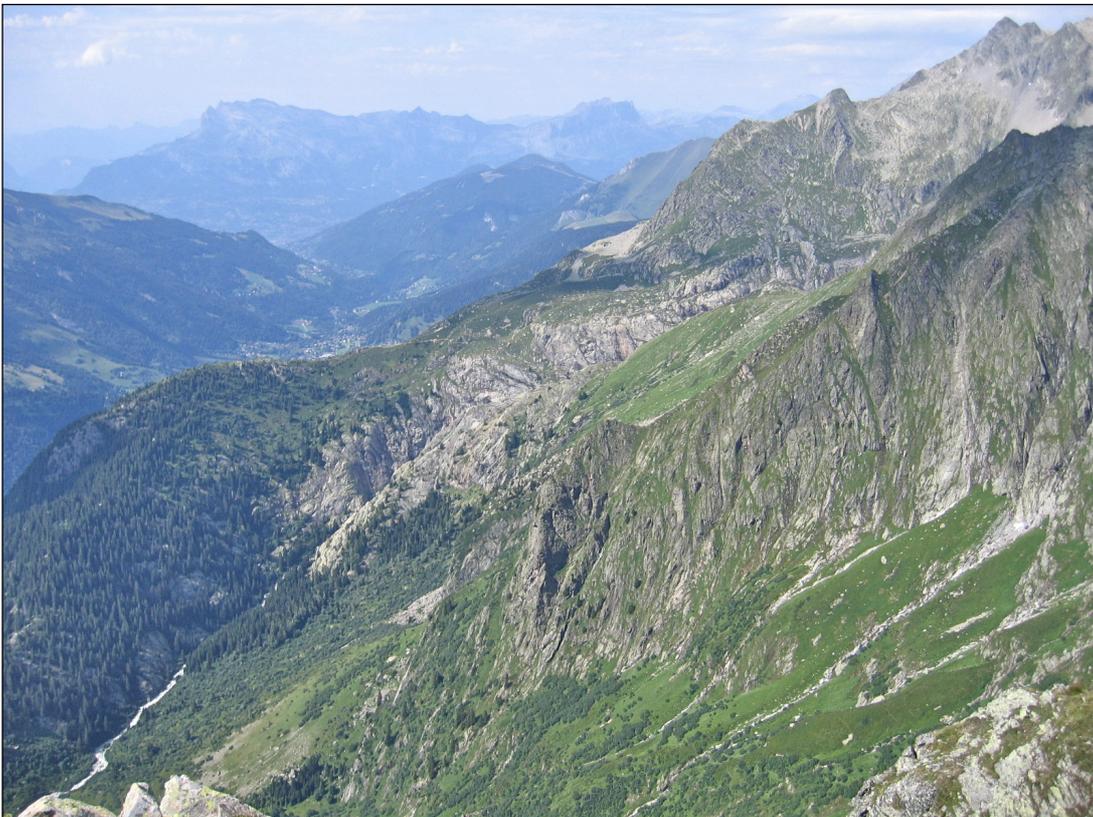


Figure 6.20: La Combe Blanche et Tête Noire depuis le Col Jovet. Les roches moutonnées du centre de la photo témoignent de la présence glaciaire au PAG. La crête bien dessinée et végétalisée en bas à droite a été également construite par le petit glacier local au PAG.

Ces grandes phases glaciaires ont donc profondément influencé la morphologie actuelle de la RNCM. Cependant, il faut garder à l'esprit que le climat depuis le Tardiglaciaire a aussi été caractérisé par des périodes chaudes (l'interstade Bölling-Alleröd ou l'optimum climatique holocène par exemple, voir la figure 6.2). Le climat a ainsi varié continuellement, favorisant l'érosion du relief, tantôt par les systèmes morphogénétiques glaciaires, tantôt par les systèmes paraglaciaires, périglaciaires et tempérés. En effet, comme le montrent les nombreux auteurs qui s'intéressent à la période paraglaciaire (voir la figure 6.4), la rupture d'un équilibre morphodynamique (réchauffement ou refroidissement) induit une profonde crise morphogénétique (érosion et dépôt, remobilisation des anciennes formes). Deline (1998) explique par exemple que les phénomènes de forte intensité et de faible fréquence (écroulement

rocheux notamment) se produisent préférentiellement dans ces périodes de rupture d'équilibre morphodynamique. Dans ce prolongement, nous pensons que les importantes accumulations gravitaires et fluviatiles que nous avons relevés dans le RNCM se sont principalement développées pendant ces périodes.

## 6.4. Synthèse

La morphogenèse de la RNCM est intimement liée à l'histoire du désenglacement de ce secteur. Celle-ci est relativement récente, la réserve se situant dans une des principales zones d'accumulation glaciaire des Alpes. Le géopatrimoine glaciaire (autant les formes actives, inactives que fossiles) est donc riche et relativement bien conservé en raison de sa *jeunesse*.

Nos relevés et analyses s'inscrivent dans le prolongement des travaux de Dorthe Monachon (1986), Wetter (1987), Coutterand (2005 et 2008 dans Amelot et al.) et Coutterand et Nicoud (2005). Nos reconstitutions paléogéographiques se basent et vont dans le sens d'un désenglacement de la vallée du Bon Nant en six stades bien marqués, du Tardiglaciaire à l'Holocène:

- Magland
- Saint-Gervais-les-Bains
- la Vilette
- la Bottière
- la Gorge (Dryas Récent)
- la Combe Blanche (PAG)

Ces reconstitutions correspondent assez bien avec le modèle de désenglacement des Alpes Orientales proposé par Maisch (1981).

Toutefois, nos relevés diffèrent quelques peu des travaux de ces chercheurs et nos interprétations donnent un niveau glaciaire pratiquement tout le temps supérieur dans les hauts versants (nous nous appuyons sur nos observations de terrain). Nous avons également mis en évidence la présence de nombreux petits appareils glaciaires à la fin du Tardiglaciaire et à l'Holocène, qui n'avaient pas encore été pris en compte.

## 7. Dynamique géomorphologique: état actuel et hypothèses futures

### 7.1. Introduction

Ce chapitre sera consacré à l'analyse systémique de la géomorphologie de la RNCM. Cette approche considère le relief comme un système dynamique, composé de géosystèmes interconnectés. Ce système et ses composantes évoluent dans le temps. Après avoir défini quelques-uns des termes que nous allons utiliser dans cette partie, nous nous intéresserons aux différents géosystèmes que l'on retrouve actuellement dans la RNCM. Nous tenterons par la suite d'aborder les évolutions induites par le réchauffement climatique sur la distribution et la dynamique de ces géosystèmes.

L'analyse géosystémique des environnements géomorphologiques alpins est relativement récente. Elle s'oppose à l'approche *classique* segmentée par processus et se caractérise par une analyse globale et dynamique du relief. Cette approche tente d'appréhender la complexité d'un ensemble géomorphologique par la mise en évidence des interrelations entre les composantes. Cette *modélisation* de la réalité permet ainsi de dégager les caractéristiques communes aux composantes, les chaînes de causalité et de définir quelles variables/facteurs, internes ou externes aux systèmes, influençant sa dynamique.

L'approche géosystémique se focalise sur la distribution de la *dynamique géomorphologique* et distingue les zones de production (érosion), de transfert et d'accumulation de sédiments. Elle oppose également les secteurs actifs, inactifs et fossiles. Cette analyse tente enfin de caractériser la

*dynamique systémique* (voir la figure 6.4) et dissocie les systèmes stables (équilibre dynamique ou équilibre non dynamique) des systèmes instables (rupture d'un équilibre et crise morphogénétique).

Rovéra (1990) définit le terme de *géosystème* comme une «*unité terrestre, homogène d'un point de vue géomorphologique et morphogénétique, structurée et fonctionnelle, c'est-à-dire caractérisée par un ensemble d'éléments en interrelations et affectée d'une dynamique*». Ballandras (2003) s'inscrit dans cette définition et rappelle que les géosystèmes évoluent dans le temps et l'espace. Il décrit deux types de géosystèmes que l'on retrouve dans les Alpes, les *géosystèmes étagés* et les *géosystèmes hydrogravitaires*. Si chacun de ces géosystèmes a une dynamique et des caractéristiques propres (voir la figure 7.1), ils coexistent souvent dans le même espace et sont tout deux pertinents pour appréhender la réalité.

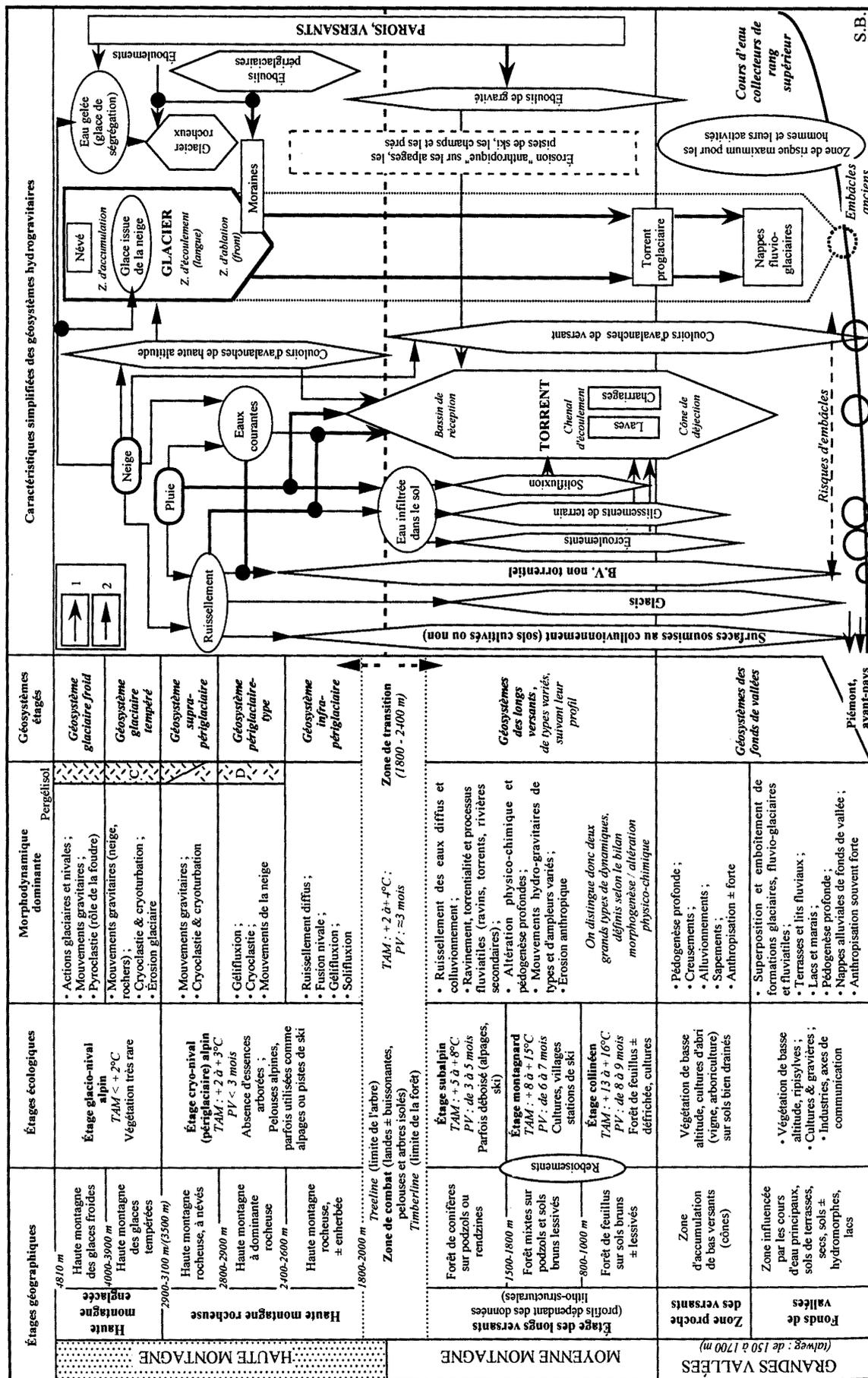


Figure - 1 : Les deux types de géosystèmes montagnards ; géosystèmes étagés et géosystèmes hydrogravitaires [partie gauche : M. CHARDON, 1989, modifiée]  
TAM : Température annuelle moyenne ; - P : Précipitations ; - PV : Période végétative ; C : continu ; - D : discontinu ; -> 1 : Flux de matière solide ; -> 2 : Flux de matière liquide.

Figure 7.1 : Principales caractéristiques des deux types de géosystèmes montagnards (Tirée de Ballandras, 2003:

Les géosystèmes étagés sont horizontaux et résultent du climat. En effet, l'altitude se traduit par une diminution de la température et l'augmentation des précipitations dont la part solide (neige) s'amplifie. Ces caractéristiques induisent une distribution des processus géomorphologiques et de la végétation en fonction de l'altitude. Le climat est donc synonyme d'un *étagement biomorphoclimatique* en montagne.

À l'inverse, les géosystèmes hydrogravitaires sont parallèles à la pente et dépendent principalement de la gravité. Le rôle de l'eau, sous toute ses formes, est fondamental dans la dynamique morphogénétique (érosion, transfert, dépôt) de ce système et sa mise en mouvement est la conséquence de l'énergie du relief et donc, par extension, de la gravité. La notion de *dominance* caractérise ces géosystèmes hydrogravitaires et leur emprise sur les versants. La dominance est définie comme la «*tutelle exercée par certaines formes ou processus morphogénétiques d'un étage sur le modelé d'un ou des étages inférieurs* (Deline, 1998: 31)». Deux formes de géosystèmes hydrogravitaires sont particulières au milieu montagnard et alpin: le système torrentiel (vitesse d'écoulement importante mais érosion limitée par rapport au système glaciaire) et le système glaciaire (vitesse d'écoulement faible mais érosion importante).

Ballandras (2003) introduit une typologie géographique qui, selon nous, constitue une synthèse intéressante de ces deux types de géosystèmes montagnards. Cette typologie distingue quatre sous-systèmes morphodynamiques aux caractéristiques propres mais interconnectés:

- *la haute montagne*: apports et accumulations en eau importants où la neige et la glace (glaciers, pergélisol) occupent une place privilégiée; abondance du matériel détritique; mouvement globalement lent
- *les versants*: pente importante; secteur principalement de transit (mais également érosion et stockage sédimentaires intermédiaires); formes et accumulations diverses (en partie héritées); présence de végétation; mouvement globalement rapide;
- *les fonds de vallée*: pente faible; secteur principalement d'accumulation en raison de l'adoucissement de la pente (mais également transit et érosion); formes et accumulations diverses (en partie héritées); présence de végétation; dominance exercée par les principaux géosystèmes supérieurs; forte anthropisation limitant parfois les flux vers l'aval
- *les piémonts*: pente faible; secteur d'accumulation sédimentaire; présence de végétation; faible dynamique actuelle en raison du climat et de l'anthropisation

Enfin, comme le chapitre 6 sur la morphogénèse de la RNCM l'a montré (voir par exemple la figure 6.4), les géosystèmes évoluent dans le temps. Ces variations sont dues à des facteurs endogènes (surrection/érosion d'une chaîne de montagne ou orocomplexe (Lambiel, 2009); sismicité, etc.) mais surtout exogènes aux géosystèmes (climat, anthropisation). Ballandras (2003) propose ainsi une analyse historique des variations des géosystèmes (et de leurs conséquences morphogénétiques) depuis le Pléni-glaciaire (voir la figure 7.2).

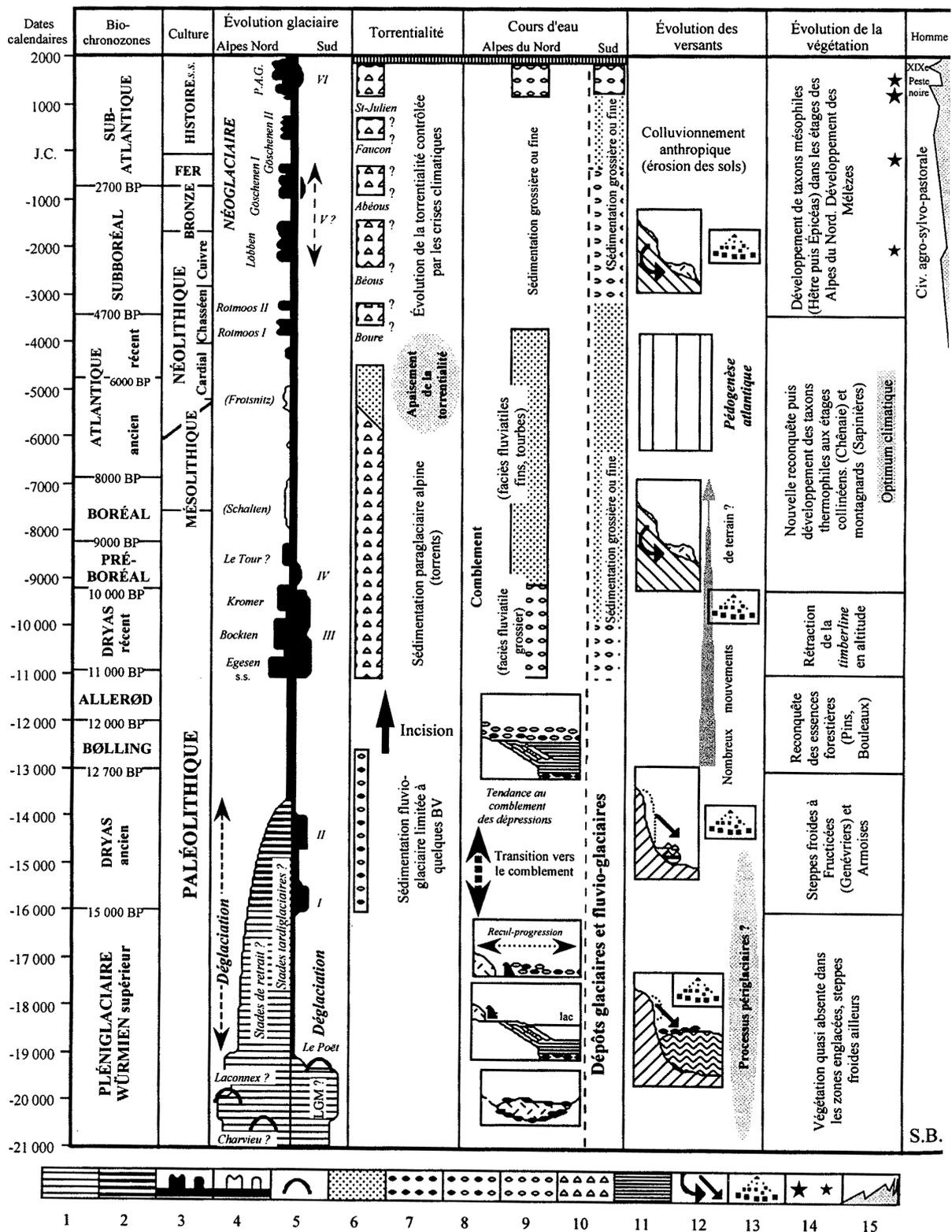


Figure 2 - Évolution climatique et morphodéritisme dans les Alpes françaises depuis 20 000 BP  
 1 : Calotte glaciaire würmienne ; - 2 : Idem, en décrépitude ; - 3 : Fluctuations postglaciaires reconnues dans le Massif du Mont Blanc ; - 4 : Idem reconnues en Suisse et en Autriche ; - 5 : Principaux systèmes de moraines frontales fini-würmiens ; - 6 : Sédimentation fluviatile ou torrentielle fine ; - 7 : Moraines construites et tills ; - 8 : Sédimentation fluvio-glaciaire ; - 9 : Sédimentation fluviatile grossière ; - 10 : Diamictites torrentielles ; - 11 : Sédimentation deltaïque (foresets beds) ; - 12 : Mouvements de terrain ; - 13 : Éboulement ; - 14 : Phases de défrichement ; - 15 : Évolution du nombre d'habitants.

Figure 7.2 : Analyse géosystémique et morphogénétique des Alpes françaises depuis le Pléniglaciaire (Tirée de Ballandras, 2003: 132)

## 7.2. Systèmes géomorphologiques

Nous avons réalisé deux cartes d'analyse géosystémique de la RNCM à partir de nos relevés géomorphologiques (voir la carte 6). La première de ces cartes (la plus grande) tente d'appréhender la dynamique morphogénétique actuelle en mettant en lumière les transferts *verticaux* (parallèles à la pente) de sédiments. La seconde carte (la plus petite) illustre la répartition des géosystèmes selon la typologie géographique de Ballandras (2003, voir 7.1) et résulte donc d'avantage d'une approche *horizontale* des géosystèmes, en fonction de leurs caractéristiques communes. En tant qu'interprétations et *modélisations* de la réalité, ces cartes sont des simplifications. La géomorphologie de la RNCM et la dynamique des processus est évidemment plus complexe que ces représentations cartographiques.

### 7.2.1. Dynamique morphogénétique

La dynamique morphogénétique actuelle de la RNCM a été cartographiée (grande carte) selon la dynamique géomorphologique (érosion et transfert / accumulation sédimentaire; activité / inactivité morphogénétique) et le processus morphogénétique dominant. Cette carte permet de dégager les enseignements suivants sur les géosystèmes de la réserve:

- quatre processus principaux - le processus glaciaire, périglaciaire, gravitaire et fluvial - dominant ou ont dominé la morphogénèse. Ces processus sont typiques de la géomorphologie alpine. Les autres processus sont secondaires et concernent des formes et des secteurs limités.
- la répartition des processus morphogénétiques dominants et de la dynamique géomorphologique montrent une géomorphologie complexe où les processus agissent successivement (et interagissent même souvent bien que nous ne l'ayons pas cartographié dans une démarche de simplification) dans les géosystèmes. Ainsi, le transfert sédimentaire est assuré tour à tour par des processus différents. La cascade sédimentaire (transfert sédimentaire vers l'aval avec zones de stockage temporaires) se caractérise donc par de nombreuses remobilisations. Autrement dit, aucun processus géomorphologique n'exerce de dominance sur l'intégralité de la cascade sédimentaire dans la RNCM.
- l'opposition adret/ubac est peu pertinente dans la réserve dont les versants principaux sont orientés E-SE et O-NO. Toutefois, le vallon de Tré la Tête montre que les glaciers se développent préférentiellement quand ils sont orientés vers le N-NO (massif du Mont Tondu, les Lanchettes) que vers le S (Pointe de la Bérangère et dalles de Tré la Grande) mais cela s'explique également par la topographie de la surface d'accumulation glaciaire.
- la relation entre la lithologie et les géosystèmes est difficile à déceler tant la RNCM est dominée par les gneiss. La torrencialité s'inscrit cependant préférentiellement dans les schistes (col du Bonhomme, Nant Borrant) alors que les gneiss massifs sont d'avantage affectés par les processus périglaciaires et gravitaires. Les deux versants du vallon de la Rollaz témoignent de l'influence de la lithologie sur le développement des géosystèmes (voir la figure 7.3).



Figure 7.3 : le vallon de la Rollaz est dominé par un versant droit (à gauche) cristallin et un versant gauche (à droite) sédimentaire. Les pentes plus importantes sur le versant cristallin témoignent du développement d'un géosystème gravitaire (cônes et voiles d'éboulis). À l'inverse, les pentes adoucies et concaves du versant sédimentaire illustrent l'action de la torrentialité et les cônes de déjections repoussent le Bon Nant vers le versant cristallin. Ces géosystèmes ont donc rééquilibré différemment l'auge de la Rollaz après le retrait glaciaire.

- les principales zones d'accumulation sont les secteurs plats et résultent d'une perte d'énergie du géosystème. Les secteurs concernés sont la Saussaz (fluviales), le Plan des Dames (fluviales), Plan Jovet (fluviale et glaciaire), la dépression des lacs Jovet (glaciaire et gravitaire), les Rebanets Chassots (pérglaciaires et gravitaires), le Plan de la Fenêtre et les Pâturages de la Balme (glaciaire, pérglaciaire et fluviale), la Rollaz, (fluviale et gravitaire), la Combe Blanche (fluviale), la Combe Noire et la Rosière (glaciaire) et la Combe d'Armanette (glaciaire, gravitaire et fluviale). Les versants sont principalement recouverts de dépôts gravitaires dans les secteurs hauts et de dépôts morainiques dans les secteurs inférieurs.
- la morphologie glaciaire est dominante mais fortement héritée. Elles est principalement fossiles et seuls les systèmes glaciaires de Tré la Tête et d'Armanette sont actifs. Les petits glaciers enterrés du vallon des Jovet ne sont probablement plus alimentés en glace. La dominance du processus glaciaire est aujourd'hui limitée. Les dépôts glaciaires sont parfois fossilisés (par exemple le plaquage morainique dominant la vallée principale entre le Monthieu et Tête Noire), parfois remobilisés par d'autres processus.
- la morphologie gravitaire est importante mais les secteurs actifs se situent essentiellement en altitude. L'activité a donc un lien important avec les conditions climatiques et l'extension du domaine pérglaciaire. L'inactivité permet le développement de la végétation. Elle résulte de facteurs topographiques (profil équilibré), géologiques (roche en place stabilisé) et climatique (alternance de gel-dégel peu efficace). La morphologie gravitaire domine les secteurs de pentes de la RNCM mais peu de ces dépôts atteignent les secteurs plats (dépôts d'écroulements rocheux de la Balme et des lacs Jovet).
- la morphologie pérglaciaire est localisée et se développe préférentiellement sur des secteurs peu pentus (ils permettent des accumulations sédimentaires importantes). L'activité des formes est presque directement liée à l'altitude. Les formes de fluage se développent essentiellement dans les

secteurs d'accumulation de sédiments cristallins à la granulométrie plus importante que les sédiments schisteux.

- la morphologie fluviale est dominante dans les secteurs plats et les principaux vallons. C'est aussi le processus le plus actif et un nombre restreint de ces formes sont inactives/fossiles. On le retrouve principalement dans les secteurs schisteux et dans les secteurs récemment déglacés (la Combe Blanche, la Combe d'Armanette).

