

Valorisation du patrimoine glaciaire de la cluse du Rhône et du Chablais

Vadim SCHNEIDER

Sous la direction du Prof. Emmanuel REYNARD



Photo de couverture :

La plaine du Rhône chablaisienne en direction du NW vue depuis les Martinaux.

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

Table des matières

Résumé	11
Remerciements	13

Partie introductive

I. Introduction.....	15
Paysage géomorphologique, géoconservation et géotourisme.....	15
Le Quaternaire et la théorie glaciaire.....	15
Le patrimoine glaciaire et sa valorisation.....	16
II. Objectifs.....	17
III. Choix de la zone d'étude.....	18
IV. Structure du travail.....	18

2^{ème} partie : Cadre théorique

Chapitre 1 : Le paysage géomorphologique **21**

1.1 Le concept de paysage en géographie.....	21
1.2 Le paysage géomorphologique et ses différentes valeurs.....	22
1.2.1 La valeur scientifique.....	24
1.2.2 La valeur esthétique.....	24
1.2.3 La valeur économique.....	24
1.2.4 La valeur culturelle.....	25
1.2.5 La valeur géoécologique.....	25
1.3 Le concept de patrimoine géomorphologique.....	25
Le patrimoine géomorphologique et ses termes associés.....	26
1.3.1 La géoconservation, de son origine à nos jours.....	26
1.3.1.1 La naissance d'une science nouvelle : la géologie moderne.....	26
1.3.1.2 les débuts de la géoconservation.....	27
1.3.1.3 La géoconservation aujourd'hui.....	28
1.3.2 Le patrimoine géologique et géomorphologique.....	28
1.3.3 La géodiversité.....	29
1.3.4 Le géotope.....	31
1.3.4.1 Le géotope géomorphologique.....	33
1.3.5 Gestion du patrimoine géomorphologique.....	34
1.3.5.1 les enjeux.....	34
1.3.5.2 La protection du paysage en Suisse.....	35
La protection du paysage au niveau cantonal : le cas du Valais et du canton de Vaud.....	36
L'inventaire des géotopes d'importance nationale.....	37

1.3.5.3 La valorisation du paysage et du patrimoine géomorphologique.....	37
Valoriser pour mieux protéger.....	38
Méthodes de vulgarisation.....	38
Le géotourisme.....	40
1.4 Synthèse.....	42
Chapitre 2 : La théorie glaciaire	43
2.1 Historique de la théorie glaciaire	43
2.1.1 De mystérieux blocs.....	43
2.1.2 Les différentes théories.....	45
2.1.2.1 L'hypothèse biblique et ses oppositions.....	46
2.1.2.2 Les autres hypothèses avancées.....	49
Les radeaux de glace.....	49
Les plans de glissement géants.....	50
Les explosions de gaz.....	50
Les restes d'anciennes montagnes.....	51
2.1.3 La théorie glaciaire.....	52
2.1.3.1 Les prémices.....	52
2.1.3.2 L'avènement.....	54
Jean-Pierre Perraudin de Lourtier et les observations paysannes.....	54
La débâcle du Giétro.....	57
Ignace Venetz, le précurseur méconnu.....	59
Charpentier, Agassiz et le triomphe de la théorie glaciaire.....	62
2.1.4 Synthèse.....	66
2.2 Le Quaternaire	69
2.2.1 Les glaciations passées.....	69
2.2.2 L'ère glaciaire actuelle.....	70
2.2.2.1 Le Quaternaire.....	71
2.2.2.2 Les causes des oscillations climatiques du Quaternaire.....	72
2.2.2.3 Les méthodes à disposition.....	74
Les forages des fonds marins et des calottes glaciaires.....	75
2.2.3 Le Würm ou la dernière période glaciaire.....	77
2.2.3.1 La fin d'une période clémente.....	78
2.2.3.2 De l'Eémien au Tardiglaciaire.....	79
2.2.3.3 Altitude atteinte par le complexe glaciaire rhodanien dans la région d'étude	81
2.2.3.4 Du LGM à l'Holocène : le Tardiglaciaire.....	82
2.2.4 Synthèse.....	85
3^{ème} partie : Cadre régional et méthodes	
Chapitre 3 : Présentation de la zone d'étude	87

3.1 Situation géographique.....	87
3.2 Cadre climatique.....	89
3.3 Contexte géologique.....	90
3.3.1 Histoire de la formation de la zone d'étude.....	92
 Chapitre 4 : Méthodes	 95
 4.1 Présentation des sites retenus.....	 95
4.1.1 Les sites antérieurs ou contemporains au LGM.....	96
4.1.2 Les sites postérieurs au LGM.....	96
4.2 Marche à suivre utilisée.....	97
 4^{ème} partie : Valorisation du patrimoine glaciaire	 <hr/>
 Chapitre 5 : Les sites antérieurs ou contemporains au LGM	 101
 5.1 Les collines de Saint-Triphon.....	 101
5.1.1 Description et caractéristiques.....	101
5.1.2 Morphogenèse.....	102
5.1.2.1 Géomorphologie glaciaire.....	103
5.1.3 Valorisation didactique.....	106
5.1.4 Caractéristiques touristiques.....	107
5.2 Le verrou glaciaire de Saint-Maurice.....	109
5.2.1 Description et caractéristiques.....	109
5.2.2 Morphogenèse.....	110
5.2.3 Valorisation didactique.....	113
5.2.4 Caractéristiques touristiques.....	114
5.3 Le plateau de Vérossaz.....	117
5.3.1 Description et caractéristiques.....	117
5.3.2 Morphogenèse.....	118
5.3.3 Valorisation didactique.....	119
5.3.4 Caractéristiques touristiques.....	120
5.4 La marmite glaciaire des Caillettes (Bex, VD).....	123
5.4.1 Description et caractéristiques.....	123
5.4.2 Morphogenèse.....	124
5.4.2.1 Le plateau de Chiètres et les paléocours du Rhône.....	124
5.4.2.2 Formation de la marmite glaciaire.....	125
5.4.3 Valorisation didactique.....	126
5.4.4 Caractéristiques touristiques.....	126
5.5 Les roches moutonnées de Massongex.....	129
5.5.1 Description et caractéristiques.....	129
5.5.2 Morphogenèse.....	129

5.5.3 Valorisation didactique.....	131
5.5.4 Caractéristiques touristiques.....	132
Chapitre 6 : Les sites postérieurs au LGM	135
6.1 Les blocs erratiques de Monthey.....	135
6.1.1 Description et caractéristiques.....	135
6.1.2 Morphogenèse.....	138
6.1.3 Valorisation didactique.....	139
6.1.3.1 La moraine à blocs de Monthey, de hier à aujourd'hui.....	140
6.1.4 Caractéristiques touristiques.....	142
6.2 Les blocs erratiques du Montet (Bex, VD).....	145
6.2.1 Description et caractéristiques.....	145
6.2.2 Morphogenèse.....	147
6.2.3 Valorisation didactique.....	147
5.6.4 Caractéristiques touristiques.....	148
6.3 Les deltas perchés.....	151
6.3.1 Description et caractéristiques.....	151
6.3.2 Morphogenèse.....	153
6.3.2.1 Remplissage sédimentaire du bassin chablaisien.....	154
6.3.2.2 Formation des deltas perchés.....	155
6.3.3 Valorisation didactique.....	157
6.3.4 Caractéristiques touristiques.....	158
6.4 La cascade de la Pissevache.....	159
6.4.1 Description et caractéristiques.....	159
6.4.2 Morphogenèse.....	161
6.4.3 Valorisation didactique.....	162
6.4.4 Caractéristiques touristiques.....	163
6.5 Les gorges du Trient.....	165
6.5.1 Description et caractéristiques.....	165
6.5.2 Morphogenèse.....	166
6.5.3 Valorisation didactique.....	166
6.5.4 Caractéristiques touristiques.....	166
6.6 Le cône du Bois-Noir.....	169
6.6.1 Description et caractéristiques.....	169
6.6.2 Morphogenèse.....	170
6.6.3 Valorisation didactique.....	171
6.6.4 Caractéristiques touristiques.....	172
6.7 Les collines de Chessel-Noville.....	173
6.7.1 Description et caractéristiques.....	173
6.7.2 Morphogenèse.....	173
6.7.2.1 Le Tauredunum.....	175

6.7.3 Valorisation didactique.....	176
6.7.4 Caractéristiques touristiques.....	176
Chapitre 7 : Propositions d'itinéraires didactiques	179
7.1 Itinéraire thématique 1 : « A la découverte de la théorie glaciaire »	179
7.2 Itinéraire thématique 2 : « Le verrou de Saint-Maurice et l'empreinte glaciaire ».....	181
7.3 Itinéraire thématique 3 : « Les formes de réajustement postglaciaire ».....	182
7.4 Synthèse.....	183
Chapitre 8 : Conclusion et perspectives	185
8.1 Synthèse globale.....	185
8.1.1 Un patrimoine glaciaire important mais méconnu.....	185
8.1.2 Apport de cette étude.....	185
8.1.3 Conclusion.....	186
8.2 Perspectives.....	186
A. Bibliographie.....	189
B. Annexes.....	203

Résumé

La plaine du Rhône située entre la ville de Martigny et le lac Léman possède un patrimoine glaciaire important, à l'origine de l'élaboration et de la diffusion de la théorie glaciaire. Suite à ce nouveau paradigme développé dans la première moitié du 19^{ème} siècle, les premiers mouvements de protection du paysage ont vu le jour avec la protection des blocs erratiques, à une période d'exploitation intensive de la pierre. Dès le 20^{ème} siècle, ce patrimoine glaciaire et la géoconservation en général ont cependant été mis de côté au profit des biotopes. Ce travail de recherche a pour objectif principal de redonner à ce patrimoine glaciaire son "prestige" d'antan en fournissant toutes les informations nécessaires à sa valorisation, ne laissant que la réalisation concrète des moyens de valorisation (sentiers didactiques, expositions, brochures d'information, sites internet, etc.) à effectuer.

Différents géomorphosites situés dans la cluse du Rhône et le Chablais témoignent de l'importante extension glaciaire que la Terre a connue par le passé et des fluctuations qui ont suivi. Il est ainsi possible de reconstituer au travers de leur analyse la paléogéographie de la région d'étude, des glaciations pléistocènes au paysage actuel, et de mettre en évidence l'action géomorphologique des glaciers. De plus, certains de ces sites ont été utilisés comme preuves directes d'une extension glaciaire passée importante et ont permis l'avènement de cette théorie révolutionnaire dans le domaine des sciences de la Terre. Certains d'entre eux ont de ce fait été protégés, marquant le début de la géoconservation en Suisse. Toutefois, ils sont rapidement tombés dans l'oubli, les organes de protection ne s'intéressant plus qu'au monde biotique.

Cette étude s'inscrit dans la nouvelle dynamique apparue ces dernières années en géographie dont le but premier est de rééquilibrer la balance afin de donner à la géoconservation la même importance et les mêmes instruments de protection que ceux actuellement présents pour le monde biologique. Une partie de ce travail touche donc au concept de paysage géomorphologique et tout ce qu'il englobe, ainsi qu'à l'étude du Quaternaire et de la théorie glaciaire. De plus, cette nouvelle dynamique est à mettre en parallèle avec celle apparue dans le domaine du tourisme, où une forme de tourisme durable en harmonie avec la nature s'est fortement développée depuis quelques années : le géotourisme. Ce dernier cherche à promouvoir par différents moyens la connaissance du patrimoine géologique et géomorphologique, car il faut avant tout connaître pour avoir envie de protéger et de conserver. L'utilisation de méthodes de vulgarisation scientifique adaptées est ainsi fondamentale afin de transmettre correctement un savoir scientifique peu abordable pour le grand public. La didactique des sciences de la Terre est pour cette raison un des enjeux majeurs de la valorisation du paysage. La deuxième partie de ce travail répond à cet enjeu, en fournissant d'une part toutes les informations nécessaires pour chaque site et en expliquant leur morphogenèse et, d'autre part, en vulgarisant ce savoir scientifique et en transmettant les différents critères permettant de définir la valeur touristique du site. Des exemples d'itinéraires didactiques réalisables selon différentes thématiques sont également présentés.

Remerciements

Ce travail de master est le résultat d'une année de recherche personnelle concluant plusieurs années d'études à l'Université de Lausanne. Pendant cette période, bon nombre de personnes m'ont aidé d'une manière ou d'une autre à mener à bien ma formation universitaire. Je tiens à les remercier chaleureusement, et en particulier les personnes suivantes :

- Le Prof. Emmanuel Reynard, directeur de ce mémoire, pour avoir tout d'abord su m'orienter sur ce sujet et pour avoir effectué le suivi de cette recherche ; la visite sur le terrain, les heures passées dans son bureau à répondre à mes (nombreuses) questions et à peaufiner mon travail, ses relectures et remarques pertinentes, etc., bref, sa disponibilité et ses nombreuses remarques ont fait de lui un directeur de mémoire exemplaire. Mais je tiens encore plus à le remercier pour m'avoir transmis sa passion pour cette magnifique science qu'est la géomorphologie et les sciences de la Terre en général. Ses cours de géographie physique et de géomorphologie ont été une révélation pour moi, bouleversant mes perspectives d'avenir.
- Sandro Benedetti, qui a accepté d'expertiser ce travail de mémoire. Je le remercie également pour m'avoir accordé une partie de son temps afin d'en savoir un peu plus sur les sentiers didactiques. Je me réjouis de notre collaboration future dans le cadre du Musée historique du Chablais.
- Le Prof. Philippe Schoeneich de l'Institut de Géographie Alpine de l'Université Joseph Fourier de Grenoble, pour m'avoir transmis sa passion pour les sciences du Quaternaire, ainsi que pour ses nombreuses remarques touchant à la géomorphologie du Quaternaire régional.
- Le Dr. Christophe Lambiel, pour sa gentillesse et pour m'avoir initié aux environnements périglaciaires.
- Ma famille, pour m'avoir toujours soutenu dans mes études et écouté avec attention dans mes monologues en rapport avec mes études. Merci pour tout ce que vous avez fait pour moi et continuez de m'apporter, rien n'aurait été possible sans vous!
- Christian Schulé, ancien directeur de l'Office du tourisme de Saint-Maurice et actuel conservateur du Musée historique du Chablais, pour avoir accepté d'être interviewé et pour l'amicale discussion que l'on a eue. Travailler avec lui dans les mois à venir dans le cadre du musée sera assurément très plaisant.
- Sylvain Couterrand, glaciologue, pour sa disponibilité en ces temps très chargés pour lui. Ses nombreuses remarques et documents transmis m'ont été fort utiles.
- Myriam Berney, pour m'avoir accueilli chez elle et pour m'avoir accompagné quelque peu sur le terrain. Merci à elle de m'avoir mis en contact avec M. Burri et M. Kuonen.
- Le géologue de renom qu'est Marcel Burri, pour m'avoir très chaleureusement accueilli dans sa demeure et pour la fructueuse conversation que l'on a pu tenir,

ainsi que pour tout ce qu'il a apporté aux sciences de la Terre.

- Antoine Kuonen, propriétaire du terrain où se trouve la marmite glaciaire des Caillettes.
- Les différents collaborateurs de L'IGUL, pour m'avoir soutenu de près ou de loin dans mes études et pour leur précieuse gentillesse. Je pense notamment à Géraldine Bissig, Cristian Scapozza, Georgia Fontana, Lenka Kozlik, David Theler, Luzius Thomi et Simon Martin.
- Mes amis et collègues qui m'ont accompagné tout au long de mes études, géographes, historiens et informaticiens.
- Toutes les personnes rencontrées lors de mes nombreuses "ballades" sur le terrain, pour leur accueil et les discussions inattendues que l'on a pu tenir.
- Vanessa, le bonheur de ma vie. Tenter de décrire ce que tu représentes pour moi serait utopique, les mots n'étant pas assez forts. Merci tout simplement d'être ce que tu es!

I. Introduction

Dans cette partie introductive, nous allons tout d'abord présenter globalement les différents thèmes traités dans ce travail. Nous allons ensuite introduire les objectifs et les raisons conduisant à choisir cette zone d'étude. Nous terminerons cette partie introductive par la présentation de la structure de ce travail de mémoire.

Paysage géomorphologique, géoconservation et géotourisme

Un intérêt croissant pour la géodiversité est apparu depuis plusieurs années, en Suisse notamment, et de nombreux travaux se rapportant à cette thématique ont été réalisés. Cette attention donnée au paysage est à mettre en parallèle avec la conjoncture actuelle, où réchauffement climatique et protection de la nature prennent de plus en plus d'ampleur. Et bien que la biodiversité reste la préoccupation majeure des organes de protection de la nature, la géodiversité, pourtant pionnière dans ce domaine, semble rattraper petit à petit le retard pris durant le 20^{ème} siècle. Afin de renforcer cette notion de géoconservation, le concept de paysage géomorphologique a été développé ces dernières années, auquel peuvent être attribuées différentes valeurs. Cela permet une évaluation objective de ces derniers, point central pour la création d'inventaires, qui sont de plus en plus fréquents. La notion de patrimoine géomorphologique est ainsi venue rejoindre la large liste des différents types de patrimoine à protéger et à conserver pour les générations futures. Toutefois, le peu de bases légales et d'instruments de planification pour la protection d'objets géologiques et/ou géomorphologiques, au contraire de ceux touchant à la flore et la faune, démontre qu'il reste encore beaucoup de chemin à accomplir.

Comme exposé précédemment, l'intérêt grandissant pour la protection de la nature démontre une réelle prise de conscience de la part de la population, qui souhaite passer du statut de spectateur passif à celui d'acteur concerné. De ce fait, une nouvelle discipline a vu le jour dans le domaine des sciences de la Terre et de l'éducation : la géodidactique. Elle permet la vulgarisation des connaissances scientifiques afin de sensibiliser un large public ainsi que de répondre aux attentes du géotourisme, nouvelle forme de tourisme qui se veut être durable et en harmonie avec la nature. De plus, les personnes entrant dans cette catégorie de touristes souhaitent apprendre tout en passant du bon temps, d'où l'importance de développer des méthodes de vulgarisation adaptées.

Le Quaternaire et la théorie glaciaire

La Terre a connu différentes périodes glaciaires au cours de son histoire, où les glaciers et les calottes polaires se sont fortement développés. La dernière période glaciaire, dénommée *Quaternaire* ou *Pléistocène*, s'est amorcée il y a 2,4 millions d'années et compte de nombreux épisodes glaciaires. Le dernier en date, appelé *Würm* en Europe continentale, a vu le complexe glaciaire rhodanien envahir toute la vallée du Rhône et le plateau suisse et français ; il a atteint les environs de Soleure au N et ceux de Lyon au SW. Le paysage a ainsi été profondément modelé par cet énorme glacier. Les caractéristiques topographiques

de la ville de Lausanne ou Lavaux, par exemple, sont directement corrélables au passage du glacier.

Toutefois, comme tout savoir scientifique, il n'a pas toujours été évident que la Terre avait connu par le passé d'importantes extensions glaciaires, bien au contraire. Jusqu'au milieu voire la fin du 19^{ème} siècle, l'emprise de l'Eglise catholique sur le monde scientifique empêchait tout raisonnement en contradiction avec les écrits bibliques. Ainsi, les premiers à avoir émis l'hypothèse d'une importante glaciation dans le passé de la Terre faisaient face à une virulente opposition. Mais rien ne pouvait plus les arrêter, les preuves géomorphologiques ne laissant pas le choix à d'autres théories. Et c'est dans les Alpes suisses que tout a commencé...

Les blocs erratiques, ces étranges rochers positionnés çà et là sur des formations lithologiques n'ayant aucun lien avec les caractéristiques pétrographiques des blocs, ont depuis longtemps intrigué spécialistes et autochtones. Et c'est en tentant de trouver une explication rationnelle à leur mode de dépôt que la théorie glaciaire est née. Ainsi, après que de nombreuses hypothèses aient été avancées, celle d'un transport par les glaciers a vu le jour dans le Val de Bagnes sur les inspirations étonnantes d'un paysan chasseur de chamois, observateur fort habile. Elle a été par la suite développée dans le Chablais et les vallées avoisinantes, notamment grâce aux nombreuses traces laissées par le passage des glaciers. Et c'est suite à l'appui de scientifiques de renom qu'elle a pu être acceptée et diffusée, difficilement certes, en Suisse puis dans le monde entier, pour donner naissance à un nouveau paradigme et à une nouvelle discipline des sciences de la Terre : la glaciologie.

Le patrimoine glaciaire et sa valorisation

La zone d'étude de ce travail possède un patrimoine glaciaire important. D'une part il couvre une large période temporelle, des premières glaciations quaternaires jusqu'à aujourd'hui, plusieurs sites étant encore actifs et, d'autre part, certains d'entre eux sont en lien direct avec l'avènement et la diffusion de la théorie glaciaire. De plus, ils permettent d'observer facilement, en plaine, les différentes preuves géomorphologiques du passage d'un glacier (moraines, blocs erratiques, marmite glaciaire, roches moutonnées et striées, épaulement glaciaire, etc.), ainsi que les formes de réajustement après le retrait dudit glacier (gorge et cascade de raccordement, système torrentiel, éboulement). Il est donc possible de comprendre, au travers de l'étude des différents sites sélectionnés, la paléogéographie de cette partie de la vallée du Rhône et, d'une manière générale, l'influence des glaciers sur la morphologie des vallées alpines.

On a pu voir que la protection du patrimoine géomorphologique, précisément le patrimoine glaciaire, est à l'origine des premiers mouvements de protection du paysage en Suisse au 19^{ème} siècle. En effet, une fois la théorie glaciaire acceptée, on a rapidement pris conscience de l'importance de protéger ces rochers d'un autre temps, témoins de l'histoire passée de notre Terre, qui plus est à une époque où l'exploitation granitique battait son plein. Toutefois, cet intérêt s'est estompé presque aussi rapidement qu'il est arrivé, les biotopes devenant dès le 20^{ème} siècle la préoccupation majeure des organes de protection de la nature.

Ce travail s'insère dans la dynamique relativement récente en géographie touchant à la

géoconservation et visant à donner aux géotopes la même importance que les biotopes, car la diversité géologique est à la base de la diversité biologique (Panizza & Piacente, 2004). Il est donc primordial de protéger les géotopes, mais également de les valoriser afin de sensibiliser le grand public et non uniquement les spécialistes. Le patrimoine glaciaire de la cluse du Rhône et du Chablais, qui possède une longue et importante histoire, est de nos jours clairement délaissé ou méconnu par les milieux touristiques et par l'ensemble de la population. Il est de ce fait primordial de le mettre en valeur afin d'assurer sa pérennité et sa transmission aux générations futures. De plus, le réchauffement climatique actuel pouvant conduire à terme à une disparition généralisée des glaciers alpins, il est d'autant plus important de conserver les traces, les preuves géomorphologiques d'une importante extension glaciaire passée.

II. Objectifs

En tenant compte de ce qui a été dit préalablement, un objectif principal, ainsi qu'un certains nombres d'objectifs secondaires, peuvent être développés. Le but premier de cette étude est le suivant :

- **Fournir toutes les informations nécessaires permettant une valorisation du patrimoine glaciaire de la zone d'étude.**

En effet, l'objectif de ce travail est d'apporter à la personne ou organisme concerné une base théorique complète afin de faciliter la valorisation de ce patrimoine glaciaire, destinée principalement au géotourisme et aux écoles. Seule restera à effectuer la réalisation pratique des différents moyens de valorisation (sentiers didactiques, panneaux, expositions, sites internet, etc.). De ce but principal découlent donc différents objectifs secondaires afin d'atteindre le résultat souhaité :

- Dans un premier temps, il faut transmettre les éléments nécessaires à la compréhension de l'élaboration et de la diffusion de la théorie glaciaire et de son lien avec la zone d'étude, pilier central de ce travail.
- Dans un deuxième temps, il incombe de sélectionner les sites susceptibles d'être valorisés.
- Par la suite, il est important de bien étudier et comprendre la morphogenèse des différents sites, en se basant sur la littérature scientifique existante et sur nos connaissances personnelles.
- Le quatrième objectif secondaire consiste à développer une méthode de vulgarisation scientifique adaptée afin de rendre accessible à tout un chacun les différentes explications scientifiques sur la formation des sites. Cette étape est fondamentale, car c'est à ce moment qu'une sensibilisation doit se faire chez le lecteur.
- Ensuite, une présentation des différentes offres touristiques déjà présentes proches des sites ainsi que des synergies réalisables est à effectuer. Nous présenterons également les critères permettant de définir la valeur touristique desdits sites (valeur éducative, accessibilité, lien avec la théorie glaciaire, intégrité et points d'observation).

- Le dernier objectif consiste à réaliser des propositions d'itinéraires didactiques réalisables, toujours dans le but de faciliter la valorisation future de ce patrimoine glaciaire.

Ainsi, au travers de ces différents objectifs à atteindre, nous pouvons voir que ce travail va s'articuler en plusieurs étapes, dont le résultat final est de faire connaître le patrimoine glaciaire de la zone d'étude et son importance dans l'élaboration et la diffusion de la théorie glaciaire, dans le but d'en assurer sa conservation. Cette recherche doit donc mettre en avant les relations existantes entre paysage, géomorphologie, histoire des sciences de la Terre et patrimoine.

III. Choix de la zone d'étude

La zone d'étude choisie pour ce travail a été définie pour des raisons bien précises. Premièrement, comme on vient de le voir, c'est dans cette partie de la plaine du Rhône qu'est née la théorie glaciaire. Et comme nous le découvrirons plus en détail au chapitre 2, c'est en visitant la plaine chablaisienne, ses versants ainsi que le Jura que les opposants à cette théorie ont constaté l'erreur de leur jugement premier pour se convertir à ce nouveau paradigme, les preuves géomorphologiques ne laissant aucune autre hypothèse acceptable. Deuxièmement, suite à l'avènement de cette théorie, on a mis sous protection plusieurs de ces témoins géomorphologiques, ce qui a marqué les débuts de la géoconservation et de la protection du paysage en général en Suisse. Certains de ces sites ont donc une importance toute particulière ayant été les premiers objets naturels à être protégés.

Nous avons volontairement limité notre zone d'étude à la plaine du Rhône pour deux raisons : d'une part, au vu de la taille du territoire en tenant compte des vallées latérales, il aurait été trop ambitieux de vouloir présenter et valoriser tout le patrimoine glaciaire présent dans le cadre d'un travail de mémoire. D'autre part, la théorie glaciaire étant le centre de gravité de cette recherche, c'est dans la plaine chablaisienne que se trouve une partie des blocs erratiques ayant servi à l'avènement de cette théorie. De plus, en survolant la zone d'étude, on se rend compte de l'important patrimoine glaciaire "en dormance" qu'elle possède.

IV. Structure du travail

Ce travail s'articule en plusieurs parties en fonction des objectifs à atteindre, que l'on peut définir ainsi :

- La **première partie** touche au cadre théorique dans lequel s'insère cette étude (ch. 1 et 2). Nous présenterons ici le concept de **paysage géomorphologique** et tout ce qui s'y rapporte (ch. 1), puis nous nous attarderons en détail sur la **théorie glaciaire**, son historique (ch. 2.1) ainsi que sur la période **Quaternaire** (ch. 2.2).
- La **seconde partie** concerne la présentation de la **zone d'étude** (ch. 3) ainsi que des **méthodes** utilisées (ch. 4). Cette partie doit permettre de situer géographiquement et géologiquement la zone d'étude, mais également de comprendre la démarche utilisée pour la valorisation des différents sites.

- La **troisième partie** s'attarde sur l'objet central de ce travail, à savoir la présentation et la valorisation du **patrimoine glaciaire** sélectionné (ch. 5 et 6). Comme nous le verrons au chapitre 4, cette partie suit une démarche bien précise pour plusieurs raisons. Ces deux chapitres représentent l'élément central de ce travail. Nous terminerons ce dernier par des propositions d'itinéraires didactiques selon des thèmes définis (ch. 7), puis en effectuant une synthèse générale et des perspectives d'avenir (ch. 8).

2^{ème} partie : Cadre théorique

Dans cette partie théorique, nous allons premièrement introduire et expliquer les différents concepts en lien avec le patrimoine géomorphologique (chapitre 1). Nous nous attarderons ensuite sur l'émergence de la théorie glaciaire et son importance pour la région étudiée, autant au niveau de la naissance de cette théorie que de son rôle pour la compréhension de la morphogénèse de la zone d'étude (ch. 2.1). Nous finirons cette partie théorique par une présentation des époques glaciaires que la Terre a connues, en nous focalisant principalement sur la dernière grande période glaciaire (ch. 2.2). En effet, cette dernière période glaciaire a profondément marqué le paysage de notre zone d'étude et de nos régions en général, laissant des preuves de son passage, dont la valorisation est au centre de cette étude.

1. Le paysage géomorphologique

Avant d'intégrer la notion de paysage géomorphologique, nous allons tout d'abord introduire brièvement le concept de paysage en géographie, son évolution et sa définition actuelle (ch. 1.1). Le paysage géomorphologique et les différentes valeurs qui lui sont associées seront présentés par la suite (ch. 1.2), pour arriver finalement au concept central de cette étude, le patrimoine géomorphologique et les différents termes qui y font référence (géotope, géodiversité, protection, valorisation, etc.) (ch. 1.3).

1.1 Le concept de paysage en géographie

Le concept de paysage est apparu pour la première fois en Occident sous sa forme germanique, où dès le Moyen Age le *Landschaft* désignait une région de moyenne dimension où se déroulait la vie de petites unités humaines (Rougerie & Beroutchachvili, 1991). Au début de l'époque moderne, le terme fit son apparition dans l'Italie de la Renaissance, où le mot *paesaggio* représentait l'étendue toute entière que l'on pouvait embrasser du regard (Reynard, 2004a). La polysémie du paysage était ainsi soulignée dès l'apparition du mot dans le monde occidental. Ce caractère polysémique s'accrut par la suite, le terme évoluant en géographie suivant deux lignes distinctes : d'un côté on trouve l'approche naturaliste des biogéographes, symbolisée par Alexandre von Humboldt, et de l'autre celle des géographes de la perception.

Dans le premier cas, le paysage est considéré comme un agencement d'éléments biotiques et abiotiques formant le milieu dans lequel vivent les êtres humains et la faune. C'est une approche naturaliste articulant « *l'approche « horizontale » des géographes, qui examinent les relations spatiales existant entre différents phénomènes naturels, et l'approche « verticale » des écologues, qui étudient les relations fonctionnelles dans un site donné, l'écotope* » (Naveh & Liberman, 1994, cité par Reynard, 2004a : 10). Cette vision considère donc le paysage comme une entité fonctionnelle, un milieu vital pour les espèces, et non comme une entité statique (Reynard, 2005).

Quant à l'autre conception de l'analyse du paysage, née de la géographie culturelle et humaniste, elle considère le paysage comme un signe, un symbole décodé par une société (Rougerie & Beroutchachvili, 1991). Cette vision humaniste du paysage se focalise sur le sujet, l'observateur, sans qui le paysage ne pourrait pas être perçu, donc exister. Elle relève ainsi de la subjectivité.

Actuellement, les géographes du paysage tentent de contrer cet affaiblissement sémantique lié à la polysémie du mot *paysage* par la recherche d'une définition plus englobante du terme. La conception utilisée aujourd'hui est en quelques sortes un mélange de ces deux approches, intégrant d'un côté les composantes objectives de l'approche naturaliste, et de l'autre l'importance du caractère subjectif d'un paysage. Ainsi, le paysage peut être considéré simplement comme (Reynard, 2005 : 107) :

« Une portion de l'espace géographique vue et perçue par l'Homme ».

Il n'est donc jamais neutre, l'observateur y donnant toujours un sens subjectif. Différentes définitions sont proposées pour le concept de *paysage* ; nous retiendrons celle proposée par Grandgirard (1997 : 44), qui souligne bien la difficulté et l'importance de lier les différents aspects du paysage :

«Le paysage consiste en une portion d'espace située à l'interface nature-société. La disposition spatiale des composants de cet espace fournit une infinité d'images potentiellement offertes à la vue. Parmi ces dernières, seules celles qui sont perçues par un observateur sont considérées comme des paysages effectifs. Ceux-ci n'existent que dans un intervalle d'échelles donné, délimité par les spécificités de la vision humaine. Conçus comme médiateurs entre les hommes et leurs milieux de vie, les paysages représentent un facteur d'identité primordial. Cette propriété, associée au fait qu'ils jouent un rôle d'archive (palimpseste), est à l'origine de la valeur des paysages en tant que patrimoine naturel et culturel ».

Le paysage correspond donc à un ensemble complexe comprenant des composantes physiques purement objectives, constituées d'éléments biotiques, abiotiques et anthropiques, mélangées à des composantes subjectives dépendant de l'observateur. Donc pour que la nature, c'est-à-dire les éléments objectifs, devienne paysage, il faut une perception de celle-ci à travers une personne la contemplant.

Nous allons maintenant nous attarder sur un type de paysage en particulier, le paysage géomorphologique.

1.2 Le paysage géomorphologique et ses différentes valeurs

D'un point de vue étymologique, la géomorphologie vient du grec *gê-* (=Terre) *-morphê-* (=forme) *-logos* (=étude). Elle correspond donc à l'étude des formes du relief terrestre et des processus les créant et/ou les modifiant. De ce fait, l'analyse paysagère fait partie intégrante de la géomorphologie, puisque par définition, elle implique l'intervention d'une personne étudiant le relief.

C'est ainsi que Reynard, afin de souligner l'importance de la géomorphologie sur le

1. Le paysage géomorphologique

paysage, proposa le terme de *paysage géomorphologique* (Reynard, 2005 : 107), qu'il définit comme :

« Une portion du relief terrestre, vue, perçue (et parfois exploitée) par l'Homme ».

Grâce à ce **filtre perceptif** qu'endosse tout sujet contemplant un paysage géomorphologique, différentes valeurs vont pouvoir être attribuées à ce dernier. Panizza et Piacente (1993) définirent 4 types de valeurs d'un paysage géomorphologique, à savoir une valeur scientifique, esthétique, économique et historique/culturelle et religieuse. Reynard (2005) proposa une cinquième valeur, la valeur géoécologique. Il proposa également de distinguer une valeur centrale (scientifique) et des valeurs additionnelles (écologique, culturelle, esthétique, économique). Bien entendu, un paysage géomorphologique peut combiner ces différentes valeurs, et ces dernières peuvent également évoluer dans le temps.

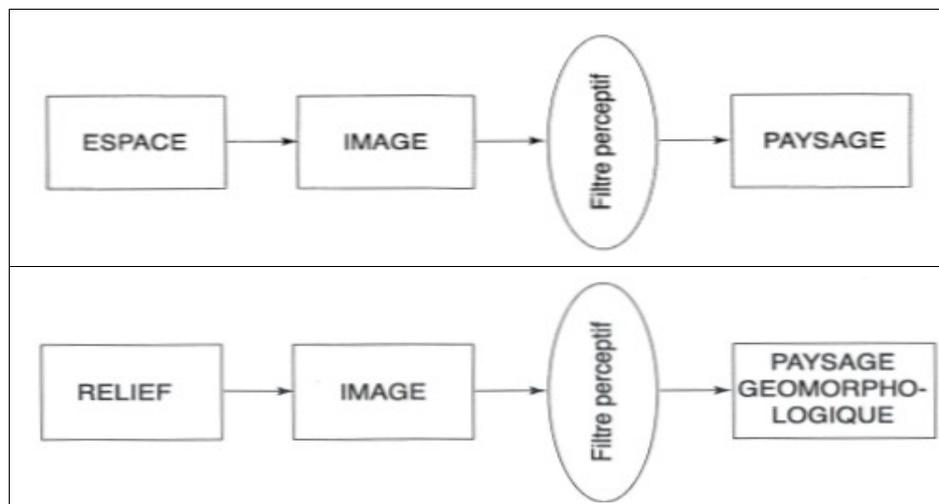


Fig. 1.1 : en haut : de l'espace au paysage. En bas : du relief au paysage géomorphologique (Grandgirard 1997 ; Reynard 2004a).

L'Institut de Géographie de l'Université de Lausanne (IGUL) a développé une méthode d'évaluation des géomorphosites (Reynard, 2006 ; Reynard et al., 2007a). Inspirée de travaux précédents de différents auteurs (voir par exemple Grandgirard, 1997, 1999 ; Rivas et al., 1997 ; Coratza & Giusti, 2005), cette méthode prend en considération des critères objectifs d'évaluation afin d'y réduire la subjectivité. De plus, elle ne tient pas uniquement compte de la valeur scientifique d'un site, mais y intègre également les valeurs additionnelles. Nous verrons au chapitre suivant (ch. 1.3) que ces notions de valeurs scientifiques et additionnelles sont au centre des concepts de géotopes et de géomorphosites.

Le but de ce travail n'est pas d'évaluer les différents sites présentés ; cependant il est tout de même important de connaître ces différentes valeurs (brièvement présentées ci-dessous). Pour une étude complète utilisant la méthode d'évaluation développée par l'IGUL et décrivant en détail les différentes valeurs et la manière de les noter quantitativement, nous renvoyons le lecteur aux travaux de Pralong (2006), Kozlik (2006), Genoud (2008) ou Fontana (2008).

1.2.1 La valeur scientifique

La valeur (géo)scientifique correspond au rôle du paysage en tant que témoin de l'histoire de la Terre. En effet, chaque paysage géo(morpho)logique porte en lui les marques, les preuves de son histoire géo(morpho)logique souvent complexe. C'est ce que Marthaler (2003) appelle « *la mémoire géodynamique* » de la Terre. Le travail du scientifique consiste ainsi à déchiffrer ces différentes traces afin de reconstituer l'histoire de la morphogenèse d'un site. Dans ce travail de mémoire, nous verrons en quoi les différents sites présentés sont des témoins de la paléogéographie de la cluse du Rhône et du Chablais, plus précisément de la dernière glaciation du Pléistocène (voir chap. 2) et des fluctuations qui suivirent, jusqu'à la formation du paysage actuel.

Les critères d'évaluation de la valeur scientifique d'un site retenus dans la méthode développée par l'IGUL sont l'intégrité, la représentativité, la rareté et la valeur paléogéographique.

1.2.2 La valeur esthétique

Cette valeur correspond à l'apport des formes du relief à l'esthétique paysager. Elle a indéniablement un caractère relatif et subjectif ; il est donc difficile de l'évaluer objectivement. Les critères retenus par l'IGUL afin de limiter au maximum cette subjectivité sont les points de vue, le contraste (par rapport au paysage environnant), le développement vertical et la structuration de l'espace.