### 7.2.2. Distribution des sous-systèmes morphodynamiques

La répartition des sous-systèmes morphodynamiques de la RNCM a été cartographiée (petite carte) à partir de la typologie proposée par Ballandras (2003, voir 7.1). Nous avons ajouté une information sur l'activité morphogénétique actuelle. Cette carte donne les indications suivantes sur les géosystèmes de la réserve:

- le sous-système de la haute montagne domine largement la RNCM. La position de la RNCM de la MMB, massif le plus élevé des Alpes, explique cette situation. Tous les sommets du MMB et les massifs de la Pennaz-Roches Franches et la Cicle/Roselette font partie de ce sous-système. Celui-ci englobe également le pied de leurs versants, directement influencés par les processus s'exerçant sur ces hauts sommets. Nous l'avons dit, le MMB se caractérise par l'importance de ses précipitations. Dans ce prolongement, il est actuellement un des principaux secteurs englacés des Alpes et se distingue par une importante cryogénèse. Cela se traduit par la dominance glaciaire, encore largement perceptible dans la géomorphologie de la RNCM. Si les glaciers se sont retirés vers l'amont depuis le PAG, le sous-système de haute montagne caractérise encore des secteurs à l'altitude relativement basse (Combe d'Armanette par exemple). Les nombreuses parois rocheuses que l'on retrouve dans le domaine périglaciaire donnent naissance à d'importantes accumulations sédimentaires. Ce sous-système est donc globalement actif. Enfin la végétation est souvent absente de ces environnements minéraux et les secteurs végétalisés correspondent à des secteurs relativement plats et/ou d'altitude limitée (Plan de la Fenêtre, Monts Jovet, le Monthieu).
- le sous-système de versant est également bien présent dans la réserve mais il est parfois limité par la dominance exercée par le sous-système supérieur. Il se caractérise par des pentes importantes et la présence abondante de végétation (pelouse, lande et surtout forêt) dans les secteurs non dynamiques. La couverture végétale est limitée dans les secteurs les plus élevés par l'activité des processus géomorphologiques. Les versants sont des zones de transit de la charge sédimentaires mais celle-ci y est également temporairement stockée (voir la carte 13 sur la dynamique morphogénétique). L'érosion des versants est relativement faible dans la Réserve (peu de ravinement sauf dans les schistes). Le rééquilibrage paraglaciale étant bien avancé, les versants sont globalement stabilisés.
- le sous-système de fond de vallée est le moins présent dans la RNCM. La réserve recouvre en effet essentiellement la partie amont du Val Montjoie et les vallées qui s'y développent sont de taille modeste (la Rosière, la Combe Noire, la Combe Blanche, la Rollaz, le vallon des Jovet-Bonhomme et la Saussaz). Le sous-système de fond de vallée est presque toujours lié à la structure géologique (synclinal, faille). L'accumulation sédimentaire est importante dans ce sous-système mais les formes sont en partie héritée (par exemple les plaines d'épandage fluvioglaciaire de Plan Jovet ou de la Laya. La présence de la végétation est limitée par l'alluvionnement dans les secteurs actifs. L'anthropisation est relativement faible dans la RNCM mais les captages d'eau diminuent la dynamique morphogénétique. Enfin, la dominance exercée par les sous-systèmes supérieurs est relativement faible et concerne principalement les laves torrentielles et les avalanches (peu/pas d'éboulement, systèmes glaciaires trop éloignés, voir 7.4).
- ces sous-systèmes horizontaux sont interconnectés par de nombreux et divers transferts sédimentaires (voir 7.2.1.).

### 7.3. Evolution dynamique: influence climatique et influence anthropique

Comme le montre la figure 7.2, la distribution des géosystèmes dans les Alpes varie fortement dans le temps et dans l'espace. Depuis le Pléniglaciaire (20 000 ans), si les géosystèmes ont connu des petites périodes de stabilité (dizaines, centaines d'années) permettant par exemple la construction de différentes générations de cordons morainiques (voir les figures 7.2 et 7.3 et la carte 10), la dynamique géosystémique a globalement très fortement oscillé dans cette période marquant le passage d'une glaciation à un interglaciaire. Les fluctuations climatiques quasi constantes expliquent cette situation et les géosystèmes connaissent de fortes déstabilisations. Dans cet état de déséquilibre, ils tentent de s'adapter aux nouvelles conditions climatiques et de retrouver un état stable. Comme le montrent les travaux de nombreux chercheurs (par exemple sur le paraglaciale), ce déséquilibre a un rôle morphogénétique important. Enfin, le milieu naturel et donc les géosystèmes répondent parfois avec un temps de retard aux oscillations climatiques et se caractérisent donc par une certaine inertie (Schoeneich et de Jong, 2008). Cette inertie touche principalement la haute montagne et les systèmes morphogénétiques glaciaires et périglaciaires (voir par exemple Deline (1998) ou Lambiel (2006)).

Le réchauffement climatique contemporain se traduit par un important déséquilibre des géosystèmes alpins. Ce réchauffement, initié depuis la fin du PAG (soit environ depuis 150 ans), subit un important forçage anthropique lié à la production massive de gaz à effet de serre (voir la figure 7.4 et IPCC, 2007). Le réchauffement s'est accéléré fortement à l'échelle mondiale lors des 30 dernières années.

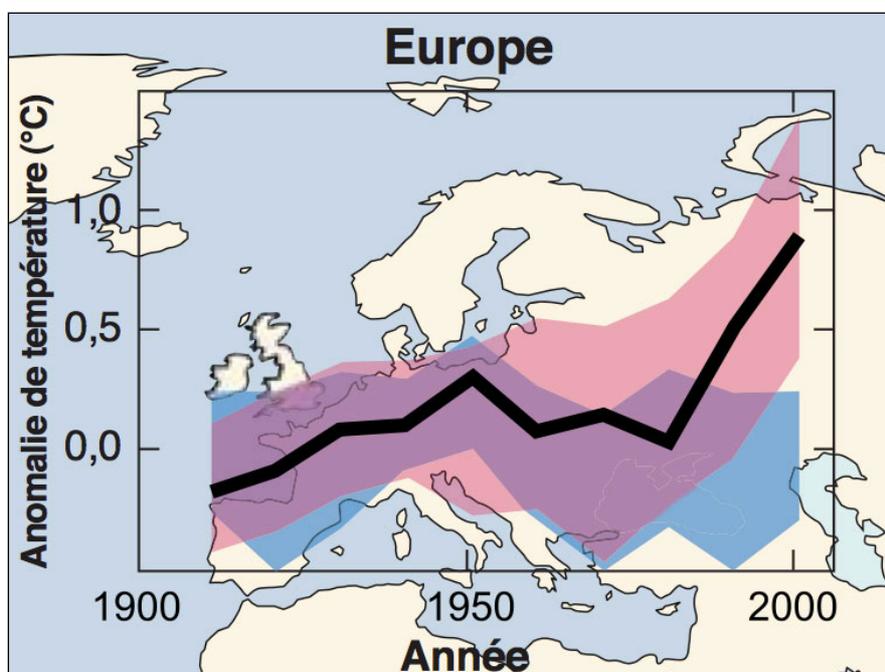


Figure 7.4 : les variations de températures en Europe entre 1920 et 2000. La courbe en noir représente les observations (données entre 1906 et 2005) tandis que les surfaces en rouge et en bleu sont les résultats de modélisations. Celles en bleu intègrent uniquement le forçage naturel tandis que celles en rouge prennent en compte le forçage naturel et anthropique. Ces derniers modèles correspondent le mieux avec la réalité. (tirée de IPCC, 2007: 6)

Cette évolution climatique touche d'avantage les espaces vulnérables de haute latitude et de haute altitude. Les Alpes ont, dans ce prolongement, connu un réchauffement depuis la fin du PAG pratiquement double par rapport aux moyennes mondiales (une augmentation comprise entre 0,9 et 1,5°C dans les Alpes contre 0,7 et 0,8°C à l'échelle mondiale, voir Schoeneich et de Jong (2008)). En outre, l'accélération du réchauffement depuis 20 ans est trois fois plus importante dans les Alpes qu'à l'échelle mondiale (Ravel, 2009). Ces mutations ont de nombreux effets sur les environnements alpins (voir par exemple IPCC (2002 et 2007), Beniston (2005) ou ONERC (2008)). Les microclimats alpins se distinguent par leur forte variabilité et les milieux réagissent différemment aux changements climatiques mais il est possible de dégager des tendances à l'échelle du massif. En voici les principales (Schoeneich et de Jong, 2008) :

- diminution de l'enneigement (durée et hauteur de neige)
- fonte de la glace et du pergélisol
- remontée en altitude des isothermes se traduisant par le remontée des étages de la végétation, de la limite des neiges persistantes (LEG) et de la limite inférieure du domaine périglaciaire. Les composantes biotiques et abiotiques de l'environnement se distinguent toutefois par leur inertie
- évolution des régimes de précipitations vers une diminution des précipitations estivales (mais la récurrence des phénomènes extrêmes augmente) et une augmentation des précipitations hivernales dont la proportion neigeuse diminue. Cela induit des modifications des régimes d'écoulements et les débits des cours d'eau alpins augmentent globalement (fusion de la glace et du pergélisol quand le bassin versant recouvre des secteurs de haute montagne) toute l'année et en particulier en hiver (plus de pluies)
- augmentation des phénomènes extrêmes (pic de chaleur, sécheresse, précipitations intenses) se traduisant par l'augmentation des aléas naturels
- à moyen terme, la propagation du biome méditerranéen vers le N

Les géosystèmes alpins, encore fortement hérités du PAG, sont donc profondément déstabilisés dans le contexte de réchauffement climatique contemporain. Cette déstabilisation touche davantage encore les secteurs alpins élevés et pentus comme la RNCM. Ces secteurs se caractérisent en effet par la forte dominance des domaines glaciaires et périglaciaires et par la présence importante de l'eau sous forme de glace. De plus, l'énergie du relief, l'absence fréquente de végétation et les précipitations accrues sur les hauts secteurs sont des facteurs propices au développement de phénomènes géomorphologiques rapides (Ravel, 2009).

Les systèmes morphogénétiques glaciaires et périglaciaires des hauts secteurs de la RNCM sont de ce fait les plus déstabilisés mais l'ensemble des géosystèmes sont touchés. Les mutations engendrées sont ambivalentes

- d'une part, le réchauffement se traduit par la remontée des isothermes et donc de l'étagement morphogénétique. Cette remontée, si elle est synonyme de redistribution des processus géomorphologiques, se caractérise dans certains secteurs par une diminution de la dynamique morphogénétique. En effet, le développement lent mais généralisé de la végétation vers l'amont (stabilisation par les racines, augmentation de la rugosité de la surface), la remontée de la limite inférieure du domaine périglaciaire (les secteurs bas sont moins touchés par la cryoclastie, désactivations des formes de fluage avec la fusion de la glace interstitielle) et le recul des fronts glaciaires vers l'amont (diminution de leur dynamique et des secteurs directement influencés) permettent une *fossilisation* du relief dans les parties basses de la RNCM (voir par exemple la figure 7.5). En ce sens, le système morphogénétique tempéré (voir la figure 6.4), faiblement énergétique et dominé par la torrentialité, se propage vers l'amont.



Figure 7.5 : *fossilisation* de la géomorphologie du versant situé sous la Tête de l'Enclave. L'éboulis fluant (secteur sédimentaire à droite de la pente centrale) est probablement inactif. La végétation colonise le versant vers l'amont tandis que les pentes sont régularisés.

- dans la dynamique contraire, le réchauffement climatique engendre la déstabilisation de certains secteurs et une crise morphogénétique. Les systèmes glaciaires sont partout déséquilibrés et leurs fronts remontent vers l'amont. Les glaciers enterrés du vallon des Jovet sont les moins touchés à première vue mais la glace fond et disparaît lentement comme le montre l'enfoncement généralisé dans les bastions morainiques (voir la figure 5.11). Les autres glaciers subissent plus intensément le réchauffement et la fonte se traduit autant par la réduction de leur longueur que de leur épaisseur. À titre d'exemple, le système glaciaire de Tré la Tête, malgré une grande zone d'accumulation d'altitude et l'humidité importante du climat, a vu son front remonter de plus de 4 km vers l'amont depuis le PAG. Certains glaciers de ce système sont d'ailleurs (ou sont en train de s') individualiser par rapport au glacier principal (Mont Tondu, les Lanchettes). De plus, la couverture détritique épaisse de la langue du glacier de Tré la Tête témoigne de sa perte de dynamique. Celui-ci n'arrive plus à évacuer sa charge. Ces systèmes glaciaires ne donnent pas de signes de stabilisation et leurs bilans de masse sont négatifs. Lors de notre campagne de terrain, les névés, et donc la neige susceptible de se transformer en glace à la fin de l'été, recouvraient des surfaces très limitées. Cette situation est largement répandue dans les Alpes où les glaciers, en raison de leur inertie, «*sont en retard sur l'évolution climatique*» (Schoeneich et de Jong, 2008: 57)». La fonte glaciaire va donc se poursuivre à cours terme même si le climat venait à se stabiliser. Le désenglacement actuel des versants et des vallons de la RNCM se traduit à la fois par des dépôts de matériel importants (moraine de fond, moraine latérale et frontale, moraine d'ablation) et par la décompression des versants. Une crise paraglaciale se produit donc actuellement et les principaux secteurs d'instabilité sont les anciennes moraines latérales du glacier de Tré la Tête (rééquilibrage gravitaire, voir les figures 5.12 et 5.49) et les dépôts du secteur récemment déglacé de la Combe d'Armancette, qui sont remobilisés par des laves torrentielles (voir la figure 5.59). Les accumulations morainiques dans les secteurs les plus plats sont pour leur part stabilisées. Les parois rocheuses sont soumises à la fois à la décompression (rééquilibrage gravitaire) et aux processus périglaciaires. Nous n'avons pas relevé de traces d'événements gravitaires majeurs liés à la dégradation du permafrost de paroi (déstabilisation de la paroi avec la fusion du permafrost qui cimentait ses composantes, voir les travaux de Deline et Ravel) mais d'avantage d'un processus lent et permanent d'ébouilisation. La *zone de gelifraction maximale* (voir par exemple Scapozza (2008) ou la figure 5.21) remonte et touche de nouveaux secteurs. Le réchauffement climatique se traduit également par le changement de régime thermique des glaciers ou des formes de fluage périglaciaire. Les formes froides, au mouvement lent, sont déstabilisées par l'augmentation des températures et se transforment en formes tempérées au mouvement rapide et à la dynamique complexe. Les glaciers

froids des hauts secteurs du bassin de Tré la Tête peuvent ainsi connaître des crues et l'augmentation du phénomène de chute de séracs (apparition récente d'une crevasse sur l'arête des Dômes de Miage en raison de ce changement de régime thermique? information communiquée oralement et à vérifier). Cette dynamique d'accélération peut également toucher les glaciers rocheux en raison de l'augmentation de la plasticité de la glace. Cela semble être le cas pour le petit glacier rocheux du col Jovet (voir la figure 5.47) qui semble déstabilisé.

Se rajoutant à ce contrôle climatique (dont il est en partie responsable de l'évolution) et bien que sa présence soit limitée (secteur de haute montagne) et fortement réglementée (mesure de protection de la réserve), l'Homme exerce également une influence directe sur la dynamique morphogénétique locale. Ce contrôle anthropique, volontaire ou non, prend différentes formes et a des conséquences nombreuses et complexes. Cependant, il se caractérise aujourd'hui principalement par une diminution de la dynamique morphogénétique de la RNCM, en raison des captages d'eau, de la reforestation volontaire (plus largement de la sylviculture extensive) et de la déprise agricole. D'importants prélèvements d'eau sont effectués dans la réserve pour la production d'électricité et l'alimentation du réseau d'eau potable. Les géosystèmes naturels sont ainsi artificialisés (petits barrages stockant temporairement de l'eau, augmentation des captages pendant les fortes précipitations?) et leur dynamique est ainsi diminuée (voir par exemple la figure 7.6 et 7.7).



Figure 7.6 et figure 7.7 : amont et aval du captage d'eau de la Plan Jovet (il alimente le barrage de la Girotte en Savoie). La faiblesse du débit du Bon Nant à la sortie de ce captage se traduit par une diminution de la compétence du cours d'eau et donc de son activité morphogénétique

En même temps, la déprise agricole entraîne un enforestement d'anciens secteurs d'alpages (nous pensons notamment à la *fermeture* des secteurs des Chalets d'Armanette, de la Laya et des Près). Si ce phénomène rend à l'environnement son caractère naturel (les alpages de moyenne montagne sont bien souvent la conséquence de la déforestation anthropique), il a pour effet de limiter le ruissellement et d'augmenter la stabilité et la rugosité du sol. Cela entraîne donc un affaiblissement de la dynamique géomorphologique. Enfin, l'entretien de la forêt (sylviculture) et la reforestation volontaire de certains secteurs par le RTM (voir la figure 7.8) permettent de limiter l'érosion torrentielle et les avalanches.

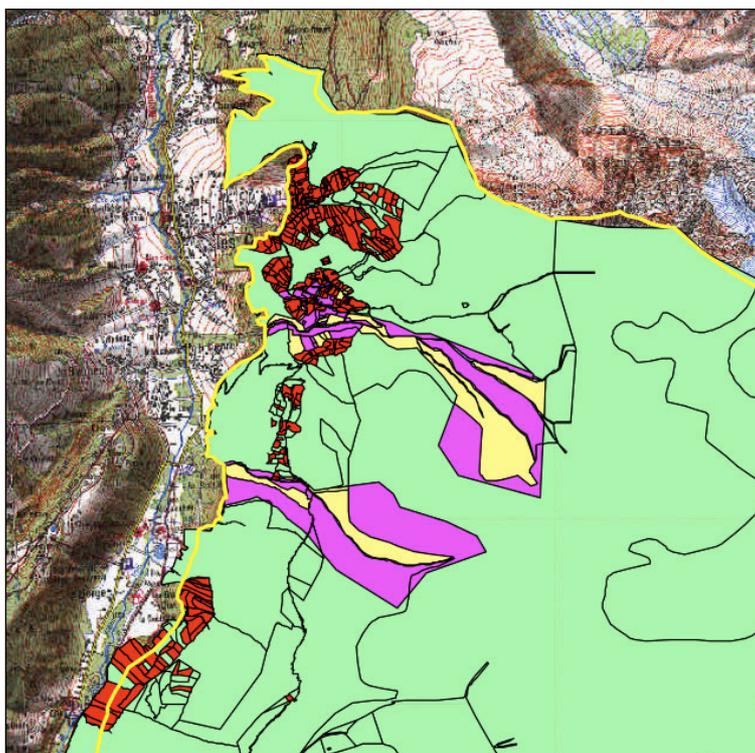


Figure 7.8 : Carte du foncier de la partie NO de la RNCM. Les secteurs en vert sont communaux, en rouge privés. Les parcelles en jaune appartiennent à l'ONF tandis que celles en rose appartiennent au Ministère de l'agriculture. Le RTM intervient dans ces deux dernières catégories qui touchent ici le Nant d'Armançette et le Nant des Tours/ la Grande Combe. Le RTM est également actif à Nant Borrant. (tirée de ASTERS, 2004: carte 3)

Nous allons finir ce rapide aperçu de l'évolution de la dynamique morphogénétique de la RNCM par quelques hypothèses futures. Les modélisations de l'IPCC (ou GIEC) sur l'évolution des émissions mondiales de gaz à effet de serre prévoient 6 scénarios différents, fonctions de l'évolution des activités humaines (voir IPCC, 2007). Ils modélisent une augmentation moyenne des températures de 2°C à 3,5°C en 2100. Nous avons vu que les Alpes sont touchées plus fortement encore par le réchauffement climatique et ces valeurs sont donc probablement inférieures à celles qui vont affecter cet espace vulnérable. Les observations mondiales en ce début de siècle indiquent une tendance qui se rapproche des scénarios les plus chauds. Nous proposons donc les hypothèses suivantes sur l'évolution probable de la géomorphologie de la RNCM:

*un recul important et accéléré des glaciers.* Les glaciers alpins ont perdu près de 70% de leurs volumes depuis la fin du PAG (ONERC, 2008) et les prévisions annoncent un réchauffement encore plus important et plus rapide au 21<sup>ème</sup> siècle. Avec cette remontée accrue de la limite des neiges persistantes, le déséquilibre des systèmes glaciaires de la RNCM va se poursuivre et les glaciers vont peu à peu disparaître. Les glaciers situés les plus bas ne sont déjà probablement plus alimentés en glace et sont donc voués à disparaître. Nous pensons principalement aux glaciers du vallon des Jovet, du Massif du Mont Tondu-Lanchette et du secteur de la Bérangère. Cependant cette fonte est parfois complexe comme le montrent les glaciers enterrés des Jovet. Le désenglacement progressif du vallon de Tré la Tête et du secteur d'Armançette va donc dépendre de la position de la ligne de névé par rapport au point haut qui sont les Dômes de Miage (3670 m) et la crête de la Tête Carrée (3732 m) à l'Aiguille des Glaciers (3816m). Nous pensons que ces secteurs vont se retrouver à terme en dessous de la zone d'accumulation glaciaire (mais probablement après le 21<sup>ème</sup> siècle selon Reynard (communication orale). La déglaciation de nombreux secteurs va se caractériser par une crise paraglaciale. Celle-ci va à la fois toucher les versants (décompression et exposition aux conditions périglaciaires) et les secteurs sédimentaires (rééquilibres gravitaires et mobilisations périglaciaires et fluviales). L'aggradation des formes gravitaires (versants) et des formes fluviales (incisions ou remplissages en fonction de la topographie) seront selon nous une des conséquences morphologiques principales de ce déséquilibre morphogénétique. Dans ce prolongement, le vallon de Tré la Tête va se transformer à long terme en auge glaciaire fossile et régularisée comme l'est par exemple aujourd'hui le vallon de la Rollaz dans la RNCM ou le vallon de Bérard dans le massif des Aiguilles Rouges.

*une forte dégradation du pergélisol.* Le domaine périglaciaire va remonter vers l'amont et toucher des secteurs déglacés. À l'inverse, le pergélisol va disparaître des secteurs de moyenne altitude ce qui va engendrer la fossilisation des formes de fluage périglaciaire aujourd'hui actives (mais nous avons vu que ces formes peuvent également connaître une forte déstabilisation avec le réchauffement climatique). La dégradation du permafrost dans les parois rocheuses risque d'entraîner des déstabilisations localisées (éboulisation, éboulement) voire de pans entiers (écroulement). C'est ce qui s'est probablement produit dans le passé pour l'écroulement du secteur du col de l'Enclave (voir 5.3.2.5).

*une remontée de la distribution des processus géomorphologiques et des étages de la végétation.* Cette remontée va permettre le développement du système morphogénétique tempéré vers l'amont et donc une perte d'énergie du système et sa stabilisation. Les secteurs d'altitude risquent à l'inverse d'être fortement déstabilisés en raison des caractéristiques que nous avons décrites dans les points précédents. La composition de la végétation et plus largement de l'environnement biologique vont évoluer. Les prévisions de l'IPCC (2007: 11) pour l'environnement alpin prévoient d'ailleurs des risques de crise écologique majeure (jusqu'à 60 % des espèces pourront disparaître d'ici 2080 dans certaines régions, selon les scénarios de fortes émissions).

*une augmentation potentielle de la torrencialité.* Cette augmentation serait la conséquence de la fréquence accrue des épisodes pluvieux extrêmes (orages). En même temps, la déglaciation en cours produit ou libère de nombreuses accumulations sédimentaires qui peuvent être mobilisées par ces processus fluviaux. Le danger potentiel lié à ces phénomènes est donc en augmentation. Nous ne disposons toutefois pas de données et nos relevés sur le terrain n'ont pas permis de détecter des indices témoignant d'une augmentation récente de la torrencialité.

Le réchauffement climatique engagé peut avoir d'autres conséquences. Des phénomènes complexes (inertie, crise, accélération, rétroactions, particularité locale, etc.) et parfois ambivalents se produisent actuellement dans l'espace alpin et sont l'objet d'études. Nous avons vu que les Alpes et plus largement l'ensemble de la planète ont connu depuis 2 Ma de nombreux changements climatiques et les conditions ont déjà été plus chaudes et plus froides que celles que nous connaissons actuellement. Cependant, le réchauffement contemporain, par son forçage anthropique important, est inédit. C'est en effet la première fois de l'histoire que l'impact de l'Homme sur son environnement atteint une telle importance et touche l'ensemble de ses composantes. Si la vitesse et l'ampleur de ce réchauffement sont considérables, l'absence de stabilisation à long terme paraît encore plus préoccupante. Certains chercheurs se demandent même si l'avenir n'est pas synonyme d'une crise environnementale permanente (Schoeneich et de Jong, 2008). Dans ce prolongement, les géosystèmes n'évoluent actuellement pas vers des conditions stables mais vers un déséquilibre constant. La question est alors de savoir si ce déséquilibre va se traduire par une stabilisation dynamique (diminution de l'énergie du système) ou par une crise morphogénétique.

## 7.4. Géomorphologie et aléas naturels

Nous l'avons vu déjà vu dans le chapitre 5, de nombreuses instabilités et aléas naturels sont présents dans la RNCM. En voici un bref résumé:

- *avalanches* : elles touchent l'ensemble des hauts secteurs de la réserve (forte pente et absence de végétation pour stabiliser le manteau neigeux). Les couloirs de Nant Borrant, des Grassenières, des Tours/la Grande Combe et d'Armanette se distinguent en particulier par la récurrence et l'amplitude des événements, qui exercent une dominance importante sur la partie supérieure du versant (voir la figure 5.69).
- *chutes de séracs* : phénomène assez peu fréquent et limité aux versants glaciaires abrupts du vallon de Tré la Tête. Il est peu courant sur le secteur d'Armanette-Covagnet. Forel (repris dans Vivian, 2005) nous apprend cependant que la langue glaciaire de Tré la Tête s'est écroulée, parcourant plusieurs centaines de mètres dans la Combe Blanche vers 1848, ce qui s'est traduit par l'inondation de la plaine de la Gorge.