1.2.3 La valeur économique

Certains paysages géomorphologiques peuvent, selon l'utilisation que l'Homme en fait, devenir des sources de profits importants. Ainsi, bon nombre de sites touristiques doivent leur attrait à leur beauté paysagère. Sont également pris en considération les sites où une exploitation industrielle, rendue possible par des processus géomorphologiques, génère des profits (par exemple des drumlins transformés en carrière).

1.2.4 La valeur culturelle

Le terme de « culture » doit ici être pris au sens large¹ (voir également les travaux de Panizza et Piacente (2003)). Il correspond à l'importance religieuse, artistique et littéraire, historique, symbolique ou encore géohistorique que peut endosser un géomorphosite. Ce type de valeur va donc dépendre de la fonction représentative d'un site par rapport aux événements qui s'y sont déroulés et du rôle de symbole qu'il représente ainsi pour l'Homme. La construction d'un château fort, d'une abbaye ou la présence de vestiges archéologiques sur un géomorphosite sont autant d'exemples montrant la valeur historique ou religieuse que peuvent prendre des géomorphosites. Et lorsqu'un paysage géomorphologique, de par ses caractéristiques particulières, suscite une production artistique ou devient un symbole pour une société, une valeur culturelle peut lui être attribuée. La valeur géohistorique correspond quant à elle à l'importance du site pour l'histoire des sciences.

1.2.5 La valeur géoécologique

La valeur géoécologique du paysage va dépendre de l'importance de la relation et de la dépendance entre un ou plusieurs écosystèmes et leur environnement géomorphologique. Bon nombre d'espèces végétales, mais aussi animales, vont pouvoir s'épanouir selon les caractéristiques géomorphologiques de leur milieu, d'où l'importance de conserver et protéger certains géomorphosites, comme les zones marécageuses ou les marges proglaciaires par exemple.

Les deux critères retenus sont l'influence écologique et la protection du site (si ce dernier est protégé pour des raisons écologiques).

1.3 Le concept de patrimoine géomorphologique

Ce chapitre a pour but de présenter le concept de patrimoine géomorphologique, son origine et les termes qui lui sont associés (géoconservation, patrimoine géologique et géomorphologique, géodiversité, géotope, etc.). Nous verrons ensuite comment se gère un patrimoine géomorphologique, et surtout quelles sont les raisons et quels sont les objectifs de conserver et valoriser ce type de patrimoine, point central de cette étude.

¹ « dans son sens le plus large, la culture peut aujourd'hui être considérée comme l'ensemble des traits distinctifs, spirituels et matériels, intellectuels et affectifs, qui caractérisent une société ou un groupe social. Elle englobe, outre les arts et les lettres, les modes de vie, les droits fondamentaux de l'être humain, les systèmes de valeurs, les traditions et les croyances.[...] Le patrimoine culturel d'un peuple s'étend aux oeuvres de ses artistes, de ses architectes, de ses musiciens, de ses écrivains, de ses savants, aussi bien qu'aux créations anonymes, surgies de l'âme populaire, et à l'ensemble des valeurs qui donnent un sens à la vie. Il comprend les oeuvres matérielles et non matérielles qui expriment la créativité de ce peuple : langue, rites, croyances, lieux et monuments historiques, littérature, oeuvres d'art, archives et bibliothèques. » UNESCO (1982).

Le patrimoine géomorphologique et ses termes associés

La nature, en tant qu'« *ensemble des êtres et des choses qui constituent l'univers, le monde physique* » (Larousse, 2005), ne se limite pas au monde du vivant. Ainsi la protection de la nature doit toucher à tous les domaines du monde physique, et non se restreindre à la faune et la flore, car comme l'ont souligné Panizza et Piacente (2004), la variété des environnements géologiques est à la base de la variété de la Vie sur Terre.

De nos jours, la géoconservation est largement sous-développée par rapport à la conservation du monde biologique. La notion de géotope est encore bien peu connue du grand public, au contraire de celle de biotope. Pourtant, la conservation d'objets géologiques ou géomorphologiques a une longue histoire.

1.3.1 La géoconservation, de son origine à nos jours

Avant de parler de l'engouement du 19^{ème} siècle pour la protection de sites géologiques ou géomorphologiques, et donc des prémices de la géoconservation, il est important de remettre brièvement cette période dans son contexte.

1.3.1.1 La naissance d'une science nouvelle : la géologie moderne

Jusqu'à la fin de la Renaissance, l'emprise de l'Eglise catholique sur le monde scientifique était très importante. Toute théorie en contradiction avec les pensées religieuses et remettant en cause la véracité des écrits bibliques était violemment réprimandée et discréditée. La révolution copernicienne et l'affaire Galilée sont deux exemples célèbres de la puissance religieuse de l'époque et de leur volonté d'éliminer tout opposant aux théories bibliques. Cependant, alors que les dogmes de l'Eglise catholique vont perdurer jusqu'à la fin du 19^{ème} siècle, de plus en plus de voix remettant en cause les propos bibliques se font entendre dès la fin du Moyen-Age. C'est particulièrement le cas pour les sciences de la Terre, qui cherchent à se libérer de la Genèse et du Déluge. La question de l'origine des fossiles fait couler beaucoup d'encre : face aux partisans des écrits bibliques, qui voient en ces fossiles les restes du Déluge, commencent à se positionner de plus en plus d'opposants à cette théorie. Et la désacralisation progressive de la société ne va que renforcer leur position.

Au 17^{ème} siècle, bien que la religion soit toujours omniprésente, la porte de la géologie moderne commence à s'entrouvrir. Léonard de Vinci et René Descartes, pour ne citer que les plus célèbres, s'intéressent quelque peu aux sciences naturelles et réfutent l'origine biblique des fossiles, tout en se gardant de le clamer haut et fort par peur des repressions. Mais, quelques temps après, un certain Nicolas Sténon va littéralement pulvériser cette porte et réduire les théories bibliques en cendres en créant une nouvelle science, « *synthétique et coordonnée : la géologie véritable, que nous attendions depuis deux mille ans* » (Ellenberger, 1994a : 232). Ce scientifique danois apporta tellement d'éclairages et de concepts nouveaux que certains parlent même de « *révolution sténonienne* » (Ellenberger, 1994a : 318). On devrait voir en lui le véritable fondateur de la géologie moderne. Cependant, cette incroyable maturité (géo)scientifique, qui fait la force de Sténon

aujourd'hui, était entre guillemets sa faiblesse à l'époque ; l'homme était en avance d'un siècle sur son temps : « *il fallut attendre encore plus de cent ans, jusqu'à la fin du XVIIIe siècle, pour que les graines plantées par Sténon commencent à germer, et le milieu du XXe siècle pour qu'elles atteignent leur pleine floraison* » (Cutler, 2006 : 18).

Ce n'est qu'au 18^{ème} siècle que l'on réussit à se délier progressivement du dogme catholique qui pesait sur l'origine et l'âge de la Terre, stipulant que la Terre s'était créée en 6 jours il y a 5 à 6'000 ans (Cutler, 2006). La lenteur des phénomènes géologiques commence à être acceptée, libérant la voie au développement des sciences de la Terre. Une véritable "révolution scientifique" va suivre, avec un regard nouveau de l'Homme sur l'Univers et la Nature : « *de déesse universelle, elle(la Nature) devient une machine.[...] La victoire est totale sur le vitalisme de la Renaissance* » (Ellenberger, 1994a : 213). L'acceptation progressive de la lenteur des phénomènes géologiques et de son concept-clé qu'est la durée, ainsi que les différentes tentatives conduisant à la datation de l'âge de la Terre, vont nous réduire à un simple souffle dans l'histoire de la Terre. De sujet central, l'Homme est réduit au rang d'acteur insignifiant. Coup dur pour l'Eglise! C'est ainsi qu'émerge un nouveau paradigme, celui de la géologie moderne. Le terme « *géologie* » apparaît, désignant l'entreprise commune à tous ceux qui s'intéressent au passé de la Terre. C'est à cette période également qu'apparaît le mot « *biologie* » (Gohau, 1990). En 1795 est publiée la célèbre « *Théorie de la Terre* » de James Hutton, considéré comme un des pères de la géologie moderne avec Playfair et Lyell.

La géologie moderne est de ce fait officiellement née, et avec elle la prise de conscience de préserver l'héritage géologique légué par notre planète au fil des temps géologiques.

1.3.1.2 les débuts de la géoconservation

La géoconservation prend racine au moment de l'émergence de la géologie moderne, et va de pair avec la prise de conscience de la lenteur des phénomènes géologiques. Dans ce nouveau paradigme, on s'est rapidement rendu compte de l'importance de conserver certains sites ou objets géologiques, véritables témoins de l'histoire de notre planète.

Ainsi, au début du 19^{ème} siècle, la première tentative de protection d'un paysage est entreprise Outre-Manche : l'exploitation de pierres des escarpements rocheux de Salisbury à Edinburgh, en Ecosse, avait un tel impact sur le paysage qu'une action légale fut entreprise en 1819 afin d'éviter toute détérioration supplémentaire (McMillan, 1999, cité par Gray, 2004). Les Allemands créèrent en 1836 la première réserve géologique naturelle à Siebengebirge, et le Parc Naturel de Yellowstone, aux Etats-Unis, fut créé en 1872 (Gray, 2004). En ce qui concerne la Suisse, le premier objet à avoir été protégé en Suisse concerne le patrimoine géomorphologique, puisque c'est un bloc erratique, la Pierre-à-Bot à Neuchâtel, qui fut protégé en 1838. L'« *Appel aux Suisses pour les engager à protéger les blocs erratiques* » fut lancé en 1867 par deux professeurs de géologie de l'Université de Genève, M. Favre et M. Studer, tout comme la campagne menée par Fritz Muhlberg dans les années 1870 pour protéger les blocs erratiques géants de l'exploitation (Jäckli 1979, cité par Gray, 2004). Ceci est une des premières actions d'envergure afin de protéger des objets géologiques en Suisse (Reynard, 2004b ; Reynard & Bissig, 2007), et est étroitement corrélable à l'émergence de la théorie glaciaire (voir ch. 2.1).

Dès lors, un réel engouement va suivre avec notamment la protection de nombreux blocs

erratiques comme nous le verrons ci-après (chap. 2.1), la création d'inventaires, de cartes, d'associations, etc.. Mais, comparable à un phénomène de mode, cet engouement s'estompa aussi vite qu'il arriva, malgré un dernier soubresaut avec le véritable combat de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles (SVSN) pour protéger le plus beau des blocs erratiques, la Pierre des Marmettes de Monthey (ch. 2.1 et ch. 6.1). Le dernier bloc vaudois a été protégé en 1934 (Bloc de Coulet à St-Prex) (Aubert, 1989), et depuis cette date les blocs erratiques sont tombés en quelque sorte dans l'oubli, les principales associations se préoccupant dès lors de la protection de la biodiversité, mettant au second plan les géotopes.

1.3.1.3 La géoconservation aujourd'hui

Le 20^{ème} siècle peut être vu comme le siècle de la conservation du monde biologique, au mépris du monde abiotique. Ce n'est que dans les années 80 que l'on (re)prit conscience de l'importance de préserver les objets géologiques et géomorphologiques. On peut fixer à cette période l'apparition (ou plutôt la renaissance) de la géoconservation et des termes qui lui sont apparentés (géotopes, patrimoines géologiques et géomorphologiques, géodiversité, etc.)

Le terme *géoconservation* est un mot moderne qui est apparu dans les années 2000 comme alternative à celui de "conservation géologique et géomorphologique"². La géoconservation regroupe donc toutes les mesures prises au sujet des objets géologiques et géomorphologiques méritant une attention particulière en vue de leur conservation pour les générations à venir. Cela inclut une protection de ces derniers face à toutes menaces pouvant leurs porter atteinte. Cependant, on va parler de *conservation* et non de *protection* afin de mieux souligner la liberté d'action laissée aux processus naturels pouvant affecter le site ; « [...] *nature conservation must allow natural processes to operate and natural change to occur* » (Gray, 2004). Le but est donc de limiter au maximum ou de restreindre totalement les impacts anthropiques. Le niveau de protection va dépendre du type de site à préserver et de l'objectif de valorisation de ce dernier (voir ch. 1.3.5). Ainsi, un géotope à haute valeur scientifique devra être strictement préservé et donc protégé, tandis qu'un site à haute valeur pédagogique aura un niveau de protection légèrement inférieur, car il faut laisser l'opportunité au public de le visiter ou d'être "en contact" avec lui. Chaque géotope demande donc une approche particulière et personnalisée. Ce concept de protection et de conservation de géotopes inclut la notion de patrimoine, terme utilisé que récemment en sciences de la Terre.

1.3.2 Le patrimoine géologique et géomorphologique

La notion de patrimoine en sciences de la Terre est un concept récent. Il fallut attendre la fin du 20^{ème} siècle pour que la notion de patrimoine géologique et géomorphologique se trouve une place à côté de celle de patrimoine culturel. Pourtant la nature, tout comme le domaine architectural ou culturel en général, est également objet de patrimoine, qu'il faut préserver et transmettre aux générations futures (Reynard, 2007).

2 www.geoconservation.com, consulté en octobre 2008.

Le terme de *patrimoine* peut être défini comme un héritage, collectif ou individuel, culturel ou naturel, matériel ou immatériel, à préserver et transmettre de génération en génération. Le patrimoine concerne donc tous les domaines méritant d'être préservés, et ne doit pas se limiter au monde culturel et à la nature biotique. Si l'on prend soin de conserver tout témoignage d'une époque passée d'un point de vue culturel, comme par exemple des temples égyptiens ou des sculptures grecques ou romaines, pourquoi laisser de côté les sites naturels témoignant de l'histoire de notre Terre? Ca serait une preuve d'égoïsme envers la Terre qui nous supporte et sur laquelle nous ne sommes que de passage. C'est donc dans le but de combler cet "oubli" que depuis plusieurs années des recherches sont menées et des actions entreprises dans le domaine des sciences de la Terre. On va dès lors parler de *géopatrimoine* pour faire référence à un objet géologique ou géomorphologique à valeur patrimoniale. De plus, outre la valeur purement scientifique desdits sites, ils peuvent également avoir d'autres valeurs aux yeux de la société (esthétique, économique, culturelle, écologique), ce qui accentue encore un peu plus le besoin de les conserver et de les transmettre.

Comme dit précédemment, le concept de patrimoine en géomorphologie et en géologie est largement sous-développé par rapport à celui du monde biotique. La préservation des espèces et de leurs environnements est au centre de tous les débats aujourd'hui, contrairement à celle du monde naturel abiotique. *Biodiversité* et *biotope* sont des termes connus du grand public. Les chercheurs dans le domaine du géopatrimoine ont décidé de se servir de cette connaissance déjà acquise par le public afin de faire connaître leurs centres d'intérêts ; ainsi, le terme de *géodiversité* est venu se joindre à celui de *biodiversité*, et du mot *biotope* est né celui de *géotope*. Ils espèrent de ce fait faciliter l'introduction de ces termes dans l'esprit des gens grâce à cette ressemblance syntaxique voire sémantique.

Et d'un point de vue politique, cette similitude permet de simplifier la compréhension et la prise en compte de ces termes. Le concept de *géodiversité*, compris comme le frère jumeau de celui de *biodiversité*, devient plus facilement accessible pour les politiciens et donc intégrable aux programmes de conservation de la nature, biotique et abiotique. Car il est important que ce concept soit intégré aux plans d'action (aménagement du territoire, gestion et protection du paysage, etc.) en tant qu'outil scientifique rigoureusement appliqué, tout comme c'est le cas pour la biodiversité (Serrano & Ruiz-Flaño, 2007). Cependant il a été démontré, en Suisse en tout cas, qu'ajouter un autre champ de protection à celui déjà existant pour la biodiversité pouvait être vu par certains comme la goutte d'eau de trop, ces derniers ayant déjà "trop à faire" avec la protection de la biodiversité (Strasser et al., 1995).

1.3.3 La géodiversité

Le terme *géodiversité*, dérivé du concept de *biodiversité*, est apparu dans les années 1990 afin de décrire la variété de la nature abiotique (Gray, 2004). Différentes définitions ont été proposées par la suite³, dont nous retiendrons la définition suivante (Gray, 2004 : 8):

³ Pour plus de détails, je renvoie le lecteur au livre de Gray (2004) ch. 1.3, ainsi qu'à l'article de Serrano & Ruiz-Flaño (2007).

« Geodiversity : the natural range (diversity) of geological (rocks, minerals, fossils), geomorphological (land form, processes) and soils features. It includes their assemblages, relationships, properties, interpretations and systems. »

Notons encore que la définition s'est quelque peu élargie, le terme couvrant un champ plus vaste que la simple diversité géologique. En effet, la géodiversité correspond actuellement à l'ensemble des éléments constituant l'environnement physique et influençant la diversité des biotopes, des écosystèmes et des paysages (Serrano & Ruiz-Flaño, 2007). Ainsi, La diversité des environnements géologiques est à la base de l'hétérogénéité des écosystèmes, et donc de la variété de la Vie sur Terre. C'est pourquoi il est tout aussi important de conserver la diversité géologique que biologique, les deux allant de pair.

Serrano & Ruiz-Flaño (2007) ont également montré l'importance d'identifier les éléments à la base de la géodiversité selon une certaine échelle et de prendre les mesures appropriées suivant l'échelle choisie. Cette dernière va dépendre de l'interrelation des composantes de l'environnement physique d'un point de vue géographique, et va ainsi définir l'approche à adopter. Les auteurs proposent quatre niveaux d'échelles afin de hiérarchiser la géodiversité : celle des particules, des éléments, des objets et des paysages. De ce fait, les résultats finaux vont dépendre de l'échelle de la recherche et de celle des objets ciblés, et deux sites à priori semblables vont pouvoir demander une approche différente. Cela souligne à nouveau l'importance de ne pas faire de la protection et de la conservation de la géodiversité une généralité, mais bien d'un problème demandant une approche site par site, tout comme c'est le cas pour la biodiversité.

Le concept de biodiversité a fait l'objet de nombreuses études, publications, définitions formelles publiées, actes législatifs de protection, etc., à tel point que ce mot est un des plus utilisés dans les sciences biologiques et que tout le monde le connaît (Gray, 2004). L'extinction des espèces, puis le réchauffement climatique amputable à l'activité anthropique jouèrent un rôle primordial dans le développement de ce concept. Et il est vrai qu'il est plus aisé de sensibiliser la conscience humaine en montrant des animaux en voie d'extinction que des sites géologiques ou géomorphologique menacés de dégradation. Cependant, il faut retenir ce qui a été dit précédemment : la variété géologique est à la base de la variété biologique. Toute politique cohérente de protection de la nature et de l'environnement devrait donc intégrer le concept de géodiversité aux côtés de celui de biodiversité par l'introduction de mesures durables de protection, de gestion et de valorisation différenciées. Ceci ne peut s'effectuer que dans une politique de développement humain en harmonie avec son environnement et axée sur la durabilité, car ce n'est qu'en connaissant notre milieu de vie et ce qui l'entoure que l'on pourra le conserver. La valorisation joue donc un rôle de premier plan dans la conservation d'un bien, qu'il soit géo(morpho)logique, biologique ou culturel.

Le potentiel scientifique, culturel et éducatif du concept de géodiversité est important et mérite d'être développé. Pour l'heure, ce concept n'en est qu'à ses balbutiements par rapport à son homologue biotique. Toutefois, suite à différents facteurs (nombre d'études croissantes sur le sujet, projets de géoparcs, forums, géotourisme grandissant, etc.), il semble que le siècle à venir s'annonce plus clément pour la géodiversité que ne l'a été le précédent. Espérons que cela ne corresponde pas (à nouveau) à un effet de mode, mais bien à une réelle volonté collective!

1.3.4 Le géotope

Le mot *géotope* a pour origine les mots grecs « gé » (=terre) et « topos » (=lieu). D'un point de vue étymologique, le terme de *géotope* signifie donc « *le lieu de la terre* ». D'une manière générale, on peut définir le terme comme suite (Strasser et al., 1995 : 5) :

« les géotopes sont des portions de territoire dotées d'une valeur patrimoniale dans le domaine des sciences de la Terre ».

Cette définition a l'avantage d'être courte et simple à comprendre et à retenir. De plus, elle mentionne les 3 mots-clés d'un géotope : territoire – patrimoine - sciences de la Terre. Néanmoins, différentes définitions plus exhaustives peuvent être mises en exergue afin d'étoffer la définition du concept de géotope, le tout suivant deux approches : l'une restrictive et l'autre plus large. Ainsi, tout comme le mot *paysage* (ch. 1.1), ce terme a un caractère quelque peu polysémique. La définition générale précédente est donc proposée afin de limiter un possible affaiblissement sémantique lié à ce caractère polysémique.

En ce qui concerne l'**approche restrictive**, les auteurs du rapport stratégique sur les géotopes en Suisse proposent la définition suivante, en complément de celle énoncée précédemment (Strasser et al., 1995 : 5) :

« Les géotopes sont des portions de territoire dotées d'une valeur pour les sciences de la Terre. Ce terme comprend donc des montagnes, des collines, des vallées, des vallums morainiques, des ravins, des grottes, des phénomènes karstiques, des berges et rivages, des carrières, des gravières, des mines, des portions de routes ou de chemins ou des blocs erratiques, des sites qui apportent des informations indiscutables et caractéristiques sur une situation ou un événement que la Terre a connu au cours des temps géologiques ou sur l'histoire de la vie et du climat. Les géotopes permettent de comprendre l'évolution spatio-temporelle d'une région, la signification de processus superficiels et l'importance des roches en tant qu'éléments de l'édification du paysage. Les géotopes, dans ce sens, sont des monuments naturels d'une grande importance, voir même indispensables, aussi bien pour le public que pour la science».

Grandgirard (1997, 1999), quant à lui, définit les géotopes comme des objets géologiques ou géomorphologiques présentant une valeur scientifique intéressante pour la compréhension de l'histoire de la Terre, des espèces et du climat.

On peut donc voir que l'approche restrictive met l'accent sur la valeur scientifique du géotope. Or, comme expliqué au chapitre 1.2, différentes autres valeurs peuvent être attribuées à un objet géologique ou géomorphologique. C'est la raison pour laquelle une **définition plus large** a été proposée, où est considéré comme géotope (ou géosite) tout objet géologique ou géomorphologique présentant une certaine valeur, qu'elle soit scientifique, historico-culturelle, esthétique, socio-économique ou écologique (Panizza & Piacente, 1993, 2003 ; Reynard, 2004a, 2004c). Dans ce cas, la valeur de l'objet ne va plus

dépendre uniquement de ses caractéristiques scientifiques, mais également du contexte dans lequel il se situe, son rôle dans l'Histoire, sa beauté, etc.. La valeur centrale reste la valeur scientifique, tandis que les autres valeurs sont considérées comme additionnelles (Reynard, 2005).

Il est important cependant de souligner qu'un objet géologique ou géomorphologique ne constitue pas automatiquement un géotope. Ce qui est primordial pour qu'il soit considéré comme tel est qu'une valeur lui soit attribuée, qu'elle soit de nature scientifique, économique, historique/culturelle/religieuse, écologique ou encore esthétique (Panizza & Piacente, 1993 ; Reynard, 2005).

Bien entendu ces deux définitions ne s'excluent et ne s'opposent pas, leur utilisation va dépendre de la finalité voulue pour le site choisi ; à titre d'exemple, un site à fort potentiel didactique va demander une valorisation touristique, ce qui induit une définition large de ce dernier. Cette approche « multi-valeurs » va ainsi permettre des synergies possibles de mise en valeur entre patrimoine géologique et géomorphologique, bio-écologique et historico-culturel (Pralong 2004a, 2006). Elle se base sur l'idée que le patrimoine géologique et géomorphologique fait partie intégrante du patrimoine culturel au sens large (voir ch. 1.2), formant ce que Panizza & Piacente (2003, 2004) appelle le « *paysage culturel intégré* » (Reynard, 2004d).

A l'inverse, l'approche restrictive sera plus adaptée pour un site demandant une protection particulière, que ce soit par exemple contre la destruction ou la dégradation dans un contexte de développement urbain ou de travaux de génie civil (Reynard, 2004d).

Ajoutons encore qu'il peut être souvent utile de pondérer la valeur strictement géoscientifique d'un site en prenant également en considération les valeurs d'ordre culturel, historique, écologique, esthétique ou socio-économique, d'où l'importance du processus d'évaluation des géotopes (Reynard, 2004d).

En résumé, on peut dire que l'on privilégiera la définition restrictive dans une optique de protection, alors que la définition plus large sera préférée pour une dynamique de valorisation.

Dans le cadre de ce mémoire, on optera plutôt pour la définition large, le but étant de valoriser les différents sites présents.

La taille d'un géotope peut fortement varier, d'un unique objet comme un bloc erratique à un site plus vaste tel un glacier rocheux ou une marge proglaciaire. Il n'y a donc pas de taille standard pour un géotope, au contraire d'un paysage géomorphologique (ch. 1.2) qui doit être d'une certaine taille et qui ne peut donc pas correspondre à un objet ponctuel tel un bloc erratique. Cependant, et ceci est un point important, tout géotope doit être clairement délimité dans l'espace et se distinguer des secteurs environnants.

Pour finir, ajoutons encore qu'il existe trois types de géotopes, à savoir les géotopes actifs et ceux passifs, ainsi que les géotopes artificiels. La première catégorie correspond aux géotopes dont les processus dynamiques à l'origine de leur formation sont encore en activité, comme par exemple un glacier rocheux actif ou un cône de déjection non canalisé. Quant à la deuxième catégorie, les géotopes passifs ou fossiles, ils correspondent à des sites dont la morphogenèse est terminée. Ils n'ont donc plus aucun lien avec les processus

et conditions responsables de leur formation. Enfin, les géotopes artificiels sont ceux créés par l'activité humaine, comme par exemple des gravières ou des affleurements suite à des chantiers. Les principaux géotopes du Chablais et de la cluse du Rhône analysés dans cette étude se situent dans cette deuxième catégorie, ce qui signifie que leur disparition, dégradation ou modification de leurs caractéristiques serait irréversible. On peut ainsi considérer les géotopes fossiles comme plus vulnérables, d'où l'importance d'un travail de valorisation.

1.3.4.1 Le géotope géomorphologique

Les géotopes géomorphologiques constituent une catégorie de géotopes. La typologie complète des géotopes est la suivante⁴: géotopes structuraux, paléontologiques, sédimentologiques, minéralogiques/pétrographiques/géochimiques, stratigraphiques, géomorphologiques, hydrologiques/hydrogéologiques, spéléologiques, géohistoriques et géoculturels. Bien évidemment ses différentes catégories peuvent se recouper, un même site pouvant regrouper différentes caractéristiques. En référence à Panizza (2001), on peut définir un géomorphosite ainsi :

« Formes du relief dont les attributs géomorphologiques particuliers et significatifs en font une composante du patrimoine culturel au sens large d'un territoire donné »

Le concept de géotopes géomorphologiques trouve plusieurs synonymes dans la littérature spécialisée : biens géomorphologiques (*geomorphological assets*, Panizza & Piacente, 1993), géomorphosites (Panizza, 2001), sites géomorphologiques (*geomorphological sites*, Hooke, 1994) ou encore sites d'intérêt géomorphologique (*Sites of Geomorphological Interest (SGI)*, Rivas et al., 1997). Tous font cependant référence aux mêmes caractéristiques, à savoir que le site doit avoir une certaine valeur géomorphologique définie selon une série de critères d'évaluation, qu'il n'a pas de taille standard et finalement qu'il se distingue des autres catégories de géotopes par trois caractéristiques particulières. Ces dernières correspondent d'une part à la composante esthétique du géotope, qui a souvent une place centrale. D'autre part, la composante dynamique permettant d'observer les processus joue également un rôle important, car elle doit être prise en compte lors de la protection d'un géomorphosite. On parle dès lors de géotope dynamique. Enfin, il faut tenir compte de l'imbrication des échelles, un géotope géomorphologique étant souvent constitué de sous-ensembles géomorphologiques de plus petite taille (Reynard, 2004d). Cela nous indique bien la spécificité des géotopes géomorphologiques par rapport aux autres catégories de géotopes, et l'importance de bien les définir afin d'optimiser au maximum les méthodes d'évaluation, de protection et de valorisation des géomorphosites.

⁴ Nous nous contenterons ici de les énoncer, je renvoie le lecteur à l'article de Reynard (2004d) ou à la thèse de Grandgirard (1997) pour plus de précisions au sujet de ces différentes catégories.

1.3.5 Gestion du patrimoine géomorphologique

1.3.5.1 les enjeux

La gestion du patrimoine géomorphologique passe par plusieurs enjeux de protection et de valorisation afin de conserver durablement ce type de paysage, et induit différents objectifs à atteindre.

Au niveau de la protection, cela passerait premièrement par un remaniement des instruments légaux de protection. Une amélioration et un élargissement de ces derniers devraient être effectués, car force est de constater que la Suisse, tout comme bon nombre d'autres pays, ne possède aucune législation spécifique pour la protection des géotopes. A l'opposé, des pays comme la Grande Bretagne, qui possède déjà une législation spécifique sur la protection des géotopes, l'Australie (et tout particulièrement la Tasmanie) ou encore le Canada font office d'exemple à suivre (Gray, 2004).

Un second enjeu concerne la révision des politiques de protection de la nature, du patrimoine et du paysage, afin d'y insérer la composante abiotique car, comme dit précédemment, les efforts effectués pour protéger la biodiversité dominant très largement ceux concernant la géodiversité. Pour ce faire, il faudrait déjà d'une part une meilleure conceptualisation des liens entre géotopes, biotopes et paysage et, d'autre part, une amélioration de la coordination et de l'intégration des politiques concernant la double composante biotique et abiotique du patrimoine paysager (Reynard et al., 2005 ; Schoeneich, 2007 ; Fontana, 2008). Beaucoup d'efforts restent donc à faire, mais cette lacune pourrait rapidement se transformer en avantage, créant une dynamique importante dans ce domaine de la géographie. Le nombre croissant de recherches à ce sujet laisse supposer une réelle volonté de faire changer les choses qui, à terme, ne pourra que porter ses fruits.

D'un point de vue de la valorisation, le premier enjeu concerne la sensibilisation des différents acteurs. Que ce soit par exemple des touristes, des promoteurs, des politiciens ou encore des écoliers, leur intérêt croissant pour des sites géologiques et/ou géomorphologiques, qui passe par des campagnes de prévention et de sensibilisation ainsi que toutes sortes d'activités didactiques, ne pourra que renforcer indirectement leur protection. Car **le premier pas vers la protection est l'information : « mieux connaître pour mieux protéger »** est un principe élémentaire de la géodidactique.

Le second enjeu découle directement du premier : un intérêt croissant pour un géomorphosite ne fera que renforcer sa vulnérabilité face aux dégradations anthropiques (modification des processus géomorphologiques, atteintes au paysage, etc.), d'où l'importance d'une gestion intelligente et durable des sites à haute valeur pédagogique. De plus, une augmentation du nombre de visiteurs signifie une augmentation du nombre de personnes potentiellement soumises aux aléas naturels. Cet enjeu est également de taille, car les événements passés nous ont montré à quel point la demande touristique peut diminuer suite à des accidents (par ex. diminution de la fréquentation touristique dans certaines régions des Alpes suite aux avalanches de février 1999) (Reynard et al., 2003).

1.3.5.2 La protection du paysage en Suisse

Nous avons pu voir que la Suisse ne fait pas office d'exemple au sujet de la protection du patrimoine géologique et géomorphologique, et que cette dernière constitue l'un des enjeux principaux dans la gestion de ce patrimoine.

Actuellement, il n'existe pas de législation spécifique pour la protection des géotopes en Suisse. Le terme *géotope* n'est d'ailleurs pas explicitement désigné dans la législation fédérale (Strasser et al., 1995). Toutefois, les objets géologiques et géomorphologiques peuvent être protégés de manière indirecte selon certains articles des lois en vigueur (Strasser et al., 1995 ; Reynard & Gentizon, 2004 ; Jordan et al., 2004) :

- Dans le Code Civil Suisse (CCS, 1912), les articles 702 et 724 indiquent d'une part qu'il est possible de limiter la propriété privée afin de préserver le patrimoine naturel et le paysage et, d'autre part, que toute curiosité naturelle offrant un intérêt scientifique important devient la propriété du canton. Toutefois, cela n'assure pas pour autant la protection de l'objet, l'article ne donnant aucune obligation au canton propriétaire. Il faut donc par la suite se référer à la législation dudit canton pour voir les obligations de ce dernier.
- La Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (LPN, 1966) constitue la base légale pour la protection d'objets isolés et de paysages importants pour la nature et le patrimoine. La protection de la nature et du patrimoine est de la compétence des cantons, tandis que la Confédération s'occupe des sites présentant un intérêt national. Cette dernière est considérée comme *protection accrue*, tandis que celle du ressort des cantons est définie comme *protection générale*. Cela passe par la création d'inventaires fédéraux, dont trois touchent au paysage : 1) Inventaire des sites, monuments naturels et paysages d'importance nationale (IFP). 2) Inventaire des sites marécageux d'une beauté particulière et d'importance nationale. 3) Inventaire des hauts- et bas-marais ainsi que des zones alluviales d'importance nationale. Ces inventaires représentent cependant un faible degré de protection, n'étant contraignants que pour la Confédération.
- Dans la Loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT, 1979), l'article 17 prévoit « *la protection des paysages d'une beauté particulière, d'un grand intérêt pour les sciences naturelles ou d'une grande valeur en tant qu'éléments du patrimoine culturel* ». Cet article est donc directement applicable.
- La Loi fédérale sur la protection de l'environnement (LPE, 1983) peut protéger de manière indirecte un site à l'aide d'études d'impact sur l'environnement (EIE).
- L'article 22 de la Loi fédérale sur l'utilisation des forces hydrauliques (LFH, 1916) demande une conservation intacte de la beauté des sites lors de la réalisation d'ouvrages hydroélectriques.
- Pour finir, on peut encore noter que la Conception Paysage Suisse (CPS) (OFEFP, 1998) prévoit une mesure en faveur de la protection des géotopes, bien qu'aucune législation fédérale n'existe spécifiquement.

La protection du paysage au niveau cantonal : le cas du Valais et du canton de Vaud

Dans le canton du Valais, les deux moyens à disposition pour protéger un site sont la Loi sur la protection de la nature, du paysage et des sites (1998), ainsi que l'Ordonnance sur la protection de la nature, du paysage et des sites (OcPN, 2000). Elles ont pour objectifs de compléter la législation fédérale sur la protection de la nature, du paysage, des sites bâtis, des monuments historiques et du patrimoine archéologique, ainsi que d'en assurer l'exécution (Genoud, 2008). Et en ce qui concerne les objectifs de l'aménagement du territoire cantonal (AT), la politique actuelle tend vers un meilleur ciblage du tourisme, préférant un tourisme qualitatif au tourisme quantitatif, tout en préservant les surfaces naturelles (biotope, flore et faune) et en exploitant de manière extensive les surfaces naturelles exploitables (Genoud, 2008). Pour finir, ajoutons encore que le Conseil d'Etat valaisan a la possibilité de classer des sites par voie d'arrêté (Lugon & Reynard, 2003).

En ce qui concerne le canton de Vaud, on a pu voir (ch. 1.3.1) qu'il fut un pionnier de la conservation d'objets géo(morpho)logiques, de création de cartes et de textes légaux. Toutefois, on se trouvait jusqu'à récemment dans la situation inverse ; en effet, le canton de Vaud n'avait toujours pas établi un inventaire exhaustif de son patrimoine géologique et géomorphologique, au contraire d'autres cantons tels St-Gall, Thurgovie ou Fribourg (Reynard & Bissig, 2007). En 2000, le Département de la sécurité et de l'environnement (DES) et son service des forêts, de la faune et de la nature, ont élaboré un document servant de ligne directrice à la politique sectorielle de conservation de la nature et du canton de Vaud : *La Nature Demain* (ND). Et le conservateur de la nature au Département vaudois de la sécurité et de l'environnement, Philippe Gmür, nous indique que ce document souligne l'intérêt de la conservation des géotopes (Gmür, 2007). Un rapport de Hintermann et Weber (2001) concernant la protection des géotopes vaudois a d'ailleurs été effectué. Cependant, en s'attardant sur les cinq priorités opérationnelles de *La Nature Demain* (sauvegarde des espèces et des milieux naturels rares, constitution d'un réseau écologique cantonal autour des lacs et cours d'eau, corridors à faune et réseaux écologiques, négociation de zone-tampons et de surfaces de compensation écologique, installation de projets-pilotes), on ne peut que constater le manque de considération du monde abiotique par rapport au domaine biologique (Reynard & Bissig, 2007). Finalement, un inventaire cantonal des géotopes du canton de Vaud a été réalisé en 2008 (Gmür et al., 2008), qui recense 143 objets selon des thèmes et des catégories diverses. Il était temps que le Canton de Vaud, instigateur des premiers mouvements de géoconservation durant le 19^{ème} siècle, possède un inventaire cantonal des géotopes.

Ajoutons encore que les objets géologiques et géomorphologiques vaudois peuvent tout de même être protégés de manière indirecte comme vu au sous-chapitre précédent, ou via la Loi sur la protection de la nature, des monuments et des sites (LPNMS, 1969), qui a pour but « *de ménager l'aspect caractéristique du paysage et des localités, les sites évocateurs du passé et les beautés naturelles* » (article 1^{er} lettre b, cité par GMÜR, 2007). De cette loi découle également l'Inventaire cantonal des monuments naturels et des sites (IMNS), qui intègre différents objets géo(morph)logiques (blocs erratiques, formes fluviales et glaciaires, sources karstiques, etc.). De plus, tout comme son homologue valaisan, le Conseil d'Etat vaudois a la possibilité de classer des sites d'importance via des arrêtés de classement. 42 objets y sont actuellement recensés, dont des blocs erratiques (Reynard &

Bissig, 2007). Et, comme le souligne Philippe Gmür (2007 : 4), « *un certain nombre de sites et de paysages protégés globalement contiennent ou sont constitués par des géotopes et il y a de ce fait une protection indirecte qui y est associée* ». Malheureusement, ce genre de protection indirecte est souvent insuffisante pour garantir une protection et une conservation à long terme, la valeur géologique et/ou géomorphologique n'étant pas prise en considération. L'exemple du Lac Rond, développé par Schoeneich (2007), illustre parfaitement ce problème : le site, qui représente un remarquable amphithéâtre morainique avec deux lacs en son sein, a été protégé en tant que réserve naturelle. Or, on ne s'est occupé que de la protection des lacs, et non du complexe morainique dans son ensemble. Une route et des places de tirs bétonnées ont été construites sur la crête morainique! Le géotope est ainsi totalement défiguré, et représente donc un bel exemple d'un raté de la protection des biotopes, car si ces lacs existent, c'est bien grâce au complexe morainique et à la réavancée glaciaire qui le forma.

L'inventaire des géotopes d'importance nationale

En 1999, un inventaire des géotopes d'importance nationale a été réalisé par le Groupe de travail pour la protection des géotopes en Suisse (Strasser et al., 1995) (GT géotopes, 1999) de l'Académie Suisse des Sciences Naturelles (ASSN ou ScNat). Cet inventaire, qui n'a pas de base légale et n'est donc pas contraignant pour les autorités, a été réalisé dans une optique de sensibilisation de l'opinion publique au concept de géotope et à la nécessité de protéger et conserver ce type de patrimoine. Il devrait également servir de base et de référence pour l'établissement d'inventaires cantonaux, pouvant conduire dans le futur à la réalisation d'un inventaire fédéral systématique et officiel (Jordan et al., 2004).

Effectué par des spécialistes de différentes disciplines des sciences de la Terre, cet inventaire a retenu 401 géotopes d'importance nationale, sur les 850 propositions au départ. Basé sur le seul bénévolat des experts, cet inventaire manquait tout de même de rigueur scientifique ; certains domaines ont été largement répertoriés (ex : spéléologie), tandis que d'autres quelque peu oubliés (ex : géomorphologie), et certains cantons ont joué le jeu, alors que d'autres n'y ont même pas porté attention. De plus, suite aux restrictions budgétaires de la Confédération, la protection des géotopes avait été reléguée au second plan des préoccupations de l'Office fédérale des forêts, de l'environnement et du paysage (Jordan et al., 2004). C'est ainsi qu'en 2006 on décida de réviser cet inventaire afin de l'unifier et de le compléter. Une première phase s'est occupée de réactualiser 248 des 401 sites de départ, dont une cinquantaine ont été éliminés et quelques nouvelles propositions sont apparues (Berger et al., 2008). Une centaine de sites sont actuellement en cours d'analyse, et une publication finale est prévue pour 2010.

1.3.5.3 La valorisation du paysage et du patrimoine géomorphologique

Le second enjeu de la gestion d'un patrimoine géo(morpho)logique concerne le domaine de la valorisation. Encore peu développée en géographie, cette discipline dispose d'un potentiel de développement important, ce grâce entre autre à une nouvelle forme de tourisme, le géotourisme. Il est donc important d'une part de bien définir le public-cible et, d'autre part, de développer des méthodes de vulgarisation des sciences de la Terre adaptées aux attentes du public concerné. Différentes études et projets ont ainsi été réalisés dans ce

domaine, notamment au sein de l'Institut de géographie de l'Université de Lausanne. Il faut dire que l'Institut, se trouvant à la porte des Alpes, dispose d'un "laboratoire naturel" idéal pour mener à bien ce genre d'expérience.

Valoriser pour mieux protéger

Un des principes de base de la géodidactique correspond au fait que pour protéger un objet géo(morpho)logique ou un paysage, il faut tout d'abord le connaître, savoir ce qu'il représente réellement. Car ce n'est qu'en connaissance de cause qu'une volonté de protection et de conservation peut apparaître : **mieux connaître pour mieux protéger**. Et à ce niveau, il est clair que le grand public et les professionnels de certains domaines, du tourisme en particulier, manquent cruellement de culture géoscientifique (Reynard et al., 2003). Une des causes principales est le fait que la géologie (et donc également la géomorphologie) occupe une place trop restreinte dans l'enseignement des sciences naturelles (Pralong, 2006). A nouveau, cela s'oppose au domaine de la protection de la biosphère, où l'on observe une sensibilité importante de la population et une place plus que centrale dans l'enseignement. Une première étape passe ainsi par une bonne sensibilisation des différents publics, ciblée sur trois domaines en particulier : l'éducation des géosciences des cercles non-géoscientifiques (tourisme, journalisme notamment), la sensibilisation de la classe politique, et pour finir l'accroissement de travaux d'évaluation de géosites, et plus particulièrement de géomorphosites (Reynard et al., 2003).

Pour sensibiliser un public de non-spécialistes, il est indispensable de vulgariser le savoir scientifique à transmettre. Cela induit la relation entre trois sphères (le scientifique, le vulgarisateur, le public), et non deux comme on pourrait le penser (scientifique-public), ce qui a pour but de souligner l'importance de la reformulation et de la mise en scène de l'information scientifique (Pralong, 2003). Cependant, cela est loin d'être chose aisée, la vulgarisation scientifique posant différents problèmes, notamment dans le domaine des géosciences. Premièrement, une notion importante à faire passer concerne un des concepts-clés des géosciences : la durée. Les repères temporels généralement acquis par le grand public font référence à l'échelle des temps humains ; on parle ici de quelques milliers d'années tout au plus (Égypte antique, époque grecque et romaine, etc.). Or, en sciences de la Terre, c'est en temps géologiques que l'on raisonne, c'est-à-dire en millions voir milliards d'années. Il faut, déjà là, faire preuve de beaucoup d'habileté pour faire passer cette notion. Ensuite, d'autres concepts difficilement concevables pour un non-initié posent problèmes, comme par exemple la tectonique des plaques et la succession des ères géologiques ou des espèces. Cela induit donc la question suivante : « *jusqu'où et comment simplifier le discours géoscientifique pour le rendre compréhensible par le grand public, touristique en particulier, sans toutefois galvauder le message scientifique?* » (Reynard et al., 2003 : 8).

Pour ce faire, différentes méthodes de vulgarisation ont été développées au cours des dernières années.

Méthodes de vulgarisation

Deux chercheurs de l'Université de Lausanne se sont focalisés sur les méthodes de vulgarisation d'un savoir géoscientifique, Jean-Pierre Pralong (2003, 2004b) et Nicolas

Kramar (2003, 2005).

Kramar propose une méthode dite de « *l'histoire en trois temps* », dans laquelle il utilise le concept de cycle orogénique comme moyen d'interpréter un paysage. Ce modèle stipule que le paysage observé est le résultat de trois principaux processus qui se sont succédés au cours du temps (sédimentation, collision et érosion), desquels dérivent les trois histoires d'un paysage : l'histoire des roches, l'histoire des déformations et l'histoire des formes. Afin d'en illustrer le principe avec un exemple connu de tous, il propose une analogie culinaire avec la fabrication d'une roulade en trois temps : premièrement on empile les couches de pâte, deuxièmement on plisse ces couches, puis troisièmement on découpe la roulade pour avoir une tranche du gâteau. Bien que ne portant pas attention aux différences temporelles des différents processus, cette méthode semble donner de bons résultats pour la compréhension de la formation d'un paysage. Cependant, elle s'applique surtout pour la compréhension de la géologie d'un paysage, mais paraît moins bien adaptée aux paysages géomorphologiques.

Pralong, quant à lui, propose une méthode quelque peu différente, que l'on pourrait définir comme complémentaire à celle proposée par Kramar. Elle se compose de quatre étapes :

1. *Explication des concepts de temps et d'espace.* Sans cette base élémentaire, toute tentative de vulgarisation géologique ou géomorphologique n'aurait aucun résultat. La notion d'espace, avec l'imbrication de diverses échelles (locale, régionale, nationale, internationale) semble ne pas poser trop de problèmes. Par contre, la dimension temporelle est plus difficile à saisir pour le public, comme expliqué précédemment, et demande donc une méthodologie plus minutieuse et adaptée au public-cible afin de le familiariser avec les temps géologiques.
2. *Intégration des trois histoires du paysage.* Cette étape se rapporte à la méthode de Kramar définie ci-dessus.
3. *Application spatiale de « l'histoire en 3 temps ».* Dans cette étape, il convient non pas de s'attarder sur la dimension temporelle mais, grâce à différentes échelles spatiales, de montrer la dimension spatio-temporelle d'un paysage. Cette étape est cruciale et indispensable, car elle va faire appel à l'imaginaire de l'acteur concerné ; en décrivant les particularités du paysage observé, en expliquant la provenance paléogéographique des différents éléments décrits (par exemple un ancien bord de mer) et le rôle des roches et des formes actuelles du paysage, cette étape invite l'observateur à la rêverie et à la méditation. C'est à ce moment qu'une sensibilisation doit s'effectuer dans l'esprit de l'observateur.
4. *Application à la randonnée pédestre.* Après les différentes explications théoriques des concepts de temps et d'espace, il convient de les mettre en pratique. Vue comme une « synthèse appliquée », cette dernière étape a pour but de montrer à l'initié comment, au travers d'une randonnée, se succèdent les différents paléo-espaces (fond marin, ancienne barrière de corail, etc.) et paléo-temps (Trias, Jurassique, etc.) dans le paysage actuel ; se déplacer dans l'espace signifie donc également se déplacer dans le temps.

A nouveau, cette méthode de vulgarisation semble plus adaptée pour la compréhension d'un paysage géologique que géomorphologique. Néanmoins, en familiarisant le public à des concepts comme la durée des temps géologiques, en l'introduisant à l'analyse d'un paysage ou encore à la mise en évidence des échelles spatiales et temporelles dans le paysage actuel, cette approche permet de bien sensibiliser un public novice aux principes de base des sciences de la Terre, tout en mélangeant théorie et pratique sur le terrain.

Bien qu'à vocation légèrement moins didactique, Pralong (2004b) introduit le concept d'« *histoire totale* » afin de valoriser les différentes valeurs patrimoniales des sites et paysages alpins. Partant du principe que différents types de patrimoine coexistent et sont en relation dans un même paysage, il propose la notion de « *pyramide des patrimoines* », où le triple héritage patrimonial d'un paysage (géo(morpho)logique, bio-écologique et historico-culturel) se situe à l'interface des notions d'homme, de paysage et de culture. Cela rejoint le concept de « *paysage culturel intégré* » proposé Panizza et Piacente (2003) (ch.1.3.4). La mise en évidence des liens entre la géomorphologie et le patrimoine culturel au sens large accroît ainsi le potentiel de valorisation d'une région.

Le géotourisme

Les domaines touristiques doivent répondre depuis quelques années à une nouvelle forme de tourisme : le géotourisme. Deux axes principaux de développement ont été proposés depuis : d'un côté on se focalise sur la mise en valeur et la promotion du patrimoine géo(morpho)logique, et de l'autre on s'attarde plus sur l'aspect de protection et de conservation de ce dernier (Berrebi, 2006 ; Pralong, 2004a, 2006). Comme on peut le remarquer, ces deux définitions ne s'opposent pas mais se complètent, le but premier étant la conservation du géopatrimoine par sa mise en valeur. Ainsi, la prise en compte de ce caractère bimodal dans le développement de cette discipline est garant d'une meilleure compréhension du grand public à la nécessité de protéger ce type de patrimoine.

Sans faire l'inventaire des différentes définitions proposées par ces deux axes de développement⁵, on peut le définir d'une manière générale comme suit (Reynard, cité par Pralong, 2006) :

« un ensemble de pratiques, d'infrastructures et de produits visant à promouvoir les sciences de la Terre par le tourisme ».

Hose (2000, cité par Pralong, 2006), élargit quelque peu cette notion en définissant le géotourisme comme « *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* ».

Le géotourisme s'inscrit dans une optique de développement durable, et trouve donc sa

⁵ Voir pour cela par ex. Pralong (2006) ou Fontana (2008).

place dans la famille du tourisme durable, c'est-à-dire « *supportable à long terme sur le plan écologique, viable sur le plan économique et équitable sur le plan éthique et social pour les populations sociales* »⁶. Il doit de ce fait viser un développement uniquement qualitatif et non quantitatif, c'est pourquoi on peut le situer à l'interface entre le tourisme de nature (dit tourisme « vert ») et le tourisme culturel (découverte du patrimoine culturel au sens large), qui eux peuvent être autant qualitatifs que quantitatifs (Pralong, 2006).

Fontana (2008) fait une bonne synthèse des différents travaux effectués ces dernières années ayant porté sur des réalisations géotouristiques dans une optique de valorisation didactique. On peut citer en exemple des sentiers pédestres avec panneaux didactiques, des excursions, des séminaires ou encore des expositions thématiques. Néanmoins, et cela paraît tout de même étonnant, aucune étude n'a porté sur un support médiatique pourtant de premier plan dans notre société actuelle et au potentiel au combien important : internet. De ces différentes études (Summermatter, 2003 ; Pralong, 2003, 2004b, 2006 ; Kramar & Pralong, 2005 ; Reynard et al., 2005), il en ressort 5 points importants à ne pas négliger lors de toute réalisation géodidactique (Fontana, 2008) :

- Bien déterminer le public-cible et ses attentes (voir ci-dessous).
- Prendre en considération les connaissances préalables du public intéressé afin de les faire évoluer qualitativement.
- Ne pas négliger la complexité des différentes échelles spatiales et temporelles du paysage.
- Bien mettre en évidence la valeur patrimoniale d'un paysage géo(morpho)logique et ses liens avec les autres types de patrimoine.
- Porter attention à la qualité graphique et au contenu des supports proposés (photos, schémas, graphiques, etc.).

En ce qui concerne le public-cible, on distingue généralement trois catégories de public (Kramar & Pralong, 2005 ; Reynard, 2008a) :

- Les spécialistes d'un domaine en particulier, les « monomaniques » (paléontologie, minéralogie, etc.)
- Les « touche-à-tout », intéressés par l'ensemble des thématiques
- Un public dit de curieux ou d'occasionnels.

Chacune de ces catégories de public demande donc des exigences particulières à prendre en considération lors de l'élaboration du processus de valorisation didactique d'un site ou d'une région ; dans la première catégorie, déjà conquise par les sciences de la Terre, il s'agirait plutôt d'élargir ou d'approfondir leurs connaissances, afin de leur donner une vision globale des géosciences. Le public de personnes intéressées par tous les domaines demanderait une approche plus historico-culturelle, afin de souligner les liens entre sciences de la Terre et culture au sens large. Et en ce qui concerne la dernière catégorie, qui semble être la plus importante, leur attente s'oriente principalement vers l'émotion et le

⁶ dicotourisme.ifrance.com, cité par Pralong (2006).

divertissement. Il faut donc être capable de susciter leur curiosité, laissant l'accumulation de savoir plus en retrait. De ce fait, bien que à priori plus difficile à "conquérir", ce type de public paraît le plus intéressant à fidéliser d'un point de vue touristique.

1.4 Synthèse

Ce chapitre a permis d'une part de cerner la complexité du concept de paysage, en particulier le paysage géomorphologique, et l'importance du processus de perception et d'interprétation. Les différentes valeurs d'un paysage géomorphologique permettent ainsi d'évaluer objectivement un site, étape centrale en vue d'une protection future. D'autre part, nous avons pu constater à ce sujet que la protection des objets géologiques et géomorphologiques a été largement dédaignée durant le 20^{ème} siècle, au profit de celle des biotopes. Pourtant, un bref historique de la protection du paysage, tant au niveau national que international, laisse transparaitre que ce sont bien les géotopes qui marquent l'avènement des premiers mouvements de géoconservation durant le 19^{ème} siècle. Qui plus est, ce sont les blocs erratiques qui sont à l'origine de la protection du paysage en Suisse en tant que patrimoine national à sauvegarder et à transmettre aux générations futures, à une période où un nouveau paradigme apparaissait dans le domaine des sciences de la Terre. Le patrimoine glaciaire était donc au centre de toutes les attentions jusqu'au début du 20^{ème} siècle, pour être par la suite tombé dans l'oubli et relayé par le monde biotique. Ce délaissement se fait d'ailleurs fortement sentir dans les instruments actuels de protection du paysage, qui concernent principalement le monde biologique et ne touchent que indirectement au domaine abiotique.

Cependant, les nombreux travaux effectués depuis quelques années, en Suisse mais également dans de nombreux autres pays, démontrent une réelle volonté de rééquilibrer la balance. Et ceci ne concerne pas uniquement les spécialistes des sciences de la Terre, mais correspond à une nouvelle dynamique touchant une sphère beaucoup plus large. Pour preuve l'apparition d'une nouvelle forme de tourisme, le géotourisme, où protection et valorisation du patrimoine naturel sont les grandes lignes directrices. Nous avons ainsi pu constater l'importance d'une bonne didactique des sciences de la Terre – *mieux connaître pour mieux protéger* – qui passe par le développement de différentes méthodes de vulgarisation du savoir scientifique.

2. La théorie glaciaire

Dans cette deuxième partie théorique, nous allons tout d'abord nous attarder sur la naissance difficile et controversée de la théorie glaciaire (ch. 2.1) ; du problème originel des étranges blocs erratiques, de leurs explications premières aux prémices puis à l'acceptation générale de la théorie glaciaire, nous verrons à quel point son émergence fut compliquée et à l'origine d'une des plus grandes controverses de l'époque en ce qui concerne les sciences naturelles. Nous verrons également en quoi notre zone d'étude joue un rôle crucial dans l'émergence de cette théorie, afin de bien saisir l'importance de valoriser et préserver durablement son patrimoine glaciaire. Par la suite, nous nous intéresserons plus précisément aux périodes froides que notre Terre a connues, et plus particulièrement sur la dernière époque glaciaire, le Quaternaire, qui a profondément marqué nos régions (ch. 2.2).

2.1 Historique de la théorie glaciaire

Premièrement, nous allons nous intéresser aux raisons de l'émergence de la théorie glaciaire, notamment aux problèmes que posèrent les blocs erratiques. Nous parcourrons les différentes théories avancées et les problèmes qu'elles posèrent, pour arriver par la suite à l'émergence de la théorie glaciaire. Non sans peine, nous verrons le combat que ses partisans ont dirigé pour mener à bien l'acceptation de cette théorie, tant elle était en totale contradiction avec la conjoncture religieuse de l'époque et ses opposants étaient importants. Mais ses protagonistes vont finalement obtenir l'approbation générale de la communauté scientifique et ainsi donner naissance à un nouveau paradigme et à une nouvelle discipline des sciences de la Terre : la glaciologie.

2.1.1 De mystérieux blocs

L'origine même de la théorie glaciaire est à trouver dans la tentative d'expliquer la présence de ces étranges blocs déposés çà et là, parfois dans des positions très inattendues (voir par exemple fig. 2.1.1). Reposant sur des formations géologiques n'ayant aucun lien avec leurs caractéristiques pétrographiques, ces blocs représentaient une énigme incompréhensible pour les géologues de l'époque. Trouver par exemple des blocs de granite dans le Jura, essentiellement calcaire, n'avait a priori aucun sens. La ressemblance avec des types de roches alpines était évidente et fut rapidement

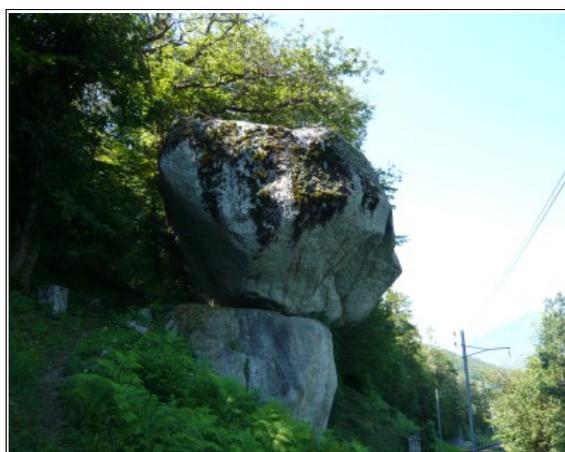


Fig. 2.1.1 : La Pierre à Dzo de Monthey, dont la position laisse perplexe.

démontrée, mais cela ne faisait que renforcer le mystère de leur transport. D'autant plus que ces observations ne se limitaient pas seulement à la Suisse et au pourtour alpin, mais correspondaient à un phénomène généralisé dans l'hémisphère nord : on en trouvait en Allemagne, en Pologne, en Ukraine, en Grande-Bretagne, au beau milieu de New-York (Central Park) ou encore dans les plaines canadiennes, où se trouve notamment le plus gros bloc erratique connu (le *Big Rock* d'Okotoks), pesant plus de 150'000 tonnes⁷! En Suisse, on trouve également des blocs d'une taille considérable, comme le mentionne Jean de Charpentier dans son *Essai sur les glaciers* (1841) :

*« Je vais indiquer quelques blocs qui m'ont frappé par leur volume. Près de ma demeure aux Devens, il y a sur le flanc septentrional d'une petite montagne de gypse, appelé le Montet, un bloc calcaire provenant des montagnes qui bordent la vallée de l'Avançon. La longueur moyenne de ce bloc est de 54 pieds (≈16.5m), sa largeur de 49 (≈15m), et sa hauteur de 61 pieds (≈18.5m) ; il offre par conséquent un volume de 161,000 pieds cubes (≈4559m³).[...] C'est le plus grand bloc erratique que je connaisse. Comme il n'a pas de nom particulier, et que je serai dans le cas de le mentionner encore quelquefois, je le nommerai le **Bloc-monstre**. Le bloc granitique dit la **Pierre-du-Trésor**, sur la montagne calcaire de Plan-y-Beuf, près d'Orsières, a plus de 100,000 pieds cubes (≈2830m³) ; sa base étant cachée par d'autres blocs, on ne peut pas évaluer exactement son volume.[...] La **Pierre des Marmettes**, au-dessus de Monthey, a 63 pieds de long (≈19m), 32 de largeur (≈10m) et 30 de hauteur (≈9m). Son volume est donc de 60,480 pieds cubes (≈1712m³). »*

De plus, ces rochers ne se trouvaient pas uniquement sur des terrains plats comme le fond des vallées ou les plaines, mais également sur les flancs des montagnes, parfois à plus de 1500 m d'altitude.

D'un point de vue étymologique, le terme *erratique* vient du latin « *erraticus* », qui signifie littéralement « *errant, vagabond* » (Quemada, 1971-1994). Tel était bien le cas de ces blocs! Cette appellation semble remonter au naturaliste italien Alberto Fortis (1741-1803), qui l'utilise dès 1802⁸ ; auparavant, Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799) parle de « *blocs adventifs* » (1779 : 248), c'est-à-dire littéralement « *qui n'est pas naturellement dans une chose, qui y survient accidentellement* » (Quemada, 1971-1994). Cela souligne bien le questionnement que soulève l'origine de ces blocs, comme le fait remarquer de Saussure (1779 : 234) « *ils [les naturalistes] savent bien que les granits ne se forment pas dans la terre comme des truffes, & ne croissent pas comme des sapins sur les rochers calcaires* ». Car ces blocs donnaient vraiment l'impression aux naturalistes de l'époque d'avoir été déposés par une main de géant ayant volontairement voulu les troubler. C'est donc tout naturellement qu'on leur attribua une origine fantastique ; que celle-ci soit divine, voyant en ces étranges rochers des restes, des preuves du Déluge biblique, ou magique, ces étranges blocs inquiétants mais attirants ayant été placés là par des fées, des sorcières ou encore le Diable en personne, il paraît normal que ces derniers surent entretenir l'imagination des personnes les côtoyant. Car sans la moindre connaissance des glaciers, il paraît tout autant abstrait de penser que ces blocs aient pu être transportés par ces amas de

⁷ glaciers-climat.com, consulté en décembre 2008.

⁸ op. cit.

2. La théorie glaciaire

glace, à priori statique, à une période où tout était recouvert de glace.

2.1.2 Les différentes théories

Différentes théories, aussi farfelues soient-elles, ont été avancées afin d'expliquer l'origine de ces blocs, ce qui souligne bien la créativité et la volonté de l'époque de trouver une explication aux phénomènes inexplicables. Comme vu au chapitre 1.3.1, l'emprise de l'Eglise sur le monde scientifique est encore présente au début du 19^{ème} siècle et l'origine biblique des blocs erratiques, vus comme les restes du Déluge, va logiquement faire partie des différentes hypothèses, au même titre que les radeaux de glace, les éruptions de gaz ou encore les plans de glissement gigantesques. Schaer (2000) fait une bonne synthèse chronologique des théories proposées et du développement de la théorie glaciaire (fig. 2.1.2).

Auteurs	Origine de l'erratique					Stries glaciaires	Avancée		Mesures de déplacement
	Débâcles	Glaciers	Explosions	Icebergs	Glissement sur glacier		par dilatation	par gravité	
De Saussure 1779	+							+	
Hutton 1795		+							
Playfair 1802		+							
De Luc 1813			+						
Von Buch 1815	+								
Perraudin 1818		+				+			
Escher 1819	+	o						?+	
Elie de Beaumont 1829	+	o							
Goethe 1829		+							
Hügi 1830									+
Lyell 1830				+					
Venez 1833		+							
Agassiz 1835	+	o							
Charpentier 1835	+	o							
Lyell 1836				+					
Agassiz 1837		+			+	+	+		
Von Buch 1837	+	o				o			
Guyot 1838		+				+			
Studer 1838	+	o				o		+	
Darwin 1839				+					
Studer 1839		+				+			
Agassiz 1840	o	+	o	o	+	+	+	o	+
Elie de Beaumont 1840	+	o				o			
Escher 1840		+							
Charpentier 1841	o	+	o	o	o	+	+	o	
Rendu 1841	o	+						+	
Forbes 1842a	o	+				+	?	?	
Forbes 1843	o	+				+	o	?+	*
Agassiz 1848	o	+	o	o		+	?+	?	*

En gras : contributions importantes
 En italique : revirements
 + : adhésion
 o : contestation
 * : mesures précises de déplacement
 ? : doutes

Fig. 2.1.2 : Repères chronologiques lors du développement de la théorie glaciaire (tiré de Schaer, 2000, modifié).

2.1.2.1 L'hypothèse biblique et ses oppositions

Les blocs erratiques, tout comme les autres vestiges des glaciations (roches moutonnées, stries, dépôts morainiques, etc.) étaient au départ attribués à l'action de l'eau lors du fameux Déluge conté dans la Bible. Compte tenu de la conjoncture religieuse de l'époque, où l'on commence à peine à se délier du dogme catholique, cette hypothèse est tout à fait logique, sans tenir compte bien entendu des principes fondamentaux de sédimentologie et de transport hydrologique. Car jusqu'à la fin du 18^{ème} siècle, le mythe du Déluge biblique est encore la référence de la plupart des scientifiques de l'époque pour expliquer la morphologie actuelle de notre planète. Pourtant, dès le 15^{ème} siècle déjà, un certain Léonard de Vinci (1452-1519) avait clairement critiqué cette explication trop simpliste (Bard, 2004)...

Certains de ses partisans, appelés diluvianistes, ont postulé les hypothèses les plus extravagantes au sujet de l'action du Déluge pour expliquer la géomorphologie actuelle. On peut citer le célèbre géologue anglais de l'Université d'Oxford, le révérend William Buckland (1784-1856), qui affirme que cette débâcle biblique avait submergé les plus hauts sommets, donnant aux vallées une forme en U caractéristique et créant des cirques, polissant et striant les roches, et déplaçant sur des milliers de kilomètres des rochers de plusieurs milliers de tonnes (Hallam, 1988). Parmi les autres partisans de l'origine diluvienne des blocs erratiques, on peut mentionner le très connu Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799). Dans son oeuvre impressionnante, *Voyages dans les Alpes* (1779-1796), de Saussure fait d'excellentes observations, en détaillant la formation, le mouvement ou encore le pouvoir de transport des glaciers. Ce sont les premières analyses scientifiques d'un glacier ; il emploie la technologie moderne de l'époque et introduit les termes de *moraines* et de *montagnes moutonnées* (transformées plus tard par Louis Agassiz en *roches moutonnées*) (Preusser et al., 2007). Il montre également que les moraines corespondent aux phases d'avancées puis de retraits des glaciers, et observe que les fragments alpins présents dans le Jura suivent le cheminement des vallées actuelles, stipulant que l'endroit où ils se sont déposés se situe à l'opposé des embouchures de leur vallée d'origine. Il était donc proche de la vérité! Malheureusement, il explique cette dispersion comme le résultat d'une débâcle catastrophique impliquant d'énormes masses d'eau. Un de ses partisans, Léopold Von Buch, calcule même la force nécessaire pour que ces blocs soit charriés jusqu'à leur emplacement final⁹. Il démontre également le caractère radial de la dispersion des blocs erratiques des Alpes, ainsi que ceux présents dans les plaines polonaises et allemandes, expliquant qu'ils ont été transportés depuis la Scandinavie (Von Buch, 1810). Mais, malgré cela, il n'acceptera jamais la théorie glaciaire, et nous verrons qu'il a été partisan d'une autre théorie assez surprenante, celle des éruptions de gaz.

Au sujet de cette origine biblique et du transport des blocs par les eaux, Charpentier et Agassiz ont également eu leur opinion. Le premier indique indirectement son incompréhension dans les *Annales des Mines*, faisant preuve de beaucoup de retenue et d'argumentation scientifique (Charpentier, 1835 : 219) :

« Le principal objet de cette notice est de diriger de nouveau l'attention des géologues sur un phénomène que depuis quelques temps ils semblent laisser dans

⁹ planet-terre.ens-lyon.fr, consulté en décembre 2008.

l'oubli, par la raison sans doute qu'ils le regardent comme suffisamment connu et expliqué. Je veux parler des blocs erratiques [...]. Les naturalistes les plus célèbres, ceux même dont les travaux ont élevé la géologie au rang éminent qu'elle occupe maintenant parmi les sciences, ont attribué le transport de ces blocs à l'action de l'eau. Les uns pensent qu'une débâcle, produite par la rupture subite de vastes bassins ou réservoirs d'eau, qu'ils supposent avoir existé dans la partie supérieure des vallées, a transporté ces blocs dans les localités où on les trouve maintenant ; les autres prétendent, et c'est aujourd'hui l'opinion la plus généralement accréditée, que le soulèvement incontestable des montagnes s'est opéré d'une manière si subite et si brusque, que les eaux de mer se sont retirées et écoulées des pentes des montagnes avec tant de force, qu'elles ont pu enlever et entraîner à de grandes distances les blocs qui se trouvaient sur leur passage. [...] Je vais indiquer, aussi brièvement que possible, quelques-uns des faits qui paraissent être en opposition avec l'hypothèse du transport des blocs erratiques par le moyen de l'eau»

Il argumente ensuite ces dires, expliquant qu'on ne trouve aucun triage dans les dépôts, que certains blocs ne sont pas du tout émoussés, que certains dépôts ont une forme allongée inhabituelle, ou encore que l'action de l'eau ne va pas strier les roches.

Quant à Agassiz, il manifeste clairement son incompréhension envers les partisans de cette théorie et leur mauvaise foi au sujet de la révision de leurs croyances (Agassiz, 1851 : 5-6) :

*« Depuis quinze ans l'on a déjà tant parlé et tant écrit sur la dispersion des blocs erratiques et sur celles du diluvium [...] que je n'aurais pas entrepris de publier de nouveau sur le sujet [...] si je n'avais pas eu le désir de faire connaître quelques observations nouvelles et importantes. Ceux qui ont suivi les discussions relatives au mode de transport des matériaux erratiques voudront bien remarquer que toutes les recherches qui s'y rapportent sont dues aux géologues partisans de la théorie de l'ancienne extension des glaciers, tandis que ceux qui regardent les courants comme la cause de ce transport ont adopté un rôle négatif ; c'est-à-dire qu'ils se bornent à nier la nouvelle théorie et ses conséquences, plutôt qu'ils ne cherchent à éclairer leur opinion et à appuyer sur de nouvelles observations. Je crois pouvoir insister sur cette différence sans risquer d'être taxé de partialité. En effet, [...] ce sujet n'a été traité que par des **glaciéristes** [...] tandis qu'aucun fait important relatif aux transports des matériaux erratiques en Suisse n'a été indiqué par les diluvianistes, depuis les recherches de de Saussure, de De Luc, d'Escher et de Buch. »*

Il apporte ensuite les preuves, tout comme de Charpentier, que des courants aquatiques, aussi importants qu'ils puissent être, ne peuvent produire les différents résultats qu'on leur attribue. Ses oppositions sont également claires et basées sur des faits scientifiques difficilement contestables.

Le célèbre James Hutton (1726-1797), considéré comme le père de la géologie moderne (voir ch. 1.3.1), a également contesté cette théorie diluvienne. Déjà par le passé, il s'opposa

aux adeptes du catastrophisme et du neptunisme, qui suivaient presque à la lettre les écrits bibliques, en créant le plutonisme. Puis, par la suite, il développa le concept qui fait sa gloire encore aujourd'hui, l'actualisme¹⁰, fondement de base de la géologie. Toutefois, sa théorie était largement dédaignée à son époque et, considéré comme un hérétique, il n'eut donc pas beaucoup de peine à s'opposer au diluvianisme.

N'ayant jamais pu visiter des chaînes de montagnes, Hutton lut de Saussure afin d'en apprendre autant que possible sur cet environnement inconnu. Il réfuta par la suite les explications présentées par de Saussure, tout en expliquant que le transport du matériel erratique devait avoir eu lieu avant l'excavation des vallées, à une époque où la chaîne alpine était bien plus élevée. Ceci eut pour effet d'augmenter la capacité de transport par gravité, ainsi que de créer un climat plus froid permettant l'expansion des glaciers. Il se rapprocha donc de l'explication finale en donnant un rôle important aux glaciers (Hutton, 1795, cité par Hallam, 1988 : 66) :

« We have but to enlarge our thoughts with regard to things past by attending to what we see at present, and we shall understand many things which to a more contracted view appear to be in nature insulated or to be without a proper cause [...]. We have but to consider the surface of this earth, as having been upon a higher level [...]. Let us now consider the height of the Alps, in general, to have been much greater than it is at present [...]. There would then have been immense valleys of ice sliding down in all directions towards the lower country, and carrying large blocks of granite to a great distance where they would be an object of admiration to after ages, conjecturing from whence, or how they came. »

Comme nous le verrons par la suite, son successeur, John Playfair (1748-1819), qui passa cinq ans de sa vie à illustrer les propos émis par Hutton, est allé encore plus loin dans le développement de cette théorie, touchant cette fois à la vérité sur le transport des blocs erratiques en mentionnant de manière explicite le rôle de transport des glaciers.

Parmi les différents protagonistes des théories faisant intervenir des courants diluviens¹¹ (Schaer, 2000), on peut encore citer en bref Léopold von Buch (1774-1853), qui proposa en 1815 (ou 1817 selon les auteurs) l'intervention d'immenses courants boueux suite au soulèvement rapide des Alpes, pouvant atteindre 6000 mètres par seconde. Il remarqua justement que des torrents boueux avaient une capacité de transport plus importante que de l'eau pure, mais il ne put jamais déterminer l'origine de ceux attribués au transport des blocs erratiques. Elie de Beaumont (1798-1874) était également partisan de cette théorie, car il avait observé le phénomène au Dent du Midi aux côtés de Jean de Charpentier, comme nous le rapporte Charles Lardy, inspecteur des forêts du Canton de Vaud de l'époque (1835 : 28-30) :

« [...] on trouve une seconde gorge ou petit vallon, c'est celle de Saint-Barthélémy, duquel est sorti la coulée de boue produite par l'éboulement dont nous avons parlé. [...] une portion assez considérable de cette cime (la Dent du Midi) se détacha [...] et se précipita avec un bruit épouvantable sur le glacier, situé sur le revers

10 Principe de base de la géologie, stipulant que les lois régissant les phénomènes naturels actuels et leurs conséquences étaient également valables dans le passé.

11 glaciers-climat.com et paysagesglaciaires.net, consulté en décembre 2008.

méridional de la Dent, dont elle entraîna dans sa chute un immense quartier. Cette masse énorme de pierre et de glace vint s'abîmer dans un ravin [...] dans lequel coule le torrent de Saint-Barthélémy dont nous venons de parler. Bientôt, on vit déboucher de la gorge [...], comme une montagne d'une boue noire et visqueuse, à la surface de laquelle flottaient des quartiers de roc de toutes les dimensions (il y en avait de 12 pieds de haut (=~3.7m)). [...] Il (Elie de Beaumont) insiste particulièrement sur ce qui lui a paru présenter de curieux, la manière dont les courans de boue [...] déplaçaient des blocs calcaires de plusieurs mètres de côtés. Malgré la petitesse de ces dimensions, ce phénomène paraît à M. Elie de Beaumont présenter de l'intérêt, à cause des inductions auxquelles il conduit, relativement au mode suivant lequel a pu s'opérer le transport des blocs diluviens. »

Quelques années plus tard, Escher de la Linth (1767-1823), qui avait observé que des débâcles de lacs alpins pouvaient transporter de grandes quantités de matériaux, proposa en 1819 cette hypothèse pour l'origine des blocs erratiques, mais à plus grande échelle. Toutefois, aucune trace de digues pouvant retenir des lacs aussi importants n'avait été trouvée. Elie de Beaumont, à la quête de l'origine des courants boueux diluviens cités précédemment, proposa en 1829 une fonte rapide des anciens glaciers suite à l'épanchement de roches éruptives lors du soulèvement alpin, provoquant une gigantesque débâcle. Toutefois, malgré toutes ces hypothèses, aucune ne convainc véritablement et n'est basée sur des observations scientifiques. Certes, nous avons pu voir que certains processus ont réellement été observés, toutefois les échelles ne sont pas comparables et les théories sur le transport des blocs erratiques, non vérifiables sur le terrain, ne sont que de pures spéculations de laboratoire.

Les différentes oppositions à la théorie du transport des blocs erratiques par les courants du Déluge, pourtant basées sur des observations scientifiques, n'ont pas réussi à dissuader les partisans de cette théorie diluvienne, du moins pas à court terme. L'influence de cette hypothèse sur les milieux scientifiques a perduré jusqu'au milieu du 19^{ème} siècle en tout cas, prouvant bien l'endoctrinement religieux important de cette époque et la durabilité de ses idées, ses partisans étant restés "bloqués" en 1654 quand John Lightfoot, vice-chancelier de l'Université de Cambridge, avait calculé à l'heure près la date de l'origine de la Terre. Basé sur les calculs antérieurs de l'archevêque James Usher, il conclut que « *le ciel et la terre et les nuages plein d'eau et l'homme ont été créés par la Sainte Trinité le 26 octobre 4004 av. J.-C. À neuf heures du matin.* » (cité par Chorlton, 1984 : 85).