- *éboulisation* : processus lent qui touche de nombreuses parois d'altitude de la RNCM en particulier dans le vallon des Jovets, dans le massif de la Pennaz-Roselette et le vallon de Tré la Tête.
- *éboulement/écroulement* : phénomène plus rare dans la réserve. Si des dépôts témoignent d'anciens événements (lac Jovet, Plan des Dames, la Balme), aucun ne semblent récent.
- *glissements de terrain/tassements rocheux* : processus de rééquilibrage gravitaire des versants fréquent dans la réserve et probablement plus répandu que notre cartographie le montre. Ces instabilités semblent cependant très peu actives.
- *crues et laves torrentielles*: les phénomènes torrentiels sont fréquents dans la RNCM mais principalement de faible ampleur et limités aux secteurs d'altitudes (nombreuses laves torrentielles dans le massif de la Pennaz par exemple). Cependant, deux systèmes torrentiels se caractérisent par la récurrence et la dynamique importante de leurs crues et laves torrentielles: le Nant Borrant et le Nant d'Armancette. Ils exercent en ce sens une forte dominance vers l'aval. Mougin (1914) nous apprend par exemple que des crues du Nant d'Armancette atteignent la vallée principale en 1895, 1900 ou encore 1905. La répétition de ces événements et le risque naturel induit amènent le RTM à réagir dès la fin du 19<sup>ème</sup> siècle et à effectuer des *travaux d'intérêt public* (reforestations). Toutefois, des événements se produisent toujours actuellement lors d'épisodes orageux et une lave torrentielle s'est par exemple développée en août 2005 dans la combe d'Armancette générant des dégâts matériels en aval. L'incision où elle s'est développée est encore visible dans la combe (voir la figure 7.9 et 5.59). Une digue a d'ailleurs été construite sur le cône fortement anthropisé du Cugnon (hors réserve) pour canaliser l'écoulement de ces événements (voir la figure 6.16).



Figure 7.9 : La combe d'Armancette et la ravine empruntée par la lave torrentielle de 2005. Celle-ci a incisée les dépôts fluvioglaciaires. Le petit lac de barrage morainique d'Armancette se trouve au milieu de la photo (petite tâche sombre).

Les aléas naturels de la RNCM résultent donc de processus divers, parfois en interaction. Ces aléas naturels sont typiques des géosystèmes de haute et moyenne montagne et la réserve ne se distingue pas particulièrement par l'activité de ses phénomènes. De plus, en raison de la présence limitée de l'Homme dans la réserve, le risque naturel y est relativement faible (existence de l'aléa mais vulnérabilité limitée).

Dans le contexte de réchauffement climatique, la haute montagne où la glace joue un rôle fondamental dans la dynamique des processus (mise en mouvement, stabilisation/déstabilisation), la vulnérabilité des géosystèmes et l'occurrence des phénomènes géomorphologiques rapides augmentent (voir par exemple Deline (1998), Amelot et Coutterand (2006) ou Ravanel (2009)). De ce fait, dans la liste des aléas naturels que l'on retrouve dans la RNCM, certains phénomènes risquent potentiellement de connaître une augmentation de leur fréquence et de leur intensité. Nous pensons à l'ensemble des risques glaciaires (chutes de séracs, évolution des glaciers froids de parois en glaciers tempérés, décompression des versants, crise paraglaciale des secteurs sédimentaires) auxquels la formation potentielle de poche d'eau (intra/supra/juxta/pro) glaciaire s'ajoute. Nous n'avons pas relevés de signes allant en ce sens mais l'exemple de Tête Rousse en 2010 montre la probabilité de ce type d'événement, dont la rupture peut avoir des effets catastrophiques (voir 5.2) dans une vallée de plus en plus anthropisée (augmentation de la vulnérabilité). Les aléas liés à la dégradation du permafrost vont probablement également augmenter et nous pensons que la rupture catastrophique de parois (éboulement/écroulement) est possible, à l'instar des phénomènes qui se produisent dans l'ensemble du massif du Mont-Blanc (voir par exemple Deline (1998, 2003 et 2008), Deline et al. (2008) ou Ravanel (2009)). Nous nous interrogeons également sur la réponse des formes glaciaires et périglaciaires déstabilisées (col Jovet) du vallon des Jovet au réchauffement climatique. De nombreux exemples dans les Alpes montrent ainsi que la fusion de la glace dans ces formations superficielles peut générer des déstabilisations massives, des ruptures catastrophiques et des laves torrentielles (Ravanel, 2009). Enfin, nous en avons déjà parlé, la torrencialité va probablement également augmenter comme conséquence des changements dans les régimes de précipitations.

À l'inverse le développement de la végétation vers l'amont peut se traduire par une limitation du danger d'avalanche avec la stabilisation du manteau neigeux dans certains secteurs. La colonisation des versants par la forêt, qu'elle soit naturelle ou artificielle, limite également la probabilité que ces phénomènes nivaux ou que les phénomènes de chute de blocs (éboulisation, éboulement) n'atteignent le fond de la vallée. Si l'aléa existe toujours, la vulnérabilité et donc le risque diminuent par la présence forestière.

## 7.5. Synthèse

L'analyse géosystémique de la RNCM montre la diversité et la complexité de ses composantes. Tous les géosystèmes de la réserve ne sont pas actifs et de nombreuses formes (principalement dans les versants et les fonds de vallée) sont héritées de conditions climatiques qui n'existent plus. L'influence anthropique directe est synonyme d'une diminution de la dynamique morphogénétique. Par contre, l'influence climatologique et anthropique indirecte (forçage exercé sur le réchauffement climatique) se caractérise par une déstabilisation généralisée des géosystèmes, aux conséquences complexes et parfois ambivalentes (voir la figure 7.10). Globalement, si les secteurs de faible altitude se stabilisent et se fossilisent dans ce contexte, la haute montagne, qui recouvre une part importante de la superficie de la RNCM, est fortement déstabilisée et connaît une crise morphogénétique.

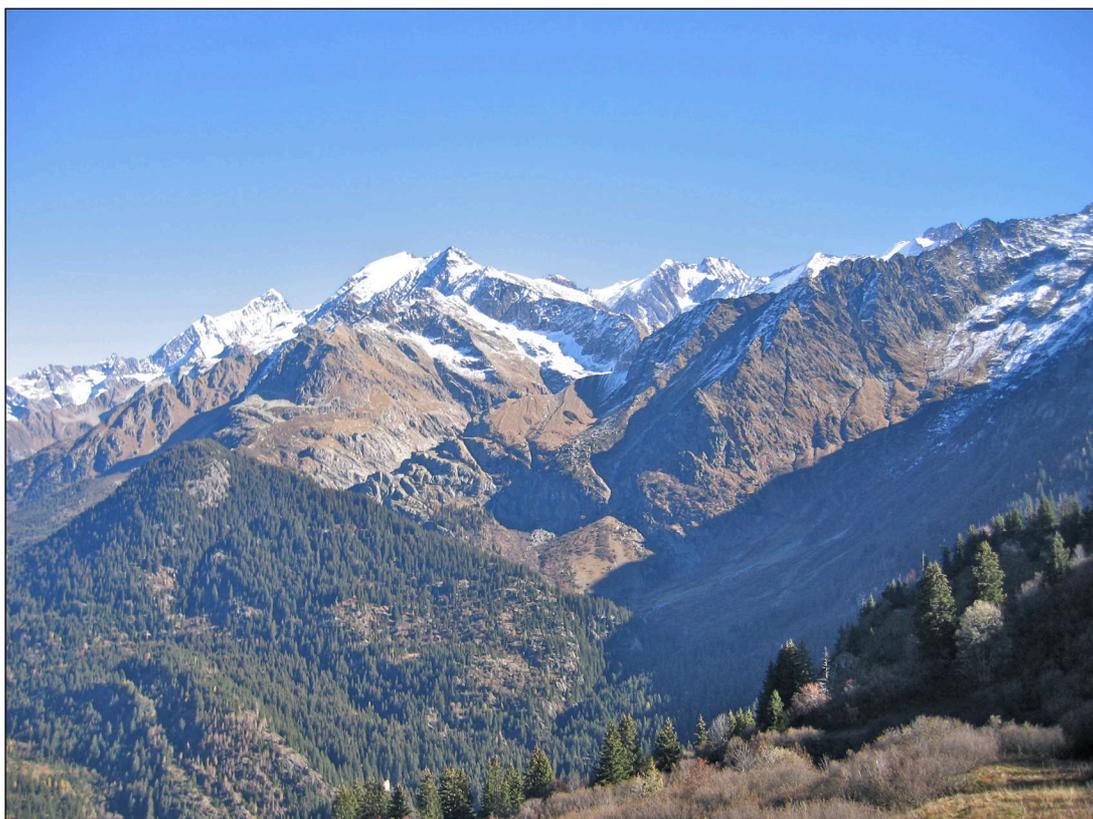


Figure 7.10 : dynamique avancée de fossilisation de la géomorphologie de la Combe Noire (enforestation) et déstabilisation des hauts secteurs (la Combe Blanche et les arrêtes de la Palissade à droite et le secteur des Têtes de Tré la Tête à gauche) se traduisant par la fonte glaciaire, la dégradation du permafrost et le rééquilibrage gravitaire.



# Partie III. Valorisation du patrimoine géomorphologique

Cette partie sera consacrée à une mise en valeur du patrimoine géomorphologique de la RNCM. Le chapitre 8 présentera, dans un premier temps, le contexte touristique de la Réserve. Nous nous questionnerons également sur la pertinence du développement du géotourisme dans la RNCM. Nous évaluerons ensuite quantitativement le potentiel géotouristique des géosites sélectionnés. Le géotourisme étant une pratique durable qui s'inscrit autant dans une logique de valorisation que de conservation, nous nous intéresserons à la vulnérabilité du patrimoine géomorphologique. Ainsi, les propositions de géovalorisation que nous formulerons chercheront à limiter les impacts. Ces propositions seront formulées dans le chapitre 9, par la forme d'un outil géotouristique classique, *le sentier didactique*, et d'un outil moins commun, *un site internet interactif*.

## 8. La Réserve Naturelle des Contamines-Montjoie et le géotourisme

### 8.1. le contexte touristique de la RNCM

#### 8.1.1. Etat actuel du tourisme

Le succès touristique des Réserves Naturelles de Haute-Savoie est exceptionnel. En effet, comme le montre une étude réalisée entre le 15 juin et le 30 septembre 2001 (Détente - Consultants, 2002a et 2002b), la fréquentation touristique pour cette période est de 400 000 visiteurs, soit l'équivalent de la fréquentation du Parc National de la Vanoise (Savoie) mais avec une renommée nettement moins importante et une surface deux fois plus petite. La même étude montre que le secteur de Notre Dame de la Gorge (principal site d'accès à la RNCM) est fréquenté par près de 100 000 personnes pendant l'été, mais que seulement un quart d'entre eux y randonne.

Cette étude (reprise également dans ASTERS, 2004), au delà de ce comptage, s'est intéressée aux profils et aux motivations des touristes visitant la RNCM. En voici une synthèse:

*Origine* : 80% ne sont pas des locaux ; 10% sont des étrangers ; 40% viennent de villes de plus de 20 000 habitants ; 75% séjournent dans la vallée (60% régulièrement) pour une durée moyenne de 10 jours.

*Profil* : 60% d'hommes ; âge moyen de 45 ans, catégories sociales supérieures ; 20% de familles avec enfant(s).

*Motivations* : la majorité des touristes viennent pour le paysage et/ou le sport ; 20% seulement parce que c'est un espace protégé ; 30% des touristes dorment ou se restaurent en refuges.

*Perceptions* : les éléments les plus appréciés sont la beauté des paysages et le calme, 25% des touristes jugent la surfréquentation comme l'élément le plus défavorable (50% de la fréquentation se concentre entre mi-juillet et mi-août).

*Attentes* : le public ne manifeste pas de forte demande en matière d'information et d'animation.

Ces quelques caractéristiques du public de la RNCM semblent montrer que la dimension sportive est importante dans la fréquentation de la Réserve (principalement la randonnée et l'alpinisme en été et le ski de randonnée de hiver). Ces activités sont dominantes, bien que d'autres se pratiquent dans la RNCM (raquette, VTT, escalade, etc.).

71km de sentiers, dont certains intégrés dans des itinéraires de grande randonnée (GR5, Tour du Mont-Blanc, Tour du Pays du Mont-Blanc et Tour du Beaufortin) canalisent les flux de randonneurs. La fréquentation des emplacements de bivouacs et des refuges (voir le tableau 8.1) est importante. Le refuge des Conscrits accueille ainsi entre les repas et/ou les nuitées près de 5000 visites/an contre 3000 pour la Balme. En plus de ces points de fixation touristiques importants, les lacs Jovet, le lac d'Armancette, le bassin glaciaire de Tré la Tête et le Col du Bonhomme attirent de nombreux touristes.

Deux principaux sites permettent d'accéder à la RNCM mais le public y est quelque peu différent (Détente Consultants, 2002b). En effet, les locaux, connaisseurs et sportifs, fréquentent préférentiellement le Cugnion tandis que Notre Dame de la Gorge attire d'avantage les touristes, excursionnistes et contemplatifs, d'origines plus lointaines.

Nom	Altitude	Année de construction	Places	Gestion
Tré la Tête	1970m	1907	85	privée
les Conscrits	2600m	1942 puis 1997	94	CAF
la Balme	1700m	1976	60	privée
- Refuges en dehors de la RNCM: Nant-Barrant, Roselette, La Croix du Bonhomme, Truc, Durier, Robert Blanc - Buvette à Nant-Barrant				

Tableau 8.1 : Les refuges de la RNCM

### 8.1.2. Tendances touristiques, objectifs de développement et pertinence du géotourisme

L'étude de Détente Consultants (2002a et 2002b) et les observations des gestionnaires (ASTERS, 2004) de la RNCM mettent en évidence diverses tendances. La hausse croissante de la fréquentation de la RNCM, toujours d'actualité, débute dans les années 1990. Deux raisons principales l'expliquent. Tout d'abord, la généralisation des congés, des RTT (Réduction du Temps de Travail) permettent aux personnes de disposer de plus de temps libre et de pratiquer davantage de loisirs et de tourisme. Parallèlement, le tourisme de nature s'est largement développé et la hausse de la fréquentation est perceptible dans toutes les Réserves Naturelles du département. Ainsi, si le nombre de touristes d'origine lointaine a peu évolué, les locaux investissent davantage les espaces naturels proches, sur des périodes indépendantes des vacances scolaires (en particulier au printemps et à l'automne). La fréquentation touristique de la RNCM s'est donc mieux répartie dans le temps. À cette diffusion temporelle, s'est ajoutée une diffusion spatiale, consécutive de l'apparition des nouvelles pratiques (VTT, raquette, etc.) et de l'intensification d'autres pratiques (notamment du ski de randonnée dans la RNCM, ce qui se traduit par une forte fréquentation hivernale).

Tenant compte de la situation actuelle et de l'évolution du tourisme dans la RNCM, les gestionnaires tentent de réguler les flux pour limiter les impacts sur l'environnement. Le *Plan de gestion* 2006-2010 fixe ainsi les objectifs suivants (ASTERS, 2004: 85-93):

- *préserver les lacs et les zones humides* (objectif à long terme 1.9)
- *organiser la fréquentation dans un objectif de conservation des milieux d'intérêt et des espèces, tout en valorisant l'espace protégé* (objectif à long terme 3)
  - *orienter les flux de fréquentation en fonction des sites à enjeux* (3.1)
  - *organiser, surveiller et limiter le développement des pratiques sportives dans la Réserve* (3.4)

De plus, en 2002, les Réserves Naturelles de Haute-Savoie, le CNM et *Gypaète* ont rédigé un *Plan d'interprétation des Réserves Naturelles* dont les objectifs sont les suivants (nous avons relevé en gras les objectifs dans lesquels pourraient s'inscrire le géotourisme):

- 1) **Valoriser de petits itinéraires de randonnée : réalisation d'un livret de découverte.**
- 2) **Rendre la Réserve Naturelle plus visible sur l'ensemble du territoire des Contamines-Montjoie: travail sur les portes d'entrée.**
- 3) **Faire "descendre" la Réserve Naturelle dans la salle d'exposition : positionnement et développement de la maison de la Réserve Naturelle.**
- 4) **Développer un relais local du programme gypaète : exposition et ateliers gypaète.**

- 5) **Privilégier le partage des connaissances** et du plaisir dans des lieux partenaires : livret de découverte, soirées débats,...
- 6) **Renouveler régulièrement les supports de porter à connaissance** : renouveler les expositions temporaires.
- 7) Définir des valeurs communes à partager par tous les sites et ASTERS.
- 8) Expliquer aux Contamines ce qu'apporte la Réserve Naturelle : favoriser la communication locale, développer des outils de sensibilisation à la réglementation, animation pédagogique sur le plan de gestion,...
- 9) **Donner aux visiteurs des outils de qualité, incitant à des comportements plus respectueux.**
- 10) Ne pas inciter plus de fréquentation sur certains secteurs, conformément au plan de gestion.
- 11) Pérenniser et faire évoluer le poste d'animateur : créer une gamme de produits réserves naturelles,...

Ces différents objectifs de développement touristique s'inscrivent donc dans une volonté de promouvoir un tourisme qualitatif dans cet espace fragile.

Le géotourisme est implanté relativement timidement dans la Réserve. Un ouvrage pour un public d'initiés (Delamette, 2002) y consacre un itinéraire tandis qu'un ouvrage réservé aux professionnels de la montagne (Amelot et al., 2008) en analyse 3 paysages. Il paraît difficile d'évaluer la fréquentation géotouristique de la RNCM en relation avec de tels ouvrages mais nous pensons qu'elle est limitée, bien que ce soit des supports d'une grande qualité. Des excursions touristiques et scolaires sur le géopatrimoine (guidées notamment par François Amelot du CNM) sont par contre assez fréquentes (au minimum trois par an) et comptent entre une et quelques dizaines de participants. De plus, l'AARN propose également des conférences et des expositions dont l'objet touche régulièrement le géopatrimoine. Cependant, l'analyse du géotourisme de la RNCM montre que celui-ci s'apparente plus à un ensemble de pratiques diverses et à public limité (par rapport à la fréquentation totale de la Réserve) qu'à une démarche ambitieuse et concertée. En outre, les objectifs du *Plan de gestion* et du *Plan d'interprétation* ne tiennent pas particulièrement compte du géopatrimoine. Le géotourisme, tout comme d'autres types de tourisme éducatifs spécialisés répond pourtant aux ambitions de développer un tourisme qualitatif dans la RNCM.

Il nous semble donc que le géotourisme a de la place et du potentiel pour se pratiquer dans la Réserve et qu'il convient, avec d'autres tourisme, aux enjeux contemporains de protection et de valorisation du patrimoine naturel, dans un contexte de développement du tourisme de nature. Conformément aux faibles attentes du public en terme d'information et d'animation (Détente - Consultants, 2002b), ce tourisme devrait être davantage synonyme d'une sensibilisation à la richesse du géopatrimoine qu'un exposé scientifique complexe. De plus, le géotourisme, peu connu du grand public, se développe partout dans le monde et avec succès, sous l'impulsion des scientifiques. En ce sens, cette pratique doit être encouragée, suscitée et l'offre devance presque toujours la demande.

Le développement du géotourisme est donc pertinent dans le contexte touristique actuel de la RNCM. Cependant, le géotourisme est une pratique qui repose sur deux éléments centraux : le géopatrimoine et les géosciences. Aussi, il ne peut se développer sans un géopatrimoine digne d'intérêt. Nous allons donc maintenant tenter d'évaluer le potentiel géotouristique du géopatrimoine de la RNCM. Tout d'abord, nous allons nous intéresser à la vulnérabilité et à la conservation de ce géopatrimoine. Le géotourisme (voir 2.3.1), forme de tourisme de nature s'inscrit en effet préférentiellement dans des sites où le milieu naturel est intègre. Il porte également des aspirations durables de l'écotourisme et se veut un outil de protection dynamique s'inscrivant dans des milieux peu vulnérables.

## 8.2. Vulnérabilité et conservation du géopatrimoine

### 8.2.1. Etat de conservation du géopatrimoine

Si le géotourisme peut s'inscrire dans un milieu urbain ou anthropisé (anciennes carrières par exemple), il se pratique préférentiellement, en tant que forme de tourisme de nature, vers un géopatrimoine (paysages, sites et processus) *naturel*. En ce sens, une anthropisation trop importante et une trop grande artificialisation des dynamiques naturelles peuvent être négatives au développement du géotourisme.

La colonisation du Haut val Montjoie est ancienne (voir 4.5). Cependant, les atteintes au géopatrimoine ont probablement été très limitées dans ce secteur de haute montagne. Le pastoralisme et la sylviculture se sont traduits par la déforestation (secteur des Près, la Rollaz, Giettaz, la Laya, le Sololieu, les Chalets d'Armancette, la Frasse) et quelques captages d'eau (abreuvement des animaux). Dans le contexte contemporain de déprise agricole, l'activité pastorale est en régression dans la RNCM. Les secteurs de pâtures diminuent ce qui se traduit par une colonisation arbusive (aulnaie verte) et une *fermeture* du paysage. Par ailleurs, les infrastructures et l'habitat, parfois laissés à l'abandon, sont bien intégrés au paysage (voir la figure 8.2) et ne perturbent pas particulièrement la géomorphologie. Des ruines témoignent d'anciens chalets à Plan Jovet, le Sololieu et Armancette.

Les mesures de protections entrées en vigueur avec la création de la RNCM en 1979 ont protégé le géopatrimoine des impacts anthropiques. Les activités humaines sont limitées et les travaux sont fortement réglementés. Cependant, les captages d'eau du Bon Nant (depuis 1923) et de Tré la Tête (depuis 1941) ont artificialisé ces deux cours d'eaux. Les débits naturels sont diminués et perturbés dans le temps (petites retenues d'eau). L'installation de ces captages et la perforation des aqueducs souterrains ont été synonymes du développement d'infrastructures importantes (cantines, téléphériques, routes d'accès). Certaines de ces infrastructures ont été démontées (téléphérique de Tré la Tête et de la Rollaz), tandis que d'autres existent toujours et sont peu intégrées dans le paysage (la Balme, Monts Jovet, la Combe Blanche). Des dépôts de mines ont vu le jour alors que des accumulations sédimentaires ont été utilisées en remblai (par exemple 5000 à 7000 m<sup>3</sup> de matériaux sédimentaires ont été prélevés dans la combe des Chasseurs en 1985, voir ASTERS (2004: 7)). Enfin, une ligne à haute tension traverse sur plus de 5 km la RNCM (voir la figure 8.3). Elle contraste avec ce paysage à la forte *naturalité*.



Figure 8.2 : intégration paysagère des chalets des Près. Ils se situent dans une dépression formée par un glissement de terrain rotationnel. Figure 8.3 : Pylône de la ligne à haute tension dans un secteur d'accumulation morainique au-dessus des chalets des Près.

Le secteur allant du Col du Bonhomme à la vallée principale (Nôtre Dame de la Gorge) a toujours été un important lieu de passage. Cette forte fréquentation a peu affecté le milieu naturel et les formes d'érosions sont superficielles (sentiers). Néanmoins l'affluence touristique croissante se caractérise par une pression toujours plus importante sur la géomorphologie et les secteurs les plus fragiles (lacs, marécages, secteurs schisteux facilement érodables, (voir la figure 8.4) en pâtissent (voir par exemple Sesiano, 1993).



Figure 8.4 : Erosion superficielle anthropique au Col du Bonhomme. Derrière le col, un pylône de la ligne à haute tension s'inscrit dans le paysage. Au fond, les sommets sont le Mont Tondu (à gauche), l'Aiguille des Glaciers (à l'arrière plan) et les Têtes de l'Enclave-Bellaval (au centre).

D'un point de vue général, la géomorphologie est bien conservée dans la RNCM et subit peu d'atteintes. Celles-ci touchent des secteurs localisés et sont relativement peu importantes. La présence et les activités humaines dans ce milieu de haute montagne sont relativement limités. Les formes, datant pour la plupart de la fin du Tardiglaciaire ou de l'Holocène et donc *jeunes*, sont donc globalement dans un excellent état de conservation.

### 8.2.2. Vulnérabilité du géopatrimoine

Les atteintes au géopatrimoine sont donc limitées. Toutefois, celui-ci se caractérise par sa vulnérabilité. Les environnements de haute montagne (déséquilibre actuel des formes, absence de végétation et bien souvent de sol stabilisant les formations superficielles) et les environnements hydrologiques que sont les glaciers, les cours d'eau, les lacs, les zones humides, etc. (déséquilibre actuel des formes, dynamique d'écoulement et espèces végétales et animales très fragiles) sont en effet fortement vulnérables aux actions anthropiques et aux variations climatiques. Cette fragilité du patrimoine abiotique est presque toujours sous-estimée, des touristes aux décideurs politiques, en passant par les gestionnaires des espaces naturels. En ce sens, le géopatrimoine souffre d'un manque de connaissance, de reconnaissance et du biocentrisme de la société actuelle. Dans ce prolongement, la vulnérabilité de l'environnement doit être pensée au travers de ses deux composantes (biotique et abiotique) et de leurs nombreuses interactions.

Les secteurs les plus vulnérables à l'accroissement de la pression anthropique (pollution du milieu, atteintes aux espèces, érosion et perturbation de la dynamique morphogénétique) dans la RNCM sont :

- la haute montagne glaciaire (combe d'Armancette, vallon de Tré la Tête)
- la haute montagne rocheuse et sédimentaire (combe d'Armancette, combe du Chaborgne, vallon de Tré la Tête, vallon des Jovets et du Bonhomme, combe des Chasseurs et Plan de la Fenêtre)
- les zones humides (la Saussaz, Lacs Jovet, Plan Jovet, les Pâturages de la Balme - les Près, la Rollaz, la Laya, la combe Blanche, la combe Noire (voir la figure 8.5), la Rosière et la combe d'Armancette).



Figure 8.5 : la Combe Noire est une petite zone humide (haut marais) vulnérable qui s'est développée dans un synclinal sédimentaire entre deux anticlinaux cristallins à la morphologie moutonnée.

À l'inverse, les secteurs fossilisés des versants et des fonds de vallées, s'ils sont également riches en formes, sont moins vulnérables à notre sens.