2.1.2.2 Les autres hypothèses avancées

Les radeaux de glace

Sans se délier du Déluge, certains ont avancé l'hypothèse d'un transport des blocs erratiques par les icebergs, car le transport par l'eau de blocs de plusieurs tonnes sur des centaines de kilomètres était difficilement explicable. On se rapproche ainsi un petit peu plus de la théorie glaciaire en faisant intervenir un nouveau facteur, la glace, mais on reste toujours "emprisonné" par les chimères bibliques.

Le premier à émettre cette hypothèse est le minéralogiste suédois Daniel Tilas (1712-

1772), qui en 1742 imagine des radeaux de glace géants sur lesquels les blocs erratiques auraient voyagé¹². Participant à la commission des frontières chargée de ratifier la frontière nord entre la Norvège et la Suède, il était bien placé pour observer le rôle de transport des icebergs. D'un point de vue international, le premier explorateur à s'approcher des pôles est le navigateur britannique James Cook qui, le 30 janvier 1774, amena son bateau à moins de 500 km des côtes antarctiques, la banquise l'obligeant à rebrousser chemin (Bailey, 1983). Dans les années 1830, l'exploration des pôles et la volonté d'atteindre ce continent inconnu vont bon train. Les aventuriers des zones polaires décrivent les débâcles d'icebergs, susceptibles de transporter sur de longues distances toutes sortes de choses, phoques comme ours polaires, petits cailloux comme blocs de plusieurs tonnes. Cette découverte du rôle de transport des icebergs, qui en fondant dans des eaux plus chaudes vont déposer leur charge, inspire les naturalistes de l'époque, donnant un nouvel élan aux spéculations à base religieuse qui commençaient à s'épuiser. C'est la raison qui pousse en 1833 Charles Lyell (1797-1875), brillant géologue anglais, à combiner l'enseignement biblique et les découvertes des explorations polaires en proposant un transport des blocs erratiques par les icebergs, emportés par la dérive et déposés à leur emplacement actuel par les eaux du Déluge. Ce dernier avait en effet observé près du Spitzberg que les glaciers incorporaient de la boue et des rochers qui, une fois arrivés vers la mer, se fracturaient en immense morceaux de glace qui se mettaient à flotter avec leur charge (Rémy, 2008). Aidé par la notoriété acquise grâce à la publication en trois volumes de son ouvrage célèbre, *Principles of Geology* (1830-1833), une grande majorité des savants de son temps se rallie à sa cause. Comme nous le verrons, ceci ne fera que renforcer la montagne d'antagonistes déjà difficilement ébranlable que Charpentier et Agassiz tenteront de mettre à mal avec la théorie glaciaire. Notons tout de même qu'il peut paraître étonnant que Lyell, en tant que fervent diffuseur du concept d'actualisme qui, je le rappelle, va à l'encontre de la véracité des écrits bibliques, développe une théorie ayant le Déluge comme dynamique principale. Parmi les partisans de cette théorie du transport par les icebergs, on peut citer encore Darwin, mondialement reconnu aujourd'hui pour ses travaux révolutionnaires en biologie.

Les plans de glissement géants

Certains naturalistes avait imaginé un transport des blocs erratiques du Jura par roulement depuis les Alpes. Pour ce faire, ils pensaient à des immenses plans de glissement sur lesquels les blocs ont "roulé", puis ce n'est que par la suite que les vallées alpines se seraient formées (Rémy, 2008). On a peine toutefois à imaginer, au vue de la forme de certains blocs, comment auraient-ils pu rouler sur une pente tout en conservant leur forme non émoussée? On peut citer parmi les tenants de cette théorie Déodat de Gratet de Dolomieu, qui est maintenant plus connu pour ces études sur les dolomies qui portent son nom (Rémy, 2008).

Les explosions de gaz

Cette hypothèse paraît aujourd'hui la plus irrationnelle, mais elle a au moins le mérite de démontrer que tout a été imaginé pour expliquer la présence de ces étranges rochers. Elle est avancée en 1813 par Jean-André Deluc (ou De Luc) (1727-1817), physicien genevois.

12 glaciers-climat.com, consulté en décembre 2008.

Il imagine que les blocs erratiques ont été violemment projetés en l'air suite à la compression d'air ou de gaz dans des cavernes souterraines due à des subsidences locales (Hallam, 1988). Cette théorie ne séduira personne, et sera rapidement décrédibilisée par de Saussure, qui demande pourquoi les blocs n'ont pas éclaté à l'impact, et pourquoi on ne trouve aucun cratère. De plus, il explique que l'on n'a jamais observé de tels événements dans la nature (Hallam, 1988).

Les restes d'anciennes montagnes

Notons encore cette dernière hypothèse, bien que peu documentée à ma connaissance¹³ (Rémy, 2008). Jean-Etienne Guettard (1715-1786), grand géologue français, stipula en 1762¹⁴ que les blocs granitiques qui abondent entre la Mer Baltique et les Carpates ne pouvaient que correspondre à des restes d'une chaîne de montagnes érodées. Cette théorie, en tenant compte des connaissances géologiques et paléogéographiques de l'époque, paraît tout sauf irrationnelle, car elle fait intervenir deux concepts fondamentaux de la géologie, à savoir l'érosion et la durée, et réfute de ce fait indirectement les écrits bibliques. Cependant, en tant que fervent chrétien, il se refusa à toute spéculation sur les temps bibliques, le passé et l'avenir de la Terre (Ellenberger, 1994b). Ajoutons encore que sa théorie fait référence à l'existence d'anciennes chaînes de montagnes, ce bien avant que l'on n'en ait la preuve scientifique. Dans l'impressionnante collection des mémoires de Guettard (1766-1786), il écrira même un mémoire intitulé « *Sur la dégradation des montagnes faites de nos jours par les fortes pluies ou averses d'eau, par les fleuves & la mer* », dans lequel il stipule clairement que « *la terre se dégrade, les montagnes s'affaissent, la terre semble tendre à une surface plane.[...] Quelquefois un ruisseau si petit qu'il soit par une action continuelle contre une montagne d'une très grande masse peut l'ouvrir, s'y faire un passage & et produire ensuite une brèche dans cette montagne, qui viendra peu-à-peu d'une grande largeur par les dégradations que ces bords pourront souffrir, & qui seront occasionnés par les eaux de pluie* (Guettard, 1768-1786 : 209-214) ». Grand observateur, il proposa déjà avant l'heure une introduction à la future théorie de l'actualisme sur la seule base de ses constatations sur le terrain, expliquant que les processus actuels à l'origine de la dégradation des montagnes étaient déjà présents dans le passé et avaient pu conduire à l'érosion totale d'anciennes chaînes de montagne. Cela nous prouve bien son esprit de vrai géo(morpho)logue, soucieux d'effectuer ses recherches *in situ*, laissant de côté les spéculations de laboratoire ; « *pédagogue de la recherche par le texte et par l'exemple, il enseignait patiemment cette vérité encore actuelle : le naturaliste doit impérativement sortir de son cabinet, se mettre en route et payer de sa personne en allant sur place interroger le terrain et tout ce qu'il veut bien nous livrer* » (Ellenberger, 1994b : 229). Car beaucoup de ses contemporains ne portaient pas assez attention à l'analyse sur le terrain et aux preuves matérielles, préférant aux rigueurs climatiques des différents environnements

13 Les seules références à cette théorie, exception faite de l'ouvrage de Rémy (2008), n'ont été trouvées que sur internet (glaciers-climat.com, planete-terre.ens-lyon.fr, wikipedia.org) et demandent donc toute la prudence nécessaire pour ce genre de source. Malgré toutes les recherches effectuées, je n'ai pas pu retrouver le document original. Il faut dire que Guettard a énormément publié, et peu de ses publications sont aujourd'hui disponibles, même en version numérisée.

14 Probablement dans un des deux mémoires (1762-1763) qu'il écrivit lorsqu'il accompagna comme médecin l'ambassadeur de France en Pologne (Ellenberger, 1994b). Malheureusement je n'ai pas réussi à trouver ce mémoire, l'histoire ayant surtout retenu celui de 1763 traitant de la microscopie géologique (Ellenberger, 1994b).

la chaleureuse tranquillité du laboratoire.

2.1.3 La théorie glaciaire

2.1.3.1 Les prémices

Les premières descriptions détaillées de glaciers en Suisse remontent au 16^{ème} siècle. Les changements climatiques de l'époque, en plein Petit Age Glaciaire (PAG, voir chap.2.2.3), ont attisé la curiosité de certains naturalistes, comme Tschudi (1538), Münster (1544) et Stumpf (1548) qui ont ainsi décrit les environnements alpins et leurs dangers (Vögele, 1987, cité par Preusser et al., 2007 ; Zryd, 2008). Wagner, en 1680, décrit l'avancée importante du glacier de Grindelwald sur les terres environnantes ; « *These snow masses show such a growth since some centuries that they force back the areas located closely with all the trees, the charming meadows and the neighbouring huts and urge the residents to relocate their houses to different places* » (Wagner, 1680, cité par Preusser et al., 2007). C'est une première observation sur la capacité de mouvement et donc de transport des glaciers. En 1742, Pierre Martel, visitant les glaciers de Chamonix, les décrit comme « *un lac qui ayant été furieusement agité par une grande bise se serait gelé tout d'un coup dans cet état* » (cité par Rémy & Testut, 2006 : 374). Deux ans plus tard, le même homme fait allusion à la capacité de transport des glaciers¹⁵. En 1760, de Saussure met en évidence le mouvement des glaciers et l'importance des eaux-sous-glaciaires et de la pente dans la dynamique glaciaire. Treize ans plus tard, le genevois Bordier stipule qu'il faut considérer la glace comme un amas de matière flexible et ductile jusqu'à un certain point, et non comme une masse entièrement rigide et immobile, et compare son mouvement à celui d'un liquide (Zryd, 2008). En 1781, Samuel Wytttenbach, membre fondateur de la Société bernoise des sciences naturelles, est frappé par la réavancée des glaciers alpins. Il organise un concours scientifique avec 20 ducats de récompense pour qui pourra reconstruire les anciennes extensions des glaciers sur la base de documents historiques (Zryd, 2008). Mais le succès est vain puisque personne ne s'inscrit, ce qui montre bien le peu d'importance que l'on portait aux glaciers à l'époque ainsi que la difficulté à mener ce genre de recherches. En 1787, l'avocat suisse Bernhard-Friedrich Kuhn (1762-1825) consacre une monographie aux environnements glaciaires dans laquelle il considère la nature des glaciers comme non-stationnaire, en se basant notamment sur les constatations d'un jeune berger anonyme de Grindelwald qui avait méthodiquement observé le glacier du même nom (Portmann, 1962 ; Preusser et al., 2007). Chorlton (1984) ajoute que Kuhn avait même émis l'hypothèse que les blocs erratiques du Jura avaient pu être transportés par les glaciers. On découvre ainsi la première hypothèse du transport des blocs erratiques par les glaciers. En 1817, le soleurois Franz Joseph Hugi (1791-1855), qui s'était fabriqué une petite hutte sur le glacier d'Unteraar, sera le premier à mesurer le déplacement du glacier en installant une série de piquets et de cailloux marqués (Zryd, 2008). Cependant, une époque glaciaire lui paraît inconcevable, et il ne se ralliera donc jamais à cette théorie. Notons encore que le célèbre romancier et voyageur allemand Wolfgang Goethe (1749-1832), dans l'édition de 1829 de *Wilhelm Meister*, fait allusion aux glaciers descendant des montagnes jusque dans les plaines où ils y déposent de larges blocs (Zryd, 2008).

Le premier à avoir explicité avec certitude que les glaciers sont le seul agent naturel

¹⁵ glaciers-climat.com, consulté en décembre 2008.

capable de déplacer des rochers aussi impressionnants que certains blocs erratiques est un scientifique écossais, John Playfair (1748-1819). Dans son ouvrage le plus célèbre, *Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth* (1802), il reprend les concepts développés par Hutton, tout en prenant soin de les reformuler et de les clarifier afin de les rendre plus facilement accessibles. Comme nous l'avons vu au chapitre 2.1.2.1, Hutton s'était attardé quelque peu sur l'origine des blocs erratiques. Playfair reprend donc ces idées, en étant cette fois plus précis que son prédécesseur, attribuant aux glaciers le transport des blocs erratiques et la formation de moraines (Basset, 1815 : 310-311) :

« Pour remuer des masses de roches aussi énormes, sans doute les instrumens les plus puissans dont se sert la nature sont les glaciers, ces lacs ou rivières de glace placés dans les vallées élevées des Alpes et des autres montagnes du premier ordre. Ces immenses volumes sont dans un mouvement perpétuel, varié comme l'influence de la chaleur de la terre, et sont détachés des plans inclinés qui servoient à supporter leur poids incalculable, en même temps qu'une infinité de fragmens qui pesoient sur eux. Ils emportent dans leur chute ces fragmens jusqu'aux dernières limites, où se trouve un mur formidable (moraine)¹⁶ qui confirme la grandeur, et atteste la force de l'instrument puissant qui l'a élevé. Chaque observateur a remarqué avec étonnement l'immense quantité et le volume inconcevable des roches ainsi transportées ; elles expliquent, d'une manière satisfaisante, comment ces fragmens peuvent être mis en mouvement, même où la pente est douce, et où la surface du terrain est très raboteuse. C'est par ce moyen qu'avant que les vallées aient été dans l'état où nous les voyons aujourd'hui, et lorsque les montagnes étoient encore plus élevées, de gros morceaux de roches ont pu être transportés à une grande distance ; et il n'est pas surprenant que ces mêmes masses, très diminuées dans leurs dimensions, réduites à l'état de gravier ou de sable, aient gagné les rivages, et même le fond de l'Océan. Après les glaciers, ce sont les torrens qui ont le plus de force pour transporter les pierres. »

Ce paragraphe de Playfair nous indique clairement qu'il avait "résolu" le problème du transport des blocs erratiques et de la formation des moraines, ce plusieurs années avant ses compères suisses. De plus il n'avait, lors de la rédaction de ces lignes, encore jamais visité les Alpes et le Jura. Ce n'est qu'en 1815, peu avant sa mort, qu'il put contempler ces blocs erratiques qui avaient tant fait parler d'eux. Toutefois, les linéaments de la théorie glaciaire développés par Playfair n'avaient point attiré l'attention, et sont restés pour ainsi dire inconnus jusqu'à leur mise à jour par Forbes en 1843, qui lui attribue le premier l'hypothèse d'un transport par les glaciers (Forbes, 1843 : 41-42) : *« The first person, so far as I know, who perceived the possible importance of glaciers as geological agents, was my respected predecessor, professor Playfair »*. Il cite ensuite le passage de Playfair (énoncé ci-dessus) expliquant que le seul agent naturel pouvant transporter de telles masses est les glaciers, pour rajouter par la suite : *« we cannot but give to Professor Playfair the credit of having clearly pointed out the probability of the former greater extension of glaciers as the most powerful known agents of transport »*. Il explique ensuite que quatorze ans plus tard, lors du premier voyage de Playfair en Suisse, la vision de ce dernier n'avait absolument pas changé, bien au contraire, ce voyage ne l'ayant que conforté dans l'idée d'une extension très importante des glaciers alpins dans le passé, qui ont dû recouvrir tout le plateau suisse.

Hallam (1988) estime même que si un observateur aussi assidu qu'Hutton avait pu passer un peu de temps sur le terrain erratique suisse, la théorie glaciaire aurait pu voir le jour

16 Cette parenthèse est de moi-même.

bien avant son heure. Toutefois, quand on regarde déjà la réception virulente dans le monde scientifique de l'époque de la théorie de Hutton, pulvérisant la chronologie biblique, on a peine à imaginer quelles auraient été les réactions si, en plus de son concept d'actualisme, Hutton avait introduit celui d'une extension globale des glaciers dans le passé! La quasi totalité des scientifiques de l'époque n'acceptait pas le fait que la Terre ait pu être bien plus vieille que quelques milliers d'années, comment auraient-ils pu accepter que, en plus de cela, elle ait eu des périodes bien plus froides? Car rappelons tout de même que, selon le paradigme de l'époque, la terre était en refroidissement constant depuis sa création par le Tout-Puissant. Une variabilité des climats par le passé était ainsi inacceptable. Malheureusement, les théories de Hutton et de son successeur Playfair resteront généralement ignorées.

2.1.3.2 L'avènement

Comme on a pu le voir, la vérité sur l'origine du transport des blocs erratiques et sur la formation des dépôts glaciaires avait déjà été effleurée par certains, voire entièrement dévoilée par d'autres. Malheureusement, ces théories révolutionnaires ne purent transpercer le mur de protestations allant à leur encontre, et il faudra une série d'événements, couplée à l'appui de scientifiques reconnus à leur époque, pour que soit acceptée la théorie glaciaire, en Suisse tout d'abord, puis dans le monde entier.

Jean-Pierre Perraudin de Lourtier et les observations paysannes

Paysan chasseur de chamois du Val de Bagnes (VS, Suisse), Jean-Pierre Perraudin (fig. 2.1.3) paraît être la première personne suisse connue à avoir émis l'hypothèse d'une extension bien plus importante des glaciers par le passé. On a également pu voir que, lorsque Kuhn avait émis cette même hypothèse en 1787, il s'était appuyé sur les observations d'un paysan à jamais anonyme de Grindelwald (ch. 2.1.3.1). Comment expliquer donc que ce sont les paysans qui, bien avant les savants de l'époque, connaissaient le caractère dynamique et les traces laissées par les glaciers? Cela peut paraître étrange de nos jours, cependant l'explication est tout à fait rationnelle ; à l'époque, les seuls personnes à être en contact direct et continu avec les glaciers étaient les autochtones vivant dans leurs alentours. C'était donc pour eux un fait immémorial que ces masses de glace n'étaient pas statiques, leurs ancêtres ayant vu les glaciers empiéter sur leur terre dès le début du PAG puis se retirer, détruisant parfois leur habitation. La dynamique glaciaire n'était donc pas un secret pour ces paysans, ni les empreintes de leur passage dévoilées lors de leur retrait (roches moutonnées, stries glaciaires, blocs erratiques, moraines). Et ce n'est qu'au moment où les savants de l'époque commencèrent à s'intéresser aux glaciers que ce savoir populaire put introduire les cercles scientifiques, et donc se diffuser.

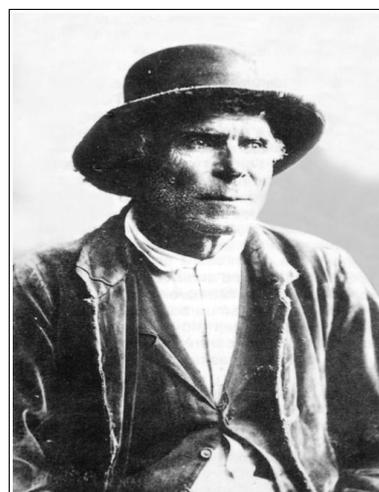


Fig. 2.1.3 : photo présumée de Perraudin (tiré de glaciers-climat.com).

En Suisse, tout commence en 1815, au moment où Perraudin fait la connaissance du directeur des salines de Bex, Jean de Charpentier (1786-1855). Laissons le soin à ce dernier de nous conter leur fructueuse rencontre (De Charpentier, 1841 : 241-242) :

« La personne que j'ai entendue pour la première fois émettre cette opinion (celle attribuant le transport des blocs erratiques aux extensions passées des glaciers), est un bon et intelligent montagnard nommé Jn. Pr. Perraudin, passionné chasseur de chamois, encore vivant au hameau de Lourtier dans la vallée de Bagnes. Revenant en 1815 des beaux glaciers du fond de cette vallée, et désirant me rendre par la montagne de Mille au Saint-Bernard, je passai la nuit dans sa chaumière. La conversation durant la soirée roula sur les particularités de sa contrée, et principalement sur les glaciers, qu'il avait beaucoup parcourus, et qu'il connaissait fort bien. « Les glaciers de nos montagnes » me dit-il alors « ont eu jadis une bien plus grande extension qu'aujourd'hui. Toute notre vallée, jusqu'à une grande hauteur au-dessus de la Drance (torrent de la vallée), a été occupée par un vaste glacier, qui se prolongeait jusques à Martigny, comme le prouve les blocs de roches que l'on trouve dans les environs de cette ville, et qui sont trop gros pour que l'eau ait pu les y amener ».

Quoique le brave Perraudin ne fit aller son glacier que jusques à Martigny, probablement parce que lui-même n'avait peut-être guère été plus loin, et quoique je fusse bien de son avis relativement à l'impossibilité du transport de blocs erratiques par le moyen de l'eau, je trouvai néanmoins son hypothèse si extraordinaire, si extravagante même, que je ne jugeai pas qu'elle valût la peine d'être méditée et prise en considération. »

On peut donc en déduire la vision très éclairée que ce montagnard possédait pour son temps, mettant de côté toute hypothèse d'un quelconque Déluge ou autres théories fantaisistes, et ne se basant que sur des faits directement observables. Digne d'un vrai géomorphologue, ses scrupuleuses observations lui permirent de découvrir les bases de la théorie glaciaire, et ce avant les plus grands scientifiques de son époque. On découvre dans l'extrait précédent que l'origine du transport des blocs erratiques n'avait aucun doute pour lui, qu'elle était due à l'extension passée des glaciers et non à des flots diluviens. Nul doute que si ce brave Perraudin avait eu l'occasion de se rendre dans le Chablais ou dans le Jura, il aurait fait aller ses glaciers jusque là! Une note inédite de ce même Perraudin, retrouvée sur un feuillet d'un récit de voyage à l'Entremont en 1818 par Henri Gilliéron, diacre à Vevey, nous indique qu'il avait également résolu le mystère des roches moutonnées et des stries présentes (Forel, 1900 : 170) :

« Observations faites par un paysan de Lourtier.- Ayant depuis longtemps observé des marques ou cicatrices faites sur des rocs vifs et qui ne se décomposent point (ces marques sont toutes dans la direction des vallons) et dont je ne connaissait pas la cause, après bien des réflexions, j'ai enfin, en m'approchant des glaciers, jugé qu'elles étaient faites par la pression ou pesanteur des dites masses, dont je trouve des marques au moins jusqu'à Champsec. Cela me fait croire qu'autrefois la grande masse des glaciers remplissaient toute la vallée de Bagnes, et je m'offre à le prouver aux curieux par l'évidence, en rapprochant les dites traces de celles que les glaciers découvrent à présent.

« Par l'observateur Jean-Pierre Perraudin »

A nouveau, en lisant ces lignes, on ne peut qu'être frappé par la clairvoyance et l'esprit

rationnel de ce modeste chasseur de chamois. Tout comme un géomorphologue, dont la source première d'information est le relevé de terrain et l'observation, Perraudin sut faire preuve d'une capacité d'observation et de déduction remarquable, à faire pâlir certains des plus illustres savants contemporains. Comme nous le verrons pas la suite, c'est également lui qui informera Venetz quelques années plus tard. Il transmet également à ce dernier des données assez précises sur l'extension du glacier de Corbassières, ce depuis 1720, car son père était déjà un grand observateur (Weidmann, 1973). C'était donc une sorte de tradition chez les Perraudin d'accumuler des observations faites sur les glaciers. Mais revenons quelque peu à Charpentier et à ses étonnantes rencontres.

Dans son *Essai sur les glaciers*, Charpentier mentionne également d'autres discussions qu'il a eu l'occasion d'avoir avec des montagnards ou paysans suisses tenant des propos similaires à ceux de Perraudin (Charpentier, 1841 : 242-243) :

« J'ai rencontré encore dans d'autres parties de la Suisse des montagnards qui croient également à une plus grandes extensions des glaciers dans les temps anciens, et qui leur attribuent aussi le transport des blocs erratiques. En 1834 [...] je joignis sur la route du Brunig, un bûcheron de Meiringen. [...] Me voyant examiner un gros bloc de granite du Grimsel, qui gisait au bord du sentier, il me dit : « Il y a beaucoup de ces pierres par ici : mais elles viennent de loin ; elles viennent toutes du Grimsel, car c'est du Geisberger (nom du granite en allemand suisse), et les montagnes des environs n'en sont pas ». Sur ma question, comment il croyait que ces pierres avaient pu arriver jusques ici, il me répondit sans hésiter : « Le glacier du Grimsel les a amenées et déposées des deux côtés de la vallée ; car ce glacier s'est étendu jadis jusques à la ville de Berne ; en effet » continua-t-il « l'eau n'aurait pu les déposer à une aussi grande hauteur au-dessus du sol de la vallée, sans combler les lacs » (ceux de Brienz et de Thoun). Ce brave homme ne se doutait certes guère que je portais dans ma poche un mémoire en faveur de son hypothèse, destiné à être lu à la Société helvétique des sciences naturelles. Et grand fut son étonnement lorsqu'il vit le plaisir que me causait son explication géologique, et lorsqu'il reçut de quoi boire au souvenir de l'ancien glacier du Grimsel et à la conservation des blocs du Brunig. J'ai trouvé également dans la vallée de Ferret, et Mr de Guimps, dans les environs d'Yverdon, des paysans qui attribuent le transport des blocs erratiques à des glaciers. Enfin Mr Brard rapporte [...] que le nommé Marie Deville de la vallée de Chamonix attribuait également aux glaciers le transport des blocs de protogine que l'on trouve sur quelques éminences de cette vallée, et les sillons parallèles qu'on y observe sur des roches schisteuses. »

Ainsi, le "savoir glaciologique paysan", basé uniquement sur des observations directes, semblait égal, ou même dépasser le savoir scientifique de l'époque, élaboré pour beaucoup sur des hypothèses de cabinet. Le réalisme des paysans semblait donc fort bien s'accorder d'une vérité que les savants refusaient. Cela nous prouve une nouvelle fois l'importance en géomorphologie des observations sur le terrain. Toutefois, la diffusion de la théorie glaciaire, énoncée indirectement en premier par le milieu campagnard, ne pourra s'opérer que grâce à l'ouverture d'esprit et à la volonté de certains scientifiques de grande renommée, comme Venetz, Charpentier puis Agassiz.

On aurait pu en rester là et ne plus jamais entendre parler de Perraudin, mais en 1818 un évènement catastrophique va attirer l'attention de toute l'Europe sur le Val de Bagnes, et va marquer le début du développement de la théorie glaciaire dans la sphère scientifique : la

débâcle du Giétro.

La débâcle du Giétro

Sans faire un exposé complet de cette catastrophe marquante du début du 19^{ème} siècle, il est important d'y faire allusion, car elle permit la rencontre de trois personnages clés dans le développement de la théorie glaciaire : Jean-Pierre Perraudin, Ignace Venetz et Jean de Charpentier¹⁷. Et c'est de leurs fructueux échanges et observations que va naître véritablement la théorie glaciaire, qui sera ensuite mondialement diffusée par Louis Agassiz. Dès la deuxième moitié du 18^{ème} siècle, on observe une avancée générale des glaciers alpins, considérée comme le troisième maximum du PAG. Les habitations sont de plus en plus menacées, ce qui commence sérieusement à inquiéter les autorités suisses (Rémy & Testut, 2006 ; Schaer, 2000).

Dans le Val de Bagnes, le glacier du Giétro commence à poser problème. Ce dernier peut être considéré comme un glacier aux caractéristiques bimodales : dans sa partie supérieure, il s'écoule sur un terrain relativement plat en direction du nord, grossièrement entre 3400 et 3000 m, puis tourne brusquement vers l'ouest à cette altitude, où il débouche sur une forte pente puis une paroi verticale. Actuellement en net recul, sa langue glaciaire se situe dans la partie inférieure de la paroi, à environ 2600 m (fig. 2.1.4). Cependant, lors du PAG, l'importante augmentation de la masse glaciaire eut pour effet de faire déborder le glacier par-delà sa vallée suspendue, ce qui donna naissance au pied de la paroi, à environ 2000 m, à ce que l'on nomme un « glacier régénéré ». Le glacier pouvait donc être comparé à une cascade de glace au sens propre ; arrivé au sommet de la paroi, le glacier se fracture, la force de cohésion de la glace n'étant pas assez ductile pour supporter son propre poids sur une pente aussi importante, et se régénère au pied de la paroi, d'où son nom. Alimenté constamment par les chutes de séracs, le glacier régénéré peut ainsi se développer. En 1818, la situation du cône régénéré devient très préoccupante : en effet, un



Fig. 2.1.4 : La langue glaciaire du Giétro en juin 2006 (photo Olivier Bruchez).

cône de glace de 1,7 million de m³, formé selon Escher de la Linth en l'espace de 12 ans¹⁸, fait office de barrage naturel à l'écoulement de la Dranse. Une première vidange naturelle a lieu sans dommage le 27 mai 1817 (Zryd, 2008). Mais, moins d'une année plus tard, le lac a nouveau formé atteint des proportions énormes (3,5 km de long, 60 m de profondeur, 27,5 millions de m³) (fig. 2.1.5). On décide enfin de s'en préoccuper en avril 1818, car de tels événements eurent déjà lieu par le passé, notamment en 1595 où la rupture brutale du barrage et du lac formé de la même manière tua 140 personnes et détruisit plus de 500

17 Voir par exemple Gard (1988) pour toutes les informations traitant de cette débâcle.

18 www.zryd.ch, consulté en décembre 2008.

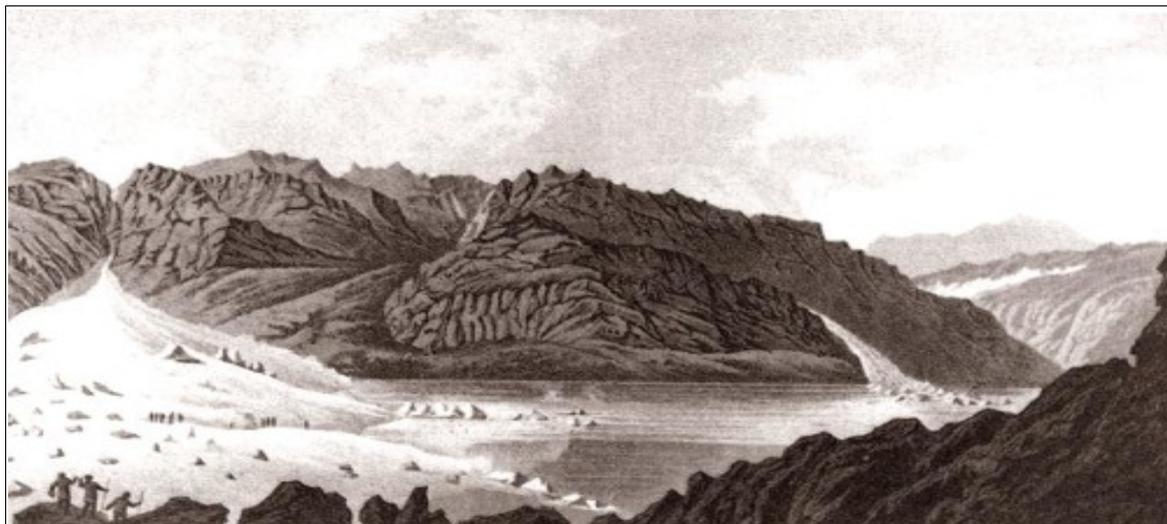


Fig. 2.1.5 : Le lac du Mauvoisin en 1818, avec le cône régénéré (à gauche) faisant office de barrage (tiré de www.glaciers-climat.com).

habitations¹⁹. C'est afin d'éviter une pareille catastrophe que le gouvernement valaisan mandate l'ingénieur cantonal du Valais, Ignace Venetz. Aidé de ses conseillers Escher de la Linth et Jean de Charpentier, il est chargé de trouver des mesures pour minimiser les dégâts que provoquerait la rupture de ce barrage (Schaer, 2000).

Arrivé début mai sur place, Venetz entreprend de creuser une galerie dans la glace. Il va passer tout le printemps dans la région, où il va faire la rencontre de Perraudin, que Venetz qualifie lui-même comme le plus ardent et le plus intelligent des montagnards de ce district (Forel, 1900). Les travaux de creusement de la galerie d'écoulement commencent, et le lac se vide petit à petit²⁰. Peu avant la débâcle, le niveau du lac avait diminué de 14 m, et la masse du cône s'était passablement amoindrie. Cependant, la catastrophe n'a pas pu être totalement évitée, car le 16 juin 1818 à 16h30, la digue de glace se rompt, et en moins d'une demi-heure, le lac s'est complètement vidé de ses 18 millions de m³. Dix minutes plus tard, l'énorme vague atteint le village du Châble, à 18h elle touche Martigny et, une heure plus tard, la crue est constatée à Saint-Maurice. Le bilan est lourd : 44 personnes trouvent la mort, et des centaines de maisons sont détruites. Un dessin de H. C. Escher, effectué après la débâcle, nous donne une idée de l'importance du cône régénéré (fig.2.1.6)²¹.

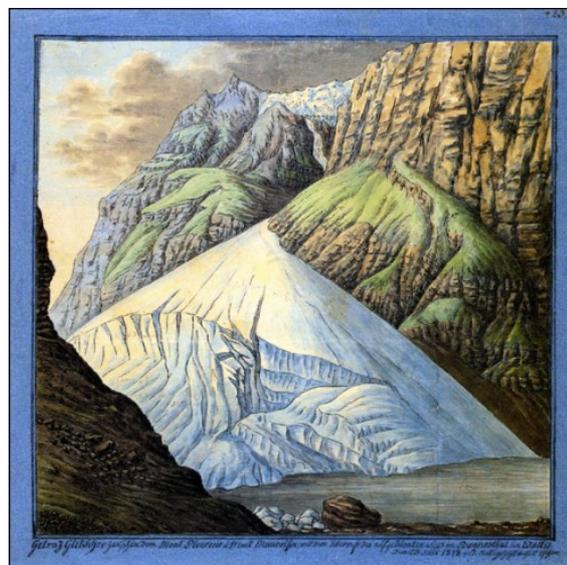


Fig. 2.1.6 : Vue sur les restes du cône régénéré et du lac glaciaire après la Débâcle. Dessiné d'après nature par H. C. Escher le 23 juillet 1818.

¹⁹ unifr.ch/geoscience/geographie/ssgmfiches, consulté en décembre 2008.

²⁰ Voir par exemple Zryd (2008) pour une chronologie complète et détaillée des travaux et de la débâcle.

²¹ Tiré de unifr.ch/geoscience/geographie/ssgmfiches, consulté en décembre 2008.

Ignace Venetz, le précurseur méconnu

Ignace Venetz (1788-1859) (fig. 2.1.7), en comparaison à de Charpentier ou Agassiz, est certainement celui qui a le plus été délaissé par la communauté scientifique internationale. Pourtant, il fait office de pionnier en ce qui concerne le développement de la théorie glaciaire, car c'est lui qui a le premier émis scientifiquement l'hypothèse d'un transport des blocs erratiques par les glaciers, avec preuves directes à l'appui, bien que l'on ait pu se rendre compte précédemment que cette hypothèse avait déjà été avancée par certains (Hutton, Playfair, Perraudin, etc). Et c'est lui qui réussira à convertir de Charpentier, dont la réputation d'alors n'était plus à faire, à la théorie glaciaire, diffusée ensuite par Agassiz.



Fig. 2.1.7 : Ignace Venetz (tiré de glaciers-climat.com).

Formé comme ingénieur, Venetz est d'abord ingénieur du Département du Simplon, puis du Canton du Valais dès 1816. Comme on vient de le voir, il est chargé de s'occuper du cas du glacier du Giétro, où il rencontrera l'illustre chasseur de chamois Perraudin. C'est probablement lui qui a mis en premier Venetz sur la voie des glaciations passées, bien que l'on n'en ait aucune preuve formelle (Forel, 1900). La même année, Venetz présente lors d'une assemblée de la Société suisse des sciences naturelles (SHSN) à Berne ses hypothèses sur les relations entre fluctuation glaciaire, évidences historiques et modification climatique (Zryd, 2008). Suite à cela, La SHSN lance en 1817 un concours sur les variations climatiques dans les régions alpines. Un seul travail est récompensé, le seul d'ailleurs ayant répondu à l'appel, celui du forestier K. Kastofer, bien qu'il ne réponde que très partiellement aux questions posées (Schaer, 2000). Mécontente du peu d'enthousiasme suscité par le concours pourtant doté d'un prix, la SHSN réitère son appel, précisant quelque peu son sujet qui devient : « *Rassembler des faits exacts et bien observés sur l'accroissement et la diminution des glaciers dans les diverses parties des Alpes, sur la détérioration ou l'amélioration de leurs pâturages, sur l'état antérieur et actuel des forêts* » (Schaer, 2000 : 4). A la date limite de dépôt, en 1822, un seul travail est rendu, celui de Venetz, qui fait aujourd'hui date dans l'histoire de la théorie glaciaire. Malheureusement, il ne sera publié que 11 ans plus tard, l'auteur ayant quelques modifications à effectuer (Venetz, 1833). Néanmoins, Venetz reste probablement le premier à avoir entrepris des travaux sur l'histoire du climat (Rémy, 2008). Notons encore que ce travail fut précédé de deux notes aux titres évocateurs, l'une en 1829 intitulée « *Sur le déplacements des glaciers* », et l'autre une année plus tard : « *Sur l'ancienne extension des glaciers, et sur leur retraite dans leurs limites actuelles* ». Intitulé « *Mémoire sur les variations de la température dans les Alpes de la Suisse* », son rapport de 1833 apporte des conclusions étonnantes, comme le souligne Charpentier (1841 : 243-244) : « *Si j'avais trouvé extraordinaire et invraisemblable la supposition d'un glacier s'étendant du fond de la vallée de Bagnes jusques à Martigny (thèse de Perraudin), je trouvai réellement folle et extravagante l'idée d'un glacier de plus de 60 lieues de longueur, occupant non seulement le Valais, mais recouvrant même tout l'espace entre les Alpes et le Jura, entre Genève et Soleure.* ». Se basant sur des observations géomorphologiques et des recherches historiques, Venetz apporte la preuve des multiples variations de température dans les

Alpes, notamment grâce à l'enregistrement de la limite des glaciers et des forêts (Venetz, 1833 ; Schaer, 2000). Il termine son mémoire par les conclusions suivantes (Venetz, 1833 : 38) :

« Nous sommes donc en quelque manière autorisés à croire :

- 1) *Que les moraines qui se trouvent à une distance considérable des glaciers, datent d'une époque qui se perd dans la nuit des temps.*
- 2) *Que les faits que nous avons cité pour prouver un abaissement de température, sont plus récents que les dites moraines.*
- 3) *Que celles qui se trouvent près des glaciers peuvent être des deux derniers siècles.*
- 4) *Que la température s'élève et s'abaisse périodiquement, mais d'une manière irrégulière.*
- 5) *Que, selon les apparences, le refroidissement de cette époque est arrivé à son terme.*
- 6) *Que les glaciers parviendront difficilement à la hauteur gigantesque dont nous trouvons tant de vestiges, et que nous pouvons nous tranquilliser sur l'extension présumée de la région des glaces en général. »*

Comme on peut le remarquer et comme le souligne bien Schaer (2000), Venetz pose ainsi les bases de la paléoclimatologie (faible amplitude des températures à court terme mais importante à long terme, extension des glaciers très importantes dans un passé lointain, etc.). Il a donc l'immense mérite d'avoir créé et développé le mortier à la base des fondations de ce paradigme toujours d'actualité, ses successeurs, aidés par leur grande renommée, n'ayant plus par la suite qu'à empiler les briques de leur savoir afin de rendre ce mur inébranlable. Car ce qui manquait à Venetz, contrairement à de Charpentier ou Agassiz, c'était ce voile de gloire, de reconnaissance du monde scientifique qui donnait tout de suite à son endosseur plus de crédibilité et d'attention. Comment un "inconnu" comme Venetz pouvait-il être écouté et pris au sérieux par les plus célèbres scientifiques de l'époque, ne faisant pas partie de leur cercle et exposant une théorie aussi révolutionnaire? C'était mission impossible. Et, lors de la présentation de ces résultats le 22 juillet 1829 à la conférence annuelle de la SHSN du Grand-Saint-Bernard, l'auditoire resta de marbre à cette nouvelle théorie scientifique de l'extension passée des glaciers jusqu'au Jura et de leur rôle dans le transport des blocs erratiques et de la formation des moraines. Il faut dire que Venetz lui-même était le premier surpris de ses déductions et en était même effrayé, comme nous le rapporte Weidmann dans une note retrouvée dans un carnet de Venetz (Weidmann, 1973 : 6) : « [...] il fait peur de penser à un glacier pareil! ». Le silence écrasant qui succéda la conférence de Venetz illustre bien le peu d'importance et de crédibilité que l'auditoire consacrait à ce simple ingénieur cantonal. Pourtant, suite à ce discours, Venetz devient le premier à soutenir publiquement en Suisse une ancienne extension des glaciers jusqu'au Jura (Zryd, 2008).