### 8.3. Le géotourisme

#### 8.3.1. Le potentiel géotouristique de la RNCM

L'analyse géomorphologique de la RNCM (chapitres 5, 6 et 7) décrit un géopatrimoine complexe, riche et diversifié, typique du milieu montagnard. Les caractéristiques du milieu physique (géologie, topographie, climatologie) se traduisent en effet par une forte extension altitudinale qui permet à différents processus et systèmes morphogénétiques de coexister. Le relief actuel résulte d'une histoire particulière où les glaciers ont joué et jouent encore un rôle prépondérant. Le positionnement de la réserve sur une des principales zones d'accumulation glaciaire des Alpes se caractérise donc par la richesse, la diversité et la *jeunesse* d'un géopatrimoine glaciaire abondant. Toutefois, avec les altitudes limitées de nombreux secteurs, le géopatrimoine de la RNCM comprend également des formes périglaciaires, gravitaires et fluviatiles bien développées. Les formes actives s'opposent aux formes fossiles, héritages morphoclimatique. Enfin, dans le contexte de réchauffement climatique contemporain, les systèmes morphogénétiques locaux sont fortement déstabilisés. Toutes ces caractéristiques, donnent globalement une valeur intrinsèque élevée au géopatrimoine. Cette valeur est encore renforcée par le bon état de conservation général du géopatrimoine (voir 8.3.1).

La RNCM est donc composée d'une multitude de géotopes, des formes les plus petites (blocs laboureurs, dolines, delta, etc.) aux macroformes complexes (glaciers enterrés, glaciers rocheux, plaines d'épandages fluvioglaciaires, etc.). À ces objets, s'ajoutent des paysages géomorphologiques résultant bien souvent de l'interaction de nombreux processus. Certains de ces objets et de ces paysages sont remarquables et/ou rares à l'échelle du département pour des raisons diverses (scientifiques, esthétiques, etc.), nous y reviendrons plus tard.

Nous l'avons déjà dit, tout géopatrimoine ne peut avoir un intérêt géotouristique pertinent (Pralong, 2005; Reynard, 2009a). Aussi, son potentiel géotouristique dépend de nombreux facteurs. Bien que la recherche sur le géotourisme, phénomène relativement récent, soit en cours de construction, des auteurs proposent des critères d'évaluation de ce potentiel. Par exemple, pour Megerle (en 2010 à Lausanne, lors d'un colloque intitulé *Les géosciences au service de la société*), ce potentiel dépend de

l'accessibilité des sites, du risque naturel lié à la pratique du géotourisme, du niveau de protection des sites, de l'existence de capacité d'accueil, etc.. Pralong (2006a, voir le tableau 8.6) énumère de nombreux facteurs favorables ou défavorables au développement du géotourisme dans un lieu.

FACTEURS FAVORABLES	FACTEURS DEFAVORABLES	FACTEURS VARIABLES
<b>... d'ordre écologique</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potentialités géoscientifiques ;</li> <li>• Mise en avant d'un thème porteur (ex. eau, glacier) ;</li> <li>• Sensibilisation à l'environnement, sans discrimination volontaire des sciences de la Terre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aléa(s) et risque(s) influençant les activités et l'exploitation du site (responsabilité induite) ;</li> <li>• Attentes du public a priori plus axées sur la biologie que les sciences de la Terre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niveau de formation des médiateurs (guides, scientifiques, etc.) en sciences de la Terre ;</li> <li>• Niveau de formulation et de réflexion de la médiation en sciences de la Terre.</li> </ul>
<b>... d'ordre social</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Initiative(s) de privés ou d'associations ;</li> <li>• Volonté politique (réelle sensibilité ou offre / image à diversifier).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Absence de réelle collaboration entre acteurs de sphères différentes (producteur, diffuseur, etc) ;</li> <li>• Envies du public plus axées sur la découverte visuelle et l'esthétisme des sites.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forte fréquentation (sensibilisation à l'environnement versus absence d'activité si affluence prioritaire).</li> </ul>
<b>... d'ordre économique</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Répartition des flux sur le site ou entre sites en lien ;</li> <li>• Complémentarité avec une ou des activités économiques ;</li> <li>• Absence d'autres activités ou enjeux (touristiques ou non).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Activité non drainante en termes d'affluence et de recettes (service (annexe) à la clientèle).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rentabilisation de remontées mécaniques (création de B &amp; S versus suppression de B &amp; S) ;</li> <li>• Accès par remontées mécaniques (mise en valeur didactique versus mise en valeur esthétique).</li> </ul>

Tableau 8.6 : Les facteurs écologiques, sociaux et économiques de développement du géotourisme dans un lieu (tiré de Pralong, 2006a: 151)

Selon ce tableau, la RNCM présentent de nombreux facteurs favorables au développement du géotourisme. En effet, les sites locaux ont une forte potentialité géoscientifique en raison de leur valeur intrinsèque importante. La richesse du géopatrimoine glaciaire ou la réaction des systèmes morphogénétiques de haute montagne face au réchauffement climatique peuvent être des thèmes porteurs pour le développement de l'offre géotouristique. De plus, la valorisation de la réserve naturelle par l'AARN touche l'ensemble de son patrimoine et quelques démarches de mise en valeur du patrimoine abiotique par les sciences de la Terre existent, pour des publics de niveaux différents et par des médiateurs de qualité (géologue). Les projets de valorisation émanent à la fois des particuliers et des professionnels. L'existence de l'aire de protection, de professionnels et de bénévoles qui animent et mettent en valeur cet espace est une chance pour le développement du géotourisme. Enfin, la fréquentation importante de la RNCM fortement répartie dans le temps et l'espace, l'existence d'infrastructures touristiques et la complémentarité des activités pratiquées dans cet espace avec celles exercées au village ou dans le domaine skiable sont des facteurs économiques favorables.

À l'inverse, le risque naturel inhérent à la haute montagne, même s'il est limité dans la RNCM (voir 7.4.), peut être défavorable au développement de la pratique géotouristique. De plus, cet espace montagnard est parfois difficile d'accès et peut nécessiter des aptitudes sportives, ce qui peut donc limiter le public potentiel. Le public n'exprime pas d'attente particulière vers le géotourisme et celui-ci n'est pas l'objet d'une démarche ambitieuse, volontariste et concertée de la part des différents acteurs touristiques (AARN, ASTERS, politiques, offices du tourisme, guides, etc.). Finalement, les faibles revenus générés directement ou indirectement par la pratique du géotourisme (guides, outils de vulgarisation, parfois hébergements et restaurations) peuvent être un frein à son développement dans la réserve.

### 8.3.2. Mise en lumière et évaluation des paysages à potentiel géotouristique

À la vue de tous ces éléments, nous pensons que la RNCM a un important potentiel géotouristique. Néanmoins, l'analyse géomorphologique que nous avons proposée montre la trop grande complexité de certains secteurs ou l'intérêt limité d'autres (formes peu développées, peu visibles, *fermeture* du paysage par la forêt, etc.). Certains sont tout simplement peu/pas accessible ou dangereux. À partir de cette analyse géomorphologique, nous avons dégagé dix *paysages géomorphologiques* (voir 2.2.3.) qui sont, selon nous, les secteurs les plus pertinents pour la pratique du géotourisme dans la réserve. Ces paysages sont des portions du relief de la RNCM. Ils présentent chacun une relative homogénéité géomorphologique et comportent de nombreux géomorphosites. Nous n'avons pas pu réaliser un inventaire et une évaluation des géomorphosites par manque de temps mais nous pensons que cette analyse paysagère permet une bonne appréhension du potentiel géotouristique de la RNCM. Nous n'avons pas délimité strictement le périmètre de ces paysages géomorphologiques car la notion de paysage renvoie à l'ensemble du relief perçu par un individu à partir d'un point d'observation (voir par exemple Reynard, 2004a et 2005b). Ce paysage a donc un caractère intrinsèquement variable. Les paysages que nous avons sélectionnés correspondent toutefois à des secteurs topographiques précis et se distinguent par leur relative unité. Nous en faisons une description dans le tableau 8.7. Nous n'avons pas donné d'indications sur la position du point de vue idéal pour chacun de ces paysages (un sommet, un secteur les dominant). Nous pensons en effet que la pratique du géotourisme s'inscrit *en analysant* des paysages géomorphologiques (*distance* et *points de vue fixes*) mais aussi et surtout *dans* les paysages géomorphologiques, le géotouriste par sa mobilité peut s'éloigner ou se rapprocher des géomorphosites composant le paysage selon ses envies (*proximité* et *points de vue infinis*).

D'autres paysages auraient probablement pu être dégagés et cette sélection est quelque peu subjective. L'évaluation des paysages à potentiel géotouristique n'étant qu'un des nombreux objectifs de ce mémoire, nous avons dû effectuer cette sélection en nous basant principalement sur la valeur intrinsèque (scientifique) et éducative. Ces deux valeurs sont, selon nous, primordiales dans une démarche de géovalorisation.

paysage géomorphologique	situation dans la réserve	altitude minimale et maximale	unité tectonique et lithologie dominante	morphologie dominante	activité géomorphologique	Principaux géomorphosites compris dans le paysage géomorphologique
<b>la combe d'Armancette</b>	grande combe située au NO de la RNCM, au dessus du hameau du Cugnon	1400 - 3425 m (Aiguille de la Bérangère)	MBI et MBE gneiss	glaciaire et fluviatile	oui (principalement fluviatile et gravitaire)	glacier d'Armancette ; moraines historiques et moraines du Dryas récent ; plaine d'épandage fluvioglaciaire ; formes liées aux laves torrentielles
<b>le vallon de Tré la Tête</b>	important vallon glaciaire en L situé au NE de la RNCM	2050 - 3892 m (Aiguille N de Tré la Tête)	MBI gneiss	glaciaire	oui (principalement glaciaire et gravitaire)	glacier de Tré la Tête et les nombreux glaciers du vallon ; moraines historiques
<b>Tête Noire - la Combe Blanche</b>	sommet arrondi et vallon sous-jacent situés à l'O de la RNCM	1600 - 2500 m (Pointe de la Mine)	MBI gneiss	glaciaire, gravitaire et fluviatile	oui (principalement fluviatile et gravitaire)	moraines historiques; glaciers rocheux de Tré la Tête ; glacier rocheux et moraines de la Mine ; auge de la Combe Blanche et cônes polygéniques de la Combe Blanche
<b>la Rosière</b>	petit vallon situé à l'O de la RNCM	1400 - 1973 m (Tête Noire)	MBE et couverture gneiss	glaciaire et organogène	faible à nul (organogène)	synclinal de la Rosière; roches moutonnées et couverture morainique ; hauts marais et formations organogènes
<b>le Plan de la Fenêtre - les Pâturages de la Balme - les Près</b>	Epaulements successifs situés au SO de la RNCM	1770 - 2552 m (Tête de la Cicle)	Unité de Roselette, Roselend et couverture MBE gneiss et calcaire	glaciaire , périglaciaire et fluviatile	oui (principalement fluviatile et gravitaire)	klippe de Roselette; éboulis de Roselette-la Cicle ; glaciers rocheux et moraines du Plan de la Fenêtre ; roches moutonnées et couverture morainique ; cône de déjection ; glissement de terrain des Près

paysage géomorphologique	situation dans la réserve	altitude minimale et maximale	unité tectonique et lithologie dominante	morphologie dominante	activité géomorphologique	Principaux géomorphosites compris dans le paysage géomorphologique
<b>le vallon de la Rollaz (la Giettaz - la Balme)</b>	vallon rectiligne situé au SO de la RNCM	1500 - 2688 m (Aiguille de la Pennaz)	Unité de Roselend, MBI et couverture MBE gneiss et calcaire	glaciaire, gravitaire et fluviale	oui (principalement fluviale et gravitaire)	auge de la Rollaz ; cône de déjections de la Rollaz ; éboulis des Monts Jovet et de la Pennaz, moraines de la Giettaz et de la Balme, éboulement de la Balme
<b>Plan Jovet</b>	grande dépression située au S de la RNCM	1880 - 2892 m (Tête de Bellaval)	Unité de Roselend, MBI et couverture gneiss et calcaire	glaciaire, gravitaire et fluviale	oui (principalement fluviale)	moraines de Plan Jovet ; dolines ; roches moutonnées ; lac comblé ; cônes fluvioglaciaire et fluviales ; éboulis de la Pennaz
<b>la vallon des lacs Jovet</b>	haut vallon situé à l'E de la RNCM	2100 - 3193 m (Mont Tondu)	MBI et couverture gneiss	glaciaire, périglaciaire et gravitaire	oui (principalement gravitaire)	synclinal des Jovet-Bonhomme ; lacs d'ombilics et de barrages morainiques ; complexe morainique ; éboulis fluents ; éboulis ; éboulement de l'Enclave ; dolines, glissement de terrain et glacier rocheux du col Jovet
<b>les Rebanets Chassot</b>	Epaulement situé au SE de la RNCM	2180 - 2892 m (Tête de Bellaval)	MBI gneiss	glaciaire, périglaciaire et gravitaire	oui (principalement gravitaire et périglaciaire)	bastions morainiques et glaciers enterrés ; roches moutonnées ; glaciers rocheux ; éboulis ; laves torrentielles
<b>le Col du Bonhomme (Plan des Dames - la Saussaz)</b>	deux petits vallons reliés par un col du S de la RNCM	2040 - 2756 m (Tête N des Fours)	Unité de Roselend, MBI et couverture gneiss, calcaire et schiste	gravitaire, fluviale et glaciaire	oui (principalement fluviale et gravitaire)	synclinal des Jovet-Bonhomme ; nappe de Roselette ; ravines et cônes de déjections fluviales ; auge glaciaire ; moraines du Plan des Dames ; éboulis et éboulis fluents ; éboulement de la Saussaz et du Plan des Dames

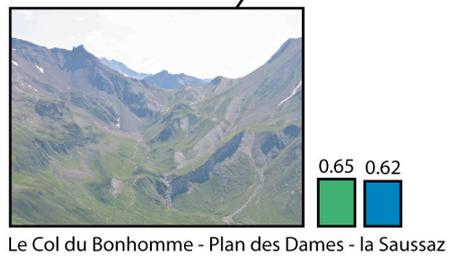
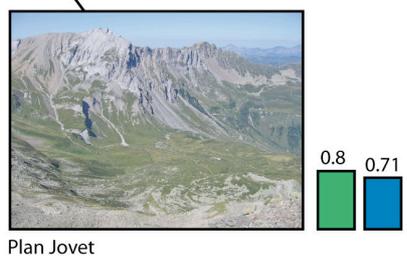
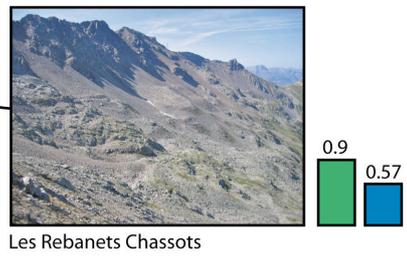
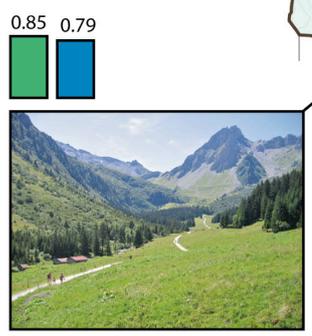
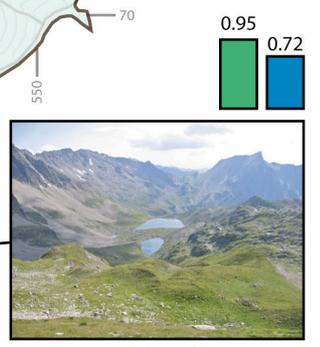
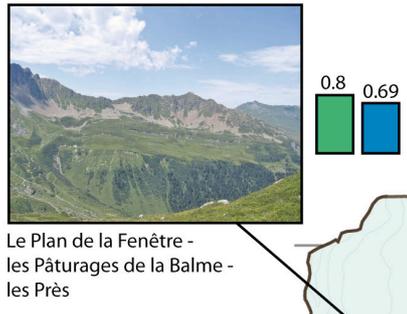
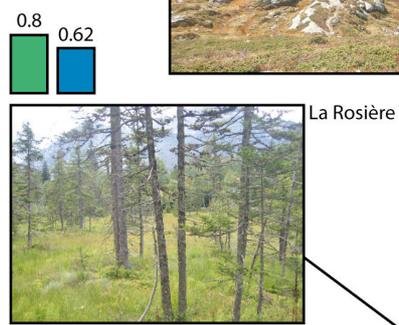
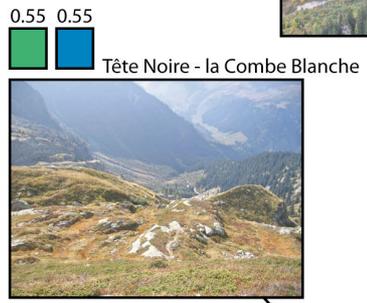
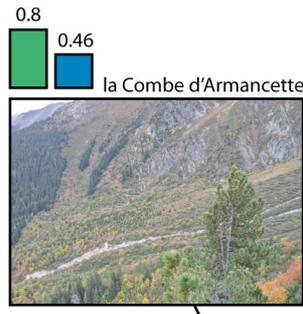
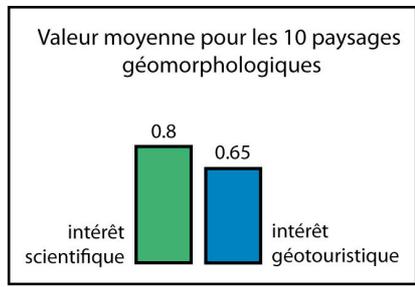
Tableau 8.7 : Caractéristiques topographiques et géomorphologiques des paysages de la RNCM retenus pour une évaluation du potentiel géotouristique

Ces caractéristiques nous montrent que les paysages géomorphologiques que nous avons dégagés sont complexes. Ils résultent en effet tous de multiples processus et réunissent des géomorphosites nombreux et diversifiés. À cette diversité naturelle, s'ajoute la disparité des contextes touristiques contemporains qui s'inscrivent dans ces paysages (voir le tableau 8.8). Ainsi, certains paysages connaissent déjà une forte affluence touristique (Armancette, Tête Noire, Tré la Tête, La Rollaz, Plan Jovet, les lacs Jovet, le col du Bonhomme), liée principalement à la randonnée pédestre et au ski de randonnée. Ce succès s'est traduit par la construction d'infrastructures d'accueils (notamment les refuges). À l'opposé, certains de ces paysages sont moins fréquentés (la Rosière, le Plan de la Fenêtre) et deux d'entre eux (la Combe Blanche, les Rebanets Chassots) ne sont parcourus par l'Homme qu'exceptionnellement. L'affluence touristique globale de la RNCM est importante mais elle résulte très peu du géotourisme, malgré quelques outils de valorisation de qualité. Enfin, les paysages géomorphologiques de la réserve se distinguent tous par un accès pédestre relativement difficile (45 min pour le plus proche). Le temps d'accès, plutôt long, est fonction de la distance et du dénivelé par rapport aux lieux d'accès (les deux principaux sont les parkings du Cugnon et de Notre Dame de la Gorge). Ces paysages de montagne ont donc un accès limité (difficulté pour les personnes à mobilité réduite) et nécessitent parfois des aptitudes sportives, une connaissance de la haute montagne et du matériel particulier (Tré la Tête, les Rebanets Chassot).

<b>paysage géomorphologique</b>	<b>accessibilité</b>	<b>infrastructures touristiques</b>	<b>fréquentation touristique actuelle et activités principales</b>	<b>valorisations géotouristiques actuelles</b>
<b>la combe d'Armancette</b>	à pied (environ 1h30 depuis le Cugnon- les Loyers)	sentier	moyenne (randonnée, (itinéraire TPMB))	analyse du paysage dans Amelot et al.(2008)
<b>le vallon de Tré la Tête</b>	à pied (environ 3h depuis le Cugnon)	sentier, refuge de Tré la Tête, refuge des Conscrits	moyenne à forte (alpinisme, ski de randonnée)	un panneau didactique sur le glacier de Tré la Tête au refuge des Conscrits; un itinéraire de randonnée dans Bozonnet et al. (1983)
<b>Tête Noire - la Combe Blanche</b>	à pied (environ 2h depuis le Cugnon et Notre Dame de la Gorge)	sentier, refuge de Tré la Tête	moyenne à faible (randonnée, lieu de passage vers Tré la Tête)	analyse du paysage dans Delamette(2002)
<b>la Rosière</b>	à pied (environ 45 min depuis Notre Dame de la Gorge)	sentier	moyenne à faible (randonnée)	aucune
<b>le Plan de la Fenêtre - les Pâturages de la Balme - les Prés</b>	à pied (environ 1h30 depuis Notre Dame de la Gorge)	sentier	moyenne à faible (randonnée, (itinéraire du TDB, TPMB), ski de randonnée)	analyse du paysage dans Delamette (2002) et Amelot et al. (2008)
<b>le vallon de la Rollaz (la Giettaz - la Balme)</b>	à pied (environ 1h15 depuis Notre Dame de la Gorge)	sentier, refuge de la Balme, Chalet hôtel et buvette de Nant Borrant	forte (randonnée (GR5, itinéraire TMB, TPMB), ski de randonnée)	itinéraire didactique dans Delamette (2002)
<b>Plan Jovet</b>	à pied (environ 2h30 depuis Notre Dame de la Gorge)	sentier (refuge de la Balme)	forte (randonnée (GR5, itinéraire TMB, TPMB, TDB), ski de randonnée)	itinéraire didactique dans Delamette (2002)
<b>le vallon des lacs Jovet</b>	à pied (environ 3h depuis Notre Dame de la Gorge)	sentier	forte (randonnée, ski de randonnée)	analyse du paysage dans Amelot et al.(2008)
<b>les Rebanets Chassot</b>	à pied (environ 4h depuis Notre Dame de la Gorge)	sentier peu fréquentée	faible à nul (randonnée, ski de randonnée)	analyse du paysage dans Amelot et al.(2008)
<b>le Col du Bonhomme (Plan des Dames - la Saussaz)</b>	à pied (environ 3h30 depuis Notre Dame de la Gorge)	sentier (refuge du Col de la Croix du Bonhomme)	forte (randonnée (GR5, itinéraire TMB, TPMB, TDB), ski de randonnée)	itinéraire didactique dans Delamette (2002) et analyse du paysage dans Amelot et al. (2008)

Tableau 8.8 : caractéristiques touristiques des paysages de la RNCM retenus pour une évaluation du potentiel géotouristique (GR5= itinéraire de Grande Randonnée traversant les Alpes française; TMB= Tour du Mont-Blanc; TPMB= Tour du Pays du Mont-Blanc et TDB= Tour du Beaufortin)

Nous avons évalué le potentiel géotouristique de ces paysages selon une méthode (voir 3.4.) inspirée des travaux de Pralong (2005 et 2006a), de Reynard (2006 et Reynard et al., 2007) et de la CPPG (De Wever et al., 2006). Les résultats sont repris dans la carte 14 et le tableau 8.9 (voir annexe pour le détail des évaluations).



Carte 14. Evaluation des paysages géomorphologiques de la RNCM

paysage géomorphologique	intérêt scientifique (sur 1)	intérêt géotouristique (sur 1)	complexité du site (morphogénèse, dynamique)	Public cible potentiel (voir 2.3.2)	synthèse
la combe d'Armancette	0.8	0.46	moyenne	occasionnels, boulimiques	Paysage géomorphologique très intéressant du point de vue scientifique, mais peu pertinent dans une optique géotouristique notamment en raison de l'importante colonisation végétale et des aléas naturels.
le vallon de Tré la Tête	0.85	0.76	faible	boulimiques, monomaniques	Paysage géomorphologique très intéressant du point de vue scientifique et géotouristique, notamment dans le contexte de réchauffement climatique actuel (les effets sont directement visibles pour les géotouristes). Le point faible est typique de la haute montagne glaciaire avec la présence d'aléas et une accessibilité restreinte.
Tête Noire - la Combe Blanche	0.55	0.55	moyenne	boulimiques, monomaniques	Paysage géomorphologique moyennement intéressant du point de vue scientifique et géotouristique. Si les formes sont typiques de la région et bien conservées, la colonisation végétale et les atteintes anthropiques sur la géomorphologie sont défavorables.
la Rosière	0.8	0.62	faible	boulimiques	Paysage géomorphologique très intéressant du point de vue scientifique mais potentiel géotouristique limité par la vulnérabilité et la <i>fermeture</i> du paysage. Ce site présente une forte valeur écologique, ce qui peut être intéressant dans l'optique d'une mise en valeur patrimoniale.
le Plan de la Fenêtre - les Pâturages de la Balme - les Près	0.8	0.69	forte	boulimiques, monomaniques	Paysage géomorphologique très intéressant du point de vue scientifique et géotouristique, notamment en raison de sa diversité et de l'absence de forêts.
le vallon de la Rollaz (la Giettaz - la Balme)	0.85	0.79	moyenne	occasionnels, boulimiques	Paysage géomorphologique très intéressant du point de vue scientifique et géotouristique. Il tire principalement son fort potentiel géotouristique de sa valeur esthétique et éducative liée à l'intégrité des formes et à l' <i>ouverture</i> du paysage ainsi qu'aux infrastructures touristiques préexistantes.
Plan Jovet	0.8	0.71	forte	occasionnels, boulimiques, monomaniques	Paysage géomorphologique très intéressant du point de vue scientifique et géotouristique. Son intérêt est limité par l'accessibilité longue, l'absence d'infrastructures touristiques et la vulnérabilité du milieu. Mais sa valeur scientifique, esthétique et écologique d'exception en font un site pertinent dans une approche plus large de valorisation.
la vallon des lacs Jovet	0.95	0.72	forte	occasionnels, boulimiques, monomaniques	Paysage géomorphologique très intéressant du point de vue scientifique et géotouristique. Son intérêt géotouristique est limité par l'accessibilité longue, l'absence d'infrastructures touristiques et la vulnérabilité du milieu. Mais sa valeur scientifique, éducative et esthétique en font un site très pertinent pour la pratique du géotourisme.
les Rebanets Chassot	0.9	0.57	forte	monomaniques	Lieu de recherches (grande valeur scientifique) davantage que lieu géotouristique principalement en raison de l'accès difficile et de la dangerosité du site.
le Col du Bonhomme (Plan des Dames - la Saussaz)	0.65	0.62	moyenne	boulimiques	Paysage géomorphologique intéressant du point de vue scientifique et géotouristique. Son intérêt géotouristique est limité par l'accessibilité longue, l'absence d'infrastructures touristiques et la vulnérabilité du milieu. Mais sa valeur scientifique, éducative, esthétique et les différentes autres valeurs de ce patrimoine en font un site très pertinent dans une approche plus large de valorisation

Tableau 8.9 : Synthèse de l'évaluation de l'intérêt scientifique et de l'intérêt géotouristique de dix paysages géomorphologiques de la RNCM (le détail des calculs est dans l'annexe)

Cette évaluation montre tout d'abord la forte valeur scientifique des paysages géomorphologiques de la RNCM. Toutes les valeurs sont supérieures ou égales à 0.8 mis à part le paysage de Tête Noire - la Combe Blanche (0,55 en raison des atteintes anthropiques et de l'enforestation) et le paysage du Col du Bonhomme (0.65 en raison de la jeunesse et de la *banalité* de sa morphologie). Ces valeurs scientifiques remarquables sont dues à l'intégrité générale des sites, à l'abondance et à la diversité des formes. De plus, ces paysages ont pratiquement tous une forte valeur paléogéographique, la situation géographique de la Réserve se traduisant par des formes *jeunes* (datant principalement de la fin du Tardiglaciaire et de l'Holocène) et bien conservées.