De Charpentier, ami de longue date de Venetz et qui n'avait point réussi à dissuader ce dernier de tenir ce discours, eut quelque peu pitié de lui et de la situation dans laquelle il s'était glissée. C'est ainsi qu'il lui proposa de passer quelques jours en sa compagnie afin de lui démontrer sur le terrain l'inexactitude sa théorie, mais les résultats obtenus différèrent quelque peu de ceux escomptés...(De Charpentier, 1841 : 244) :

« Pour convaincre mon ami de l'erreur dans laquelle il me semblait être tombé, je m'appliquai à étudier d'une manière spéciale le terrain erratique et toutes les circonstances qui l'accompagnent. Mais cette étude me conduisit à un résultat tout opposé à celui auquel je m'étais attendu. En effet, loin de me fournir des arguments contre l'hypothèse des glaciers, je reconnus clairement qu'elle expliquait de la manière la plus satisfaisante le terrain erratique jusques dans ses moindres détails, et tous les phénomènes qui s'y rattachent. »

"Le convertisseur converti", telle est la déduction que l'on peut faire! Cette amusante anecdote nous prouve deux choses : d'une part la remarquable compréhension et explication des phénomènes par ce "simple ingénieur" et, d'autre part, l'admirable esprit scientifique de Jean de Charpentier, capable d'accepter, sur la base de faits scientifiques, toute théorie pourtant en contradiction avec ses principes et croyances. La conversion de de Charpentier à la théorie glaciaire marque le début de sa diffusion à grande échelle. Le mérite des débuts scientifiques de la théorie glaciaire revient donc à Venetz, comme le souligne bien Agassiz dans son ouvrage *Etudes sur les glaciers* (Agassiz, 1840 : 12) :

« M. Venetz [...] rédigea en 1821 un mémoire sur les variations de la température dans les Alpes de la Suisse [...]. Ce mémoire renferme une série de faits très remarquables sur la marche des glaciers. L'auteur y expose pour la première fois d'une manière complète les faits qui démontrent l'extension immense que les glaciers ont eue jadis. C'est bien M. Venetz qui le premier lui (la théorie du transport des blocs erratiques par les glaciers) a fait acquérir une valeur scientifique réelle ; le premier il parle de moraines qui se trouvent à des distances très considérables des glaciers, et qui datent d'une époque qui se perd dans la nuit des temps. »

En 1836, travaillant sur son mémoire sur les glaciers, Venetz fait également allusion au terrain erratique du nord de l'Allemagne (Weidmann, 1973). Il note que ces blocs sont d'origine suédoise, et attribue logiquement leur transport aux glaciers. Il démontre ainsi l'existence de la calotte glaciaire scandinave, quelques années après les premières hypothèses de Elmark (1824 et 1827) et de Bernhard (1832), considéré comme le père de cette hypothèse (Chorlton, 1984 ; Bard, 2004 ; Zryd, 2008)

Malheureusement en 1837, Venetz abandonne sa fonction d'ingénieur cantonal du Valais pour le service de l'Etat de Vaud, et avec cela ses études sur les glaciers, faute d'argent (Weidmann, 1973). Il ne sera pas oublié pour autant, de Charpentier et Agassiz lui rendant l'hommage qu'il mérite dans leurs publications respectives, bien que d'un point de vue international il ne sera jamais reconnu à sa juste valeur. Dans les dernières années de sa vie, il terminera tout de même la rédaction de son *Mémoire sur les anciens glaciers*, que la SHSN publiera en 1861, réparant ainsi partiellement à titre posthume l'injustice qu'elle lui avait faite lors de son discours révolutionnaire au Grand-Saint-Bernard en 1829 (Weidmann, 1973). Ajoutons encore que Venetz, dans ce mémoire, stipule le premier que le glacier du Rhône a eu au moins « quatre époques différentes séparées par de grands laps de temps, pendant lesquelles le climat était arrivé au point de réduire à une surface moindre les glaciers » (Venetz, 1861 cité par Onde, 1948 : 403). Basée sur des observations faites dans le Jura et près de Genève notamment, il reconnaît ainsi 4 phases glaciaires, ce bien avant la chronologie célèbre de Penck et Brückner (1909).

Comme nous allons le constater, "l'effet boule de neige" peut être utilisé comme analogie

pour expliquer la diffusion de la théorie glaciaire : la boule de neige prémodélée par Venetz, qui est parvenue à emporter de Charpentier, ne va cesser de croître par la suite, notamment grâce à la réputation solide de ce dernier. Elle va ainsi pouvoir entraîner dans son sillage Agassiz, lequel lui apportera tellement de consistance qu'elle réussira à renverser même ses plus solides opposants, détruisant toute autre hypothèse.

Charpentier, Agassiz et le triomphe de la théorie glaciaire

On a pu voir que Venetz, véritable précurseur scientifique de la théorie glaciaire, a su habilement prouver par les faits à de Charpentier (fig. 2.1.8) le caractère indiscutable de sa théorie. Le directeur des mines du canton de Vaud, conquis par les arguments de Venetz, va alors commencer à étudier sérieusement la question. Aidé de 10 ans d'observation de la neige et de la glace (Pieze, 1999), il va reprendre les observations de Venetz et les généraliser. Parcourant toute la région du bassin du Rhône (du Saint-Gothard jusqu'à Genève ainsi que la vallée de Chamonix) et notamment celle du Chablais, il va rassembler les preuves de l'ancienne extension du glacier rhodanien. Il choisit cette région parce qu'il y habite, mais surtout parce « *qu'elle présente les phénomènes, soit des glaciers, soit du terrain erratique, sur une échelle beaucoup plus grande qu'aucune autre partie de la Suisse ; de plus, le terrain erratique y a mieux conservé ses formes, de manière que les traits en sont pour ainsi dire plus reconnaissables dans cette localité que dans les autres* » (De Charpentier, 1841 : III-IV). Cela nous prouve le caractère hautement représentatif et didactique du terrain erratique chablaisien. C'est la raison qui poussera de Charpentier à se battre pour la conservation des blocs erratiques, dont certains portent aujourd'hui son nom.

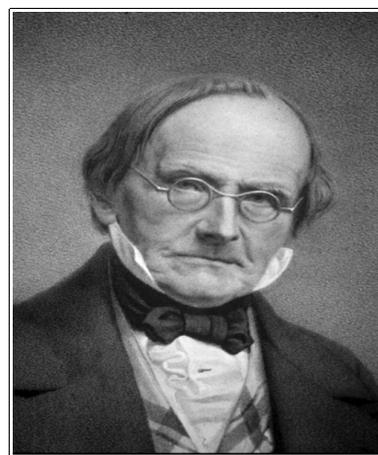


Fig. 2.1.8 : Jean de Charpentier (tiré de glaciers-climat.com).

En 1834, après avoir collecté suffisamment de preuves, de Charpentier présente ses résultats à Lucerne devant la SHSN. De cette communication, intitulée « *Annonce d'un des principaux résultats de recherche de Mr. Venetz, ingénieur des Ponts et chaussées du Canton du Valais, sur l'état actuel et passé des glaciers du Valais* » (Schaer, 2000), va suivre une publication, « *Sur la cause probable du transport des blocs erratiques de la Suisse* », qui paraîtra une année plus tard dans les *Annales des mines* (De Charpentier, 1835). Comme il le dit en introduction, son objectif est de « *diriger de nouveau l'attention des géologues sur un phénomène que depuis quelques temps ils semblent laisser dans l'oubli* » (De Charpentier, 1835 : 219). Elle est traduite en allemand et en anglais, ce qui montre la volonté de diffusion et la prise de conscience de la valeur de son message par de Charpentier (Schaer, 2000), qui n'oublie jamais de rendre hommage aux découvertes de son ami Venetz, renvoyant le lecteur avide de détails à ses travaux.

Tout comme ce fut le cas pour Venetz quelques années plus tôt, l'auditoire reste sceptique au discours de Jean de Charpentier ; les naturalistes présents ne sont pas encore prêts à changer de paradigme, le dogme du Déluge biblique et de ses théories dérivées restant encore et toujours inexpugnable. Pourtant, déjà mis à mal par les arguments de Venetz puis maintenant par de Charpentier, la théorie diluvienne est en train de vivre ses derniers jours.

Car il semblerait qu'un auditeur dans l'assemblée soit tout de même intrigué par cette théorie révolutionnaire : il s'agit de Louis Agassiz (1807-1873), jeune naturaliste suisse. A ce sujet, une petite parenthèse s'impose : beaucoup d'auteurs stipulent que Agassiz était présent à cette assemblée (Portmann, 1962 ; Chorlon, 1984 ; Bailey, 1984 ; Hallam, 1988), mais Schaer (2000) semble affirmer le contraire, Agassiz étant sur le point de se rendre ou étant déjà en route pour la Grande-Bretagne. Vu la précision de ses propos, je pencherais plutôt pour la version de Schaer, d'autant plus qu'il est certain qu'Agassiz se soit rendu en Grande-Bretagne en 1834, car c'est l'année des débuts d'une longue amitié avec le célèbre géologue britannique William Buckland qu'il rencontre à Oxford (Chorlton, 1984 ; Hallam, 1988). Quoiqu'il en soit ce point n'est pas le plus important, car Agassiz, qui aura écho des propos émis par de Charpentier, va s'intéresser à cette nouvelle théorie au premier abord grotesque.

Jean Louis Rodolphe Agassiz (1807-1873) (fig. 2.1.9), alors professeur à l'Académie de Neuchâtel, avait déjà acquis une notoriété mondiale pour ses travaux en paléontologie et en zoologie (c'est notamment un des plus grands spécialistes des poissons fossiles) (Portmann, 1962 ; Macdougall, 2004 ; Kaeser, 2007). En 1835, il est préoccupé par le terrain erratique, comme le mentionnent les notes d'un de ses étudiants où il énumère les différentes théories expliquant les dépôts erratiques, effleurant la théorie glaciaire : « *un géologue valaisan, M. Venez (sic), vient d'émettre une opinion bizarre mais qu'il ne faut pas repousser sans examen. Les glaciers étaient beaucoup plus étendus. On peut donc supposer que les glaciers étendaient leurs pentes jusque par-dessus le Jura et que les blocs de granit qui avaient roulé sur leurs flancs sont restés en place après le retrait des glaces. Ici cependant la bizarrerie va trop loin, l'hypothèse n'est pas admissible* » (cité par Schaer, 2000 : 4).

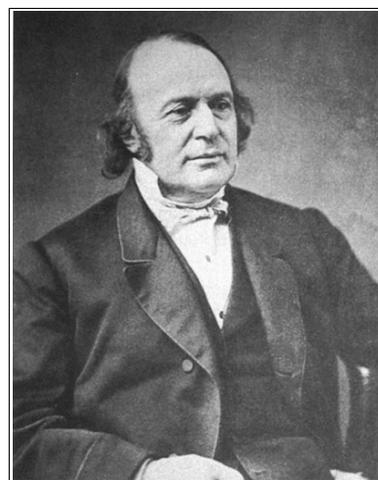


Fig. 2.1.9 : Louis Agassiz (tiré de wikimedia.org).

Initialement en désaccord avec cette théorie, Agassiz va se rendre chez de Charpentier en 1836, où il va y passer tout l'été. Lors de ces cinq mois à Bex, les deux hommes vont visiter les glaciers, moraines et autres blocs erratiques de la région. Au départ, Agassiz espérait convaincre son ami de son erreur : « *je me flattais même qu'en allant attaquer M. De Charpentier sur son terrain, je le ramènerais peut-être de ses idées qui me paraissaient extravagantes* » (Agassiz, 1840 : 15). Mais l'histoire se répéta à nouveau, les faits de terrain ne laissant pas de place à d'autres explications. De Charpentier va littéralement donner un cours pratique à son homologue neuchâtelois, convertissant Agassiz à la théorie glaciaire : « *je ne dirai pas comment mes idées sur le transport des blocs se changèrent complètement à la vue des faits si nouveaux pour moi que M. de Charpentier me fit connaître* » (Agassiz, 1840 : 15). A nouveau, les dépôts erratiques, couplés à l'explication glaciaire, ont eu raison d'un des opposants à la théorie glaciaire.

Une fois conquis, Agassiz va consacrer une bonne partie de son énergie au développement et à la diffusion de cette théorie glaciaire. Au même moment, le botaniste allemand Friedrich Schimper (1803-1867), ami d'Agassiz qui avait également étudié le terrain erratique allemand et s'était rallié à la cause glaciaire, se rend en Suisse et donne plusieurs

conférences. Il aurait prêté ses notes à son ami suisse, dont un certain poème scientifique et humoristique intitulé « *Die Eiszeit : für Freunde gedruckt am Geburtstage Galilei* » (Hallam, 1988). C'est la première apparition du mot *Eiszeit* (= âge de glace). Par la suite, Agassiz aurait distribué ce poème lors d'une assemblée de la Société des Sciences naturelles de Neuchâtel le 15 février 1837. Selon Zryd (2008), Agassiz n'aurait jamais cité Schimper, lequel devint paranoïaque de se faire voler son idée et traita Agassiz de « pie voleuse » dans un sonnet. Hallam (1988), quant à lui, affirme le contraire, Agassiz n'ayant jamais voulu s'approprier la paternité de l'invention de ce mot. Quoiqu'il en soit, cet épisode brouillera à jamais leur amitié. Et, comme nous le verrons par la suite, ce n'est pas le seul ami qu'Agassiz perdra, ce qui laisse sous-entendre peut-être de la jalousie de ces antagonistes, mais indique tout de même le caractère difficile et froid de ce dernier comme l'indique Rémy (2008 : 81) « *ce très grand scientifique eut [...] un caractère exécrationnel et méprisant envers ses collègues (entre autres)* ».

Quelques mois plus tard, le 24 juillet 1837, Agassiz prononce le fameux *Discours de Neuchâtel* lors de la session annuelle de la SHSN, qui fera date dans l'histoire de la théorie glaciaire. Alors président de cette société, tout le monde s'attendait à ce qu'Agassiz fasse un discours sur ses découvertes récentes de poissons fossiles au Brésil²² (Portmann, 1962 ; Duplessy & Morel, 1990 ; Zryd, 2001 ; Macdougall, 2004). S'adressant à un auditoire de savants de renom (L. Von Buch, B. Studer, A. Escher de la Linth, J. De Charpentier entre autres), la plupart ayant longtemps cherché l'explication du problème de l'erratique, le discours d'Agassiz fait l'effet d'une bombe : en stipulant que les blocs erratiques sont des rochers déposés par les glaciers lors d'une grande ère glaciaire qui a frappé toute l'hémisphère nord dans le monde entier, au cours de laquelle de gigantesques glaciers se seraient développés depuis les Alpes et le pôle Nord, Agassiz pousse la provocation à son paroxysme. Car rappelons que, à ce moment-là, tout le monde ou presque est rallié à la théorie diluvienne. Pour Agassiz, l'eau du Déluge doit être remplacée par un gigantesque glacier qu'il surnomme même « la grande charrue de Dieu » (Bard, 2004). La théorie catastrophiste d'Agassiz aurait également conduit à une extinction animale et végétale massive voire totale, il en veut pour preuve les différentes découvertes de mammouths englacés qui paraissent avoir gelé sur place. Cette hypothèse, construite sur des spéculations hasardeuses et reprise de Cuvier, devra être abandonnée par la suite (Schaer, 2000). Le discours d'Agassiz va susciter la confusion la plus complète, à tel point que « *l'orateur suivant, qui n'avait pourtant à présenter qu'une communication très orthodoxe sur la sédimentation, se déclare incapable de parler tant son émotion est grande* » (Duplessy & Morel, 1990 : 41).

On pourrait penser qu'Agassiz est inconscient de faire une telle présentation, pourtant cette communication a été vivement réfléchi et planifiée. L'objectif premier était bel et bien de secouer le monde scientifique qui s'enlisait dans de fausses explications, et de le rendre attentif aux faits nouveaux mis en évidence par Agassiz grâce à ses prédécesseurs (Schaer, 2000 ; Macdougall, 2004). Et le moins que l'on puisse dire est qu'Agassiz a réussi son coup, preuve de son intelligence d'esprit et de la renommée dont il était sujet. De plus,

22 Schaer (2000) conteste cette version des faits, argumentant qu'il n'était pas d'usage de faire part de ses recherches personnelles dans le discours présidentiel, mais de présenter l'avancement des recherches conduites par la SHSN. Kaeser (2007) appuie cela, en précisant qu'Agassiz n'a pas hésité à profiter de l'occasion. Toutefois, en exposant la théorie glaciaire à la place des poissons fossiles, Agassiz présente tout de même ses recherches personnelles.

contrairement aux exposés précédents de Venetz puis de Charpentier, Agassiz apporte plus de preuves et de détails à la théorie glaciaire, et est un bien meilleur orateur. En rassemblant les éléments plus ou moins disparates découverts par ses prédécesseurs en une théorie solide et bien ficelée, Agassiz, aidé par sa force de caractère, réussira à imposer son opinion, même s'il fera presque preuve de prosélytisme par la suite, tant il est persuadé de la véracité de ses dires.

Suite à son discours, les critiques fusent de toute part envers cette nouvelle théorie inconcevable. Même Alexandre de Humboldt, mentor d'Agassiz et considéré comme l'un des plus grands scientifiques du moment, tenta de le convaincre de son erreur : « *vos glaces m'effraient. J'ai peur que vous ne dispersiez votre intelligence sur un trop grand nombre de sujets à la fois* » (cité par Bailey, 1984 : 23). Mais plus rien ne pouvait ébranler les convictions du scientifique neuchâtelois et, pour faire suite aux diverses critiques, Agassiz va dès lors s'intéresser uniquement aux glaciers et à leur étude, délaissant les travaux de paléontologie qui lui avaient valu son renom. Sans faire l'inventaire de toutes ses recherches glaciologiques²³, Agassiz, accompagné de toute une équipe de scientifiques et d'étudiants, va visiter de nombreux glaciers des Alpes suisses et françaises jusqu'en 1840. Dès l'été 1840, et ce jusqu'à son départ définitif pour les Etats-Unis d'Amérique en 1846, ils vont s'installer sur le glacier inférieur de l'Aar où ils vont construire un observatoire de fortune baptisé « *Hôtel des Neuchâtelois* »²⁴ (Portmann, 1962 ; Bailey 1984). L'équipe d'Agassiz, multipliant les observations, expériences et découvertes, va apporter un caractère nouveau et moderne à l'étude des glaciers : « *Agassiz fut un innovateur par la façon dont les campagnes furent organisées pratiquement, par l'ampleur des moyens techniques, le nombre des collaborateurs et la répartition des différentes tâches* » (Portmann, 1962 : 3). On peut donc dire qu'Agassiz et son équipe, de par leurs études scientifiques méthodiques, vont poser les fondements de la glaciologie.

La parution en 1840 de l'ouvrage le plus célèbre d'Agassiz, *Etudes sur les glaciers*, est aussi à l'origine de la fin de son amitié avec Charpentier. Ce n'est d'ailleurs pas le seul ami qu'Agassiz perdra, ce qui nous donne quelques indications sur la personnalité du savant neuchâtelois. Je renvoie le lecteur au remarquable article de Schaer (2000) pour une étude complète et très détaillée de ce triste événement, car il faut avoir connaissance de tous les faits pour se faire une opinion de cet épisode. On peut toutefois retenir une chose : l'immense gloire et renommée que la théorie glaciaire rapporta à Agassiz fut inégalement répartie entre les différents acteurs à l'origine de cette théorie. Charpentier fut fortement lésé du fait que Agassiz s'empessa de publier son *Etudes sur les glaciers* quelques mois avant son ouvrage, mais nous pensons que celui qui a le plus été oublié par la gloire nationale et internationale fut sans aucun doute Venetz, le véritable précurseur glaciériste. Car sans ses travaux révolutionnaires, et sans les remarquables observations et déductions de paysans comme Perraudin, ce n'est certainement pas Agassiz qui aurait récolté les feux de la gloire.

En 1838, Agassiz invite Buckland et sa femme à Neuchâtel, où ils vont visiter le Jura, puis les Alpes. Buckland, pourtant fervent défenseur du diluvianisme, ne peut que se rendre à l'évidence de l'inexactitude de cette hypothèse devant les faits présentés par Agassiz. Deux

23 Je renvoie le lecteur au livre d'Agassiz (1841) ou à l'article de Portmann (1962) pour plus de précisions.

24 Consulter Gos (1928) pour plus de détails sur cette épisode de l'étude des glaciers.

ans plus tard, Agassiz se rend en Grande-Bretagne, où il expose ses résultats devant la conférence annuelle de l'Association britannique pour le progrès de la science (Chorlton, 1984). Tout comme à Neuchâtel, l'auditoire, composé notamment de Lyell et Murchison, reste sceptique. Suite à cet exposé, Buckland invite Agassiz et Murchison à l'accompagner en excursion en Irlande, Ecosse et Angleterre septentrionale ; ce fut une vraie révélation pour Buckland, qui découvre que les preuves exposés en Suisse par Agassiz se retrouvent également dans les îles Britanniques, à des milliers de kilomètres des Alpes (Chorlton, 1984, Hallam, 1988, Zryd 2008). Dès lors entièrement dévoué à la théorie glaciaire, Buckland réussit à convertir par la suite Lyell. Ce n'était donc plus qu'une question de temps pour que cette théorie soit unanimement acceptée ; seul Murchison ne se ralliera jamais à cette cause. Et le coup fatal aux thèses diluvianistes fut porté en 1862 par le géologue écossais Thomas Jamieson qui, en décrivant la rupture d'un barrage en Ecosse, prouva que des puissants courants d'eau, mélangés à des cailloux, ne pouvait pas strier des roches ou former des dépôts du genre de ceux que l'on attribuait faussement au Déluge (Chorlton, 1984 ; Hallam, 1988).

En 1846, muni d'une bourse de 3000 dollars obtenue du roi de Prusse et d'une invitation de Lowells à enseigner, Agassiz part pour Boston (USA) (Kaeser, 2007). Dès son arrivée sur le Nouveau Monde, il retrouve toutes les traces du passage d'un glacier : « *Une fois sorti de la ville et atteint le sol vierge, je rencontrais les signes familiers, les surfaces polies, les sillons et les cannelures si connus dans l'Ancien Monde ; et je fus convaincu de la réalité de ce qui m'avait paru la conséquence logique de mes observations précédentes, à savoir qu'ici aussi ce puissant agent avait été à l'œuvre* » (cité par Bailey, 1984 : 26). Une année après, Agassiz accepta une chaire spécialement conçue pour lui à Harvard, où il laissa petit à petit tomber la glaciologie pour retourner à ses premières passions que sont la zoologie et la paléontologie. Il termina toutefois sa vie par une note sombre : un combat acharné qu'il mena jusqu'à ses derniers jours face à l'évolutionnisme de Darwin, persistant à croire (à tort) que les glaciations passées avait erradiqué toute vie, et donc qu'une évolution des espèces n'était pas possible (Bailey, 1984 ; Kaeser, 2007).

2.1.4 Synthèse

Comme on a pu le constater au début de ce chapitre, les blocs erratiques ont depuis longtemps intrigué les spécialistes des sciences de la Terre, mais également les populations autochtones, qui leur attribuaient volontiers une provenance fantastique. La tentative d'expliquer leur origine est l'élément-clé qui conduira au milieu du 19^{ème} siècle à l'apparition d'un nouveau paradigme dans le domaine des sciences de la Terre. Toutefois, nous avons pu voir que la naissance de ce nouveau paradigme qu'est la théorie glaciaire a été difficile et largement controversée, étant en contradiction avec la conjoncture religieuse de l'époque. Le dogme catholique pesant sur le monde scientifique interdisait en effet toute théorie en contradiction avec les écrits bibliques. C'est ainsi qu'on a logiquement interprété en premier ces étranges blocs erratiques comme les restes du Déluge, tout comme d'ailleurs les fossiles retrouvés à plusieurs milliers de mètres d'altitude. Nous avons pu voir que différentes autres théories, parfois très farfelues, ont été proposées comme explication à l'origine de ces géants de pierre, mais également certaines touchant de près à la réalité. De plus, à l'image de James Hutton et de John Playfair, cette réalité avait même été clairement

expliquée, mais passa totalement inaperçue sur le moment.

Cependant, c'est en Suisse que les linéaments de la théorie glaciaire sont apparus, ce venant d'une classe sociale aux premiers abords inattendue : la classe paysanne. En effet, nous avons pu nous rendre compte que l'extension passée importante des glaciers n'avait pas de secret pour certains paysans, au contraire de bon nombre d'illustres savants. Et c'est dans le val de Bagnes, lors de la catastrophe du Giétro, qu'un paysan chasseur de chamois transmet ses connaissances à Ignace Venetz, alors ingénieur cantonal. Nous avons pu constater que la rencontre des deux hommes est crucial pour l'avènement de la théorie glaciaire, Venetz distillant dès lors tout son temps dans la recherche de preuves scientifiques appuyant les dires de Jean-Pierre Perraudin. Il est le premier ainsi à émettre l'hypothèse d'une importante extension glaciaire par le passé, bien qu'il fit fesse à un mur de silence lors de la présentation de sa théorie à la sphère scientifique. Mais, loin de se laisser abattre, nous avons pu voir qu'il va même aller jusqu'à démontrer à son ami Jean de Charpentier, célèbre scientifique, le caractère indiscutable de sa théorie, et ce sur le terrain de ce dernier, qui n'est autre que le Chablais suisse! Ce dernier conquis, il n'était plus qu'une question de temps pour que la théorie glaciaire soit unanimement acceptée par le monde scientifique. Et, à ce sujet, Louis Agassiz, savant mondialement reconnu lui-même converti par de Charpentier à cette théorie révolutionnaire, apporta ce qui manquait à ce dernier pour toucher l'ensemble de la communauté scientifique, déployant toutes ses qualités et ses relations pour faire accepter la théorie glaciaire et donner naissance à une nouvelle discipline des sciences de la Terre : la glaciologie.

2.2 Le Quaternaire

Nous allons maintenant nous intéresser aux époques glaciaires que la Terre a connues, et plus précisément à celle du Quaternaire. Nous verrons les raisons probables conduisant aux glaciations, les différentes glaciations qui eurent lieu durant cette époque ainsi que leur impact sur l'environnement physique et biologique dans une moindre mesure. Par la suite, nous nous intéresserons plus en détail sur la dernière période glaciaire du Quaternaire, le Würm, et sur son importance pour la compréhension de la morphologie de la zone d'étude. Ce dernier point sera repris et développé de manière plus complète dans les chapitres 5 et 6, où l'on se focalisera sur la morphogenèse des différents sites présentés dans ce travail. Ainsi, le présent chapitre correspond à une introduction théorique pour la compréhension de la suite de ce travail, une connaissance préalable du passé glacé de notre Terre, précisément de la dernière grande glaciation, et des moyens à notre disposition pour sa reconstitution étant indispensable au lecteur.

2.2.1 Les glaciations passées

Sans trop nous attarder sur le sujet, nous allons ici faire un bref résumé des différentes périodes glaciaires que la Terre a connues au cours de son existence, afin de bien comprendre la variabilité du climat terrestre.

Globalement, le climat de la Terre oscille constamment entre deux types de climat : un climat chaud et un climat froid (figure 2.2.1 et annexe 6). Les périodes chaudes sont caractérisées par de grands dépôts d'évaporites et peu ou pas de glaces polaires, tandis que de grandes calottes polaires se développent lors des périodes froides (Trompette, 2004). On a retrouvé différentes preuves de ces anciennes glaciations un peu partout dans le monde : tillites (moraines consolidées), roches moutonnées, stries glaciaires, drop-stones²⁵, etc.. Couplées à d'autres types d'informations (paléomagnétisme, paléontologie,

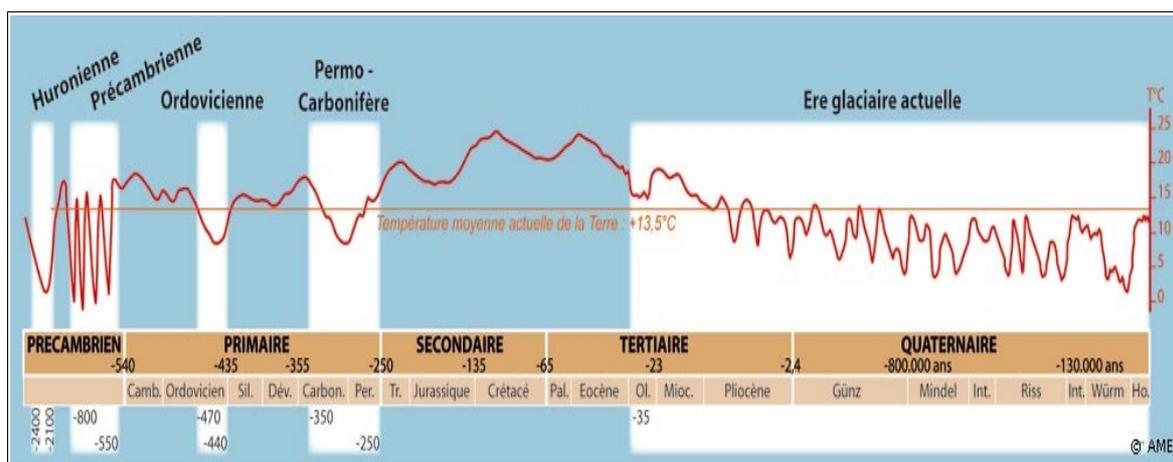


Fig. 2.2.1 : Courbe de température de la Terre depuis la première glaciation connue. Chaque rectangle blanc représente une ère glaciaire, où la température moyenne était en-dessous de l'actuelle (trait tillé rouge). Echelle non respectée (tiré de www.glaciers-climat.com).

²⁵ Fragments de roches présents dans une couche sédimentaire. Ils peuvent avoir été déposés par des icebergs lors de leur fonte, des éruptions volcaniques, des courants de turbidité ou encore des "radeaux" biologiques (souches d'arbres par ex.).

paléogéographie, sédimentologie, astronomie, niveau des océans, etc.), elles permettent de déterminer l'époque et les caractéristiques climatiques régnant à ce moment²⁶ (Macdougall, 2004 ; Trompette, 2004 ; Van Vliet-Lanoë, 2005 ; Rotaru et al., 2006).

Ainsi, il est actuellement possible de déterminer 5 périodes glaciaires (fig. 2.2.1 et annexe 6), dont la plus ancienne remonte à 2'400 millions d'années (Ma)²⁷(Macdougall, 2004 ; Trompette, 2004 ; Van Vliet-Lanoë, 2005 ; Rotaru et al., 2006, Gauthier & Couterrand, 2008) :

-La glaciation **huronienn**e se serait produite il y a un peu plus de deux milliards d'années. On en retrouve des preuves en Amérique du Nord, en Afrique du Sud, en Finlande et en Australie, ce qui est déjà étonnant quand on pense que 90 à 95% des sédiments âgés de plus de un milliard d'années ont été érodés puis recyclés (Baumgartner, 2007-2008).

-A la **fin du Précambrien**, de ~-1'000 à -500 Ma (variable selon les auteurs), se déroulent au moins 3 glaciations. Elles sont récemment devenues très médiatisées, car certains scientifiques émettent l'hypothèse de glaciations englobant toute la Terre. Cette théorie, dite de la *terre boule de neige* (*Snowball Earth*²⁸), stipule que la terre a été entièrement recouverte de glace, avec une banquise de plus de 1000 m d'épaisseur, et que les seuls organismes vivants se trouvaient proches des cheminées hydrothermales.

-L'ère glaciaire **ordovicienne** s'est produite il y a environ 450 Ma. A cette époque, on trouve deux supercontinents, Laurasia et Gondwana. Ce dernier, qui englobe l'actuel Afrique, Amérique du Sud, Inde, Antarctique et Australie, se trouve proche du pôle S et une énorme calotte polaire se développe. Des traces de cette calotte sont présentes dans tout le Sahara notamment.

-De -350 à -250 Ma se développe la période glaciaire du **Permo-Carbonifère**. La fin de cette ère glaciaire marque également la fin de l'ère primaire, caractérisée par la plus grande extinction de masse que la Terre ait connue ; environ 95% de la vie disparaît (contre ~60% lors de celle du Crétacé qui marqua la fin des dinosaures il y a 65 Ma). Diverses hypothèses ont été émises pour expliquer cette extinction de masse (intense activité volcanique, impact météorique).

-Il y a une trentaine de millions d'années, commence alors l'**ère glaciaire actuelle**, dénommée plio-quadernaire. Des calottes polaires se forment tout d'abord dans l'hémisphère S, puis dans l'hémisphère N. Intéressons nous de plus près à cette dernière période glaciaire dans laquelle nous nous trouvons actuellement.

2.2.2 L'ère glaciaire actuelle

Entre -40 et -20 Ma s'installe l'ère glaciaire actuelle, dans laquelle nous nous trouvons encore actuellement. Globalement, deux causes principales sont à l'origine de cette entrée dans la période glaciaire plio-quadernaire (Trompette, 2004 ; Rotaru et al., 2006, Van Vliet-Lanoë, 2007) :

- La première, d'**origine océanographique**, va conduire à l'isolement progressif de

26 paysagesglaciaires.net, glaciers-climat.com, consulté en janvier 2009.

27 www-lgge.obs.ujf-grenoble.fr, paysagesglaciaires.net, glaciers-climat.com, unifr.ch/geoscience/geographi e/ssgmfiches, www.ggl.ulaval.ca, objectif-terre.unil.ch, planet-terre.ens-lyon.fr, consulté en janvier 2009.

28 Voir www.snowballearth.org ou http://www.eps.harvard.edu/people/faculty/hoffman/snowball_paper.html pour plus de détails.

2. La théorie glaciaire

l'Antarctique suite à l'ouverture du détroit de Drake entre l'Amérique du Sud et l'Antarctique (voir annexe 1). Petit à petit, un courant circumpolaire froid va s'installer, isolant thermiquement le continent et contraignant l'océan à adopter une circulation méridienne sur le reste du globe. Ceci permet le début de la formation de la calotte antarctique. Avec la fermeture du détroit de Panama 25 à 30 Ma plus tard, la circulation thermohaline mondiale actuelle va s'installer, véritable distributeur de chaleur à grande échelle.

- La seconde est d'**origine tectonique**. Elle correspond à l'orogénèse himalayenne et du plateau du Tibet en général, ainsi qu'à l'orogénèse alpine dans une moindre mesure. Ces surrections vont alors modifier la circulation atmosphérique globale et provoquer un changement climatique.

Jusqu'à la fin de l'Oligocène (~23 Ma), la terre se trouve dans un système de glaciation unipolaire. En effet, l'hémisphère N ne peut s'englacier, aucune masse continentale se trouvant au pôle (Trompette, 2004). Il y a 6 Ma commence à se former l'inlandsis groenlandais et les premiers glaciers apparaissent dans les Alpes, alors que les premières calottes glaciaires de l'Arctique apparaissent vers 2,5 – 2 Ma (Trompette, 2004 ; Van-Vliet Lanoë, 2007). C'est à ce moment que l'on fixe la fin de l'ère tertiaire et donc le début du Quaternaire.

2.2.2.1 Le Quaternaire

La fin du Pliocène et de l'ère tertiaire en général marque l'entrée dans l'ère quaternaire, que l'on peut diviser en deux périodes : le **Pléistocène**, de 2,4 Ma à 10'000 ans BP (Before Present = 1950), et l'**Holocène**, dès 10'000 ans BP.

Le **Pléistocène** est caractérisé par une oscillation continue du climat entre périodes glaciaires et interglaciaires (nous nous trouvons actuellement dans un épisode interglaciaire). Le début du Pléistocène coïncide avec la première grande glaciation dans l'hémisphère N, engendrée par une forte baisse de l'intensité du rayonnement solaire en été dans l'hémisphère N, qui s'explique par les cycles de Milankovitch (voir ci-après)²⁹. Dans leur impressionnant travail, Penck & Brückner (1909), deux géographes allemands, établissent la première stratigraphie des temps glaciaires d'après des observations géomorphologiques. En effet, ils déduisent les premiers que le Quaternaire est marqué par quatre grandes glaciations. Basé sur l'observation et la comparaison de l'altitude et de l'altération des terrasses des affluents du Danube, ils nomment ces quatre périodes glaciaires, de la plus ancienne à la plus récente, Günz, Mindel, Riss et Würm, d'après

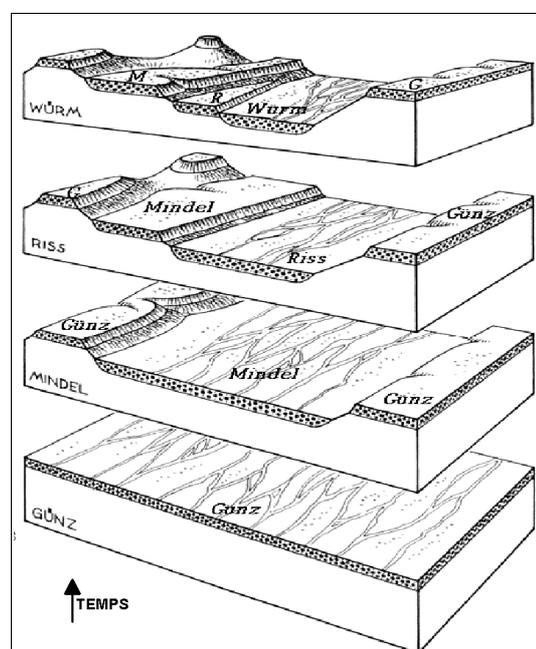


Fig. 2.2.2 : Schéma expliquant la formation et l'emboîtement des terrasses en Bavière définies par Penck et Brückner (d'après Jerz (1995), modifié).

²⁹ unifr.ch/geoscience/geographie/ssgmfiches, consulté en janvier 2009.

les noms des affluents du Danube (voir annexe 2 pour leur chronologie). La figure 2.2.2 résume l'emboîtement de ces diverses terrasses et la méthode utilisée par Penck & Brückner pour comprendre leur succession.

Depuis un siècle, nos connaissances sur les glaciations quaternaires ont beaucoup évolué, notamment grâce à de nouvelles méthodes géophysiques. On considère actuellement que la Terre a connu 20 à 25 épisodes glaciaires depuis le début du Pléistocène, entrecoupés d'interglaciaires³⁰. Dans les Alpes, qui est la région qui nous intéresse, seules les traces des deux dernières périodes glaciaires sont encore observables, celles du Riss et du Würm, l'érosion et les glaciations postérieures ayant effacé les traces des glaciations précédentes. Avant de s'intéresser plus précisément à la glaciation würmienne, qui a fortement modelé le paysage actuel et dont les traces morphologiques nous intéresseront tout particulièrement dans ce travail, attardons-nous quelque peu sur les causes menant aux périodes glaciaires quaternaires, ainsi que sur les moyens à disposition pour déterminer ces périodes glaciaires.

2.2.2.2 Les causes des oscillations climatiques du Quaternaire

Il faut tout d'abord préciser que l'on change d'échelle par rapport au chapitre traitant des anciennes périodes glaciaires de la Terre (ch. 2.2.1). On passe maintenant aux **milliers** d'années (Ka = kilo année), alors que l'on raisonnait avant en **millions** d'années (Ma). On peut dès lors tout de suite mettre de côté la paléogéographie³¹, car les continents, se déplaçant en moyenne de 1cm/an (donc 20 km en 2 Ma) (Rotaru et al. 2006), peuvent être considérés comme quasiment inchangés, donc à l'origine d'aucun bouleversement climatique.

La difficulté de trouver une explication rationnelle aux changements climatiques passés était une des raisons principales de la résistance du monde scientifique à la théorie glaciaire au 19^{ème} siècle. Sans faire l'historique de la découverte des causes astronomiques, on peut dire que le mathématicien français Adhémar (1797-1862), au milieu du 19^{ème} siècle, semble être le premier à proposer des variations orbitales de la Terre pour expliquer les cycles glaciaires, étant persuadé que ces derniers sont périodiques. Quelques années plus tard, le scientifique écossais James Croll (1821-1890) pose la première théorie astronomique des paléoclimats, malgré quelques contradictions. Et c'est entre 1920 et 1941 qu'un mathématicien serbe, Milutin Milankovitch (1879-1958), précise la théorie de Croll en expliquant les causes des cycles glaciaires par trois paramètres astronomiques³² (Trompette, 2004, Rotaru et al., 2006) :

1. L'excentricité de l'orbite terrestre autour du soleil (fig 2.2.3) : L'excentricité correspond à la forme de l'orbite terrestre, qui passe d'un cercle presque parfait à une ellipse puis à nouveau à un cercle parfait suivant un rythme de ~400'000 ans (= 400 Ka). L'insolation va donc dépendre de la distance entre le Soleil et la Terre. S'ajoute à ce cycle celui de la position de la Terre dans la Galaxie, qui suit un cycle de ~100 Ka.

30 glaciers-climat.com, unifr.ch/geoscience/geographie/ssgmfiches, consulté en janvier 2009.

31 Dans ce cas-ci, on fait référence à la reconstitution de la géographie passée suite aux mouvements tectoniques. La paléogéographie d'une manière générale concerne la reconstitution de la géographie passée.

32 glaciers-climat.com, planet-terre.ens-lyon.fr, consulté en janvier 2009.

2. La théorie glaciaire

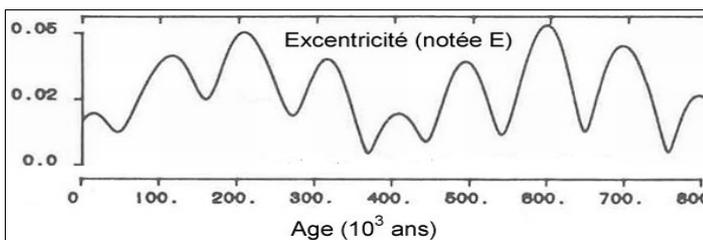
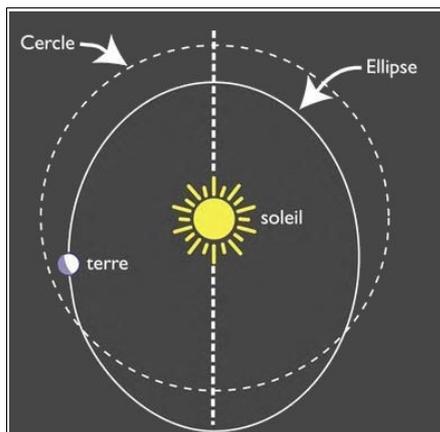


Fig. 2.2.3 : Schéma de la variation de l'excentricité (tiré de glaciers-climat.com, modifié) et courbe de cette variation sur les 800'000 ans passés (tiré de planete-terre.ens-lyon.fr, modifié).

2. L'inclinaison de l'axe de la Terre (obliquité) (fig. 2.2.4) : Elle correspond à l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport à l'écliptique³³, qui varie entre 22°02' et 24°33'. Actuellement l'angle est de 23.27°. La période de ces oscillations est de ~41 Ka. Notons encore que c'est cette obliquité qui est à l'origine des saisons sur terre.

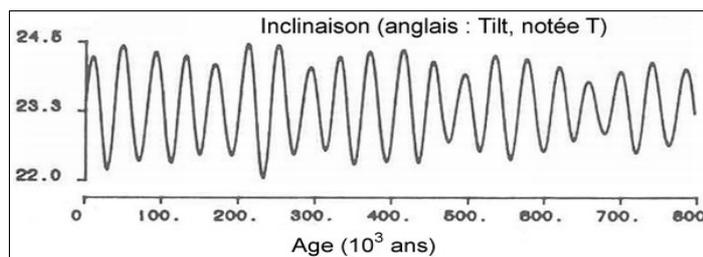
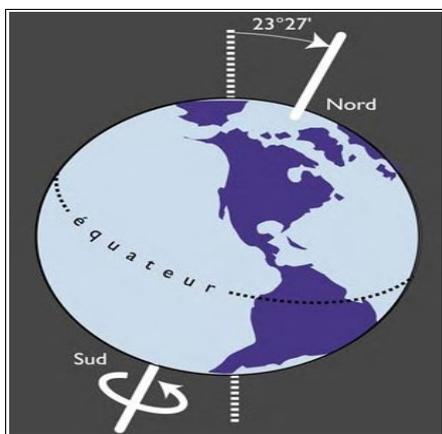


Fig. 2.2.4 : Schéma illustrant l'inclinaison de la terre (tiré de glaciers-climat.com, modifié) et courbe de cette variation sur les 800'000 ans passés (tiré de planet-terre.ens-lyon.fr, modifié).

3. La précession des équinoxes (fig. 2.2.5) : Le troisième critère, plus complexe, part du principe que la Terre tourne sur elle-même comme une toupie, son axe de rotation (axe N-S géographique) décrivant un cercle dans l'espace par rapport au N céleste, qui lui ne varie pas. Cette variation décale ainsi lentement la position des équinoxes suivant un cycle moyen de 21 Ka. Le schéma illustre bien ce changement d'orientation de l'axe de rotation de la Terre.

Ainsi, lorsque l'on corrèle ces trois courbes et qu'on les compare à la courbe des variations du volume de glace sur Terre lors des derniers 600'000 ans (fig. 2.2.6), on ne peut que constater leur profonde similitude et l'exactitude de la théorie de Milankovitch. Cependant, cette dernière fut largement discréditée à l'époque, et il faudra attendre les années 70 et les campagnes de forage des calottes polaires et des fonds marins pour en avoir la preuve indiscutable.

³³ Correspond grossièrement à la trajectoire du soleil vue de la Terre.

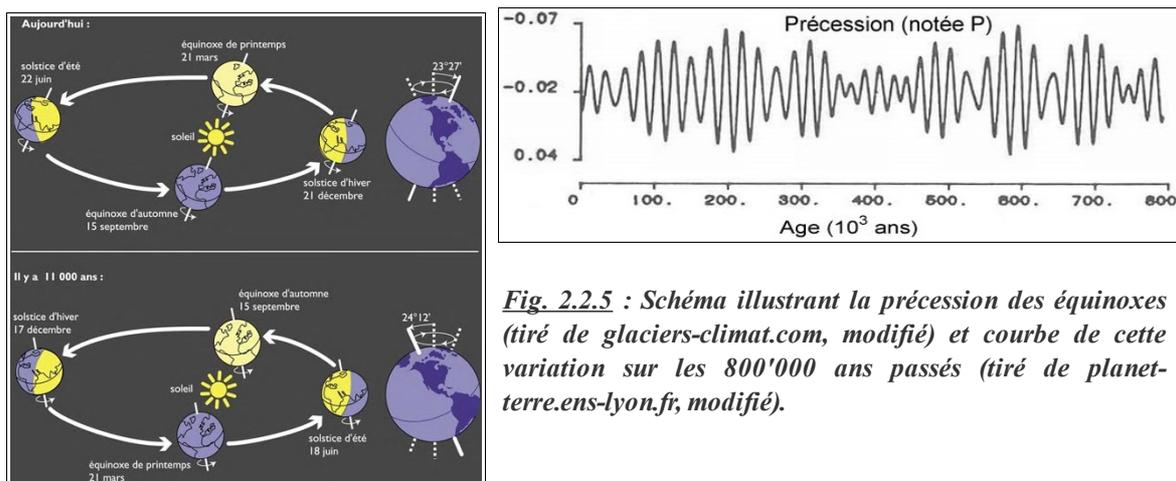


Fig. 2.2.5 : Schéma illustrant la précession des équinoxes (tiré de glaciers-climat.com, modifié) et courbe de cette variation sur les 800'000 ans passés (tiré de planet-terre.ens-lyon.fr, modifié).

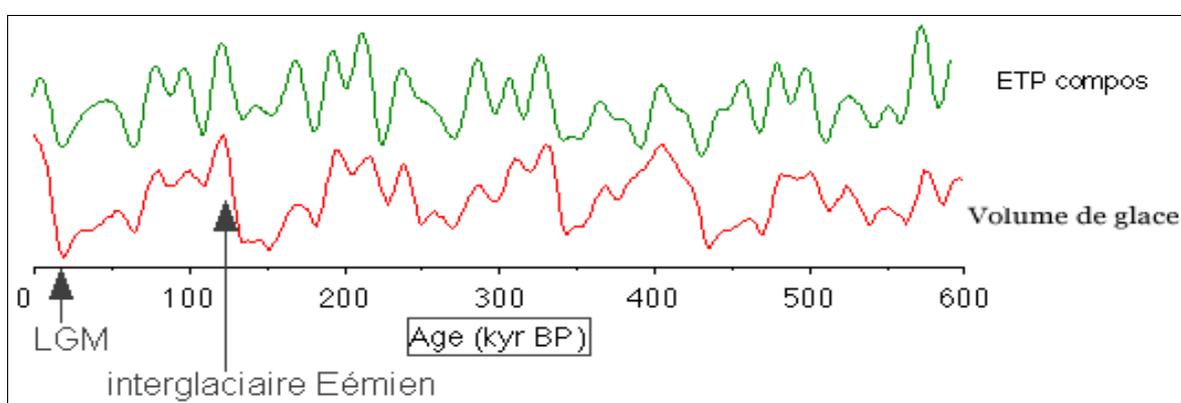


Fig. 2.2.6 : Comparaison entre les variations cumulées de l'excentricité (E), de l'inclinaison (T) et de la précession (P) avec celles du volume des glaces des derniers 600'000 ans. Sont également indiqués le dernier interglaciaire (Eémien) et le dernier maximum glaciaire (LGM) (tiré de planet-terre.ens-lyon.fr, modifié).

2.2.2.3 Les méthodes à disposition

Il existe de nombreuses méthodes pour reconstituer le climat passé, qui touchent à différents types d'environnement et à diverses échelles temporelles. On peut citer en exemple les varves des lacs, la dendrochronologie (les cernes des arbres), la palynologie (analyse des pollens), les spéléothèmes (dépôts minéraux dans les grottes), le forage des calottes glaciaires et des fonds marins, les coraux, la lichénométrie (étude des lichens), la paléontologie, la téphrochronologie (cendres volcaniques comme marqueurs temporels), la magnétostratigraphie (variation des propriétés magnétiques) et le paléomagnétisme (inversion de polarité magnétique), etc.. La présentation de ces méthodes n'entre pas dans le cadre de ce travail, mais il paraît tout de même important de donner quelques précisions sur les deux méthodes ayant apporté une évolution majeure à la reconstitution climatique du Quaternaire : les forages des fonds marins et des calottes glaciaires.

Les forages des fonds marins et des calottes glaciaires

Depuis la fin des années 60, les forages effectués dans les calottes glaciaires (Antarctique, Groenland) et dans les fonds océaniques ont profondément amélioré nos connaissances climatiques du Quaternaire, nous apportant des données très précises et qui se vérifient entre elles. De plus, c'est à partir de ces découvertes que l'on a pu valider la théorie des cycles astronomiques émise par Milankovitch près de 30 ans plus tôt. Comme on vient de le voir au chapitre précédent, la corrélation est quasi parfaite entre la courbe des variations du volume de glace et celle des cycles de Milankovitch. Ainsi, ces nouvelles données ont permis de préciser et d'élargir fortement la vision de Penck & Brückner du début du siècle passé, qui voyait 4 glaciations dans le Quaternaire.

Les dernières missions effectuées en Antarctique et au Groenland ont permis de remonter loin dans le passé climatique de notre Terre : Le projet EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica) a effectué deux forages, dont un, situé au Dome C, avait pour but de remonter le plus loin possible dans le temps (EPICA community members, 2004). Ainsi, les scientifiques ont réussi à atteindre, en 2004, 3190 mètres (la calotte à l'endroit du forage atteint 3309 m ± 22 m), et ainsi de remonter jusqu'à 740'000 BP (pour courbe voir annexe 3). A environ 500 km de là, à la station russe de Vostok, un forage atteignant 3330 m de profondeur avait déjà permis de reconstituer les variations climatiques des 420'000 années passées (Petit et al., 1999) et donc de se focaliser sur les dernières périodes glaciaires (voir fig. 2.2.7).

Comme on peut le constater, les deux dernières glaciations, celles du Riss et du Würm, sont très bien représentées, ainsi que les deux stades interglaciaires. Trois autres courbes de référence (GRIP, GISP 2, NGRIP – voir annexe 4a et b), obtenues cette fois au centre du Groenland, nous donnent une vision très détaillée de l'évolution des températures au cours du dernier cycle glaciaire. La résolution du signal y est meilleure comme on le voit bien sur la figure 2.2.8. De plus, ces courbes présentent une corrélation précise avec les courbes obtenues sur les craies lacustres des lacs

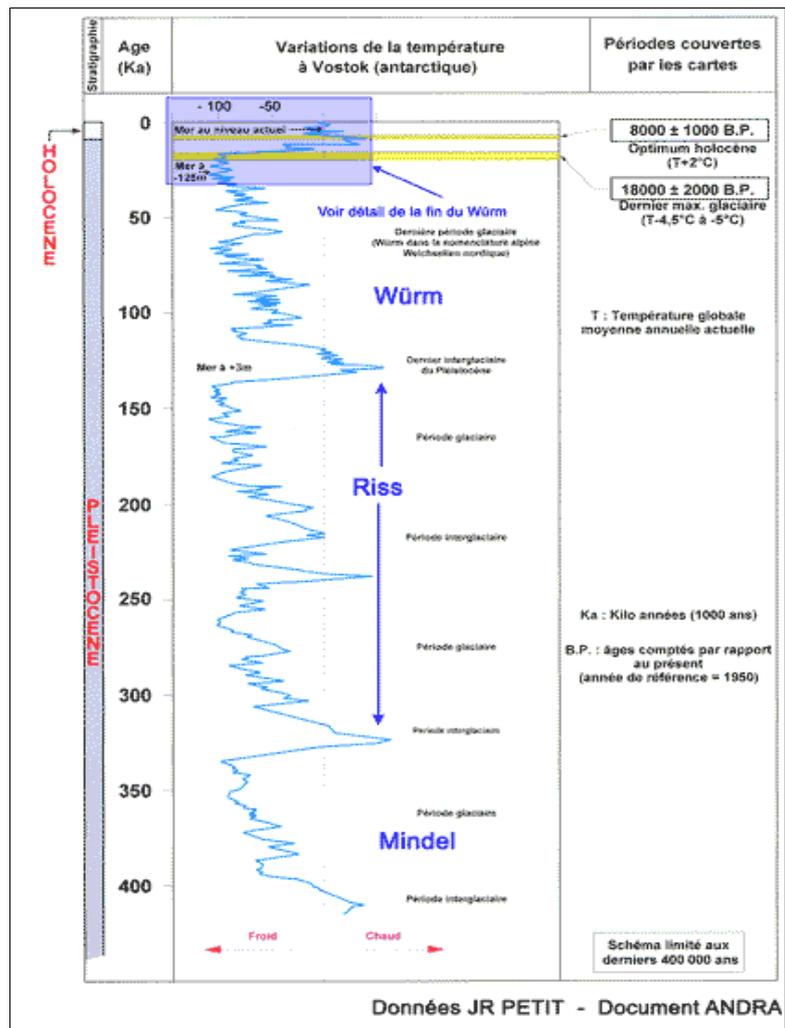


Fig. 2.2.7 : La courbe de Vostok (tiré de paysagesglaciaires.net).

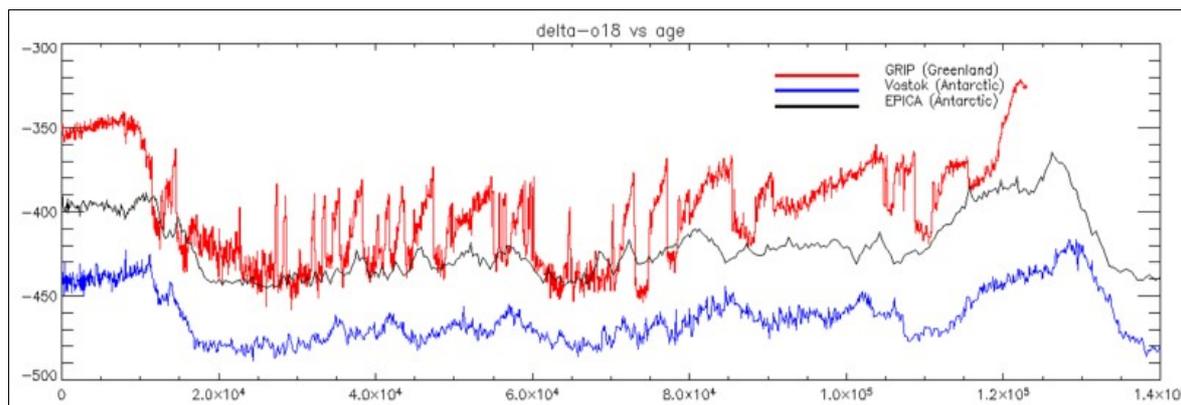


Fig. 2.2.8 : Comparaison entre les courbes GRIP, EPICA et Vostok pour les derniers 140'000 ans. On y voit bien la meilleure résolution de la courbe groenlandaise (GRIP, en rouge) (source : Connolley W. M., tiré de wikipedia.org).

suisses, ce qui nous renseigne sur l'évolution des températures dans l'hémisphère N et dans les Alpes (Schoeneich, 1998b). L'autre intérêt de ces courbes concerne le Tardiglaciaire (voir ch. 2.2.3 + annexe 4b), c'est-à-dire la période qui marque la transition entre le dernier épisode glaciaire et le stade interglaciaire actuel (Holocène), et nous permet de mieux comprendre la chronologie de la déglaciation alpine.

Le principe de base du forage des calottes de glace (ou de couches de glace en général) est simple: il stipule que plus on descend profond dans la glace, plus on remonte le temps, chaque couche annuelle de glace se superposant à la précédente. La couche la plus profonde est donc la plus ancienne. Ensuite, en analysant la glace, la poussière et les bulles d'air emprisonnées dans la glace, on obtient une foule d'informations permettant de reconstituer le climat passé, comme la composition de l'atmosphère ou la quantité d'eau stockée sous forme de glace. Grâce à une ségrégation isotopique de l'oxygène, la glace est un important enregistreur des paléoclimats. Le petit schéma de la figure 2.2.9 montre bien les relations entre variations isotopiques, niveau marin et quantité d'eau stockée sous forme de glace. On remarque que la teneur en isotope 18 de l'oxygène varie au cours du temps et que cette variation dépend de la quantité de glace présente à ce moment-là sur Terre.

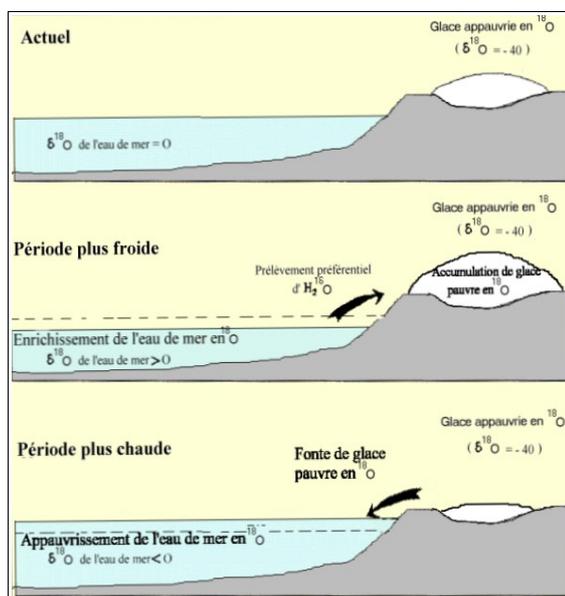


Fig. 2.2.9 : Relation entre isotopes de l'oxygène, variation du niveau marin et quantité de glace (tiré de www.inrp.fr).

En ce qui concerne les sédiments des fonds marins, le principe est globalement le même, si ce n'est que ce ne sont pas des bulles d'air qui vont donner des renseignements, mais de minuscules fossiles d'organismes marins, comme par exemple les fossiles de foraminifères benthiques. Ces derniers possèdent une enveloppe calcaire (appelée *test*) qui conserve,

2. La théorie glaciaire

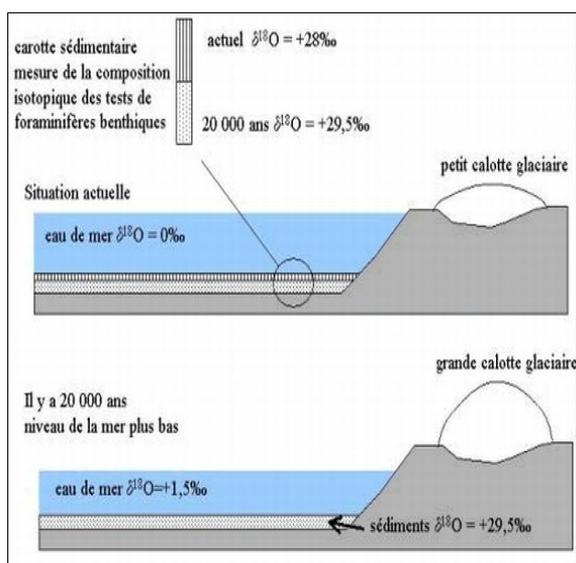


Fig. 2.2.10 : Relation entre la variation du niveau de la mer, la composition isotopique de l'eau de mer et des tests de foraminifères benthiques (tiré de *planet-terre.ens-lyon.fr*).

dans sa composition isotopique, celle de l'eau de mer régnant au moment de sa formation. Ainsi, tout comme les glaces, les sédiments marins sont de véritables archives des paléoclimats. De plus, ces derniers permettent de remonter beaucoup plus loin dans le temps, contrairement à la glace qui va fondre et donc disparaître petit à petit au fil du temps. Ainsi, la courbe actuellement connue représente plus de 130 stades isotopiques, dont les 20 derniers sont représentés sur l'annexe 5 (~800 Ka). C'est pourquoi les courbes isotopiques marines, de par leur corrélation à grande distance (forages effectués dans le monde entier et résultats identiques) et du fait que le signal enregistré peut être considéré comme significatif à l'échelle du globe, sont de plus en plus utilisées comme référence

chronologique pour les datations relatives du Quaternaire (Schoeneich, 1998a). Le schéma de la figure 2.2.10 explique le principe d'utilisation des sédiments des fonds océaniques.

2.2.3 Le Würm ou la dernière période glaciaire

Avant de poursuivre, il est important d'attirer l'attention du lecteur sur un point : comme dit précédemment, on doit à Penck & Brückner (1909) la décomposition du Quaternaire en 4 périodes glaciaires, Günz, Mindel, Riss et Würm. Cependant, cette nomenclature n'est valable qu'en Europe continentale, les scandinaves, britanniques et américains ayant leur propre nomenclature. Actuellement, on tend à abandonner ce système stratigraphique au profit de celui des stades isotopiques (voir annexe 5), valable dans le monde entier, afin d'uniformiser et de globaliser les recherches sur le Quaternaire. Nous allons donc pour la suite de ce travail nous référer aux stades isotopiques océaniques (SIO) ou à ceux de la courbe GRIP (SI), tout en indiquant si possible le nom de la période correspondante, afin de rendre la lecture plus aisée et confortable.

Le Quaternaire, tout comme le Tertiaire, était considéré comme une ère indépendante. Actuellement, on tend à effacer cette division des temps géologiques en ère primaire, secondaire, tertiaire et quaternaire pour les remplacer par le Précambrien, le Paléozoïque, le Mésozoïque (= « l'âge des reptiles ») et le Cénozoïque (= « l'âge des mammifères ») (voir annexe 6). Le Tertiaire et le Quaternaire font ainsi partie de l'ère Cénozoïque, qui correspond également au début de la dégradation climatique menant aux glaciations.

La dernière période glaciaire - le *Würm* dans la zone alpine, le *Weichsélien* en Scandinavie ou le *Wisconsinien* en Amérique du Nord - est celle qui nous intéresse tout particulièrement dans ce travail. Tout d'abord, c'est de loin la période la mieux étudiée et comprise, son enregistrement détaillé ayant été recoupé dans de nombreuses carottes marines et glaciaires, et sa chronologie récente étant consolidée par les méthodes de datation radiométrique comme le carbone 14, les méthodes par luminescence (thermoluminescence

et luminescence stimulée optiquement) ou encore les indicateurs biologiques (palynologie par exemple) (Van Vliet-Lanoë, 2005). De plus, comme dit précédemment, cette dernière période glaciaire a laissé son empreinte et des preuves de sa présence un peu partout dans les environnements alpins et péri-alpins.

Lors du maximum d'englacement (cf. annexe 8), le glacier du Rhône, qui prend racine au massif de la Furka en Valais, était alimenté par les glaciers des vallées latérales qui le rejoignaient pour former un immense complexe glaciaire. Le pouvoir abrasif d'un glacier est tel qu'il va littéralement sculpter les roches sur lesquelles il se meut, laissant des traces indélébiles et caractéristiques de son passage dans le paysage, point central de cette étude. Venant buter contre le flanc du Jura, le complexe glaciaire rhodanien se séparait en deux, une partie se dirigeant vers le SW par Genève et la cluse de Bellegarde et se terminant dans les environs de Lyon, l'autre atteignant la commune de Wangen-an-der-Aare près de Soleure (cf. fig. 2.2.11). De récentes études (Coutterand & Schoeneich, 2007) suggèrent qu'une grande partie, si ce n'est la totalité du lobe de piémont lyonnais aurait été alimentée par les glaciers savoyards. Notons encore que le niveau marin a baissé de 100 à 130 m, reliant des zones habituellement séparées par la mer. Ainsi, il aurait été possible de se rendre à pied de France en Grande-Bretagne, ou d'Australie en Indonésie. La figure 2.2.12 donne un aperçu général de l'englacement mondial et de la géographie avec un niveau marin inférieur d'une centaine de mètres.



Fig. 2.2.11 : Bloc erratique de Wangen-an-der-Aare. Le bidon à droite de l'arbre donne l'échelle (= 1 m) (Ivy-Ochs et al., 2006).

Le relief a pris sa forme actuelle lors de cette dernière période froide, et la plupart des géomorphosites présentés dans ce travail en sont hérités. Nous allons maintenant présenter les différentes étapes de glaciation puis de déglaciation depuis le début du Würm. J'invite le lecteur à consulter les annexes 3, 4 ou 5 pour la compréhension chronologique des différents stades isotopiques référencés. Notons encore que l'on va passer outre les querelles scientifiques sur certaines datations, le but de ce chapitre étant de donner un aperçu général au lecteur, et non un avis tranché sur la question.

2.2.3.1 La fin d'une période clémente...

La transition entre la glaciation rissienne et würmienne est marquée par la période chaude située entre 130 et 110 Ka. C'est l'interglaciaire Eémien, qui correspond au stade isotopique océanique (SIO) 5.5³⁴, caractérisé par des températures chaudes et instables, avec un niveau marin 5-6 m au-dessus de l'actuel et des calottes comparables à celles de nos jours

34 Nous allons toujours faire référence à la notion de *stade isotopique*, sans introduire celle d'*interstade*. Car normalement un *stade* correspond à une oscillation froide, un *interstade* une oscillation chaude. Cependant, afin de simplifier la lecture, nous partons du principe qu'un stade isotopique océanique **pair** correspond à une période de **haut niveau** marin (donc indirectement de températures chaudes) et un numéro **impair** à un **bas niveau** marin (donc à des températures froides).

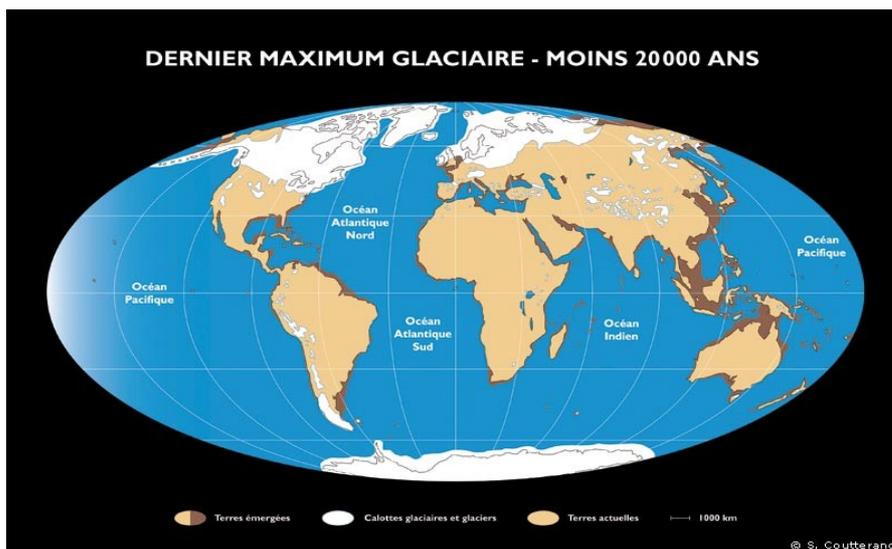


Fig. 2.2.12 : Carte mondiale du dernier maximum würmien (tiré de www.glaciers-climat.com).

(Van Vliet-Lanoë, 2005). S'ensuit un refroidissement général par à-coups successifs (du SIO 5.5 au SIO 5.1), pour arriver au SIO 5 et 4, ou le stade isotopique 4.2 de la courbe de Vostok (annexe 5 trait rouge).

Une petite parenthèse sur les problèmes de datations de la période würmienne s'impose : une des questions principales qui fait actuellement débat entre les spécialistes du Quaternaire est de savoir si le maximum d'englacement würmien (WGM = « *Würm Glacial Maximum* ») correspond au stade isotopique 4, c'est-à-dire qu'il se situe vers 70 Ka, ou si au contraire il est plus récent et se place au moment du dernier maximum glaciaire (LGM = « *Last Glacial Maximum* »). Une autre interrogation très controversée touche à la datation du LGM dans les Alpes, les scientifiques ne s'accordant pas sur le moment de cette dernière grande avancée glaciaire. De plus, il faut souligner le fait que les variations des glaciers alpins, comparés aux gigantesques inlandsis des hautes latitudes (Antarctique, Groenland, Scandinavie, Laurentide), ne représentent qu'un infime pourcentage dans les variations isotopiques. Il peut donc en résulter des différences et des décalages dans le temps par rapport au signal de ces immenses calottes glaciaires (Schoeneich, 1998a).

2.2.3.2 De l'Eémien au Tardiglaciaire

Le moment du maximum d'englacement würmien (WGM) et du dernier maximum glaciaire (LGM) varie selon les auteurs et les lieux. Il n'est donc pas possible de donner avec certitude une date précise, c'est pourquoi nous nous contenterons d'énoncer de manière non exhaustive les différentes études effectuées. Certains auteurs, se basant sur les courbes isotopiques, le placent vers 75 Ka³⁵ ou 70 Ka, ce qui correspond au SIO 4.2 (annexe 5), ou au SI 4 (annexe 4a). En effet, la courbe GRIP nous indique un important refroidissement vers 70 Ka BP. En ce qui concerne les régions alpines, Blavoux (1988) situe le WGM vers 55 Ka dans la cuvette lémanique, tout comme Couterand (2005a et b) et Couterand & Buoncristiani (2006), qui affirment que la plupart des glaciers alpins ont atteint leur plus grande extension würmienne entre 65 et 55 Ka, c'est-à-dire au SIO 4, voire au SIO 3 (>27'000 cal. BP). Triganon et al. (2005), en se basant sur des datations au

35 <http://student.unifr.ch/geosciences/download/resume/Quaternaire.pdf>

carbone 14 effectuées dans les terrasses d'Evian, confirment un âge antérieur à 30'000 BP (limite de la datation par ^{14}C). Le climat de cette première partie de la glaciation würmienne (dit pléniglaciaire inférieur) est donc particulièrement froid, comme nous le montre la courbe GRIP. Dans la région lyonnaise, le climat est de type périglaciaire et ressemble à celui de l'actuelle Sibérie, avec des températures hivernales descendant régulièrement jusqu'à -50°C et des maxima estivaux d'environ 15°C (Coutterand 2005b). Selon certains auteurs, le climat est également humide³⁶ (Coutterand, 2005a et b) (Coutterand & Buoncristiani, 2006), tandis que d'autres l'estiment plutôt sec (Florineth & Schlüchter, 2000). Les divergences dépendent toutefois fortement de l'endroit référencé. En partant de l'hypothèse d'un climat humide, les conditions optimales pour une (ou la plus) grande extension des glaciers alpins au cours du Würm sont réunies : beaucoup de précipitations et des températures basses. A l'inverse, un climat sec limiterait les précipitations, donc les extensions glaciaires. Quoiqu'il en soit, cette période coïncide avec une extension importante des glaciers alpins qui débordent largement des vallées alpines. La carte de Coutterand (annexe 8) représentant l'extension des glaciers alpins lors du maximum würmien donne une bonne idée de l'ampleur des systèmes glaciaires. Quant à savoir si ce maximum d'extension würmien correspond au pléniglaciaire inférieur (vers 75-55 Ka), ou plutôt au LGM (vers 30-25 Ka), laissons les spécialistes en débattre, ceci n'étant pas le but de ce travail.

A cette période froide, d'une durée approximative de 15 Ka³⁷, se succèdent pendant plusieurs milliers d'années des épisodes plus tempérés, les interstades, jusqu'à la prochaine grande glaciation würmienne : le dernier maximum glaciaire (LGM).

Il est possible de situer le LGM au moment du maximum du stade isotopique 2 (SIO 2.2), grossièrement entre 30 et 20 Ka. Une datation plus précise reste cependant difficile et variable : selon Arn (1984), la plus grande extension würmienne (WGM) correspond également à sa dernière grande extension (LGM), qu'il estime vers 23'500 BP. Christian Schlüchter, de l'Université de Berne, pense lui aussi que les glaciers suisses de la Linth et du Rhin auraient développé leur maximum vers 25-23 Ka³⁸ (Coutterand 2005a et b). Coutterand & Buoncristiani (2006), utilisant la méthode de mesures des « isotopes cosmogéniques produits *in situ* » sur des blocs erratiques de l'Arpille³⁹, arrivent à la conclusion que cette région était sous la glace il y a 28'000 ans. Dans sa thèse, Schoeneich (1998a) situe le LGM entre 28 et 18'000 ^{14}C BP. Il précise ensuite dans un article (1998b) que l'on a deux sortes de chronologies suivant le type de datation, à savoir une « vieille » avec un LGM vers 27'000 cal. BP⁴⁰, donc avant les interstades 3-4 (cf annexe 4a), ou une chronologie « jeune » avec un LGM avant l'interstade 2, vers 22'000 cal. BP⁴¹. Cependant, il propose de retenir un LGM vers 27'000 cal. BP pour diverses raisons, tout en précisant que de nouvelles datations plus fiables sont nécessaires avant de pouvoir proposer une corrélation sûre. Indiquons encore les importantes recherches effectuées par Ivy-Ochs et al. (2006), qui fixent le LGM vers 28-30 Ka BP, estimations basées entre autres sur des datations faites sur une défense de mammoth trouvée vers la moraine frontale du lobe N du complexe rhodanien à Wangen an-der-Aare.