Le potentiel géotouristique des paysages est pour sa part plus variable et les valeurs sont comprises entre 0.46 (Combe d'Armancette) et 0.79 (vallon de la Rollaz). Les valeurs éducatives (bonne conservation des formes, dynamique géomorphologique) et esthétiques (développement vertical, contraste, *ouverture* du paysage) sont bien souvent les points forts des paysages géomorphologiques de la RNCM. L'existence de valeurs additionnelles, d'infrastructures touristiques et la vulnérabilité sont fortement variables entre les paysages. Par contre, l'accessibilité, la présence fréquente d'aléas naturels et la popularité des sites sont fréquemment défavorables au potentiel géotouristique des paysages. Selon cette évaluation, les sites les moins favorables à une mise en valeur géotouristique sont la Combe d'Armancette (*fermeture du paysage* et aléas naturels), Tête Noire - la Combe Blanche (*fermeture du paysage* et faible valeur esthétique) et les Rebanets Chassots (accessibilité et aléas naturels). À l'inverse, le vallon de Tré la Tête et le vallon de la Rollaz s'illustrent par leurs forts potentiels géotouristiques, en raison notamment de leurs valeurs éducatives, esthétiques et des infrastructures touristiques existantes.

Enfin, nous avons donné une indication sur le type de public géotouristique potentiel pour chaque paysage (voir le tableau 8.9). Cette indication se fonde sur la typologie proposée par Origet du Cluzeau (1998). Nous partons des hypothèses suivantes:

- un *monomane* s'intéresse préférentiellement à un paysage géomorphologique complexe et ne tient pas/peu en compte de la dimension esthétique;
- un *boulimique* peut être repoussé par la trop grande complexité du paysage et recherche des paysages à la richesse patrimoniale diverse (valeurs additionnelles);
- un *occasionnel* s'intéresse préférentiellement aux reliefs les plus esthétiques et les plus simples.

Ainsi, le paysage des Rebanets Chassot, par la difficulté de son accès et par sa complexité géomorphologique, devrait être valorisé vers un public de monomane. À l'inverse, l'esthétique exceptionnel de la Rollaz et des lacs Jovet est susceptible de toucher les occasionnels. Un boulimique peut pour sa part s'intéresser à des paysages variables. Cependant, ces indications ne sont pas définitives et elles se fondent sur des critères non exclusifs. Un monomane peut par exemple s'intéresser à n'importe quel secteur, même le plus simple, tandis que la complexité d'un paysage peut être introduite à un occasionnel, des outils didactiques divers le permettent. Il est possible également de lui montrer une *beauté* paysagère autre (la richesse scientifique, la profondeur paléogéographique) qu'esthétique. Aussi, les outils géodidactiques ont une importance fondamentale et peuvent, en fonction de leurs difficultés scientifiques, rendre accessible tous les paysages géomorphologiques aux grands publics ou combler les attentes des initiés.

### 8.3.3. Objectifs et démarche de géovalorisation

Nous l'avons déjà vu, le géotourisme (dans sa définition restrictive, voir 2.3.1) est une démarche *engagée*. Au même titre que l'écotourisme auquel il est apparenté, le géotourisme est un outil de promotion et conservation d'un géopatrimoine (l'écotourisme est orienté préférentiellement vers le patrimoine biologique). La sensibilisation des géotouristes à la richesse, à la diversité et à la vulnérabilité d'un géopatrimoine est synonyme d'une protection dynamique. En ce sens, nous proposons de développer un géotourisme dans la RNCM conformément aux trois axes du développement durable:

*écologique* : utilisation durable de la ressource naturelle (le géopatrimoine) en limitant au plus possible les atteintes. Le géotourisme s'inscrit préférentiellement par la randonnée pédestre dans un espace comme la RNCM. Il s'agira donc de limiter les externalités négatives générées par cette pratique

(érosion des sols, pollutions, perturbations des milieux fragiles) en sensibilisant les géotouristes aux atteintes et en les encourageant à respecter les sentiers balisés. De plus, le géotourisme ne doit pas participer à la surfréquentation des milieux sensibles et les milieux de tranquillité pour la faune doivent être respectés (nous pensons notamment aux Rebanets Chassots, à la Combe Blanche, au Mauvais Pas (entrée du vallon de Tré la Tête) et aux dalles de Tré la Grande). Il paraît toutefois pertinent de valoriser les paysages géomorphologiques sensibles de la Rosière, Plan Jovet ou encore le vallon des Lacs Jovet, tout en invitant les géotouristes à rester sur les sentiers. Dans un souci de sécurité et pour ne pas déséquilibrer des secteurs à la stabilité temporaire précaire, la fréquentation de zones actives et instables ne doit pas être encouragée par le géotourisme. Enfin, l'empreinte paysagère de la valorisation géotouristique de la RNCM doit être minimale. Nous pensons donc que l'installation d'un balisage particulier ou de panneaux didactiques est peu pertinente. Aussi, nous recommandons l'utilisation de documents écrits (livrets, brochures ou encore prospectus) ou même le recours à un guide pour une visite commentée.

*sociale* : l'objectif de la valorisation du géopatrimoine de la RNCM est de sensibiliser le public à la richesse et à la fragilité du géopatrimoine. Le géotourisme est ainsi un moyen d'éducation important dans le contexte de réchauffement climatique. Cette sensibilisation doit toucher les géotouristes, indépendamment de leurs provenances. Elle doit également sensibiliser les populations locales. Ces populations doivent prendre conscience de la richesse du géopatrimoine et se l'approprier (il fait partie de l'identité locale). Il est nécessaire d'expliquer à ces populations locales pourquoi il est important de conserver géopatrimoine. Elles sont en effet les acteurs principaux du développement local et de l'aménagement du territoire. La RNCM est par exemple née sous l'impulsion de la population des Contamines-Montjoie, qui souhaitait préserver la qualité naturelle de la haute vallée du Bon Nant. En ce sens, nous pensons que des expositions, des conférences et des excursions peuvent permettre de sensibiliser les locaux (et les populations touristiques de passage).

*économique* : les populations locales doivent également prendre conscience du potentiel économique de la mise en valeur touristique du géopatrimoine. Si la station des Contamines-Montjoie connaît une forte affluence en hiver (sports d'hiver) et en été (randonnée, alpinisme), elle souffre de difficultés communes aux stations touristiques de l'espace alpin (voir 1.2.). Le géotourisme, bien qu'il génère relativement peu de revenus directs (vente d'outils et de services géotouristiques), permet de diversifier l'offre touristique. Il est également synonyme de retombées économiques indirectes (logement, restauration, matériel, etc.) et peut être bénéfique à l'ensemble de l'économie locale.

Dans le prolongement du développement durable, le géotourisme, vecteur d'enrichissements divers (écologiques, sociaux et économiques), est donc un facteur de développement local qualitatif. Il touche de nombreux domaines et acteurs sociaux. Aussi, pour que son développement ait une cohérence et une efficacité maximale, il doit être l'oeuvre d'une démarche collective et sur le long terme. De ce fait, nous encourageons une gestion intégrée et durable de la ressource géotouristique. De plus, nous pensons que le géotourisme doit être intégré et pensé avec d'autres types de tourisme, qu'ils soient sportifs (randonnée, alpinisme, raquette, etc.) ou culturels/patrimoniaux (patrimoine biologique, patrimoine anthropique). Ces différents types de tourisme sont complémentaires et s'enrichissent mutuellement. En ce sens, le développement de l'offre touristique d'un lieu doit être pensé le plus largement possible.

Pralong (en 2010 à Lausanne, lors d'un colloque intitulé *Les géosciences au service de la société*) montre comment le développement du géotourisme dans un lieu peut être la conséquence de deux processus différents : proposer une offre à partir de la richesse du géopatrimoine et des intérêts locaux (*approche centrée sur le lieu*) ou construire cette offre à partir des attentes de la clientèle (*approche centrée sur le public*, nécessitant des études de marché, des enquêtes sur les pratiques géotouristiques). Une bonne démarche de géovalorisation devrait se fonder sur ces deux approches. Pour ce chercheur, le développement du géotourisme doit utiliser des outils de promotion touristique classiques et modernes (études de marchés, outils de communication et de marketing, recours à des professionnels, etc.) et le scientifique, à l'origine de nombreux projets géotouristiques, n'est pas compétent dans l'ensemble des étapes de ce processus. Enfin, d'après son expérience professionnelle, Pralong rappelle que le géotourisme génère relativement peu d'argent et il doit être associé à d'autres types de tourisme. La répartition de son public est environ 5% de monomaniaques, 20% de boulimiques et 75% d'occasionnels.

À la vue de ces éléments, du contexte touristique local, des caractéristiques et du potentiel de la RNCM, l'offre géotouristique peut se développer autour des thématiques suivantes :

- le patrimoine glaciaire (riche et omniprésent ; actif et fossile)
- l'histoire du paysage depuis le dernier maximum glaciaire (héritage glaciaire important, formes postglaciaires diverses)
- la déstabilisation de la haute montagne dans le contexte de réchauffement climatique (processus actifs, nombreuses formes glaciaires, périglaciaires, gravitaires et fluviales)

D'autres thématiques peuvent également être développées mais la thématique glaciaire est la plus pertinente à notre sens dans l'optique d'un développement géotouristique. De plus, le MMB est associé aux glaciers dans l'imaginaire collectif et les touristes qui fréquentent le Val Montjoie sont potentiellement intéressés par ces derniers. Nous pensons également que le réchauffement climatique et ses conséquences sur l'environnement intéresse les géotouristes. Ils souhaitent ainsi voir des exemples d'un phénomène complexe, fortement exposé dans les médias et faisant polémique.

En raison de la superficie de la réserve, de la présence de refuges, de l'accès uniquement pédestre et de l'environnement régional riche (la haute Tarentaise, le Beaufortin, le secteur du col du Joly, le vallon de Miage, etc.), nous pensons que le géotourisme devrait principalement se développer dans la RNCM autour de la randonnée pédestre, journalière ou itinérante. L'été est donc la période la plus propice au géotourisme de terrain. Les moyens didactiques peuvent être divers (cartes, brochure, livret, visites guidées, etc.). De nombreux paysages géomorphologiques de la RNCM ont un important potentiel géotouristique (voir 8.3.2.). Nous pensons toutefois que les secteurs les plus favorables sont la Rollaz - les Lacs Jovet et Tête Noire - le vallon de Tré la Tête. Des expositions ou conférences sont également envisageables et intéressantes dans la vallée. Comme nous allons le voir dans le chapitre 9, des moyens de communications plus modernes peuvent également être utilisés pour valoriser le géopatrimoine (internet, vidéo, application *iPhone*, etc.).

Le géopatrimoine de la RNCM peut être valorisé pour des publics de tout niveau (scolaires, occasionnels, boulimiques, monomaniaques). Nous pensons toutefois que toute offre géotouristique doit être consciente du public ciblé et adapter le niveau scientifique de l'information présentée. Nous avons vu au cours de cette recherche, que la RNCM possède également un patrimoine biologique et un patrimoine culturel riche. Aussi, une mise en valeur patrimoniale large et multidisciplinaire est possible et souhaitable, notamment pour toucher un public peu/pas initié aux géosciences. Par exemple, la valorisation des hydrosystèmes (notamment les cours d'eau et les glaciers) de la réserve peut être associée à la thématique hydroélectrique, ou encore, les riches et fragiles zones humides de la Réserve peuvent être valorisées conjointement par la biologie et la géomorphologie. Enfin, Hobléa (en 2010 à Lausanne, lors d'un colloque intitulé *Les géosciences au service de la société*), montre que la recherche fondamentale est indispensable à toute valorisation. Dans ce prolongement, il propose d'intégrer le géotouriste à la recherche. En relation avec le géoscientifique, celui-ci acquiert activement un savoir. Les géotouristes pourraient par exemple, ainsi être associés aux monitorings glaciaires de Tré la Tête (relevé de la position du front, de l'épaisseur glaciaire, de la vitesse d'écoulement).

## 8.4. Synthèse

Le géopatrimoine de la RNCM est donc globalement très favorable au développement du géotourisme. Sa richesse, sa diversité et son état de conservation sont importants et il souffre de peu d'atteintes (paysagères ou sur la dynamique morphogénétique). Il est parfois vulnérable mais la réglementation de la réserve garantit le contrôle et la limitation des activités humaines. Le patrimoine glaciaire actif et hérité est la principale richesse de ce géopatrimoine. Les propositions de valorisation peuvent toucher l'ensemble des secteurs de la RNCM mais certains secteurs sont plus favorables que d'autres comme le montre l'évaluation des paysages géomorphologiques. Enfin, l'offre géotouristique qui peut être potentiellement développée est diverse. Elle peut toucher tous les publics du géotourisme et s'apparenter à différents outils géodidactiques.

## 9. Outils de valorisation

Ce court chapitre sera l'objet de quelques propositions de géovalorisation. Nous présenterons simplement les caractéristiques de ces propositions. Celles-ci ne sont pas définitives, mais sont encore au stade de projet. Nous proposons différents parcours didactiques et une valorisation interactive via *Internet* et *Google Earth*. Ces projets sont des exemples de quelques-uns des différents types d'offres géotouristiques qui peuvent être proposées, des offres classiques (brochure, livret-guide, excursions guidées) aux offres plus modernes (site internet interactif, application pour *Iphone*) et des visites de terrains à la valorisation à distance.

### 9.1. Parcours didactiques

L'analyse géomorphologique (chapitre 5, 6 et 7) et l'évaluation des paysages géomorphologiques (chapitre 8) ont montré que le géopatrimoine de la réserve présente un important intérêt scientifique et un bon potentiel géotouristique. Cependant, certains secteurs se destinent mieux à la pratiques géotouristiques (Tré la Tête, la Rollaz, Lacs Jovet), notamment en raison de la conservation des formes, de l'absence de forêts et de leur dynamique. D'autres secteurs ont un potentiel géotouristique plus faible. Les facteurs défavorables étant principalement la présence d'aléas naturels ou l'enforestation. La carte 15 montre les itinéraires que nous proposons et le tableau 9.1 en donne les caractéristiques principales. En voici les intitulés :

*Parcours 1* : Le patrimoine glaciaire de la RNCM, de Tré la Tête à la Rosière

*Parcours 2* : Les effets du changement climatique contemporain sur les glaciers du bassin de Tré la Tête

*Parcours 3* : Histoire d'un paysage alpin depuis le dernier maximum glaciaire, le massif de Roselette et du vallon de la Rollaz

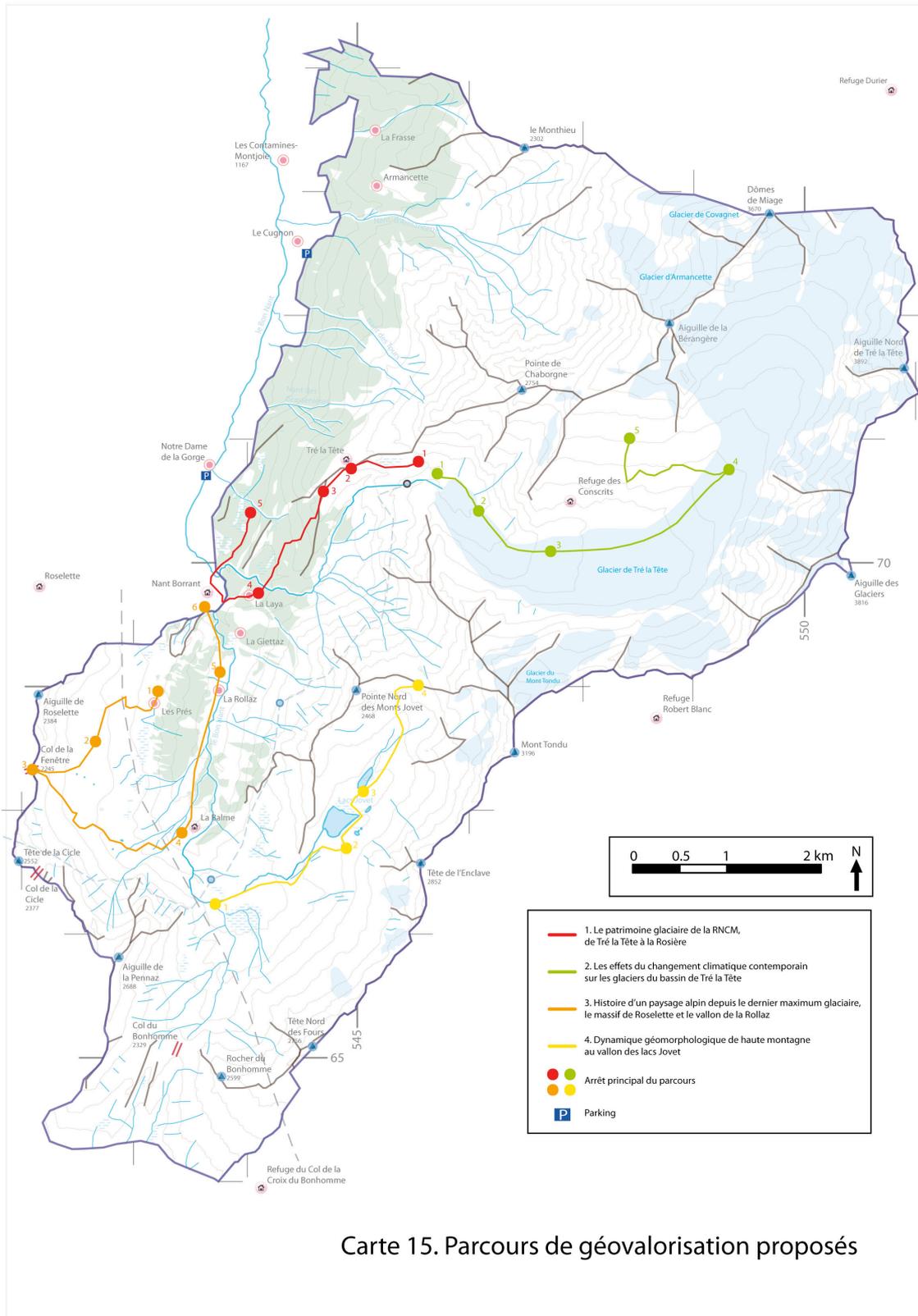
*Parcours 4* : Dynamique géomorphologique de haute montagne au vallon des Lacs Jovet

Parcours didactiques proposés	Public cible	Principaux paysages géomorphologiques et géosites visités: thématiques développées	Infrastructures touristiques	Temps du parcours, lieux de départ et dénivelés	Remarques
1. Le patrimoine glaciaire de la RNCM, de Tré la Tête à la Rosière	boulimiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Le Mauvais Pas - Tré la Tête</i> : le système glaciaire actuel, la fonte glaciaire et le réchauffement climatique ;</li> <li>- <i>Tête Noire - Hôtel de Tré la Tête</i> : la construction de moraines, les moraines historiques, les roches moutonnées, trimlines ;</li> <li>- <i>la Combe Blanche</i> : auge glaciaire, marge proglaciaire ;</li> <li>- <i>la Laya - la Téna</i> : la gorge et les marmites sous-glaciaires ; les moraines du Dryas récent, verrous et ombilics ;</li> <li>- <i>la Rosière</i> : les roches moutonnées et striées, accumulations morainiques</li> </ul>	Refuge de Tré la Tête; Hôtel et buvette de Nant Borrant	Environ 8h à partir du Cugnon et 1000 m de dénivelé	Possibilité de valoriser le patrimoine biologique de la Rosière.

Parcours didactiques proposés	Public cible	Principaux paysages géomorphologiques et géosites visités: thématiques développées	Infrastructures touristiques	Temps du parcours, lieux de départ et dénivelés	Remarques
2. Les effets du changement climatique contemporain sur les glaciers du bassin de Tré la Tête	boulimiques, monomaniaques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Le Mauvais Pas - Tré la Tête</i> : le système glaciaire actuel, la fonte glaciaire et le réchauffement climatique ;</li> <li>- <i>Langue glaciaire</i> : moraine d'ablation, glacier noir et éboulis ; dégradation du permafrost</li> <li>- <i>Séracs de Tré la Grande</i> : crise paraglaciale ; décompression des versants et moraines historiques déséquilibrées;</li> <li>- <i>Partie centrale du glacier</i> : déconnexion glaciaire et instabilité des glaciers de parois (changement de régime thermique) ;</li> <li>- <i>Dalles de Tré la Grande</i> : recul du glacier de la Bérangère sur les dalles, les mutations paysagères</li> </ul>	Refuge de Tré la Tête; Refuge des Conscrits	Plutôt sur 2 jours avec nuit aux Conscrits, départ du Cugnon et plus de 1500 m de dénivelé	Marche glaciaire et parcours parfois escarpé. De préférence avec un guide.
3. Histoire d'un paysage alpin depuis le dernier maximum glaciaire, le massif de Roselette et du vallon de la Rollaz	scolaires, occasionnels, boulimiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>le Près</i> : l'héritage glaciaire, les vallées et les macroformes d'érosion;</li> <li>- <i>le Plan de la Fenêtre</i> : le LGM, les trimelines et les diffuences glaciaires, le Tardiglaciaire et les stades de retrait glaciaire;</li> <li>- <i>Col de la Fenêtre</i> : les formes gravitaires et périglaciaires (Roselette, la Grande Pierrière);</li> <li>- <i>la Balme</i> : constructions tardiglaciaires et déséquilibre postglaciaire</li> <li>- <i>la Giettaz - la Rollaz</i> : l'héritage glaciaire, la moraine de Pré Derrière et de la Giettaz, l'auge de la Rollaz ; le rééquilibrage des versants cristallins et sédimentaires</li> <li>- <i>Nant Borrant</i> : système torrentiel</li> </ul>	Refuge de la Balme; Hotel et buvette de Nant Borrant; Refuge de Roselette	Environ 8h à partir du la Gorge et 1000m de dénivelé	Mettre en avant les mutations paysagères, jouer sur l'imaginaire des géotouristes, la notion du temps pour la dynamique de la Terre
4. Dynamique géomorphologique de haute montagne au vallon des Lacs Jovet	monomaniaques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Plan Jovet</i> : les formes héritées glaciaires, fluvioglaciaires, fluviales et gravitaires;</li> <li>- <i>Lacs Jovet inférieur</i> : lacs d'origines glaciaires, complexe morainiques et glaciers rocheux vers Plan Jovet, les glaciers enterrés;</li> <li>- <i>Lacs Jovet supérieur</i> : morphologie gravitaire et périglaciaire du Col de l'Enclave, les dépôts de l'écroulement, moraines d'ablation du PAG;</li> <li>- <i>Col Jovet</i> : glissement de terrain, fossilisation des Monts Jovet, déstabilisation du glacier rocheux, dynamique torrentielle (vers la Combe Blanche)</li> </ul>	Refuge de la Balme	Environ 10h à partir du la Gorge et 1300m de dénivelé, possible sur 2 jours avec nuit à la Balme, visite du secteur du Bonhomme et des Rebanets Chassots	Marche pouvant être difficile dans les formations sédimentaires

Tableau 9.1 : Principales caractéristiques des parcours didactiques proposés.

Ces parcours sont des exemples. De nombreuses autres thématiques ou secteurs peuvent être valorisés. Ils se focalisent sur les principales richesses du géopatrimoine que nous avons relevées et sur les thématiques les plus pertinentes pour le développement du géotourisme dans la RNCM. Ces parcours sont géomorphologiques mais une approche géoscientifique plus large (notamment la géologie) et intégrant les sciences sociales et le patrimoine culturelle est souhaitable. Les itinéraires géotouristiques de randonnées proposés se caractérisent par leur nature sportive. Le dénivelé et la distance qu'ils parcourent sont importants du fait de la topographie de la RNCM et de l'accès routier limité au fond de la vallée (principalement le Cugnon et Notre Dame de la Gorge). Ils limitent donc cette pratique aux touristes à la mobilité non réduite et possédant quelques capacités sportives, une expérience de la haute montagne.



Nous pensons que les supports géodidactiques de ces différents parcours (cartes, brochures, livret-guide) doivent cibler le public et adapter le contenu scientifique. Elles doivent également mettre l'accent sur l'esthétique, ce qui permet, à notre sens, d'augmenter l'attractivité du géopatrimoine (voir les exemples des figures 9.2 et 9.3).

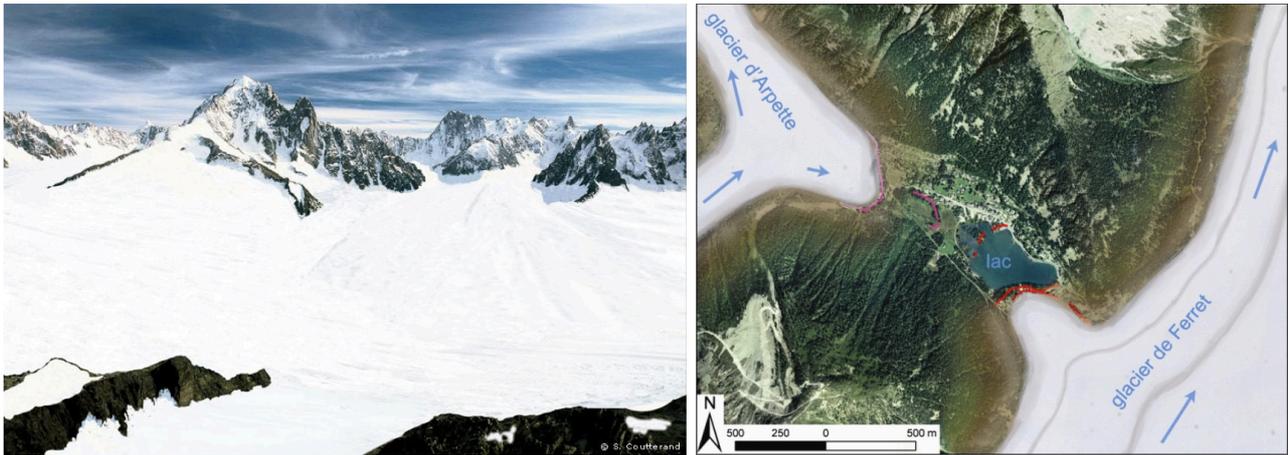


Figure 9.2 et 9.3 : Deux magnifiques exemples de reconstitutions paléogéographiques. La figure 9.2 correspond à la situation au secteur de Chamonix au LGM (tirée de Couetterand, 2010) et la figure 9.3 illustre la situation de Champex au Tardiglaciaire (tirée de Maillard, 2009: 86).

## 9.2. Site internet

À l'opposé des parcours didactiques proposés précédemment, nous avons réalisé un site internet consacré à la valorisation du géopatrimoine de la RNCM. Ce site est un projet et n'est donc pas consultable en ligne. La démarche consiste à créer une page internet (codage *HTML*, *CSS* et *JavaScript*, voir la figure 9.4) et à y intégrer une application *GEarth* disponible gratuitement (voir la figure 9.6). La 3D de ce logiciel est de plus en plus réaliste et les orthophotos ont une résolution qui augmente. En ce sens, *GEarth* est facile d'accès et permet une belle visualisation et localisation des formes. Il faut ensuite ajouter des couches d'informations (cartes, photographies, etc.) dans *GEarth* en créant des fichiers *Kml* ou en exportant des *Shapefiles* depuis un *SIG*. La création de cases à cocher permet une interactivité où le public choisit les couches qu'il souhaite afficher. Nous avons par la suite réalisé des documents explicatifs sur la géomorphologie et la géologie locale (voir les figure 9.5, 9.7 et 9.8). Ils sont disponibles sur des pages annexes ou téléchargeables. Nous nous sommes appliqués sur l'esthétique de l'ensemble du site, car nous pensons en effet que l'attractivité de ce genre d'outil dépend grandement de son apparence.





Figure 9.6 : La page principale et l'application *GEarth*. L'application affiche les données géologiques structurales (cochées dans les cases à gauche) et il est possible de se déplacer partout en 3D.



Figure 9.7 et 9.8 : Légendes géomorphologique et géologique réalisées pour le site.



# Partie IV. Conclusion

## 10. Conclusion

### 10.1. Synthèse

Dans ce mémoire, nous avons cherché à mieux comprendre la géomorphologie actuelle de la RNCM, à en dégager les richesses principales. Il aura également permis d'élaborer quelques pistes pour une démarche de géovalorisation future. Sans revenir trop en détail sur les objectifs généraux et particuliers que nous nous étions fixés, nous pouvons dire que les objectifs ont été atteints, et cette recherche poursuit humblement le travail d'approfondissement de la connaissance et de valorisation du patrimoine géomorphologique de la réserve. Nos principaux apports *scientifiques* sont à notre sens, les précisions apportées sur l'histoire et sur la géomorphologie actuelle de la RNCM. Nous avons ainsi pu mettre en lumière la richesse, la diversité, la dynamique et la vulnérabilité de ce géopatrimoine. Dans une autre optique, la démarche de géovalorisation a permis de montrer l'important potentiel géotouristique de la réserve. De nombreux et divers outils géotouristiques peuvent y être développés. La valorisation du géopatrimoine a donc toute sa place dans un espace comme la RNCM. En ce sens, il nous paraît indispensable que le géopatrimoine soit davantage intégré à la gestion de cette aire de protection (par exemple le plan de gestion), d'autant plus qu'il est bien souvent à l'origine de la diversité biologique (par exemple le lien entre la géologie/géomorphologie et les zones humides) et le support des activités humaines (par exemple l'alpinisme dans la MMB, l'hydroélectricité, etc.). Il conviendrait de dépasser le biocentrisme dominant, non pas par une approche géocentrée, mais en développant une approche large et multidisciplinaire, où toutes les composantes de l'environnement sont pensées au travers de la durabilité. Une meilleure connaissance est indispensable et toute démarche de valorisation est liée à la recherche fondamentale. Le partage de la connaissance doit ainsi permettre la protection dynamique d'un patrimoine riche et diversifié. « *Aujourd'hui, la recherche alpine vise à promouvoir une vision intégrée des territoires centrée sur la création et le maintien d'un réseau spatial et temporel de relations durables entre les hommes et les autres composantes de l'écosphère. Elle associe étroitement la mise en valeur des ressources et la conservation des diversités biologiques [abiotiques !] et culturelles qui constituent l'identité alpine* (Brun, 2008)».

### 10.2. Perspectives

Toutefois, la volonté d'aborder le sujet si largement, de toucher à ces thématiques si diverses, nous a parfois compliqué la tâche, entre le désir d'aller plus loin et la nécessité de produire une démarche synthétique et cohérente. Les différents apports de cette recherche (cartes, interprétations, évaluations du potentiel géotouristique, etc.) ne sont pas parfaits et nous sommes conscients d'avoir abordé quelquefois trop vite des réalités complexes ou à l'inverse, d'avoir passé trop de temps sur des *détails*. En ce sens, nous considérons cette recherche comme une introduction à l'analyse géomorphologique et géographique de la RNCM qui pourra être prolongée dans de nombreux domaines.

Localement, les quelques disparités qu'introduisent nos relevés avec les recherches sur le Quaternaire régional, montrent qu'un travail plus conséquent à l'échelle du Val Montjoie peut être mené. Dans une autre optique, les formes périglaciaires de ce secteur, plus fréquentes que dans les autres secteurs du MMB, ont été très peu étudiées et mériteraient plus d'attention, à des fins de reconstitutions paléogéographiques (formes fossiles de Roselette, Grande Pierrière) ou d'étude dynamique (secteur des Rebanets Chassots). L'analyse du géopatrimoine et la géovalorisation du Val Montjoie peut également être approfondie. Les sujets de recherche ne manquent donc pas et bien d'autres encore nous viennent à l'esprit, dans le prolongement de la diversité de nos thématiques de recherche.

Plus largement, nous avons approché différents domaines de recherche dans ce mémoire qui se caractérisent par leurs *jeunesses*. Leurs cadres scientifiques n'émergent que depuis quelques dizaines d'années, voire quelques années. C'est le cas par exemple de la géomorphologie périglaciaire,

paraglacière, de l'analyse géosystémique ou de l'évaluation du géopatrimoine. Ces domaines de recherche, en construction permanente, sont infiniment étendus et intéressent de nombreux scientifiques, partout dans le monde.

### 10.3. Conclusion générale

Le géotourisme est un phénomène récent mais qui connaît un fort développement partout dans le monde. Son succès est encourageant et démontre une volonté toujours plus importante chez l'Homme, de se rapprocher de la Nature et de la comprendre dans le contexte actuel de changement climatique et de crise environnementale. Le géotourisme trouve un écho encore plus important dans un espace comme l'arc alpin, qui se caractérise par sa vulnérabilité et sa richesse. Dans le contexte contemporain compliqué du tourisme alpin, le géotourisme est pertinent à plus d'un titre. Il permet en effet, avec d'autres types de tourisme, la diversification indispensable de l'offre, des pratiques, des spatialités et des temporalités, se traduisant par la création de sites «*structurants [...] l'économie touristique des territoires ruraux et montagnards* (Léonard et Mao, 2003: 81)». De plus, s'il nécessite peu d'investissements et d'infrastructures (Pralong, 2006b), il permet une sensibilisation du public au géopatrimoine, essentielle à sa protection. «*An interpretative strategy such as geotourism, interfaced with the formal (school and university) and informal (adult education and interpretative provision) educational environments, can potentially generate the political pressure required for the protection of the geoheritage* (Hose, 2006: 238)». Cependant, il paraît indispensable que le développement du géotourisme soit synonyme d'une démarche collective, durable et à grande échelle (pour partager les expériences, éviter les concurrences, s'enrichir mutuellement). Dans ce prolongement, le projet d'inscription du Massif du Mont-Blanc, à la valeur exceptionnelle et symbolique, au patrimoine mondiale de l'UNESCO, semble positive puisqu'elle contribuerait à sa mise en valeur durable et transfrontalière.



Figure 10.1 : Mont-Blanc depuis le Mont Buet.



# Bibliographie

- AARN (Association des Amis de la Réserve Naturelle des Contamines-Montjoie). (1991). *Bulletin n°15, janvier*. Les Contamines- Montjoie
- AARN (Association des Amis de la Réserve Naturelle des Contamines-Montjoie). (1992). *Bulletin n°17, janvier*. Les Contamines- Montjoie
- AARN (Association des Amis de la Réserve Naturelle des Contamines-Montjoie). (1995). *Bulletin n°24, juillet*. Les Contamines- Montjoie
- Alexis, S. (Dir) (2005). *Les sites classés en Rhône-Alpes, Lieux de beauté, lieux de mémoire...* Direction Régionale de l'Environnement - Rhône-Alpes, com-36. Lyon.
- Amelot, F. et Coutterand, S. (2006). Une identité géologique et géomorphologique à l'origine de nombreux aléas: le point typologique sur quelques catastrophes géologiques et glaciaires historiques. *Actes du Colloque Géologie et risques naturels: la gestion des risques au Pays du Mont-Blanc*. Sallanches.
- Amelot, F., Bolognini, D., De Leo, S. et Coutterand, S. (2008). *Les plus beaux paysages du Pays du Mont-Blanc*. Programme INTERREG III A ALCOTRA. Centre de la Nature Montagnarde de Sallanches et Musée Régional des Sciences Naturelles de Saint-Pierre.
- ASTERS (Agir pour la Sauvegarde des Territoires et Espèces Remarquables ou Sensibles - Conservatoire des espaces naturels de Haute-Savoie). (2004). *Plan de gestion 2006 - 2010 de la Réserve Naturelle des Contamines Montjoie*. Pringy.
- ASTERS (Agir pour la Sauvegarde des Territoires et Espèces Remarquables ou Sensibles - Conservatoire des espaces naturels de Haute-Savoie). (2007). *Rapport d'activité 2007 de la Réserve Naturelle des Contamines Montjoie*. Pringy.
- Ballandras, S. (2003). Réalité et logiques des géosystèmes montagnards alpins - Principes de fonctionnement morphodynamique. *Cahiers de Géographie*, n°1, Collection EDYTEM. Le Bourget-du-Lac. 123-33.
- Ballantyne, C.K. (2002). Paraglacial geomorphology. *Quaternary Science Reviews*, 21, 1935-2017.
- Balvay, G. et Blavoux, B. (1981). Le grand lac Jovet (Haute-Savoie), milieu oligotrophe de haute montagne. *La revue de géographie alpine*, 69 (3), 421-442.
- Barbier, C. (1999). *Les Contamines-Montjoie au fil du temps - Un village un peu à part au pays du Mont-Blanc*. Servoz: Edimontagne.
- Barsch, D. (1996). *Rockglaciers. Indicators for the present and the former geoecology in high mountain environments*. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Bätzing, W. et Rougier, H. (2005). *Les Alpes - Un foyer de civilisation au coeur de l'Europe*. Le Mont-sur-Lausanne : LEP.
- Beniston, M. (2005). Changement climatique et impacts possibles dans la région alpine. *La revue de géographie alpine*, 93 (2), 13-24.
- Benn, D.I. et Evans D.J.A. (1998). *Glaciers and glaciation*, London: Arnold.
- Bétard, F. (2010). Article Géodiversité. *Wikipédia, L'Encyclopédie Libre*, URL: <http://fr.wikipedia.org/wiki/Géodiversité>. Consulté le 3 mai 2010.
- Bisang, K., Nahrath, S. et Thorens, A. (2000). Screening Historique des Régimes Institutionnels de la Ressource Paysage (1870-2000). *Working Paper de l'IDHEAP*, n°8, Chavannes-près-Renens.

- Blamey, R.K. (1997). The Search for an Operational Definition. *Journal of Sustainable Tourism*, vol. 5. 109-130.
- Blamey, R.K. (2001). Principles of Ecotourism. *The Encyclopedia of Ecotourism*. New York: Oxon, 5-22.
- Bodin, X., Schoeneich, P. Lhotellier, R., Monnier, S., Gruber, S., Ravanel, L. et Deline, P. (2008). Map of the potential permafrost distribution in the French Alps. Poster présenté à l'*Alpine Glaciological Meeting*, 6-7 mars 2008, Chamonix.
- Bordet, P. (1961). Particularités géologiques du " synclinal médian " dans le sud du massif des Grandes Rousses. *SSGF*, 44-48.
- Botineau, B. (1979). *Petite monographie des Contamines Montjoie*. Les Amis de la Réserve Naturelle des Contamines Montjoie.
- Bourdeau, P. (2009). De l'après-ski à l'après-tourisme, une figure de transition pour les Alpes? *La revue de géographie alpine*, 97 (3). [En ligne]. Mis en ligne le 09 décembre 2009. URL : <http://rga.revues.org/index1049.html>. Consulté le 19 avril 2010.
- Bozonnet, R., Bravard, Y. et Chardon, M. (1983). *Le Mont Blanc, une montagne cristalline, un carrefour international, un paradis touristique*. Montmélian: Trésors de la Savoie.
- Breyton, R. (1976). *Le Val Montjoie. Etude écologique.Prospective d'aménagement*. Thèse de biologie végétale, Université de Grenoble.
- Brugal, J.-P, Limondin-Lozouet, N. et Sémah, F. (2007). Colloque international Q5 - Le Quaternaire: limites et spécificités - Avant Propos. *Quaternaire*, 18 (1), 5-6.
- Brun, J.-J. (2008). La recherche alpine aujourd'hui: programmation, coordinations internationales, projets structurants, *La revue de géographie alpine*, 96 (4), 77-87.
- Bruschi, M.-V. et Cendrero, A. (2005). Geosite Evaluation: can we measure intangible value ?. // *Quaternario*, vol 18, n°1, *Special Issue*, 293-306.
- Bruschi, M.-V. et Cendrero, A. (2009). Direct and parametric methods for the assessment of geosites and geomorphosites. In: Reynard, E., Coratza, P. et Regolini-Bissig, G. (Eds). *Geomorphosites*. Munich: Pfeil: 73-88.
- Cabaret, M. (1980). *Etude du milieu naturel - Pressions humaines. Les Contamines-Montjoie*. Rapport de BTS Protection de la Nature.
- Carton, A., Coratza, P. et Marchetti, M. (2005). Guidelines for geomorphological sites mapping: examples from Italy, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 3/2005, [En ligne], mis en ligne le 01 octobre 2007. URL : <http://geomorphologie.revues.org/index374.html>. Consulté le 26 mai 2010. 209-218.
- Cayla, N. (2007). Geotourism in the Alpine Arc: inventory and typology of the French offers. *Schriftenreihe der deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 19-24.
- Cendrero, A. et Panizza, M. (1999). Geomorphology and environmental impact assessment: an introduction. *Geographica fisica e dinamica quaternaria*, III, tome 3, 167-172.
- Chardonnet, J. (1938). La vallée de Montjoie et la bordure Sud-Ouest du Mont-Blanc, étude morphologique. *Annales de Géographie*, 47 (268), 345-360.
- Church M. et Ryder J.M. (1972). Paraglacial sédimentation: considération of fluvial processes conditioned by glaciation. *Geological Society of Amerca Bulletin*, 83, 3059-3072.
- Coratza, P. (2004). Géomorphologie et culture: exemples de valorisation en Emilie Romagne (Italie). In : Reynard, E., Pralong, J.-P. (Eds), *Paysages géomorphologiques*, Lausanne: Travaux et recherches n°27. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 209-223.

- Coratza, P. et Regolini-Bissig, G. (2009). Methods for mapping geomorphosites. In: Reynard, E., Coratza, P. et Regolini-Bissig, G. (Eds). *Geomorphosites*. Munich: Pfeil: 89-103.
- Coutterand, S. (2005). Les Alpes à l'Âge de Glace, *Alpes magazine*, n°96, 28-35.
- Coutterand, S. et Nicoud, G. (2005). Les stades de retrait du glacier de l'Arve entre le verrou de Cluses et l'ombilic de Chamonix au cours du Tardiglaciaire. *Quaternaire*, 16 (2), 85-94.
- Coutterand, S. et Buoncristiani, J.-F. (2006). Paléogéographie du dernier maximum glaciaire du Pléistocène récent de la région du massif du Mont-Blanc, France. *Quaternaire*, 17 (1), 35-43.
- Coutterand, S. (2010). Site sur le Quaternaire des Alpes occidentales. [en ligne] <http://www.glaciers-climat.com>. Consulté jusqu'en août 2010.
- CPGRNF (Commission Patrimoine Géologique de Réserves Naturelles de France). (2007). *Le patrimoine géologique*. Présentations disponible sur: [www.reserves-naturelles.org/upload/milieux\\_patgeol.pdf](http://www.reserves-naturelles.org/upload/milieux_patgeol.pdf); [www.reserves-naturelles.org/upload/patrimoine\\_geologique1.pdf](http://www.reserves-naturelles.org/upload/patrimoine_geologique1.pdf) et [www.reserves-naturelles.org/upload/patrimoine\\_geologique2.pdf](http://www.reserves-naturelles.org/upload/patrimoine_geologique2.pdf). Consulté le 12 juin 2010.
- Croquet, V. et J.-C. (2008). *Le Droit de la protection de la Nature en France* [en ligne]. <http://droitnature.free.fr>. Consulté le 12 juin 2010.
- CSQ (Commission Suisse pour la recherche sur le Quaternaire) et Swisstopo. (2009). *La Suisse durant le dernier maximum glaciaire (LGM)*. Carte au 1: 500 000.
- CSRN (Comité Scientifique des Réserves Naturelles de Haute-Savoie). (non daté a, mais datant probablement du début des années 2000). *Les lacs d'altitude*. Collection Mieux Connaître, Pringy
- CSRN (Comité Scientifique des Réserves Naturelles de Haute-Savoie). (non daté b, mais datant probablement du début des années 2000). *Les glaciers*. Collection Mieux Connaître, Pringy
- D'Arbaumont, J. (1972). *Entre Glières et Vercors, vie et mort du Capitaine Bulle*. Annecy: Gardet édition.
- Davies, M.-C., Hamza, O. et Harris, C. (2001). The effect of rise in mean annual temperatures on the stability of rock slopes containing ice-filled discontinuities. *Permafrost and Periglacial Processes*, 12, 137-144.
- Debarbieux, B. (1995). *Tourisme et Montagne*, Paris: Economica.
- Delaloye, R. (2004). *Contribution à l'étude du pergélisol de montagne en zone marginale*. GeoFocus n°10. Département des Géosciences, Fribourg.
- Delamette, M. (2002). *Le pays du Mont-Blanc - 9 itinéraires à travers paysages et roches du Mont-Blanc et du Haut Faucigny*. Challes-les-Eaux: Editions GAP.
- Deline, P. (1998). L'étagement morphodynamique de la haute montagne alpine: l'exemple du Val Veny (Val d'Aoste, Italie). *La revue de géographie alpine*, 86 (3), 27-35.
- Deline, P. (1999a). Les variations holocènes récentes du glacier du Miage (Val Veny, Val d'Aoste). *Quaternaire*, 10 (1), 5-13.
- Deline, P. (1999b). La mise en place de l'amphithéâtre morainique du Miage (Val Vény, Val d'Aoste). *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 5-1/1999. 59-72.
- Deline, P. (2003). Les grands écroulements rocheux de 1920 et 1997 sur le glacier de la Brenva (Massif du Mont-Blanc, Vallée d'Aoste), un vecteur pour la reconstitution de l'histoire Holocène d'un bassin glaciaire de haute montagne alpine. *Cahiers de Géographie*, n°1, Collection EDYTEM. Le Bourget-du-Lac. 169-182.
- Deline, P. (2008). Interactions between rock avalanches and glaciers in the Mont-Blanc massif during the late Holocene, *Quaternary Science Reviews*. Elsevier: 1-14.

- Deline, P. et Orombelli, G. (2005), Glacier fluctuations in the western Alps during the Neoglacial, as indicated by the Miage morainic amphitheatre (Mont Blanc massif, Italy), *Boreas*, Vol 34, 1-12.
- Deline, P., Kirkbride, M.P., Ravanel, L. et Ravello, M. (2008). The Tré la Tête rockfall into the glacier de la Lex Blanche (Mont-Blanc massif, Italy) in September 2008, *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol 31, 251-254.
- Dérior, P. et Bachimon, P. (2009). Préface - Le tourisme montagnard au crible de la durabilité. *La revue de géographie alpine*, 97 (3). [En ligne]. Mis en ligne le 25 mars 2010. URL : <http://rga.revues.org/index963.html>. Consulté le 19 avril 2010.
- De Saussure, H.-B. (1779). *Voyages dans les Alpes précédés d'un essai sur l'Histoire naturelle des environs de Genève*. Neuchâtel: Samuel Fauche Librairie.
- Détente - Consultants. (2002a). *Etude de la fréquentation des réserves naturelles de Haute-Savoie et de l'espace Mont-Blanc*. ASTERS - Espace Mont-Blanc.
- Détente - Consultants. (2002b). *Etude de la fréquentation des réserves naturelles de Haute-Savoie et des sites à enjeux de l'espace Mont-Blanc- Réserve naturelle des Contamines-Montjoie*. ASTERS - Espace Mont-Blanc.
- De Wever, P., Le Nechet, Y. et Cornée, A. (2006). Vade-macum pour l'inventaire du patrimoine géologique national. *Mémoire Hors Série n°12 de la Société géologique de France*. Paris. Disponible sur: <http://inpn.mnhn.fr/isb/download/fr/docPatGeol.jsp>. Consulté le 22 juin 2010.
- Dorthe-Monachon, C. (1986). *Contribution à l'étude de la morphologie glaciaire de la vallée de l'Arve (Haute-Savoie, France) - Essai de reconstitution paléogéographique*. Thèse de doctorat. Faculté des Lettres, Université de Lausanne, Suisse.
- Dowling, R.-K. et Newsome, D. (2006a). The scope and nature of geotourism. In: Dowling, R.-K. et Newsome, D. (Eds) (2006b). *Geotourism*. Burlington: Elsevier: 3-25.
- Dowling, R.-K. et Newsome, D. (Eds) (2006b). *Geotourism*. Burlington: Elsevier.
- Dowling, R.-K. et Newsome, D. (2006c). Geotourism's issues and challenges. In: Dowling, R.-K. et Newsome, D. (Eds) (2006b). *Geotourism*. Burlington: Elsevier: 242-254.
- Eguienta, M. (2000). Géologie et géomorphologie de la Réserve Naturelle des Contamines Montjoie, in: ASTERS. (2004). *Plan de gestion 2006 - 2010 de la Réserve Naturelle des Contamines Montjoie*. Pringy: 13-15.
- Emprin, G. (2002). *Les carnets du Capitaine Bulle, l'homme derrière la légende*, Montmélian: La Fontaine de Siloé
- Epard, J.-L. (1990). *La nappe de Morcles au sud-ouest du Mont-Blanc*. Thèse de doctorat. Mémoire de Géologie n°8. Institut de Géologie, Université de Lausanne, Suisse.
- Epard, J.-L. (2009a). *Géologie régionale*. Matériaux pour les cours, non publié, Faculté des Géosciences, Université de Lausanne.
- Epard, J.-L. (2009b). *Géologie structurale*. Matériaux pour les cours, non publié, Faculté des Géosciences, Université de Lausanne.
- Equipe MIT (Mobilité, Itinéraire, Tourisimes de l'Université Paris 7 - Denis Diderot). (2002). *Tourisimes 1. Lieux communs*. Paris: Belin.
- Equipe MIT (Mobilité, Itinéraire, Tourisimes de l'Université Paris 7 - Denis Diderot). (2005). *Tourisimes 2. Moments de lieux*. Paris: Belin.
- Fallot, J.-M. (2008). *Climatologie II*. Matériaux pour les cours n°42, Institut de géographie, Université de Lausanne.

- Fallot, J.-M. (2009). *Climatologie I. Matériaux pour les cours n°38*, Institut de géographie, Université de Lausanne.
- Fenell, D. A. (2003). *Ecotourism. An Introduction*, London and New York, Routledge, 236.
- Fontana, G. (2008). *Analyse et propositions de valorisation d'un paysage géomorphologique. Le cas de la Greina*. Mémoire de master. Institut de Géographie, Université de Lausanne.
- Fourny, M.-C. (2008). Préface - Mutations des Alpes, mutations de la recherche alpine : quels enjeux, quelle spécificité, quel devenir ? *La revue de géographie alpine*, 96 (4), 7-9.
- French, H.F. (1996). *The Periglacial environment*. London: Longman.
- Frey, M.-L., Schäfer, K., Büchel, G. et Patzak, M. (2006). Geoparks - a regional European and global policy. In: Dowling, R.-K. et Newsome, D. (Eds) (2006a). *Geotourism*. Burlington: Elsevier: 95-117.
- Gentizon, C. (2004). La géomorphologie et les paysages dans les réserves naturelles: études de cas. In : Reynard, E., Pralong, J.-P. (Eds), *Paysages géomorphologiques*, Lausanne: Travaux et recherches n°27. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 111-121.
- Gerard, A. (1989). *Les mines dans le Val Montjoie*. Les amis de la Réserve Naturelle des Contamines Montjoie.
- Gerard, A. (non daté mais datant probablement du début des années 1990). *Le climat dans le Val Montjoie*. Les amis de la Réserve Naturelle des Contamines Montjoie.
- Geyer, M. et Megerle, A. (2003). Géotourisme et développement durable en Allemagne du Sud. In : Reynard, E., Holzmann, C., Guex, D. et Summermatter, N. (Eds), *Géomorphologie et Tourisme*, Lausanne: Travaux et recherches n°24. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 177-184.
- Geyer, M. (2004). Comment faire parler les roches: exemples de valorisation géotouristique du patrimoine géologique et géomorphologique dans le Sud de l'Allemagne et en Alsace (France). In : Reynard, E., Pralong, J.-P. (Eds), *Paysages géomorphologiques*, Lausanne: Travaux et recherches n°27. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 243-253.
- Gidon M. (2010). Les massifs du Mont-Blanc, des Aiguilles Rouges et du Beaufortain. *Geol-Alp, un atlas géologique des Alpes françaises* [en ligne]. [http://www.geol-alp.com/h\\_mt\\_blanc/index\\_mt\\_blanc.html](http://www.geol-alp.com/h_mt_blanc/index_mt_blanc.html). Consulté jusqu'en août 2010.
- Grandgirard V. (1997). *Géomorphologie, protection de la nature et gestion du paysage*, Thèse de doctorat. Fribourg, Institut de géographie.
- Grandgirard,V. (1999). L'évaluation des géotopes, *Geologia Insubrica* 4, 59-66.
- Gray, M. (2004). *Geodiversity - Valuing and conserving abiotic nature*. Chichester, Wiley.
- Gray, M. (2005). Geodiversity and Geoconservation: What, Why and How?, *The George Wright Forum*, 22 (3), 4-12.
- Gross, G., Kerschner, H. et Patzelt, G. (1977). Methodische Untersuchungen über die Schneegrenze in alpinen Gletschergebieten. *Z. für Gletscherkd und Glazialgeol*, 12, 223-251.
- Haeberli, W. (2005). Investigating glacier - permafrost relationships in high-mountain areas: historical background, selected examples and research needs. In: Harris, C. et Murton, J.B. (Eds), *Cryospheric systems: Glaciers and Permafrost*. Geological Society, Special publications, London, 29, 37.
- Holzmann, C., Lambiel, C., Phillips, M. et Reynard, E. (2006). *Légende géomorphologique de l'IGUL*. rapport non publié, Institut de géographie, Université de Lausanne.