36 op. cit.

37 op. cit.

38 www.glaciers-climat.com, consulté en janvier 2009.

39 Cette méthode détermine l'âge d'exposition des roches, donc l'âge de l'extension glaciaire qui les a déplacées.

40 Datations ^{14}C sur débris végétaux et âges minima de déglaciation des lacs périalpins donnés par les courbes paléomagnétiques de variations séculaires.

41 Datations ^{14}C sur collagène d'os et de dents de fossiles.

On peut donc déduire de ce bref résumé qu'une datation précise du WGM et du LGM est loin d'être chose aisée, et que cette dernière dépend fortement de l'endroit étudié. De plus, il est difficile de savoir si le WGM correspond au LGM ou à un stade antérieur. Cependant, dans le cadre de ce travail, il n'est pas particulièrement important de connaître la date exacte de la plus grande extension würmienne. Il faut surtout retenir le fait que le LGM, situé au SIO 2.2 (ou SI 2 sur la GRIP) vers 25-30 Ka BP, correspond à une extension très importante du complexe glaciaire rhodanien, qui recouvrait alors toute notre région d'étude de plus de 1000 à 2000 m de glace.

2.2.3.3 Altitude atteinte par le complexe glaciaire rhodanien dans la région d'étude

Comme on vient de le voir, il existe des désaccords entre les chercheurs au sujet de la datation du WGM et du LGM. Toutefois ceci sort du cadre de cette étude, et ce qui nous intéresse réellement est l'altitude atteinte par le glacier entre Martigny et le Léman lors du WGM et LGM. A ce sujet les chercheurs ne sont à nouveau pas tous d'accord, mais on peut tout de même estimer cette hauteur selon différentes méthodes : tout d'abord les différents blocs erratiques retrouvés sur les versants de cette partie de la vallée du Rhône nous indiquent l'altitude minimale atteinte par le glacier (Kelly et al., 2004) ; en effet, on part du principe que les dépôts erratiques des glaciations antérieures ont disparu, soit suite à l'érosion continue des versants, soit par le remaniement des glaciers locaux ou des glaciations ultérieures (Burri, 1962). De plus, un bloc erratique sera toujours une preuve qu'un glacier recouvrait sa zone de dépôt, sans forcément correspondre à la hauteur maximale atteinte par le glacier ; elle peut donc être supérieure à l'altitude du bloc. Une autre méthode utilisée consiste à cartographier la « trimline », limite entre le modelé d'érosion glaciaire et celui par les processus atmosphériques (Coutterand & Buoncristiani, 2006). Cette technique de reconstitution se prête bien pour les roches cristallines comme les gneiss ou les granites, résistant bien à l'érosion météorique, mais peu aux roches sédimentaires et calcaires, présentes dans les Préalpes, qui vont rapidement s'éroder et donc faire disparaître la trimline. Enfin, il y a encore la méthode classique de cartographie des moraines, qui nous indique cette fois l'extension latérale et frontale maximale atteinte par le glacier. La remarque précédente concernant la non-préservation des blocs erratiques des glaciations précédentes est également valable pour les moraines. Toutefois, cette méthode ne nous est pas d'une grande utilité pour notre zone d'étude vu qu'elle se situe au-dessus de la ligne d'équilibre, estimée à 1300 m environ pour le LGM (Coutterand, comm. orale), donc dans la zone d'accumulation. Aucune moraine n'a donc pu se déposer. Ainsi, en combinant ces trois méthodes, on arrive aux résultats suivants :

Comme on peut le voir sur la carte de l'annexe 7, on trouve des blocs erratiques entre environ 1600 et 1200 m dans le Chablais. Le glacier atteignait donc en tout cas 1600 m d'altitude à la hauteur du verrou de Saint-Maurice et 1400 m à la hauteur de Villeneuve. Selon Triganon et al. (2005), le glacier du Rhône a atteint l'altitude de 1250 m dans le bassin lémanique (sud d'Evian) au cours du Würm, ce qui correspond bien aux altitudes dans le Chablais suisse. Comme dit précédemment, la méthode de cartographie de la trimline ne peut s'effectuer dans les Préalpes calcaires. Par contre, elle a été utilisée pour le massif du Mont-Blanc notamment, nous indiquant une hauteur de glace de 2200-2000 m à la hauteur de Martigny pour le maximum würmien (Coutterand & Buoncristiani, 2006). Kelly et al. (2004), utilisant les mêmes méthodes, proposent une altitude de 1800 m environ pour cette région lors du dernier maximum glaciaire.

En résumé, on ne peut connaître avec certitude l'altitude exacte du complexe glaciaire

s'écoulant entre Martigny et le Léman lors du WGM et du LGM. Il est par contre possible d'en donner une estimation générale et globale afin d'avoir une idée de la puissance du glacier rhodanien. Lors du maximum d'englacement würmien, la glace atteignait les 2000-2200 m à l'entrée de la cluse du Rhône, s'abaissant progressivement jusqu'à une hauteur de 1800 m environ au niveau du verrou de Saint-Maurice. Le passage du verrou devait donner naissance à un petit bourrelet, suivi d'une pente plus importante marquée par un impressionnant champ de séracs juste à l'aval de l'obstacle calcaire. Ensuite, la pente du glacier s'abaissait lentement, atteignant environ 1550-1600 m à la hauteur d'Aigle, 1500 m dans la région des Rochers de Naye, et 1250-1300 m dans le bassin lémanique au niveau d'Evian et Lausanne (Burri, 1962 ; Schoeneich, 1998a ; Kelly et al., 2004 ; Triganon et al., 2005 ; Coutterand & Buoncristiani, 2006).

Ainsi, vu que le fond rocheux de notre zone d'étude se trouve actuellement sous plusieurs centaines de mètres de sédiments (voir ch. 6.3.2.1 et annexe 12), un glacier de 1500-2000 m d'épaisseur devait alors recouvrir la région chablaisienne. Passons maintenant à la période de déglaciation générale, qui est bien plus complexe qu'on pourrait le penser.

2.2.3.4 Du LGM à l'Holocène : le Tardiglaciaire

Dès la fin du LGM s'amorce la déglaciation générale, pour arriver à l'interstade actuel : l'Holocène. Cette période de transition, que l'on appelle *Tardiglaciaire*, est bien plus complexe que la vision simpliste d'une déglaciation continue et constante des différents systèmes glaciaires développés au cours du LGM. En effet, la période de transition entre le LGM et le Tardiglaciaire, ainsi que celle du Tardiglaciaire proprement dite, sont marquées par une succession de périodes de retraits, de réavancées et de stagnations des glaciers.

Une chronologie absolue, basée sur des datations au ^{14}C , est proposée par Triganon et al. (2005) pour la période post-LGM. Une première décrue glaciaire majeure est amorcée avant 30'000 BP mais après le LGM, comme l'atteste une épaisse formation lacustre dans le complexe inférieur d'Evian. Par la suite, une importante récurrence glaciaire a lieu (appelée « stade lémanique »), entrecoupée d'au moins treize avancées récurrentes et 12 retraits partiels, avant le retrait définitif depuis l'altitude de 850 m NGF⁴², altitude maximale atteinte par cette récurrence. C'est un stade majeur et durable du glacier du Rhône, qui se situait à environ 1200 m à la hauteur d'Aigle, marqué par la formation de puissantes terrasses de kame à Luan et Villars-Chesières (Schoeneich, 1998a). Puis, lors du « stade de Genève »⁴³, daté entre 30 et 27'000 BP, le front glaciaire est proche de l'actuelle ville de Genève ; la vieille ville est d'ailleurs construite sur la moraine frontale du glacier (Coutterand, 2005b). Par la suite, le glacier se retire par étapes, conduisant à l'élaboration des différentes terrasses de kame de Thonon. Le glacier stationne un temps à une altitude de 400 m, puis atteint par la suite 650 m lors de la dernière récurrence du Pléniglaciaire. Cette récurrence glaciaire, dite « du Petit Lac », s'est déroulée entre 25 et 21'000 BP, et le front du glacier se situe entre la rade de Genève et la région d'Yvoire⁴⁴. Elle se termine ainsi avec l'interstade 2 (IS 2 courbe GRIP annexe 4a), qui marque également l'entrée dans le Tardiglaciaire. Cette chronologie coïncide donc tout à fait avec celle proposée par Schoeneich (1998a et b), qui situe le début du Tardiglaciaire vers 20'100 cal. BP.

42 Nivellement général de la France

43 Voir Couterrand (2005b) pour des photos-montages illustrant ce stade (ainsi que d'autres).

44 www.glaciers-climat.com, consulté en janvier 2009.

2. La théorie glaciaire

Tout comme cette période de transition Pléniglaciaire – Tardiglaciaire, celle du Tardiglaciaire est caractérisée par de multiples fluctuations. Le schéma proposé par Maisch (annexe 10), dérivé des travaux de Penck & Brückner, constitue la principale référence chronologique relative au Tardiglaciaire alpin. Se basant sur l'observation géomorphologique des moraines d'extension dans les Alpes grisonnes, il les a ensuite corrélées entre elles et a défini des stades sur la base des valeurs de la dépression de la ligne d'équilibre⁴⁵ par rapport au stade de référence de 1850 (maximum d'extension du PAG). Il en ressort une nomenclature comportant six stades principaux, qui sont, en partant du plus ancien, les stades de Bühl, Steinach, Gschnitz, Clavadel, Daun et Egesen. A nouveau, cette nomenclature varie localement, et ne peut donc pas être considérée comme absolue pour l'ensemble de la chaîne alpine. Différents auteurs ont donc proposé leur propre nomenclature pour leur zone d'étude. Citons notamment les travaux de Schoeneich (1998a) pour les Préalpes vaudoises et ceux de Coutterand et Nicoud (2005) pour la vallée de l'Arve. Scapozza (2008), dans son impressionnant travail de mémoire, s'intéresse quant à lui aux Alpes tessinoises, et propose également un essai de corrélation des différents stades tardiglaciaires proposés jusqu'à maintenant, basé sur la dépression de la ligne d'équilibre (Annexe 9). Nous proposons donc un bref résumé général de cette période afin de comprendre la chronologie de la déglaciation. Nous parlerons plus en détail de la déglaciation du complexe rhodanien dans le Chablais suisse au chapitre 5 et 6.

Comme dit précédemment, le Tardiglaciaire a commencé vers 20'000 BP. Schoeneich (1998 a et b) propose un modèle divisant le Tardiglaciaire en deux complexes principaux, séparés par l'interstade Bølling-Allerød (cf. Annexe 10).

Le complexe *Bühl – Gschnitz – Daun*, que l'on peut corréler au Dryas ancien, s'étend environ de 17'000 BP à 13'000 BP. Il est marqué par une déglaciation par étapes et assez lente des Alpes. Le climat reste de type glaciaire avec une végétation steppique (Gauthier & Coutterand, 2008). Les Préalpes semblent avoir été totalement déglacées avant

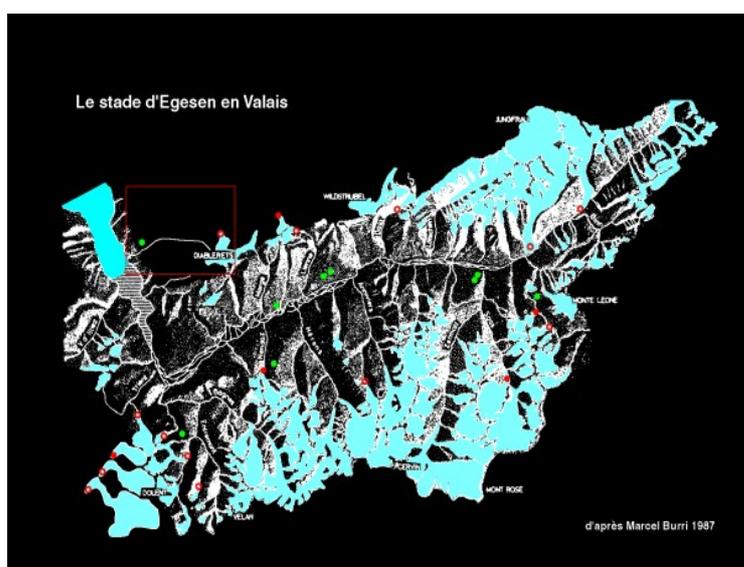


Fig. 2.2.13 : L'extension des glaciers au cours de l'Egesen (ou Dryas récent) (Schoeneich, 2008).

45 Se base sur le constat que tout glacier est partagé en deux zones, une zone d'accumulation (bilan de masse positif) et une zone d'ablation (bilan de masse négatif). La ligne d'équilibre du glacier se situe donc à la frontière entre ces deux zones, et correspond à une ligne théorique où le bilan de masse est nul (donc où il n'y a théoriquement aucune différence entre l'accumulation et la fonte d'eau sous forme solide). On part du principe que le rapport entre zone d'accumulation et d'ablation est de 2:1.

l'Interstade Bølling-Allerød (Schoeneich, 1998a). S'ensuit une phase rapide de réchauffement climatique, caractérisée par une montée du niveau marin et un changement dans la végétation avec un développement des forêts ; c'est l'interstade Bølling-Allerød. Ensuite, ce réchauffement s'interrompt brutalement, et l'on assiste à un retour des conditions glaciaires : la forêt recule pour faire place aux steppes, les concentrations en ^{18}O diminuent dans les calottes glaciaires, les glaciers progressent à nouveau (cf. fig. 2.2.13) (Gauthier & Coutterand, 2008). Cette période est nommée globalement *Dryas récent*, ou *Egesen* dans les Alpes. L'explication possible de ce refroidissement est la vidange du lac Agassiz par la vallée du Saint-Laurent en Amérique du Nord, apportant une masse d'eau douce colossale dans l'Atlantique N, ce qui a pu perturber la circulation thermohaline. Ce refroidissement entraîne une récurrence glaciaire, mais principalement des glaciers de cirque, ces derniers réagissant beaucoup plus rapidement à des changements climatiques que les grands glaciers de vallée comme celui du Rhône, qui ont une inertie bien plus grande. Ce dernier sursaut glaciaire marque la fin du Tardiglaciaire et du Pléistocène.

On entre ensuite dans la période actuelle, l'Holocène (ou *Postglaciaire*), qui débute par le Préboréal. C'est le début de l'optimum climatique, qui caractérisera toute la première moitié de l'Holocène. Nous parlerons quelque peu de cette période au chapitre 6.3, lorsque nous nous intéresserons notamment à l'abaissement progressif du niveau lacustre lémanique dans notre zone d'étude. Une dernière récurrence glaciaire a lieu durant le Petit Age Glaciaire (PAG), entre le 14^{ème} et le 18^{ème} siècle. Les températures chutent et les hivers sont très rigoureux comme nous le prouvent de nombreux témoignages écrits. Une forte crue des glaciers caractérise cette période, avec des maxima vers 1600, 1820 et 1850⁴⁶. Cette dernière récurrence est facilement reconnaissable dans les environnements glaciaires, car elle a laissé de magnifiques dépôts morainiques caractéristiques de cette période (figure 2.2.14). Elle marque la fin du PAG et le début du retrait glaciaire. On estime en moyenne que les glaciers ont perdu un tiers de leur volume par rapport à leur niveau maximum de 1850.



Fig. 2.2.14 : Glacier du Tschierva (GR, Suisse), avec indication des moraines du PAG. Photo : Pierre Pisano.

46 www.glaciers-climat.com, consulté en janvier 2009.

2.2.4 Synthèse

Comme on a pu le constater, la Terre a connu à maintes reprises des époques glaciaires, parfois de très grande ampleur. La morphologie actuelle des régions alpines et périalpines est profondément héritée de ces glaciations, et notamment de celles du Pléistocène. Les glaciations du Pléniglaciaire ont laissé des marques indélébiles dans le paysage, donnant à nos régions leur forme actuelle. Ainsi, la géomorphologie du pourtour du bassin lémanique, et spécialement la ville de Lausanne et Lavaux, est fortement corrélable à la dynamique glaciaire et à ses formes de dépôts. Le puissant complexe glaciaire rhodanien a envahi notre région d'étude à maintes reprises, la recouvrant de plusieurs centaines de mètres de glace et lui donnant son aspect actuel. Le chablais suisse porte de nombreuses séquelles du passage des glaciers, dont certaines ont été de grande utilité pour le développement des sciences de la Terre (cf. ch. 2.1). Il est de ce fait de notre devoir de conserver et de valoriser ce patrimoine glaciaire quelque peu oublié ou inconnu, point qui sera étudié dans la suite de ce travail.

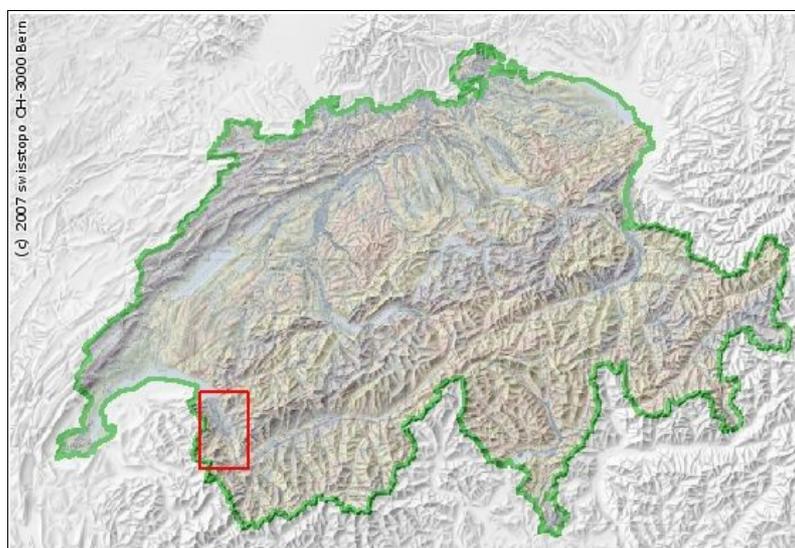
3. Présentation de la zone d'étude

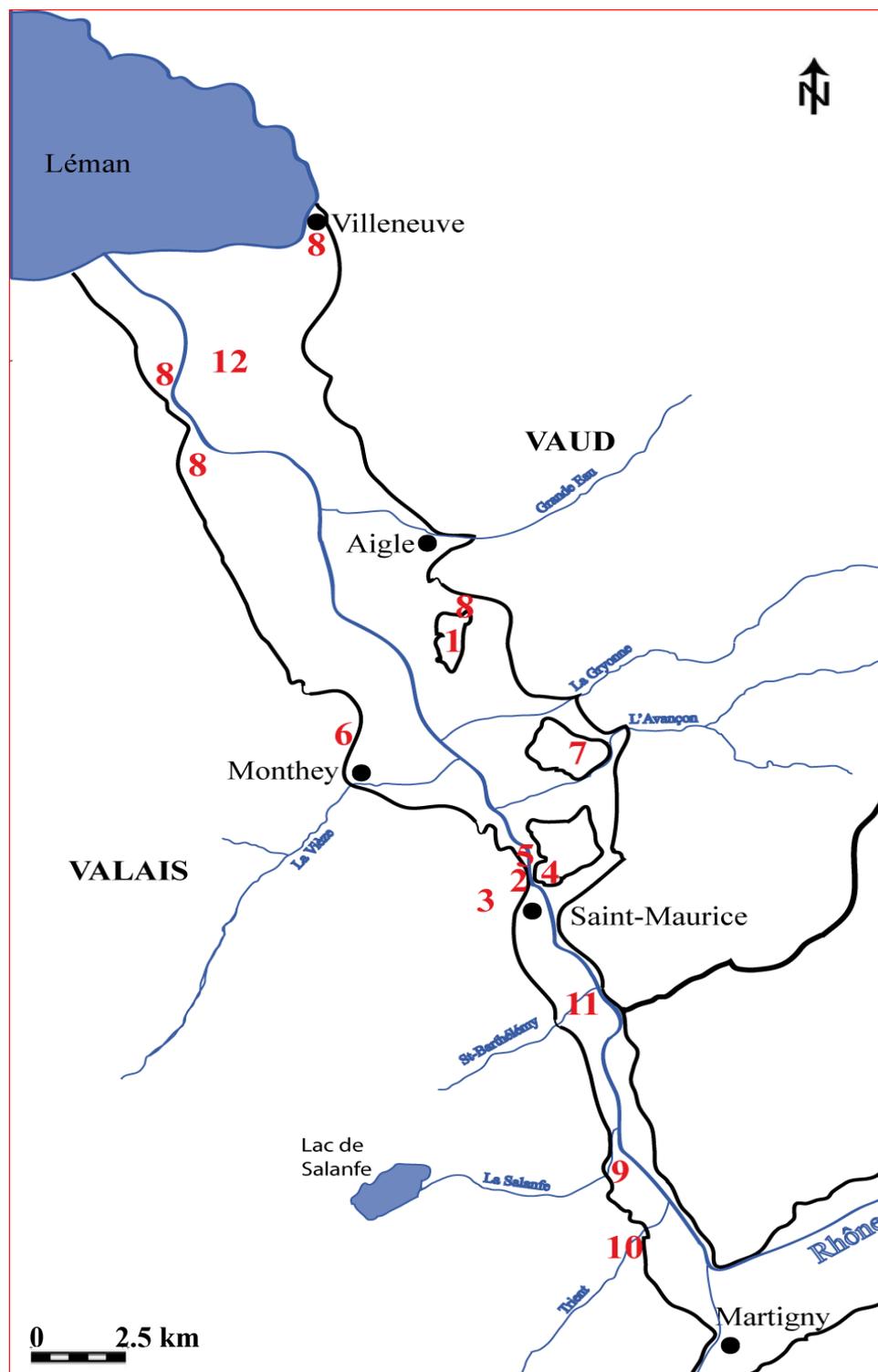
Ce chapitre a pour objectif d'introduire les conditions géographiques et géologiques de la zone d'étude de ce travail. Après avoir situé géographiquement notre région (ch. 3.1), nous introduirons quelques données climatologiques (ch. 3.2), puis nous présenterons brièvement sa géologie (ch. 3.3), sans trop entrer dans les détails, car une description complète et détaillée nécessiterait beaucoup plus d'espace et de temps et irait au-delà du cadre de ce travail. Ainsi, cette partie doit permettre au lecteur de se faire une idée des différents paramètres influençant la morphogenèse de la région, ainsi que des différents aléas naturels auxquels les géomorphosites peuvent être soumis.

3.1 Situation géographique

La zone d'étude choisie pour ce travail correspond à la plaine du Rhône située entre Martigny et le lac Léman, qui se trouve à cheval entre les cantons du Valais et de Vaud (fig. 3.1). Orientée SSE – NNW, cette partie de la haute vallée du Rhône peut être divisée en deux d'un point de vue géomorphologique ; à l'amont du verrou de Saint-Maurice se trouve la cluse du Rhône, région très encaissée, d'une superficie approximative de 19 km². Elle a une largeur moyenne d'un peu plus de 1 km et atteignant au maximum ~1.8 km à la hauteur du cône de déjection du Bois-Noir, pour une longueur d'environ 12 km. A la hauteur du verrou, le goulet d'étranglement est tellement étroit que le Rhône y occupe toute la largeur, obligeant le percement du plateau de Chiètres pour le passage de l'autoroute. Ensuite, la vallée s'élargit du verrou jusqu'à l'embouchure du Rhône dans le Léman : c'est la plaine du Chablais suisse. Elle couvre une superficie approximative de 90 km², avec une largeur moyenne de 4.5 km et atteignant un maximum de ~6 km à la hauteur d'Aigle, de Monthey ou à l'embouchure du Rhône, pour une longueur de 20 km environ. Ce dernier fait office de frontière naturelle entre le canton du Valais et le canton de Vaud, la rive gauche chablaisienne étant valaisanne et la rive droite vaudoise. En ce qui concerne la cluse du Rhône, la rive droite est vaudoise et la gauche valaisanne à l'aval du cône de déjection du Bois-Noir. Lavey-les-Bains correspond donc au dernier village vaudois en direction de l'amont, Collonges étant le premier village valaisan de la rive droite.

*Fig. 3.1 : Situation de notre zone d'étude (carré rouge) sur le plan national (tiré de [www.swisstopo geodata.ch](http://www.swisstopo.geodata.ch)).
Détail sur la page suivante.*





Détail de la zone d'étude, avec indication des sites étudiés : 1. Les collines de Saint-Triphon 2. Le verrou de Saint-Maurice 3. Le plateau de Vérossaz 4. La marmite glaciaire des Caillettes 5. Les roches moutonnées de Massongex 6. les blocs erratiques de Monthey 7. Les blocs erratiques du Montet 8. Les deltas perchés 9. La cascade de la Pissevache 10. Les gorges du Trient 11. Le cône du Bois-Noir 12. Les collines de Chessel-Noville.

3. Présentation de la zone d'étude

Notre zone d'étude se situe globalement entre 470 m et 372 m d'altitude. Les vallées latérales ne sont pas prises en considération pour ce travail, qui va se focaliser sur la plaine du Rhône uniquement.

D'une manière générale, cette partie de la vallée du Rhône est une plaine fertile et urbanisée. De vastes zones agricoles contrastent avec des pôles urbains autour desquels les industries se sont implantées, comme par exemple à Monthey. Le tourisme est principalement estival, avec une offre touristique de plus en plus variée (randonnées, escalades, bains, sentiers didactiques, musées, etc.). Le tourisme hivernal se concentre en grande majorité dans les stations de montagne, les sports de glisse correspondant de loin à la principale occupation touristique.

3.2 Cadre climatique

La région d'étude connaît un climat sensiblement différent de celui du Valais central malgré leur proximité, et se rapproche plus du climat du plateau suisse (fig. 3.2). On passe d'un climat de type océanique en Chablais, caractérisé par des températures relativement douces ($\sim 9.5^{\circ}\text{C}$ en moyenne) et des précipitations importantes déclinant légèrement en direction de Monthey (800 à 1100 mm/an en moyenne), puis fortement entre Monthey et Martigny, à un climat de type continental pour le Valais central : précipitations faibles et températures élevées (609 mm et 9.9°C de moyenne annuelle à Sion), ainsi que de fortes amplitudes thermiques journalières et saisonnières, ce qui en fait la région la plus sèche de Suisse⁴⁷ (Werner, 1988). Cette variation climatique régionale s'explique par le rôle de barrage naturel joué par les massifs alpins (Alpes bernoises au N, Alpes valaisannes au S), qui bloquent les perturbations venant de l'Atlantique et de la Méditerranée.

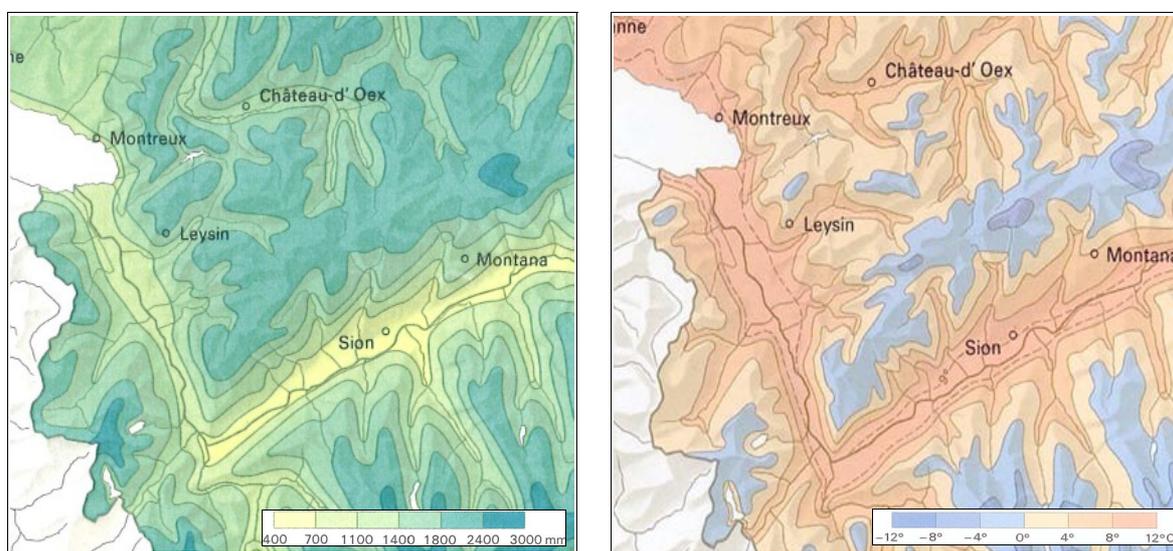


Fig. 3.2 : *à gauche : Extrait de carte des hauteurs moyennes corrigées des précipitations (1951-1980). A droite : Idem pour les températures (tiré de l'Atlas climatologique de Suisse, 1982-2000).*

47 Moyenne de la période 1931-1970 (Atlas climatologique de Suisse, 1982-2000).

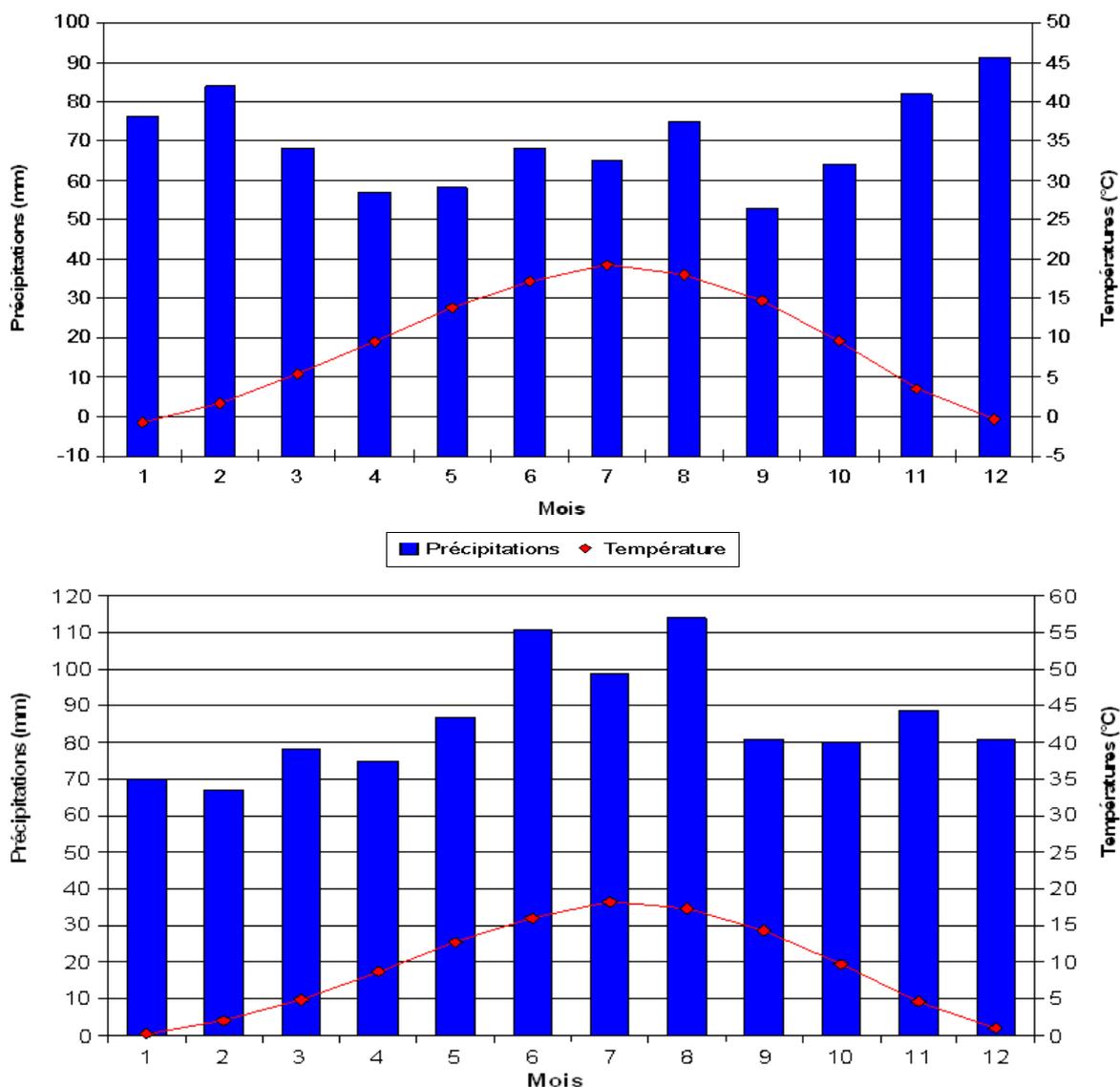


Fig. 3.3 : Diagrammes ombrothermiques à Martigny (en haut) et à Aigle (en bas) pour la période 1961-1990. Données : Office fédéral de météorologie et de climatologie MeteoSuisse.

3.3 Contexte géologique

Nous allons maintenant nous intéresser quelque peu à la géologie de la zone d'étude, sans pour autant trop entrer dans les détails. En effet, une description géologique détaillée, de part l'ampleur de la zone d'étude et de par sa complexité géologique, dépasserait largement le cadre de ce travail. Qui plus est, ce travail étant axé sur la géomorphologie, une vision générale du contexte géologique est suffisante. Nous allons donc présenter son arrangement tectonique dans son ensemble. Nous renvoyons le lecteur avide de précisions géologiques aux différentes cartes géologiques et notices explicatives disponibles (du S au N : Burri et al., 1983 ; Badoux et al., 1971 ; Gagnebin et al., 1934 ; Badoux et al. 1990 ; Badoux et al., 1960 ; Badoux, 1965), ainsi qu'au guide géologique régional (Charollais & Badoux, 1990). Notons encore que nous ne traiterons ici que du contexte géologique de notre zone d'étude, sans nous attarder sur son remplissage quaternaire, important, que l'on étudiera au chapitre 5.8.

Notre zone d'étude appartient à deux domaines principaux des Alpes : l'Helvétique et le Pennique (Préalpes). D'une manière générale, les Alpes sont constituées de différentes unités tectoniques superposées, elles-mêmes formées de différentes nappes. Ces dernières peuvent s'être déplacées sur de grandes distances suite à l'orogénèse alpine et aux forces colossales mises en jeu : on les appelle des « *nappes de charriage* ». C'est le cas des Préalpes du Chablais, qui sont constituées en grande partie de nappes dites « *allochtones* », c'est-à-dire que les roches qui les composent se trouvent loin (à des dizaines voire des centaines de km) de leur milieu de dépôt (Charollais & Badoux, 1990). Parmi celles-ci, on distingue généralement les ensembles suivants, de bas en haut (voir annexe 11 pour la carte tectonique) (Badoux et al., 1960 ; Charollais & Badoux, 1990 ; Burri, 1994 ; Steck et al., 1999):

- ***Les nappes à matériel ultrahelvétique***, constituant une partie des Préalpes externes et le gros des Préalpes internes. On distingue la nappe complexe de *Bex-Laubhorn*, composée de calcaires liasiques à sa base, de dolomies, évaporites et pélites triasiques dans sa partie supérieure, ainsi que celle de la *Plaine-Morte*, composée d'un wildflysch.

- ***Les nappes des Préalpes médianes et de la Brèche***, qui forment l'essentiel du bâti préalpin. On peut subdiviser grossièrement la nappe des Préalpes médianes en une partie externe, septentrionale, appelée « *Médianes plastiques* », caractérisée par des plis souples relativement continus, avec une partie interne, méridionale, appelée « *Médianes rigides* », qui est caractérisée par des dalles disjointes et basculées. La colline de Saint-Triphon illustre parfaitement cette dernière catégorie ; en effet, ce vaste complexe calcaire s'est littéralement retrouvé "la tête en bas", les couches les plus anciennes se trouvant au sommet et inversement. De plus, suite à l'exploitation de la carrière des Andonces de Saint-Triphon, on a mis au jour le remplissage d'un conduit karstique montrant une granulométrie inverse (c.f. ch. 5.1). Les nappes des Préalpes médianes se composent essentiellement de calcaires, de marnes et de grès, tandis que la nappe de la Brèche est caractérisée par un détritisme plus grossier, d'où son nom.

- ***Les nappes des Préalpes supérieures*** (ou ***nappe de la Simme***), ensemble complexe coiffant les nappes précédentes, composé d'une épaisse série de flyschs.

Notons encore que ces différentes unités sont englobées ou séparées entre elles par des coussinets plus ou moins épais de wildflysch (Charollais & Badoux, 1990).

De plus, il faut souligner la présence, sous ces différentes unités allochtones, de l'unité dite de « *l'Autochtone* », qui correspond à la couverture sédimentaire du massif des Aiguilles Rouges, décollée, plissée et faiblement déplacée vers le NW. Elle se compose grossièrement de calcaires, de grès, de schistes, de conglomérats et de Molasse rouge. Par-dessus cette unité se trouve celle du « *Parautochtone* », qui correspond à une mince bande de flysch, formée de schistes et de grès (Badoux et al., 1960).

Le verrou de Saint-Maurice, dont nous reparlerons plus en détail dans la suite de ce travail (ch. 5.2), se compose de calcaires du Mésozoïque autochtone de l'unité Helvétique. On l'appelle *autochtone* car cette série sédimentaire est restée collée à son socle hercynien, celui du massif cristallin des Aiguilles Rouges. Bien qu'elle se soit décollée en plis de couverture, elle est restée dans l'ensemble à sa place originelle, d'où son nom (Gagnebin et al., 1934). Le plateau de Vérossaz, qui nous intéresse également dans le cadre de ce travail, fait également partie de cette même série sédimentaire.

La cluse du Rhône recoupe différents ensembles qui appartiennent au domaine helvétique ; ils sont donc issus de l'ancienne croûte continentale européenne. On distingue, de Martigny à Saint-Maurice (Gagnebin et al., 1934 ; Badoux et al., 1971 ; Charollais & Badoux, 1990 ; Burri, 1994) :

- **Le massif hercynien des Aiguilles Rouges**, ensemble complexe comprenant au S le massif de l'Arpille (hors zone), au N celui des Aiguilles rouges *stricto sensu* sur la rive gauche et celui de Morcles sur la rive droite. Ces deux massifs sont séparés par le synclinal permo-carbonifère de Salvan-Vernayaz en rive gauche et celui de Dorénaz en rive droite. Ce massif fait partie des massifs cristallins externes, formant une partie des plus hauts sommets des Alpes, et se compose de granite et de gneiss, ainsi que de marnes et de grès dans une moindre mesure.