- Hose T. A. (1994). Telling the story of stone – assessing the client base, In: O'Halloran, D., Green, C., Harley, M., Stanley, M., et Knill J. (Eds), *Geological and landscape Conservation*, Geological Society, London. 451-457.
- Hose T.A. (1996). Geotourism, or can tourists become casual rock hounds?, In: Bennett, M.R. (Eds) *Geology on your doorstep : the role of urban geology in Earth Heritage Conservation*, Geological Society, London. 207-228.
- Hose, T. A. (1998). Mountains of fire from the present to the past - or effectively communicating the wonder of geology to tourists. *Geologica Balcanica*, 28, 77-85.
- Hose T. A. (2000). Définition du géotourisme lors d'un colloque à Bas Urach, disponible sur le site: URL: <http://www.erdgeschichte.de/francais.html>. Consulté le 4 mai 2010.
- Hose, T. A. (2006). Geotourism and interpretation. In: Dowling, R.-K. et Newsome, D. (Eds) (2006a). *Geotourism*. Burlington: Elsevier: 221-241.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2002). *Climate Change and Biodiversity*. Technical Paper V. Gitay, H., Suarez, A., Watson, R.T., Dokken, D.J. (Eds). Geneva.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2007). *Climate change 2007: Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Synthesis report. Core writing team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds). Geneva.
- Ivy-Ochs, S., Kerschner, H., Kubik, P.-W. et Schlüchter, C. (2006). Glacier response in the European Alps to Einrich Event 1 cooling: the Gschnitz stadial. *Journal of Quaternary Science*, 21, 115-130.
- Ivy-Ochs, S., Kerschner, H. et Schlüchter C. (2007). Cosmogenic nuclides and the dating of Lateglacial and Early Holocene glacier variations: the Alpine perspective. *Quaternary International*, 164-165, 53-63.
- Jaboyedoff, M. (2008a). *Risques et dangers naturels*. Matériaux pour les cours, non publié, Faculté des Géosciences, Université de Lausanne.
- Jaboyedoff, M. (2008b). *Mouvements de versants et risques associés*. Matériaux pour les cours, non publié, Faculté des Géosciences, Université de Lausanne.
- Jacquet Maffei, J. (2004). Les mystères du Glacier de Tré la Tête, *Nature et Patrimoine en Pays de Savoie, ALSN*, 13, 29-32.
- Janin, B. (1980). *Le Val d'Aoste, Tradition et Renouveau. Une région alpine originale*. Aoste: Musumeci Editeur.
- Jensen, R. (1999). *The Dream Society. How the Coming Shift from Information to Imagination will Transform your Business*, New York: McGraw Hill.
- Jordan, P. Hipp, R. et Reynard, E. (2004). La protection des géotopes et la création de géoparcs en Suisse. In : Reynard, E., Pralong, J.-P. (Eds), *Paysages géomorphologiques*, Lausanne: Travaux et recherches n°27. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 151-160.
- Kramar, N. (2003). Le cycle orogénique comme outil didactique. *Actes du colloque sur l'enseignement et la vulgarisation des Sciences de la Terre (Quartz)*, Nice.
- Kramar, N. (2005). Enjeux didactiques et épistémiques liés à l'utilisation d'un modèle historique en sciences de la Terre. *Actes du colloque JIES XXVII*, Chamonix.
- Kerschner, H. (1976). Untersuchungen zum Daun- und Egesenstadium in Nordtirol und Graubünden (methodische Überlegungen). *Geographischer Jahresbericht aus Osterreich*, 36. 26-49.

- Lambiel, C. (2006). *Le pergélisol dans les terrains sédimentaires à forte déclivité: distribution, régime thermique et instabilités*. Thèse de doctorat. Lausanne: Institut de Géographie, Université de Lausanne, Travaux et recherches n°33.
- Lambiel, C. (2008a). *Cartographie géomorphologique*. Matériaux pour les cours, non publié, Institut de géographie, Université de Lausanne.
- Lambiel, C. (2008b). *Environnements périglaciaires*. Matériaux pour les cours, non publié, Institut de géographie, Université de Lausanne.
- Lambiel, C. (2009). *Géomorphologie II*. Matériaux pour les cours, non publié, Institut de géographie, Université de Lausanne.
- Lambiel, C. et Reynard, E. (2003). Impacts du développement d'un domaine skiable sur la morphologie glaciaire et périglaciaire: le cas de Verbier (Valais, Suisse). In : Reynard, E., Holzmann, C., Guex, D. et Summermatter, N. (Eds), *Géomorphologie et Tourisme*, Lausanne: Travaux et recherches n°24. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 19-33.
- Lambiel, C., Theler, D. et Reynard, E. (2007). *Cartographie géomorphologique*. rapport non publié, Institut de géographie, Université de Lausanne.
- Lawton, L.J. (2001). Public Protected Areas. In: *The Encyclopedia of Ecotourism*. New York: Oxon, 287-302.
- Le Blevec, M. (1981). *Relations sol-végétation dans la Réserve Naturelle des Contamines Montjoie*. ENSA Rennes, CSRN, DDAF.
- Léonard, M. et Mao, P. (2003), La géomorphologie comme facteur de localisation et d'attractivité des sites de pratiques sportives de pleine nature en France. In : Reynard, E., Holzmann, C., Guex, D. et Summermatter, N. (Eds), *Géomorphologie et Tourisme*, Lausanne: Travaux et recherches n°24. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 79-91.
- Lichtenecker, N. (1938). Die gegenwärtige und die eiszeitliche Schneegrenze in den Ostalpen. In: Göttinger, G. (Eds): *Verhandlungen der III Internationalen Quartär-Konferenz, Wien, September 1936*. Wien, INQUA, 141-147.
- Lugon, R. (2005), Murray GRAY, Geodiversity, valuing and conserving abiotic nature, note de lecture dans *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 3/2005, [En ligne], mis en ligne le 01 octobre 2007. URL: <http://geomorphologie.revues.org/index416.html>. Consulté le 8 juin 2010.
- Macchiavelli, A. (2009). Le tourisme alpin: conditions pour l'innovation et ambivalences dans le développement, *La revue de géographie alpine*, 97 (1), 84-100.
- Maillard, B. (2009). *Inventaire des géomorphosites des vallées d'Entremont et de Ferret. Propositions de valorisation*. Mémoire de master. Institut de Géographie, Université de Lausanne.
- Maisch, M. (1981). *Glazialmorphologische und Gletschergeschichtliche Untersuchungen im gebiet zwischen Landwasser- und Albulatal (Kt. Graubünden, Schweiz)*. Physische Geographie n° 3. Geographischen Institut des Universität Zürich.
- Maisch, M. (1992). *Die Gletscher Graubündens. Rekonstruktion und Auswertung der Gletscher und deren Veränderungen seit dem Hochstand von 1850 im Gebiet der östlichen Schweizer Alpen (Bündnerland und angrenzende Regionen)*. Physische Geographie n° 33. Geographischen Institut des Universität Zürich.
- Marthaler, M. (2001). *Le Cervin est-il africain? Une histoire géologique entre les Alpes et notre planète*. Lausanne: Editions L.E.P.

- Marthaler, M. (2003). La mémoire de la Terre cachée derrière les panoramas. In : Reynard, E., Holzmann, C., Guex, D. et Summermatter, N. (Eds), *Géomorphologie et Tourisme*, Lausanne: Travaux et recherches n°24. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 105-114.
- Marthaler, M. (2004). Lecture et analyse d'un paysage : Zermatt et le Cervin. Un exemple de la mémoire de la terre révélée par les panoramas. In : Reynard, E., Pralong, J.-P. (Eds), *Paysages géomorphologiques*, Lausanne: Travaux et recherches n°27. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 51-66.
- Marthaler, M. et Kramar, N. (2004). Les paysages valorisés par leurs histoire géodynamique: Quelques exemples où la mémoire de la terre est révélée par les panoramas. *Actes du colloque sur l'enseignement et la vulgarisation des Sciences de la Terre (Quartz)*, Nice.
- Martini, G. (Eds) (1994a). *Actes du premier symposium international sur la protection du patrimoine géologique*. Mémoire de la Société géologique de France 165.
- Martini, G. (1994b). Bilan général de la protection du patrimoine géologique en France. In: Martini, G. (Eds), *Actes du premier symposium international sur la protection du patrimoine géologique*. Mémoire de la Société géologique de France 165 : 111-118.
- Mazué, R., Deline, P. et Kirkbride, M.P. (2009). Suivi de l'évolution de la couverture détritique d'un glacier noir par photo-comparaison: le glacier d'Estellette (Massif du Mont-Blanc). In: Deline, P. et Ravel, L. (Coord.), *Neige et glace de montagne - Reconstitution, dynamique, pratiques*. Collection EDYTEM, n°8, Cahiers de Géographie. Le Bourget-du-Lac. 171-178.
- Mennessier, G. (1976). *Saint-Gervais-les-Bains*. Feuille 703 de l'Atlas géologique de la France au 1: 50'000. Orléans: BRGM.
- Mercier, D. (2008). Géomorphologie paraglaciale: renouveau conceptuel et méthodologique. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 4/2008, [En ligne], mis en ligne le 15 avril 2009. URL : <http://geomorphologie.revues.org/index7406.html>. Consulté le 18 août 2010. 219-222.
- Michau, E. (2000). Problématique du développement et de la gestion des activités sportives de pleine nature dans les espaces protégés. *Montagnes Méditerranéennes, 11, Tourisme sportif et territoire*, 92-94.
- Migon, P. (2009). Geomorphosites and the World Heritage List of UNESCO. In: Reynard, E., Coratza, P. et Regolini-Bissig, G. (Eds), *Geomorphosites*. Munich: Pfeil, 119-130.
- Morard, S., Scapozza, C., Duhem, V., Reynard, E. et Delaloye, R. (2009). *Géomorphologie de la montagne - fiches pour l'enseignant*. Société Suisse de Géomorphologie (SSGm), [En ligne]. <http://www.unifr.ch/geoscience/geographie/montagne>.
- Mougin, P. (1914). *Les torrents de la Savoie, inondations et catastrophes*. Montmélian: La Fontaine de Siloé (2001).
- Newsome, D., Moore, S.A. et Dowling, R.K. (2002). *Natural Area Tourism - Ecology, Impacts and Management*. Sydney: Chanel View Publications.
- Observatoire du tourisme - Savoie Mont-Blanc. (2008). *Chiffres-clés, éditions 2008*. [En ligne]. <http://pro.savoie-mont-blanc.com/espace-pro/observatoire/chiffres-cles-et-etudes-580-1.html>. Consulté le 26 avril 2010.
- Observatoire du tourisme - Savoie Mont-Blanc. (2009). *Bilan de saison, été 2008*. [En ligne]. <http://pro.savoie-mont-blanc.com/espace-pro/observatoire/bilans-de-saison-579-1.html>. Consulté le 26 avril 2010.

- ONERC (Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique). (2008). *Changements climatiques et impacts dans les Alpes : impacts et risques naturels*. Rapport Technique N°1. ClimChAlp – Interreg IIIb Alpine Space. Paris.
- Origet Du Cluzeau, C. (1998). *Le Tourisme Culturel*, Paris: Presses Universitaires de France.
- Paccard, P. (2009). Rechauffement climatique et ressource neige en domaines skiables. In: Deline, P. et Ravel, L. (Coord.), *Neige et glace de montagne - Reconstitution, dynamique, pratiques*. Collection EDYTEM, n°8, Cahiers de Géographie. Le Bourget-du-Lac. 181-192.
- Panizza, M. (2001). Geomorphosites: concepts, methods and example of geomorphological survey. *Chinese Science Bulletin*, 46, 4-6.
- Panizza, M. (2003). Géomorphologie et tourisme dans un paysage culturel intégré. In : Reynard, E., Holzmann, C., Guex, D. et Summermatter, N. (Eds), *Géomorphologie et Tourisme*, Lausanne: Travaux et recherches n°24. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 11-18.
- Panizza, M. et Piacente, S. (2003). *Geomorfologia Culturale*. Bologna: Pitagora Editrice.
- Panizza, M. et Piacente, S. (2004). Pour une géomorphologie culturelle. In : Reynard, E., Pralong, J.-P. (Eds), *Paysages géomorphologiques*, Lausanne: Travaux et recherches n°27. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 193-207.
- Panizza, M. et Piacente, S. (2009). Cultural geomorphology and geodiversity. In: Reynard, E., Coratza, P. et Regolini-Bissig, G. (Eds), *Geomorphosites*. Munich: Pfeil, 35-48.
- Pelfini, M., Brandolini, P., Carton, A. et Piccazzo, M. (2009). Geotourist trails: a geomorphological risk-impact analysis. In: Reynard, E., Coratza, P. et Regolini-Bissig, G. (Eds). *Geomorphosites*. Munich: Pfeil: 131-143.
- Penck, A. et Brückner, E. (1909). *Die Alpen im Eiszeitalter*. Leipzig: Tautschnig.
- Pereira, P., Pereira, D. et Caetano Alves, M.-I. (2007). Geomorphosite assessment in Montesinho Natural Park (Portugal). *Geographica Helvetica*, 3/2007, 159-168.
- Piacente, S., Bertacchini, M. et Coratza, P. (2003). Geomorphological tourism amidst nature and culture: examples from Emilia-Romagna (Italy). In : Reynard, E., Holzmann, C., Guex, D. et Summermatter, N. (Eds), *Géomorphologie et Tourisme*, Lausanne: Travaux et recherches n°24. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 145-155.
- Plan, E. et Lefevre, E. (1982). *La Bataille des Alpes, 10 - 25 juin 1940*. Paris: Lavauzelle.
- Pralong, J.-P. (2003), Valorisation et vulgarisation des sciences de la Terre: les concepts de temps et d'espace et leur application à la randonnée pédestre. In : Reynard, E., Holzmann, C., Guex, D. et Summermatter, N. (Eds), *Géomorphologie et Tourisme*, Lausanne: Travaux et recherches n°24. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 115-127.
- Pralong, J.-P. (2004a). Le géotourisme dans les régions de Crans-Montana-Sierre (Valais, CH) et de Chamonix-Mont-Blanc (Haute-Savoie, F). In : Reynard, E., Pralong, J.-P. (Eds), *Paysages géomorphologiques*, Lausanne: Travaux et recherches n°27. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 225-241.
- Pralong, J.-P. (2004b). Pour une mise en valeur touristique et culturelle des patrimoines de l'espace alpin: le concept «d'histoire totale». *Histoire des Alpes. Tourisme et changements culturels*, 9, 301-310.
- Pralong, J.-P. (2005). A method for assessing tourist potential and use of geomorphological sites. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 3/2005, [En ligne], mis en ligne le 01 octobre 2007. URL : <http://geomorphologie.revues.org/index350.html>. Consulté le 26 mai 2010. 189-196.

- Pralong, J.-P. (2006a). *Géotourisme et utilisation de sites naturels d'intérêt pour les sciences de la Terre : les régions de Crans-Montana-Sierre (Valais, Alpes suisses) et Chamonix-Mont-Blanc (Haute-Savoie, Alpes françaises)*. Thèse de doctorat. Lausanne: Institut de Géographie, Université de Lausanne, Travaux et recherches n°32.
- Pralong, J.-P. (2006b). A new form of tourism utilising natural landscapes and based on imagination and emotion. *Tourism Review*, 61(3), 20-25.
- Pralong, J.-P. et Reynard, E. (2004). Lecture et analyse d'un paysage: Lavaux (Vaud, Suisse). In : Reynard, E., Pralong, J.-P. (Eds), *Paysages géomorphologiques*, Lausanne: Travaux et recherches n°27. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 35-50.
- Pralong, J.-P. et Reynard, E. (2005). A Proposal for a Classification of Geomorphological Sites Depending on their Tourist Value, *Il Quaternario*, vol. 18, n°1, Special Issue, 315-321.
- Ravanel, L. (2009). Evolution géomorphologique de la haute montagne alpine dans le contexte actuel du réchauffement climatique. In: Deline, P. et Ravanel, L. (Coord.), *Neige et glace de montagne - Reconstitution, dynamique, pratiques*. Collection EDYTEM, n°8, Cahiers de Géographie. Le Bourget-du-Lac. 113-124.
- Reynard, E. (2003). Le paysage n'est pas figé ... des guides expliquent le phénomène. Interview dans un article de *La Liberté*: Fribourg, 25.02.03
- Reynard, E. (2004a). La géomorphologie et la création des paysages. in : Reynard, E., Pralong, J.-P. (Eds), *Paysages géomorphologiques*, Lausanne: Travaux et recherches n°27. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 9-20.
- Reynard, E. (2004b). Géotopes, géo(morpho)sites et paysages géomorphologiques. In : Reynard, E., Pralong, J.-P. (Eds), *Paysages géomorphologiques*, Lausanne: Travaux et recherches n°27. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 123-136.
- Reynard, E. (2005a). Géomorphosites et paysage. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 3/2005. [En ligne]. Mis en ligne le 01 octobre 2007. URL : <http://geomorphologie.revues.org/index338.html>. Consulté le 19 mai 2010. 181-188.
- Reynard, E. (2005b). Paysage et géomorphologie: quelques réflexions sur leurs relations réciproques. In : Droz Y., Miéville-Ott V. (Eds), *La polyphonie du paysage*, Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 101-124.
- Reynard, E. (2006). *Fiche d'inventaire des géomorphosites*. rapport non publié, Institut de géographie, Université de Lausanne. URL : <http://www.unil.ch/igul/page17893.html>
- Reynard, E. (2009a). The assessment of geomorphosites, in: Reynard, E., Coratza, P. et Regolini-Bissig, G. (Eds). *Geomorphosites*. Munich: Pfeil: 63-71.
- Reynard, E. (2009b). Geomorphosites: definitions and characteristics. in: Reynard, E., Coratza, P. et Regolini-Bissig, G. (Eds). *Geomorphosites*. Munich: Pfeil: 9-20.
- Reynard, E., Holzmann, C., Guex, D. et Summermatter, N. (Eds) (2003a). *Géomorphologie et Tourisme*, Lausanne: Travaux et recherches n°24. Institut de Géographie, Université de Lausanne.
- Reynard, E., Holzmann, C. et Guex, D. (2003b). Géomorphologie et tourisme: quelles relations? In : Reynard, E., Holzmann, C., Guex, D. et Summermatter, N. (Eds), *Géomorphologie et Tourisme*, Lausanne: Travaux et recherches n°24. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 1-10.
- Reynard, E., Morand, S. et Ammann, T. (2003c). Protection et mise en valeur touristique d'un site géomorphologique: la région du Sanetsch (Valais, Suisse). In : Reynard, E., Holzmann, C., Guex, D. et Summermatter, N. (Eds), *Géomorphologie et Tourisme*, Lausanne: Travaux et recherches n°24. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 35-51.

- Reynard, E., Pralong, J.-P. (Eds) (2004), *Paysages géomorphologiques*, Lausanne: Travaux et recherches n°27. Institut de Géographie, Université de Lausanne.
- Reynard, E. et Gentizon, C. (2004). Les instruments de protection du paysage en Suisse: état des lieux. In : Reynard, E., Pralong, J.-P. (Eds), *Paysages géomorphologiques*, Lausanne: Travaux et recherches n°27. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 95-109.
- Reynard, E., Monbaron, M. et Marthaler, M. (2004). Paysages géomorphologiques. In : Reynard, E., Pralong, J.-P. (Eds), *Paysages géomorphologiques*, Lausanne: Travaux et recherches n°27. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 1-7.
- Reynard, E. et Panizza, M. (2005). Géomorphosites: définition, évaluation et cartographie, une introduction. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 3/2005, [En ligne], mis en ligne le 01 octobre 2007. URL : <http://geomorphologie.revues.org/index336.html>. Consulté le 26 mai 2010.
- Reynard, R. et Bissig, G. (2005). *Géomorphologie générale, volume 1*. Lausanne: Matériaux pour les cours et séminaires n°44. Institut de Géographie, Université de Lausanne.
- Reynard, R., Bissig, G. et Thomi, L. (2006). *Géomorphologie générale, volume 2*. Lausanne: Matériaux pour les cours et séminaires n°47. Institut de Géographie, Université de Lausanne.
- Reynard, E et Coratza, P. (2007). Geomorphosites and geodiversity: a new domain of research. *Geographica Helvetica*, 3/2007, 138-139.
- Reynard, E., Fontana, G., Kozlik, L. et Scapozza, C. (2007a). A method for assessing «scientific» and «additional values» of geomorphosites, *Geographica Helvetica*, 3/2007, 148-158.
- Reynard, E., Baillifard, F., Berger, J.-P., Felber, M., Heitzmann, P., Hipp, R., Jeannin, P.-Y., Vavrecka-Sidler, D. et Von Salis, K. (2007b). *Géoparcs en Suisse - un rapport stratégique*. Platform of the Swiss Academy of Sciences. Bern.
- Reynard, E., Bissig, G., Thomi, L., Theler, D. et Martin, S. (2008a). *La géographie du cycle de l'eau*. Matériaux pour les cours, non publié, Institut de géographie, Université de Lausanne.
- Reynard, E., Bissig, G., Stauble, S., Theler, D. et Thomi, L. (2008b). *Gestion de l'eau dans les Alpes*. Matériaux pour les cours et séminaires n°47, Institut de géographie, Université de Lausanne.
- Reynard, E., Coratza, P. et Regolini-Bissig, G. (Eds) (2009a). *Geomorphosites*. Munich: Pfeil.
- Reynard, E., Coratza, P. et Regolini-Bissig, G. (2009b). Scientific research on geomorphosites over the last eight years: improvements and aims of the book. In: Reynard, E., Coratza, P. et Regolini-Bissig, G. (Eds). *Geomorphosites*. Munich: Pfeil: 5-8.
- Reynaud, L. (1985). *Le glacier de Tré la Tête*, Comité Scientifique des Réserves Naturelles de Haute-Savoie.
- Rovéra, G. (1990). *Géomorphologie dynamique et aménagement de versants en moyenne Tarentaise*. Thèse de doctorat. Grenoble I.
- Scapozza, C. (2008). *Contribution à l'étude géomorphologique et géophysique des environnements périglaciaires des Alpes Tessinoises orientales*. Mémoire de master. Institut de Géographie, Université de Lausanne.
- Scheurer, T. et Sgard, A. (2008). La recherche sur les montagnes entre Alpes et monde : regards rétrospectifs. *La revue de géographie alpine*, 96 (4), 15-25.
- Schneebeli, W. et Rötliberger, F. (1976). 8000 Jahre Gletchergeschichte der Erde. *Die Alpen (SAC)*, 52/3-4, 5-134.

- Schoeneich, P. (1998). *Le retrait glaciaire dans les vallées des Ormonts, de l'Hongrin et de l'Étivaz (Préalpes vaudoises)*. Thèse de doctorat. Lausanne: Institut de Géographie, Université de Lausanne, Travaux et recherches n°14.
- Schoeneich, P. (2009). *Géomorphologie du Quaternaire régional*. Matériaux pour les cours, non publié, Institut de Géographie, Université de Lausanne.
- Schoeneich, P. et De Jong, C. (2008). Evolution de l'environnement alpin. Quel environnement alpin demain? Pour quelles activités? *La revue de géographie alpine*, 96 (4), 53-64.
- Schoeneich, P., Bodin, X., Krysiński, J.-M., Deline, P. et Ravel, L. (2010). *Permafrost in France, Report n°1*, Permafrance Network. Institut de Géographie Alpine, Grenoble.
- Serrano, E. et Ruiz-Flaño, P. (2007). Geodiversity. A theoretical and applied concept. *Geographica Helvetica*, 3/2007, 140-147.
- Serrano, E. et Ruiz-Flaño, P. (2009). Geomorphosites and geodiversity. In: Reynard, E., Coratza, P. et Regolini-Bissig, G. (Eds), *Geomorphosites*. Munich: Pfeil, 49-61.
- Sesiano, J. (1993). *Monographie physique des plans d'eau naturels du département de la Haute Savoie - France*. Thèse du département de Minéralogie de l'Université de Genève, Suisse.
- SGF (Société Géologique de France). (2010). *Déclaration Internationale des Droits de la Mémoire de la Terre*. Rédigée à Digne en 1991 lors du 1er Symposium international sur la protection du patrimoine géologique et disponible sur: URL: <http://sgfr.free.fr/section/geole/declaration.php>. Consulté le 28 mai 2010.
- Smith, B.J. (2005). Management challenges at a complex geosite: the Giant's Causeway World Heritage Site, Northern Ireland, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 3/2005, [En ligne], mis en ligne le 01 octobre 2007. URL : <http://geomorphologie.revues.org/index386.html>. Consulté le 26 mai 2010. 219-226.
- Smith, B.J., Orford, J.D, et Betts, N.L. (2009). Management challenges of a dynamic geomorphosite: climate change and the Giant's Causeway World Heritage Site. In: Reynard, E., Coratza, P. et Regolini-Bissig, G. (Eds), *Geomorphosites*. Munich: Pfeil, 145-162.
- Stock, M., Dehoore, O., Duhamel, P., Gay, J.-C., Knafou, R., Lazzarotti, O., Sacareau, I. et Violier, P. (2003). *Le tourisme. Acteurs, lieux et enjeux*. Paris: Belin.
- Stueve, A. M., Cook, S. D. et Drew, D. (2002). *The Geotourism Study: Phase 1 Executive Summary*. National Geographic Traveller, Travel Industry Association of America.
- Summermatter, N. (2003). Quelques réflexions sur les techniques scripto-illustratives utilisées dans les brochures relatives aux itinéraires didactiques. In : Reynard, E., Holzmann, C., Guex, D. et Summermatter, N. (Eds), *Géomorphologie et Tourisme*, Lausanne: Travaux et recherches n°24. Institut de Géographie, Université de Lausanne, 129-144.
- Suter, H. (2009). *Noms de lieux de Suisse Romande, Savoie et environs*. [en ligne] <http://henrysuter.ch/glossaires/toponymes.html> Consulté le 16 juin 2010.
- Tardif, J. (2003). Écotourisme et développement durable. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 4, Numéro 1. [En ligne]. Mis en ligne le 01 mai 2003. URL : <http://vertigo.revues.org/4575>. Consulté le 08 avril 2010.
- Thorn, C.E. et Lowenherz, D.S. (1987). Spatial and temporal trends in alpine periglacial studies: implications for paleoreconstructions. In: Boardman, J. (Eds), *Periglacial processes and landforms in Britain and Ireland*. Cambridge: Cambridge University Press, 57-65.
- Vaccaro, I. et Beltran, O. (2009). L'espace montagnard comme espace de consommation. Les Pyrénées à l'époque globale. *La revue de géographie alpine*, 97 (3). [En ligne]. Mis en ligne le 11 décembre 2009. URL : <http://rga.revues.org/index1071.html>. Consulté le 19 avril 2010.

- Vié, J.-C., Hilton-Taylor, C. and Stuart, S.N. (Eds.) (2009). *Wildlife in a Changing World – An Analysis of the 2008 IUCN Red List of Threatened Species*. Gland.
- Vittoz, P. (2008). *Végétation de la Suisse*. Matériaux pour les cours, non publié, Faculté des Géosciences, Université de Lausanne.
- Vivian, R. (1971). Le glacier de Tré la Tête - Fiches des glaciers Français. *La revue de géographie alpine*, 58 (2), 421-424.
- Vivian, R. (1972). *Les glaciers des Alpes occidentales*, Grenoble: Allier.
- Vivian, R. (2005). *Les glaciers du Mont-Blanc*. Montmélián: La Fontaine de Siloé.
- Waeber, M. (1943). Observations faites au Glacier de Tré la Tête à l'occasion de l'aménagement d'une prise d'eau sous glaciaire. *La revue de géographie alpine*, 31 (3), 319-344.
- Wetter, W. (1984). *Spät-und postglaziale Gletscherschwankungen im Mont-Blanc-Gebiet, Untere vallée de Chamonix-Val Monjoie*. Thèse de doctorat, Vol.22, Geographisches Institut der Universität Zürich, Suisse.
- Zienert, A. (1965). Gran Paradiso – Mont Blanc: Prähistorische und Historische Gletscherstände. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 16, 202-225.
- Zouros, N. (2005). Assessment, protection, and promotion of geomorphological and geological sites in the Aegean area, Greece. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 3/2005, [En ligne], mis en ligne le 01 octobre 2007. URL : <http://geomorphologie.revues.org/index398.html>. Consulté le 26 mai 2010.
- Zouros, N. (2007). Geomorphosite assessment and management in protected areas of Greece: Case study of the Lesvos island - coastal geomorphosites. *Geographica Helvetica*, 3/2007, 169-180.
- Zouros, N. (2009). Geomorphosites within geoparks. In Reynard, E., Coratza, P. et Regolini-Bissig, G. (Eds), *Geomorphosites*. Munich: Pfeil. 105-118.

Site internet fréquemment consultés:

<http://www.asters.asso.fr/>

<http://www.lescontamines.com/>

[www.reserves-naturelles.org/](http://www.reserves-naturelles.org/)

## Annexe

## La combe d'Armancette

Intérêt scientifique (intrinsèque)			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Intégrité	site naturel autant dans sa morphologie (quelques sentiers) que sa dynamique	2	1
Valeur paléogéographique	cordons morainiques et plaine d'épandage fluvioglaciaire relatifs à différents stades glaciaires	1	1
Rareté	morphologie assez commune dans la région mais moraines du Dryas récent bien conservées	1	0.25
Représentativité	morphologie assez commune dans la région mais secteur complexe où des formes ont disparu	1	0.75
<b>Valeur scientifique</b>			<b>0.8</b>

Intérêt géotouristique			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Valeur scientifique	forte valeur scientifique en raison de sa <i>naturalisé</i> et de son intérêt paléogéographique	2	0.8
Valeur éducative	lisibilité du paysage assez difficile en raison de la colonisation végétale mais l'activité des processus glaciaires et fluviaux rendent le site intéressant	2	0.5
Valeur esthétique	fort développement vertical de la Combe mais peu de contraste et <i>fermeture</i> du paysage	1	0.25
Valeur(s) additionnelle(s)	aucune valeur économique ou culturelle particulière ainsi que faible valeur écologique en raison de la colonisation de secteurs récemment déglacés par la végétation	1	0.25
Accessibilité	le bas de la Combe est facile d'accès à partir de nombreux secteurs mais les sentiers disparaissent dans la partie haute en raison de la végétation et de l'incision torrentielle	1	0.5
Aléas naturels (pour les touristes)	laves torrentielles fréquentes et phénomènes de chute de blocs dans la partie haute de la Combe mais le secteur du lac est relativement stable, danger d'avalanche en hiver	1	0.25
Infrastructures touristiques existantes	nombreux sentiers d'accès vers la partie basse mais ils disparaissent vers l'amont	1	0.25
Vulnérabilité	secteur relativement peu vulnérable mis à part le lac d'Armancette	1	0.75
Popularité	secteur bien connu des locaux mais peu au delà de la vallée	1	0.25
<b>Valeur géotouristique</b>			<b>0.46</b>

**Synthèse :** Paysage géomorphologique très intéressant du point de vue scientifique, mais peu pertinent dans une optique géotouristique notamment en raison de l'importante colonisation végétale et des aléas naturels.

## Le vallon de Tré la Tête

Intérêt scientifique (intrinsèque)			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Intégrité	site naturel autant dans sa morphologie (quelques sentiers et un refuge) que sa dynamique	2	1
Valeur paléogéographique	présence importante de moraines et de formes d'érosion récentes (roches moutonnées) et holocènes et quelques formes d'érosion plus anciennes (trimline du LGM)	1	0.75
Rareté	troisième bassin glaciaire français le plus important du MMB	1	0.75
Représentativité	morphologie glaciaire <i>jeune</i> et typique de ce secteur cristallin	1	0.75
<b>Valeur scientifique</b>			<b>0.85</b>

Intérêt géotouristique			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Valeur scientifique	site à forte valeur scientifique en raison de la dynamique glaciaire et de la jeunesse des formes	2	0.85
Valeur éducative	site particulièrement lisible dans le paysage et activité glaciaire et gravitaire contemporaine importante	2	1
Valeur esthétique	fort développement vertical, fort contraste entre la roche et la glace	1	1
Valeur(s) additionnelle(s)	valeur économique-culturelle importante en raison de la pratique de l'alpinisme (Samivel a par exemple fait ses premières courses sur ce lieu) et des infrastructures engendrées (refuges). Importance de l'eau pour EDF	1	1
Accessibilité	le vallon a un accès facile mais long et le déplacement sur le glacier nécessite matériel et connaissance de la montagne	1	0.25
Aléas naturels (pour les touristes)	langue glaciaire dangereuse (crevasses, séracs) et dynamique. Erosion des parois rocheuses et dépôts sédimentaires instables	1	0.25
Infrastructures touristiques existantes	nombreux sentiers d'accès puis marches glaciaires vers refuges (échelles sur un itinéraire d'accès)	1	1
Vulnérabilité	forte vulnérabilité des glaciers dans un contexte de réchauffement climatique et formes encore instables	1	0.5
Popularité	secteur bien connu dans la région	1	0.75
<b>Valeur géotouristique</b>			<b>0.76</b>

**Synthèse** : Paysage géomorphologique très intéressant du point de vue scientifique et géotouristique, notamment dans le contexte de réchauffement climatique actuel (les effets sont directement visibles pour les géotouristes). Le point faible est typique de la haute montagne glaciaire avec la présence d'aléas et une accessibilité restreinte.

## Tête Noire - la Combe Blanche

Intérêt scientifique (intrinsèque)			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Intégrité	site en grande partie naturel mais le captage d'eau par EDF perturbe la géomorphologie (barrage, cantine) et sa dynamique	2	0.5
Valeur paléogéographique	présence importante de moraines et de formes d'érosion récentes (roches moutonnées) et holocènes mais aussi de formes anciennes plus rares (trimline du LGM, moraines et glacier rocheux de la Mine)	1	0.75
Rareté	morphologie courante dans la région mais moraines bien conservées	1	0.25
Représentativité	morphologie glaciaire et postglaciaire <i>jeune</i> et typique (auge glaciaire) de ce secteur cristallin	1	0.75
<b>Valeur scientifique</b>			<b>0.55</b>

Intérêt géotouristique			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Valeur scientifique	valeur scientifique moyenne en raison de l'anthropisation et d'une morphologie commune	2	0.55
Valeur éducative	secteur de Tête Noire a des formes bien conservées et la présence proche du glacier de Tré la Tête met en lumière le processus de formation et son évolution dans le temps. La Combe Blanche est en cours de végétalisation	2	0.5
Valeur esthétique	développement vertical moyen et points de vues limités notamment pour la Combe Blanche	1	0.25
Valeur(s) additionnelle(s)	valeur économique avec le captage d'eau et le refuge de Tré la Tête	1	0.75
Accessibilité	accès facile mais long du secteur de Tête Noire mais accès difficile à la Combe Blanche (sentier est en train de disparaître)	1	0.5
Aléas naturels (pour les touristes)	secteur de la Combe Blanche encore fortement dynamique avec le rééquilibrage postglaciaire	1	0.5
Infrastructures touristiques existantes	nombreux sentiers d'accès et existence d'un refuge	1	0.75
Vulnérabilité	secteur peu vulnérable mais formes jeunes en cours de stabilisation	1	0.75
Popularité	lieu de passage fréquenté mais mal connu	1	0.5
<b>Valeur géotouristique</b>			<b>0.55</b>

*Synthèse* : Paysage géomorphologique moyennement intéressant du point de vue scientifique et géotouristique. Si les formes sont typiques de la région et bien conservées, la colonisation végétale et les atteintes anthropiques sur la géomorphologie sont défavorables.

## La rosière

Intérêt scientifique (intrinsèque)			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Intégrité	site naturel autant dans sa morphologie (quelques sentiers et un refuge) que sa dynamique	2	1
Valeur paléogéographique	présence d'accumulations et de formes d'érosion glaciaires datant de la fin du Tardiglaciaire	1	0.5
Rareté	haut marais d'altitude rare dans la région	1	1
Représentativité	haut marais peu représentatif de la morphologie locale mais les roches moutonnées sont fréquentes	1	0.5
<b>Valeur scientifique</b>			<b>0.8</b>

Intérêt géotouristique			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Valeur scientifique	site à forte valeur scientifique en raison de sa <i>naturalité</i> et de sa rareté	2	0.8
Valeur éducative	lisibilité de la morphologie difficile en raison de la colonisation forestière et de la dynamique très faible	2	0.5
Valeur esthétique	faible développement vertical et <i>fermeture</i> du paysage mais paysage contrastant avec l'environnement proche	1	0.5
Valeur(s) additionnelle(s)	forte valeur écologique du haut marais	1	1
Accessibilité	site facile d'accès mais nécessitant une marche d'environ 45 min pour environ 200 m de dénivelé	1	1
Aléas naturels (pour les touristes)	absence d'aléa naturel notable (géomorphologie largement héritée)	1	1
Infrastructures touristiques existantes	nombreux sentiers d'accès mais déplacement difficile dans le haut marais	1	0.25
Vulnérabilité	le milieu écologique associé à ce haut marais est très fragile	1	0.25
Popularité	secteur bien connu des locaux mais peu au delà de la vallée	1	0.25
<b>Valeur géotouristique</b>			<b>0.62</b>

*Synthèse* : Paysage géomorphologique très intéressant du point de vue scientifique mais potentiel géotouristique limité par la vulnérabilité et la *fermeture* du paysage. Ce site présente une forte valeur écologique, ce qui peut être intéressant dans l'optique d'une mise en valeur patrimoniale.

## Le Plan de la Fenêtre - les Pâturages de la Balme - les Près

Intérêt scientifique (intrinsèque)			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Intégrité	site largement naturel mais le secteur aval est utilisé comme pâturage	2	0.75
Valeur paléogéographique	présence des nombreuses accumulations morainiques datant de différents stades tardiglaciaires et de glaciers rocheux polyphasés (en grande partie fossilisés)	1	1
Rareté	glaciers rocheux rares au niveau régional	1	0.75
Représentativité	formes glaciaires, périglaciaires, gravitaires, fluviatiles et karstiques recouvrant les principaux processus morphogénétiques régionaux	1	0.75
<b>Valeur scientifique</b>			<b>0.8</b>

Intérêt géotouristique			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Valeur scientifique	site à forte valeur scientifique en raison de sa diversité et des formes périglaciaires	2	0.8
Valeur éducative	sites particulièrement lisibles dans le paysage mais peu dynamiques actuellement (en grande partie fossilisés)	2	0.75
Valeur esthétique	développement vertical moyen mais forts contrastes entre les lithologies et les formes, présence d'une ligne à haute tension	1	0.75
Valeur(s) additionnelle(s)	économie pastorale développée dans ce secteur d'alpage et richesse écologique avec des secteurs de bas marais	1	0.5
Accessibilité	secteur facile d'accès mais près de 600m de dénivelé et 1h30 de marche	1	0.5
Aléas naturels (pour les touristes)	activité géomorphologique restreinte et instabilités gravitaire peu dynamique	1	0.75
Infrastructures touristiques existantes	nombreux sentiers d'accès et proximité des refuges de la Balme et de Nant Borrant et des Chalets de Roseltte	1	0.75
Vulnérabilité	faible vulnérabilité générale mis à part pour les secteurs marécageux	1	0.75
Popularité	secteur moyennement connu dans la région mais présence d'itinéraires de grande randonnée	1	0.5
<b>Valeur géotouristique</b>			<b>0.69</b>

*Synthèse* : Paysage géomorphologique très intéressant du point de vue scientifique et géotouristique, notamment en raison de sa diversité et de l'absence de forêts.

### le vallon de la Rollaz - la Gieltaz - la Balme

Intérêt scientifique (intrinsèque)			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Intégrité	site largement naturel mais le fond de vallée est utilisé comme pâturage	2	0.75
Valeur paléogéographique	présence de nombreuses accumulations morainiques datant de différents stades tardiglaciaires	1	1
Rareté	moraine de la Balme et de la Gieltaz exceptionnellement bien conservée	1	1
Représentativité	morphologie glaciaire et postglaciaire typique	1	0.75
<b>Valeur scientifique</b>			<b>0.85</b>

Intérêt géotouristique			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Valeur scientifique	site à forte valeur scientifique en raison de la richesse et de la conservation de formes glaciaires	2	0.85
Valeur éducative	site particulièrement lisible dans le paysage mais de nombreuses formes sont fossiles	2	0.75
Valeur esthétique	fort développement vertical, fort contraste entre les roches et les formations superficielles, peu de présence forestière, présence d'une ligne à haute tension	1	0.75
Valeur(s) additionnelle(s)	Economie pastorale développée dans ce secteur d'alpage et présence d'un refuge à la Balme	1	0,75
Accessibilité	vallon relativement facile d'accès mais nécessite 1h15 de marche	1	0,75
Aléas naturels (pour les touristes)	le fond de la vallée est peu soumis aux aléas naturels mis à part les avalanches en hiver	1	0,75
Infrastructures touristiques existantes	nombreux sentiers d'accès et présence d'un refuge	1	1
Vulnérabilité	faible vulnérabilité générale et forme en grande partie fossilisée	1	0.75
Popularité	secteur connu dans la région et présence d'itinéraires de grande randonnée	1	0.75
<b>Valeur géotouristique</b>			<b>0.79</b>

*Synthèse* : Paysage géomorphologique très intéressant du point de vue scientifique et géotouristique. Il tire principalement son fort potentiel géotouristique de sa valeur esthétique et éducative liée à l'intégrité des formes et à l'ouverture du paysage ainsi qu'aux infrastructures touristiques préexistantes.

## Plan Jovet

Intérêt scientifique (intrinsèque)			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Intégrité	site en grande partie naturel mais le captage d'eau par EDF perturbe la dynamique vers l'aval	2	0.75
Valeur paléogéographique	présence de nombreuses accumulations morainiques et fluvioglaciaires datant de différents stades du tardiglaciaire, ancien lac comblé	1	1
Rareté	Formes morainiques, fluvioglaciaires et fluviatiles assez courantes dans la région	1	0.5
Représentativité	morphologie glaciaire et postglaciaire typique	1	1
<b>Valeur scientifique</b>			<b>0.80</b>

Intérêt géotouristique			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Valeur scientifique	site à forte valeur scientifique en raison de la richesse, de la diversité et de la conservation des formes	2	0.80
Valeur éducative	site particulièrement lisible dans le paysage mais de nombreuses formes sont fossiles, présence d'une ligne à haute tension	2	0.75
Valeur esthétique	fort développement vertical, fort contraste entre les roches et les formations superficielles, peu de présence forestière	1	1
Valeur(s) additionnelle(s)	valeur économique avec le captage d'eau et valeur écologique avec la présence d'espèces végétales très rares (voir ASTERS, 2004)	1	1
Accessibilité	accès facile mais long (2h30) et 700 m de dénivelé	1	0,5
Aléas naturels (pour les touristes)	Plan Jovet est assez peu soumis aux aléas naturels mis à part des laves torrentielles provenant du massif de la Pennaz	1	0,75
Infrastructures touristiques existantes	nombreux sentiers d'accès et proximité du refuge de la Balme	1	0.5
Vulnérabilité	faible vulnérabilité générale et forme en grande partie fossilisée mais avec zones humides sensibles	1	0.5
Popularité	secteur connu dans la région mais plutôt lieu de passage pour les itinéraires de grande randonnée	1	0.5
<b>Valeur géotouristique</b>			<b>0.71</b>

*Synthèse* : Paysage géomorphologique très intéressant du point de vue scientifique et géotouristique. Son intérêt est limité par l'accessibilité longue, l'absence d'infrastructures touristiques et la vulnérabilité du milieu. Mais sa valeur scientifique, esthétique et écologique d'exception en font un site pertinent dans une approche plus large de valorisation.

## le vallon des Lacs Jovet

Intérêt scientifique (intrinsèque)			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Intégrité	site naturel autant dans sa morphologie (quelques sentiers et un refuge) que sa dynamique	2	1
Valeur paléogéographique	présence des nombreuses accumulations morainiques, gravitaires et périglaciaires datant du Dryas récent et de l'Holocène	1	1
Rareté	Lacs très rares dans le MMB et diversité de ces lacs (ombilics, barrages morainiques et gravitaires)	1	1
Représentativité	morphologie glaciaire et postglaciaire typique mais très peu de formes fluviales	1	0.75
<b>Valeur scientifique</b>			<b>0.95</b>

Intérêt géotouristique			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Valeur scientifique	site à la valeur scientifique exceptionnelle en raison de la rareté, de la diversité et de la conservation des formes	2	0.95
Valeur éducative	site particulièrement lisible dans le paysage. Les formes sont relativement <i>jeunes</i> , en partie fossilisées et de nombreux processus sont actifs en amont	2	0.75
Valeur esthétique	fort développement vertical et contraste entre la roche en place, les formations superficielles, les névés et les lacs. Peu de végétation	1	1
Valeur(s) additionnelle(s)	valeur écologique avec les lacs Jovet et culturelle avec les combats qui s'y sont déroulés en 1940	1	0.5
Accessibilité	accès facile mais long (3h) et 900 m de dénivelé	1	0,5
Aléas naturels (pour les touristes)	Aléas naturels limités aux chutes de blocs et aux avalanches mais le secteur des lacs est peu dangereux en été	1	0,75
Infrastructures touristiques existantes	pas d'infrastructures touristiques mis à part une petite cabane des gestionnaires de la Réserve	1	0.25
Vulnérabilité	milieu lacustre subissant la pression touristique	1	0.25
Popularité	secteur bien connu dans la région	1	0.5
<b>Valeur géotouristique</b>			<b>0.72</b>

*Synthèse* : Paysage géomorphologique très intéressant du point de vue scientifique et géotouristique. Son intérêt géotouristique est limité par l'accessibilité longue, l'absence d'infrastructures touristiques et la vulnérabilité du milieu. Mais sa valeur scientifique, éducative et esthétique en font un site très pertinent pour la pratique du géotourisme.

## les Rebanets Chassot

Intérêt scientifique (intrinsèque)			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Intégrité	site naturel autant dans sa morphologie (quelques sentiers et un refuge) que sa dynamique	2	1
Valeur paléogéographique	présence de nombreuses accumulations morainiques, gravitaires et périglaciaires datant du Dryas récent et de l'Holocène	1	1
Rareté	Présence de glaciers enterrés et d'importantes formes de fluages périglaciaires actives	1	1
Représentativité	morphologie glaciaire et postglaciaire typique mais très peu de formes fluviales, présence de formes atypiques de glaciers enterrés	1	0.50
<b>Valeur scientifique</b>			<b>0.90</b>

Intérêt géotouristique			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Valeur scientifique	site à la valeur scientifique exceptionnelle en raison de la rareté, de la diversité et de l'activité des formes	2	0.90
Valeur éducative	morphologie du secteur complexe mais encore largement dynamique et bonne lisibilité du paysage (formes bien définies, absence de végétations)	2	0.75
Valeur esthétique	développement vertical moyen et contraste entre la roche en place, les formations superficielles et les névés. Peu de végétations et formes bien définies	1	1
Valeur(s) additionnelle(s)	présence fréquente de bouquetin (valeur écologique) ainsi les combats qui se sont déroulés sur la crête en juin 1940 (valeur culturelle) et la zone de pâture pour les ovins (valeur économique)	1	0.25
Accessibilité	accès long (4h et 1100 m de dénivelé) et absence de sentier balisé et entretenue. L'accès depuis les lacs Jovet traverse des pentes prononcées	1	0,25
Aléas naturels (pour les touristes)	Aléas naturels nombreux (laves torrentielles, chute de blocs depuis les parois, accumulations sédimentaires déséquilibrées, avalanches)	1	0.25
Infrastructures touristiques existantes	pas d'infrastructures touristiques	1	0.25
Vulnérabilité	faible vulnérabilité de cet environnement de haute montagne mais les formes sont encore largement actives	1	0.75
Popularité	secteur peu connu même localement	1	0.25
<b>Valeur géotouristique</b>			<b>0.57</b>

*Synthèse* : Lieu de recherches (grande valeur scientifique) davantage que lieu géotouristique principalement en raison de l'accès difficile et de la dangerosité du site.

## le Col du Bonhomme - Plan des Dames - la Saussaz

Intérêt scientifique (intrinsèque)			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Intégrité	site naturel mais la forte fréquentation de randonneur touche superficiellement ces roches peu résistantes (schistes)	2	0.75
Valeur paléogéographique	moraines au Plan des Dames et quelques formes périglaciaires mais morphologie largement récente	1	0.5
Rareté	les petites auges glacio-structurales de la Saussaz sont relativement rares mais morphologie assez commune	1	0.5
Représentativité	morphologie typique des secteurs schisteux, calcaires et gneissiques mais peu de formes glaciaires	1	0.75
<b>Valeur scientifique</b>			<b>0.65</b>

Intérêt géotouristique			
critères	Note de 0 à 1	coefficient	note
Valeur scientifique	valeur scientifique moyenne en raison de la morphologie assez commune et récente	2	0.65
Valeur éducative	site particulièrement lisible dans le paysage. Les formes sont relativement <i>jeunes</i> et les processus actifs nombreux. Faible couverture végétale	2	0.75
Valeur esthétique	extension verticale importante et contraste en secteur cristallin et sédimentaire mais présence de la ligne haute tension	1	0.75
Valeur(s) additionnelle(s)	site historique de passage (antiquité) vers la Savoie et l'Italie. Site importante dans l'histoire de la géologie (de Saussure) et très fortement fréquenté actuellement, notamment avec les itinéraires de grande randonnées (refuge du col de la Croix du Bonhomme)	1	0.75
Accessibilité	accès facile mais long (3h30) et 1200 m de dénivelé	1	0.5
Aléas naturels (pour les touristes)	Laves torrentielles se formant sur les deux versants, forte torrentialité du secteur schisteux et chutes de blocs sur le versant cristallin	1	0.5
Infrastructures touristiques existantes	pas d'infrastructures touristiques mis à part une petite cabane au col	1	0.25
Vulnérabilité	site peu vulnérable mis à part le secteur schisteux, facilement érodable par le passage répété	1	0.5
Popularité	secteur bien connu dans la région mais lieux de passage	1	0.75
<b>Valeur géotouristique</b>			<b>0.62</b>

**Synthèse :** Paysage géomorphologique intéressant du point de vue scientifique et géotouristique. Son intérêt géotouristique est limité par l'accessibilité longue, l'absence d'infrastructures touristiques et la vulnérabilité du milieu. Mais sa valeur scientifique, éducative, esthétique et les différentes autres valeurs de ce patrimoine en font un site très pertinent dans une approche plus large de valorisation