- **La couverture N du massif des Aiguilles Rouges**, constituée de la nappe de Morcles. Les Dents du Midi et les Dents de Morcles correspondent à sa zone frontale, et se composent de calcaires, de marnes et de grès.

- Passé le verrou de Saint-Maurice, on entre ensuite dans les unités précédemment définies pour la région du Chablais.

3.3.1 Histoire de la formation de la zone d'étude

On ne saurait clore ce chapitre sans parler quelque peu de l'histoire de la cluse du Rhône et du Chablais. Comment se fait-il que le Rhône bifurque soudainement vers le N à hauteur de Martigny pour entailler perpendiculairement les différentes unités géologiques précédemment décrites? Bien que peu étudiée (Badoux, 1989 ; Burri, 1994 ; Reynard, 2008b), résumons le peu de connaissances que l'on a de l'histoire du cours du Rhône, en se gardant bien de la part subjective de telles hypothèses.

Jusqu'à Martigny, le cours du Rhône suit la ligne tectonique du Rhône-Simplon qui définit la séparation entre le domaine géologique constitué par les unités Helvétiques, Autochtones et Parautochtones au N et le domaine géologique Pennique et Austroalpin au S (Rosselli, 2001). Son cours est donc parallèle aux structures géologiques jusqu'à Martigny, pour tourner brusquement de 90° en direction du N. Pour comprendre ce changement de direction, il faut remonter au début de l'histoire du Rhône qui, comme celle des grandes rivières alpines, commence il y a 37 millions d'années lors du début de l'orogénèse alpine et du creusement du bassin molassique (Badoux, 1989). A cette époque (dénommée *Oligocène*, de -33 à -23 Ma), les futures Préalpes médianes, sous l'influence de l'orogénèse alpine, vont quitter leur domaine d'origine, le Pennique, pour se diriger vers le NW. Cette masse, unique à l'origine, va se fendre en deux, se déchirer en quelque sorte, pour épouser la faible courbure de l'arc alpin. Chaque lobe va ainsi se plisser indépendamment l'un de l'autre lors de la phase finale de leur mise en place, comme l'atteste le manque de corrélation générale entre les plis des deux versants (Badoux, 1989). Ainsi se crée une dépression, qui va fixer le cours du Rhône dès l'*Oligocène*. A cette époque le bassin molassique, longue et étroite dépression qui longe la chaîne naissante de la France à la République Tchèque, recueille la charge détritique des rivières alpines. Ainsi se forment de grands cônes de déjection aux embouchures des rivières alpines dans le vaste bassin molassique. Les conglomérats du Mont-Pélerin et la granulométrie décroissante de Lavaux en direction du NW correspondent aux restes du cône de déjection du Rhône de cette époque. Ensuite, au *Miocène* (-23 à -7 Ma), il semblerait que le Rhône se soit écoulé d'E en W, empruntant l'actuel col de la Forclaz ; la vallée du col de la Forclaz correspondrait à une ancienne vallée du Rhône orientée E-W (Pfiffner et al. 1997), et une modeste rivière

3. Présentation de la zone d'étude

s'écoulait alors de Saint-Maurice vers le N (Burri, 1994). Toutefois, suite au soulèvement du massif du Mont-Blanc et à l'érosion régressive continue de cette modeste rivière, qui entaillait sans cesse les structures géologiques en soulèvement constant que sont le massif des Aiguilles Rouges et la nappe de Morcles, une capture du Rhône par érosion régressive va s'effectuer à hauteur de Martigny. Ainsi, ce dernier retrouve entre guillemets le cours qu'il avait eu quelques millions d'années auparavant, à l'Oligocène, au moment de la formation du cône du Mont-Pélerin. Le réseau hydrographique ne changera globalement plus, et la vallée du Rhône continuera d'être entaillée par le fleuve, puis par l'important travail érosif du complexe glaciaire rhodanien lors des innombrables glaciations qui suivirent. Je tiens encore à souligner le fait que cette reconstitution de la paléogéographie du cours du Rhône, due au manque de preuves directes, n'est qu'hypothétique.

4. Méthodes

Ce quatrième chapitre va porter sur les méthodes utilisées pour la valorisation proprement dite du patrimoine glaciaire de la cluse du Rhône et du Chablais. Dans un premier temps, nous allons tout d'abord présenter les différents sites retenus (ch. 4.1), puis la marche à suivre utilisée pour ce travail de valorisation (ch. 4.2). Le but de ce chapitre est donc d'introduire la partie centrale de ce travail, dans laquelle nous étudierons la zone d'étude site par site (ch. 5 et 6).

4.1 Présentation des sites retenus

Notre région d'étude ayant été entièrement recouverte de glace lors des périodes glaciaires du Pléistocène, elle porte encore les stigmates des passages du complexe glaciaire rhodanien. Comme on a pu le constater précédemment (ch. 2.1), c'est grâce à certains d'entre eux que l'on a pu élaborer puis diffuser la théorie glaciaire. De plus, après la dernière grande glaciation, un certain nombre d'événements se sont déroulés pour donner à cette partie de la vallée du Rhône la forme que nous lui connaissons aujourd'hui. A nouveau, la nature nous a laissé des preuves de cette géographie passée, qui nous permettent de reconstituer les différentes étapes de mise en place du paysage actuel. Ainsi, il nous est possible de partager la morphogenèse de la cluse du Rhône et du Chablais suisse en deux périodes, la première correspondant au moment où la vallée était noyée par les flux glaciaires, la seconde étant en rapport avec la déglaciation dans son ensemble et aux fluctuations qui suivirent jusqu'à nos jours. Nous commençons volontairement l'histoire géomorphologique de cette région au moment des glaciations pléistocènes et non avant, ce pour plusieurs raisons : premièrement, ce travail se focalise sur le patrimoine glaciaire de ce territoire et sur son lien avec l'avènement de la théorie glaciaire, donc sur la période quaternaire et sur la dernière grande glaciation en particulier ; deuxièmement, nous avons pu constater au chapitre 3.3.1 que les raisons conduisant le Rhône à bifurquer soudainement vers le N à la hauteur de Martigny sont loin d'être expliquées avec certitude ; enfin, et cela rejoint la remarque précédente, ce travail est axé sur la géomorphologie glaciaire, et non sur l'origine géologique et/ou tectonique de la zone étudiée. Toutefois, il est certain que ces deux domaines ne peuvent pas être totalement ignorés, notamment pour certains sites en particulier, comme le verrou de Saint-Maurice par exemple.

La classification des différents sites retenus se fait donc selon deux catégories, en rapport avec leur moment de formation :

- Les sites dont la formation est antérieure ou contemporaine au dernier maximum glaciaire (LGM).
- Les sites dont la formation est postérieure au LGM.

Ainsi, nous allons suivre le cours chronologique de l'histoire glaciaire de la région pour la présentation des différents géomorphosites retenus, en partant du plus ancien. Bien évidemment, et ce principalement pour les sites les plus anciens, il serait utopique de vouloir déterminer leur ordre chronologique vu le manque d'informations au sujet du moment de leur formation. Nous parlerons en détail de chaque site au chapitre 5 et 6, la

liste ci-dessous présentant uniquement le nom des sites et une très brève définition chronologique.

4.1.1 Les sites antérieurs ou contemporains au LGM

Entrent dans cette catégorie tous les sites dont il est certain que leur genèse n'est pas postérieure au LGM, sans forcément connaître le moment précis de leur formation. On peut ainsi énumérer les sites suivants :

- **Les collines de Saint-Triphon** : faisant partie d'une série renversée de la nappe des Préalpes médianes rigides, leur formation remonte à celle de l'ensemble des Préalpes. C'est donc le plus ancien des sites retenus.
Le verrou glaciaire de Saint-Maurice : bien qu'il n'y ait aucune certitude à ce sujet, il est probable que ce verrou se soit formé dès les premières glaciations du Pléistocène, qui ont logiquement dû emprunter la cluse du Rhône déjà entaillée par le fleuve (cf. chap. 3.3.1). Cette hypothèse se base sur un "dérivé" du principe d'actualisme (car les processus ne sont plus observables aujourd'hui), stipulant que les processus ayant conduit à la formation du verrou actuel lors de la ou des dernière(s) glaciation(s) devaient être les mêmes lors des premières glaciations. Ainsi, un verrou a également dû se former, s'érodant petit à petit suivant l'enfoncement progressif de la vallée.
- **Le plateau de Vérossaz** : se situant quelques centaines de mètres au-dessus de Saint-Maurice, on peut mettre en relation l'histoire de sa formation avec celle du verrou de Saint-Maurice. En effet, il fait partie de la barre calcaire englobant le plateau de Chiètres et le verrou, qui coupe perpendiculairement l'axe de la vallée. Cependant, ce site est retenu en tant qu'épaulement glaciaire ou ancien fond de vallée, bien qu'il fasse partie intégrante du verrou de Saint-Maurice.
- **La marmite glaciaire des Caillettes (Bex, VD)** : elle fait partie de la barre calcaire reliant le plateau de Chiètres à celui de Vérossaz. Ainsi, sa formation ne peut qu'être contemporaine ou postérieure à celle du verrou glaciaire.
- **Les roches moutonnées de Massongex** : à nouveau, une datation, même approximative, ne peut qu'être hypothétique. La seule certitude est qu'elles ont été polies par le glacier, donc que leur formation s'est arrêtée au moment où le Chablais a été libre de glace. On les place tout de même dans cette catégorie, car le polissage de cette paroi calcaire a également dû s'opérer avant et pendant le LGM, bien qu'il ait continué jusqu'au retrait définitif du complexe glaciaire rhodanien.

4.1.2 Les sites postérieurs au LGM

- **La moraine à blocs de Monthey** : on peut la fixer à un stade de réavancée ou de stagnation glaciaire, qui est à placer avec certitude après le LGM.
- **Les blocs erratiques de Bex** : on peut également les placer avec certitude après le LGM, sans pour autant avoir plus de précision sur le moment de leur dépôt.
- **La moraine de Vérossaz** : elle correspond également à un stade de réavancée ou de stagnation du glacier, peut-être le même que celui de Monthey et des blocs erratiques de Bex.
- **Les deltas perchés** : ces différents cônes de déjection fossilisés se sont formés dans le lac proglaciaire dès le moment où le glacier s'est retiré, et se sont interrompus au

niveau lacustre de 405 m, marqué par une brusque rupture de pente. Ils se situent donc entre la fin du LGM et l'interstade Bölling-Alleröd. Nous parlerons également à ce moment du remplissage quaternaire de cette partie de la vallée du Rhône, relativement bien documenté et important pour comprendre la morphologie actuelle de la vallée.

- **Les gorges du Trient** : ces gorges ont dû se "pré-fabriquer" lors de la ou des dernière(s) glaciation(s) würmienne(s). Cependant, leur importante érosion est d'origine fluviale, donc postglaciaire, et cette action érosive est encore en activité aujourd'hui, d'où la raison de les placer à cet endroit.
- **La cascade de la Pissevache** : tout comme les gorges du Trient, elle s'est formée suite à la différence de niveau entre la vallée latérale suspendue et la vallée principale. On peut situer le début de la formation de la cascade dès le moment où la région était libre de glace.
- **Le cône de déjection du Bois-Noir** : le début de sa formation semble être contemporain de celui de la cascade de la Pissevache, c'est-à-dire dès le retrait définitif du glacier de la cluse du Rhône.
- **Les collines de Chessel-Noville** : leur origine a fait couler beaucoup d'encre. On semble s'accorder aujourd'hui sur le fait qu'elles seraient le résultat de l'impact d'un éboulement dans la zone alors marécageuse sous le Grammont et la Suche, qui aurait soulevé les sédiments se trouvant au devant de l'impact (phénomène de *diapirisme*). Des tuiles romaines ayant été retrouvées dans les sédiments déformés, il est certain que cet éboulement est postérieur à l'époque romaine, ce qui en fait le site le plus récent.

Dès lors, on peut constater la bonne répartition des sites entre les deux catégories, certains ayant commencé très tôt leur formation, d'autres étant beaucoup plus récents voire encore en cours de formation. De plus, on remarque la grande échelle temporelle qu'ils couvrent, commençant probablement dès les premières grandes glaciations quaternaires (sans tenir compte du site de St-Triphon) et se prolongeant jusqu'à nos jours pour certains sites ayant leurs processus encore actifs. Ceci souligne le changement constant auquel est soumis le relief, et donc le caractère dynamique des processus géomorphologiques.

4.2 Marche à suivre utilisée

Il paraît important, avant de commencer le travail de valorisation à proprement parler, d'expliquer la marche à suivre choisie pour ce dernier. Nous utiliserons une approche *site par site* suivant une méthodologie constante en quatre étapes, qu'il convient de brièvement présenter :

- La **première étape** (« *description et caractéristiques* ») aura pour but de présenter le site et ses différentes caractéristiques (localisation géographique, description géologique et géomorphologique, type de propriété, dimensions, point de vue, etc.). On citera ici toutes les informations utiles et importantes à connaître sur le site.
- La **deuxième étape** (« *morphogenèse* ») consistera à expliquer la genèse du site d'un point de vue scientifique. Bien entendu, on est loin de connaître la morphogenèse de tous les sites avec précision, et pour certains, cette dernière est à la base de désaccords entre les scientifiques. Le but ne sera donc pas de donner notre propre avis sur la question, mais de présenter l'état des connaissances admises

actuellement par le monde scientifique.

- La **troisième étape** (« *valorisation didactique* ») s'attardera sur la valorisation du site proprement dite, en vulgarisant les connaissances scientifiques définies à l'étape précédente. Cette partie devra être à la portée d'un public large et demande donc l'utilisation de différentes méthodes de vulgarisation scientifique (linguistique simplifiée, photos - photos retouchées, schémas, etc.).
- Pour finir, la **quatrième étape** (« *caractéristiques touristiques* ») présentera tout d'abord les différentes caractéristiques du site qui nous intéressent particulièrement du point de vue touristique (valeur éducative, accessibilité au site, lien avec la théorie glaciaire, présence de points d'observation et intégrité). Nous énumérerons ensuite les offres touristiques présentes actuellement et proposerons de nouveaux axes de développement en tenant compte des caractéristiques du site, ainsi que des synergies possibles avec les offres touristiques déjà présentes dans les environs du site.

La démarche choisie, en présentant un site après l'autre et ce à chaque fois de la même manière, permet de transmettre à la personne intéressée toutes les informations nécessaires pour un site, que celles-ci soient d'ordre général, scientifique, didactique ou touristique. Nous avons opté pour une démarche *site par site* plutôt qu'une approche plus globale, comme par exemple selon une thématique ou une localisation particulière, afin de simplifier l'utilisation future d'un site. En effet, pour un organisme souhaitant par exemple intégrer un des sites à une offre touristique préexistante ou créer une nouvelle offre, il est plus aisé d'avoir à sa disposition la matière première "prémâchée", qu'il pourra ensuite utiliser à sa guise, plutôt qu'un produit fini difficilement modifiable et séparable de son contexte d'origine. Cela permet donc à qui le souhaite de pouvoir utiliser uniquement le ou les site(s) qui l'intéresse(nt).

Nous avons volontairement introduit la partie scientifique avant l'étape de vulgarisation, ce qui permet d'apporter, à qui cela intéresse, la ou les preuve(s) nous conduisant à expliquer ainsi la morphogenèse d'un site. En effet, certaines personnes, après avoir compris l'explication didactique, souhaitent également savoir comment on est arrivé à de telles conclusions ou hypothèses. La deuxième étape est donc en quelque sorte une preuve des arguments expliqués dans la partie didactique. Pour finir, nous avons également inclus une partie à vocation touristique, en faisant des propositions de synergies possibles avec les offres touristiques déjà existantes ou entre différents sites, ainsi qu'en présentant des exemples d'offres touristiques réalisables, ce toujours dans une optique de simplification du travail pour un futur utilisateur d'un ou de plusieurs site(s).

En résumé, cette partie doit permettre de faciliter la valorisation de ce patrimoine glaciaire, en proposant un cadre théorique utilisable pour de potentielles utilisations futures desdits sites. Le but général de cette seconde partie consiste à apporter tous les éléments nécessaires à la création d'offres touristiques valorisant ces sites, laissant uniquement aux personnes intéressées (domaine du tourisme et scolaires principalement) la réalisation pratique.

En guise de conclusion de ce chapitre, nous proposerons également différents itinéraires possibles à effectuer selon différentes thématiques.

4^{ème} partie : Valorisation du patrimoine glaciaire

La partie centrale de ce chapitre va traiter de la valorisation du patrimoine glaciaire de la région d'étude selon la marche à suivre détaillée précédemment (c.f. ch. 4.2). Dans ce chapitre, nous allons ainsi dans un premier temps présenter chacun des douze sites sélectionnés, en commençant à chaque fois par une carte situant le site ainsi que les informations et caractéristiques générales importantes. Cette première partie devra donner tous les renseignements importants et utiles à connaître à propos du site. Nous nous attarderons ensuite sur leur morphogenèse d'un point de vue scientifique, puis vulgariserons cette dernière afin de la rendre accessible au grand public. Cette troisième partie, en lien direct avec la précédente, doit présenter de manière claire et facilement compréhensible les explications scientifiques sur la formation des différents sites. C'est à ce moment-là qu'une sensibilisation et une prise de conscience doit s'effectuer dans l'esprit du lecteur. Pour finir, nous introduirons quelques exemples d'offres touristiques déjà présentes dans la région du site et de synergies réalisables. Pour des sites ayant les mêmes caractéristiques, que ce soit au niveau de leur morphogenèse que de leurs offres touristiques, nous renverrons le lecteur au chapitre en question afin de ne pas répéter ce qui a préalablement été expliqué. Par la suite, nous terminerons ce cinquième chapitre en proposant des exemples d'itinéraires de sentiers didactiques réalisables selon différentes thématiques. Toutefois, ceci ne correspondant pas à la partie principale de ce travail, nous ne développerons pas de propositions complètes, avec par exemple la réalisation de panneaux didactiques, ce afin de laisser au(x) promoteur(s) intéressé(s) le libre choix pour l'élaboration de ce travail (ligne graphique, matériaux utilisés, format, couleurs, etc.).

Notons encore que tous les extraits de cartes utilisés dans cette quatrième partie, sauf mention contraire, sont tirés soit du guichet cartographique cantonal du canton de Vaud (www.geoplanet.vd.ch), soit du visualiseur de données géologiques de la Confédération suisse (www.swisstopogeodata.ch).

5. Les sites antérieurs ou contemporains au LGM

5.1 Les collines de Saint-Triphon

5.1.1 Description et caractéristiques

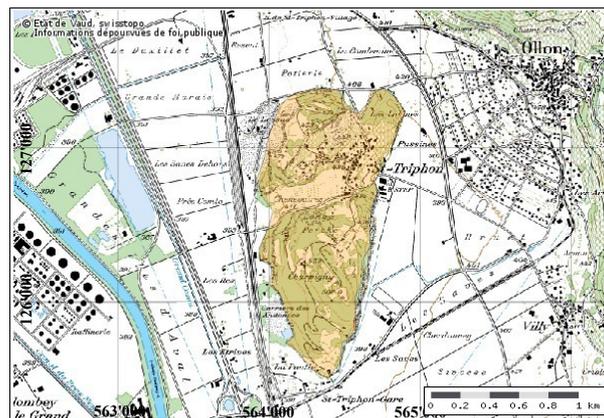


Fig. 5.1.1 : à gauche : Vue sur le Chablais vaudois depuis Les Martinaux, avec les collines boisées de Saint-Triphon au centre (flèche rouge). Ci-dessus : Situation des collines de Saint-Triphon.

Les collines de Saint-Triphon sont situées en rive droite du Rhône à l'aval du verrou de Saint-Maurice, entre le fleuve et la commune d'Ollon (fig. 5.1.1). Saint-Triphon se situe donc sur la commune d'Ollon et peut être séparé en deux, Saint-Triphon Village au N des collines et Saint-Triphon Gare au pied de la colline de Charpigny. Cet ensemble de collines se compose de deux collines principales, celles de Charpigny au S et celle du Lessus au N, ainsi que d'une plus petite à l'E de celle du Lessus appelée Larines. Le village même de Saint-Triphon se trouve à cheval entre ces deux collines principales. Elles forment un îlot rocheux calcaire isolé émergeant de la surface plane de la plaine du Rhône et sont pour une bonne partie délimitées par des parois abruptes. La longueur totale des collines de Saint-Triphon atteint un peu moins de 2 km selon un axe N-S, pour une largeur moyenne comprise entre 700 et 900 m. Elles couvrent une surface approximative de 1.2 km². Leur altitude maximale se situe à 508.1 m sur la colline de Charpigny, soit un peu plus de 100 m au-dessus du niveau de la plaine (400 m).

D'une manière générale, les collines sont en grande partie couvertes de forêts ; c'est surtout le cas pour celle de Charpigny, tandis que la colline du Lessus a été en partie déboisée pour laisser la place aux habitations. Saint-Triphon est célèbre pour ses marbres noirs, qui sont en fait des calcaires exploités dès le 18^{ème} siècle⁴⁸. On trouve trois carrières à Saint-Triphon, dont une seule est encore en activité aujourd'hui ; c'est celle du Lessus, au NW, qui a fortement entaillé le front de la colline du même nom. Au N, juste au-dessus du village, se trouve la carrière abandonnée des Fontenailles, tandis que l'ancienne carrière des Andonces

48 www.dhs.ch, consulté en janvier 2009.

se situe au SW du complexe. C'est sur une des parois artificielles de cette carrière que se trouve un remarquable remplissage d'un conduit karstique (564'000/126'000) (fig. 5.1.2).

Le meilleur point d'observation pour se rendre compte de l'isolement rocheux et de l'obstacle glaciaire que ces collines ont représenté se trouve en altitude, comme par exemple depuis la Dent de Morcles ou depuis Torgon. Notons encore qu'une magnifique vue sur le verrou de Saint-Maurice et le plateau de Vérossaz s'offre à nous depuis le flanc SE de la colline de Charpigny.

5.1.2 Morphogenèse

L'intérêt premier des collines de Saint-Triphon est sans aucun doute géologique et archéologique. Toutefois, cela n'entre pas dans le cadre de cette étude, car c'est bel et bien son intérêt géomorphologique qui nous intéresse. Retenons simplement que d'un point de vue géologique, elles sont une preuve directe du style tectonique cassant du groupe d'écaillés des Préalpes médianes rigides, caractérisées par des blocs indépendants et basculés. Ce phénomène a été favorisé par la forte présence de calcaires au détriment des marnes, ce qui a accentué le frottement et donc le retournement de la colline sur elle-même. En effet, les collines de Saint-Triphon font partie des Préalpes Médiannes Rigides externes inférieures, composées de calcaires triasiques, et se présentent sous forme de séries renversées (Badoux, 1962 ; Baud, 1972, 1984 ; Charollais & Badoux, 1990) : la base stratigraphique se trouve au sommet et inversement, ce qui est confirmé par la mise au jour, lors de l'exploitation de la carrière des Andonces, d'un remplissage d'un conduit karstique par des graviers de dolomies pris dans du matériel fin et présentant une granulométrie inverse (Baud & Masson, 1975) (fig. 5.1.2). L'ensemble du bloc s'est détaché de l'actuelle colline de Plantour (~1 km au N), qui présente un pendage vertical des couches géologiques, et s'est renversé sur le côté pour former les collines de Saint-Triphon, qui montrent un pendage horizontal inverse (Aviolat, 1987 ; Baud & Masson, 1975).

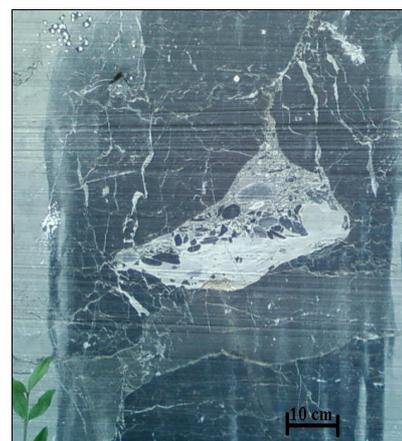


Fig. 5.1.2 : Détail du remplissage karstique avec granulométrie inverse, carrière des Andonces.

D'un point de vue archéologique, ces collines présentent un intérêt évident du fait qu'elles ont été habitées dès la Préhistoire, car elles constituaient un poste d'observation idéal dominant toute la plaine du Rhône, du défilé de Saint-Maurice au lac Léman (Berger, 1993). De nombreuses découvertes archéologiques ont donc été réalisées, et on peut encore admirer aujourd'hui de nombreux vestiges de l'époque médiévale (tour féodale, chapelle, ruine d'un ancien château, etc.). Ajoutons encore qu'elles possèdent un magnifique jardin botanique développé par William Aviolat depuis 1972.

Mais ce qui nous intéresse tout particulièrement à Saint-Triphon est le rôle joué par ce monticule rocheux lors de la dernière période glaciaire et les marques qu'elle y a laissées. Il a constitué un obstacle naturel au passage du complexe glaciaire rhodanien et correspond donc à un verrou glaciaire.

5. Les sites antérieurs ou contemporains au LGM

Bien que son enracinement géologique ne soit pas connu avec certitude, on peut tout de même affirmer qu'il se situe plusieurs centaines de mètres sous le niveau alluvial actuel, ce qui en faisait un obstacle glaciaire bien plus puissant qu'il n'apparaît aujourd'hui. Les nombreuses campagnes de sismique-réflexion et de modélisation gravimétrique du substratum rocheux de la vallée du Rhône nous permettent d'avoir une

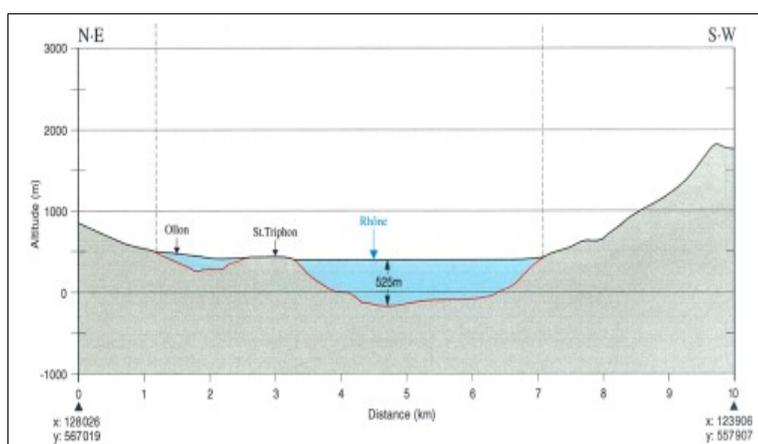


Fig. 5.1.3 : Profil montrant l'enracinement des collines de Saint-Triphon (bleu = remplissage quaternaire), obtenu par modélisation gravimétrique (Rosselli, 2001).

bonne connaissance du fond rocheux et du remplissage quaternaire de notre région d'étude (c.f. chap. 5.8.2.1 et). Le profil de la figure 5.1.3 nous montre bien le rôle d'obstacle joué par les collines de Saint-Triphon. On voit que le fond rocheux se trouve à un maximum de 525 m en-dessous du niveau actuel de la plaine entre Saint-Triphon et Muraz – Collombey, pour remonter à +100 m à la hauteur des collines de Saint-Triphon, puis replonger à une profondeur de 170 m dans le sillon situé au NE, entre les collines et le versant droit de la vallée. On a donc une morphologie du fond rocheux typique d'une vallée glaciaire, avec des ombilics de part et d'autre du verrou de Saint-Triphon (c.f. ch. 5.2.2)

5.1.2.1 Géomorphologie glaciaire

La partie sommitale des collines de Saint-Triphon présente toute les caractéristiques morphologiques du passage d'un glacier (fig. 5.1.4 et 5.1.5) : placage morainique, roches



Fig. 5.1.4 : Affleurement de roches moutonnées (à gauche) et blocs erratiques (ci-dessus) à Charpigny.

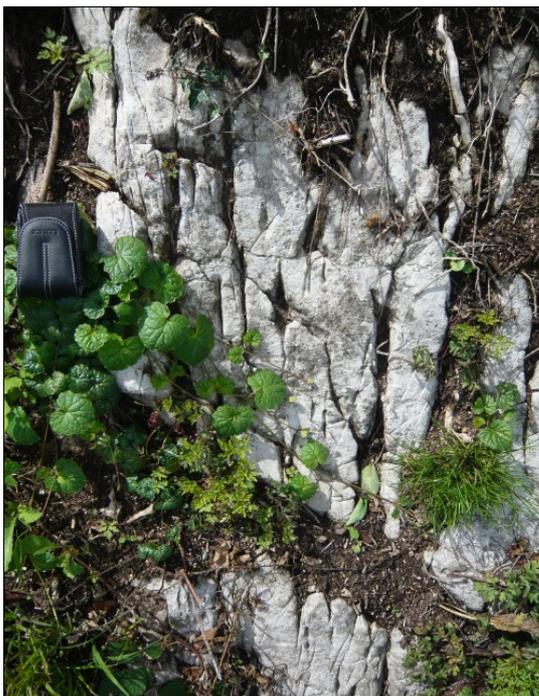


Fig. 5.1.5 : Détail de début de lapiez (à droite) et de stries glaciaires encore visibles (ci-dessus, de gauche à droite). La flèche rouge indique le sens d'écoulement de la glace (du S au N), tandis que le doigt montre une diaclyse qui commence à être dissoute par le ruissellement (de bas en haut).

moutonnées, stries glaciaires et blocs erratiques. On les retrouve fréquemment un peu partout. De nombreux blocs erratiques, d'une taille relativement modeste (pas plus de quelques mètres de large et de long) jalonnent le plancher morainique. Les plus gros blocs correspondent à du granite, tandis que l'on trouve différents types de clastes alpins dans le matériel morainique. Les roches moutonnées se présentent souvent sous la forme de crêtes arrondies dont n'apparaît que la partie sommitale, comme on le voit bien sur la photo 5.1.4. Par endroits, lorsqu'elles affleurent plus grossièrement, on assiste à un début de formation de lapiez (ou *lapiaz*) par l'action des eaux superficielles, ce qui marque le passage du relief glaciaire à un relief karstique (fig. 5.1.5). Il s'effectue par érosion préférentielle suivant les cassures de la roche, qui vont être de plus en plus agrandies par le ruissellement de surface. Il faut donc faire attention de bien différencier les stries glaciaires des diaclyses de la roche ; les premières vont être attaquées par la corrosion qui va les effacer petit à petit, tandis que c'est le phénomène inverse qui agit sur les secondes, qui vont être de plus en plus marquées au fil du temps.

Le poids exercé par la masse glaciaire sur le substratum rocheux est considérable et joue un rôle très important dans la formation des figures d'érosion glaciaire. A cause de ce poids énorme, la pression à la base du glacier est également très forte. De plus, la glace est chargée de matériaux à sa base, qui vont frotter le fond rocheux et l'éroder. Mais l'action érosive des glaciers ne peut être réduite uniquement à la glace elle-même, surtout pour nos glaciers alpins ; les eaux sous-glaciaires qui s'écoulent sur le bedrock des glaciers tempérés et qui résultent de la fonte de surface, des précipitations (pluie, neige), du ruissellement provenant des versants ou encore des eaux de fonte dues au mouvement du glacier ou au flux géothermique, sont soumises à des pressions extrêmes ; elles vont atteindre des vitesses d'écoulement très importantes, pouvant atteindre 50 m/s selon Robert Vivian, soit plus de 150 km/h⁴⁹. De plus, ces eaux sous-glaciaires sont chargées d'éléments solides provenant du broyage des roches (grains de quartz, feldspath et autres éléments fins), ce

49 www.paysagesglaciaires.net, consulté en janvier 2009.

qui va fortement amplifier leur pouvoir abrasif.

Ainsi, roches moutonnées, stries glaciaires et autres formes d'érosion glaciaire résultent de trois processus d'érosion :

- L'**abrasion mécanique** : elle provient de l'action combinée des facteurs poids/pression, charge détritique et écoulements sous-glaciaires. Suite au frottement sur le substratum rocheux de la base du glacier, chargée de matériaux rocheux, ainsi que de l'écoulement sous-glaciaire et de sa charge sédimentaire, un **polissage** relativement uniforme de la roche va apparaître. C'est ce processus qui donne naissance aux **roches moutonnées**. C'est le même processus qui forme les **stries glaciaires**, si ce n'est que là le polissage va marquer des petits sillons millimétriques dans la roche, tous parallèles à la direction d'écoulement de la glace : on l'appelle la **striation**.
- L'**arrachement** (ou *quarrying*) : le processus agit lorsque le glacier arrache littéralement des morceaux de roche au fond rocheux, qui seront incorporés à la base du glacier. La roche présente alors une partie amont moutonnées et une partie aval abrupte, là où le morceau a été arraché. On les appelle des **abrupts d'arrachement**. Ils ne sont pas présents sur le site de Saint-Triphon, mais sont importants du fait qu'ils apportent une partie du matériel détritique de la moraine de fond, qui sera ensuite broyé petit à petit par raclage du fond rocheux puis incorporé à la charge sédimentaire des écoulements sous-glaciaires.
- Les **écoulements glaciaires**. Comme dit précédemment, c'est un mode d'érosion non négligeable. Il agit par érosion mécanique due à sa charge détritique, par érosion hydraulique (creusement de chenaux par cavitation) ainsi que par érosion chimique. Cette dernière est particulièrement active sur des roches sensibles à la dissolution ; c'est le cas des calcaires, qui résistent bien à l'érosion mécanique mais peu à l'érosion chimique. De plus, les eaux froides des écoulements glaciaires rhodaniens dans notre zone d'étude sont chargées en minéraux acides du massif du Mont-Blanc, ce qui accentue leur action dissolvante.

Masson & Baud (1974) ont pu examiner des figures d'érosion glaciaire moins communes : des cannelures et des lunules glaciaires, qui étaient apparues sur le plancher glaciaire fraîchement dégagé par l'exploitation des carrières du Lessus et des Andonces. Malheureusement, ce type de figure disparaît rapidement par érosion dès le moment où la couverture morainique protectrice est dégagée, tout comme pour les stries glaciaires, surtout sur des roches calcaires. Dans ce cas-ci, l'érosion n'a même pas eu le temps de faire son travail car les affleurements où se trouvaient ces figures ont été totalement détruits par l'exploitation des carrières ; ils avaient déjà presque entièrement disparu au moment où les auteurs écrivaient leur article (Masson & Baud, 1974). Nous n'avons retrouvé aucune figure d'érosion glaciaire de ce type sur les collines de Saint-Triphon.

5.1.3 Valorisation didactique

En schématisant à l'extrême, on peut définir les Préalpes comme le résultat de l'accumulation de différentes nappes qui se sont écoulées par gravité lors du soulèvement du dôme alpin. A titre de comparaison, c'est comme si on versait du miel ou toute autre matière très visqueuse sur une bosse ; il va s'écouler sur les pentes de la bosse et se déposer dès que la surface redevient plate, formant des petits bourrelets. C'est pareil pour les Préalpes, qui sont composées de différentes nappes qui ont glissées et qui se sont accumulées au pied de la chaîne alpine grandissante en se pliant, se cassant voire se retournant totalement. Les collines de Saint-Triphon peuvent être vues comme un petit morceau d'une de ces nappes, qui s'est détaché de son ensemble et qui s'est renversé sur le côté. Se trouvant dès lors isolée au milieu de la vallée, elle ont formé un obstacle à l'écoulement du glacier (= verrou glaciaire).

Lors de la phase paroxysmale de la dernière grande glaciation il y a environ 50 à 70'000 ans, toute notre région était recouverte de glace jusqu'à une hauteur de 1'500 à 2000 m. Les collines de Saint-Triphon, qui se situent aujourd'hui à environ 500 m, avaient donc au moins 1'000 m de glace sur la tête ; le **poids** et la **pression** exercés par toute cette glace sur les collines étaient donc **énormes**! Ceci est déjà une première partie de réponse pour expliquer les roches moutonnées et les stries glaciaires. De plus, à sa base, un glacier arrache des morceaux de roches au fond rocheux. Ils vont s'incruster dans la glace, et vont ensuite racler le sol au fur et à mesure que le glacier avance. Il ne faut donc pas voir la base d'un glacier comme un plan de glace pure et propre qui glisse sur le sol tel un glaçon sur une table, mais bien comme une couche remplie de morceaux de roche, qui se désagrègent petit à petit. Il faut encore ajouter à cela le fait qu'un glacier possède à sa base, au contact du sol, un petit **film d'eau** qui va s'écouler sous très forte pression ; c'est comme si le glacier transpirait en quelque sorte. Cette "transpiration glaciaire", qui provient essentiellement de la fonte de la glace, est en plus remplie de minuscules bouts de roches, et elle va agir comme un véritable papier ponce à grains fins : un seul passage sur une surface rocheuse n'aura aucun effet, mais ce geste répété des millions de fois va finir par adoucir les angles et lisser la surface, donnant à la roche ce caractère poli et ces stries typiques. On appelle d'ailleurs cette eau chargée de particules rocheuses « **farine glaciaire** ».

En ce qui concerne les stries glaciaires plus importantes ou les cannelures, elles sont dues à des morceaux de roches collées à la base du glacier qui vont racler le fond rocheux sur lequel le glacier s'écoule. Pour reprendre l'exemple précédent, c'est comme si on changeait de papier ponce pour en prendre un avec des grains très grossiers, et qu'on le passait une seule fois sur notre surface : il en résulterait de grandes raies, toutes dans la même direction. C'est ce type de raies qui est encore visible à Saint-Triphon.

Une fois que le glacier s'est retiré, les différentes formes d'érosion apparaissent à l'air libre. La roche a donc un aspect très lisse avec une quantité de raies qui vont dans la même direction. La figure 5.1.6 nous donne une bonne idée de l'aspect de la roche à ce moment. L'érosion glaciaire est maintenant terminée. C'est au tour des agents climatiques de faire leur entrée, comme la pluie et la neige qui vont commencer à attaquer la roche. Le calcaire est un type de roche particulièrement vulnérable au contact de l'eau ; les différentes marques laissées par le glacier sur une roche calcaire vont donc disparaître plus rapidement

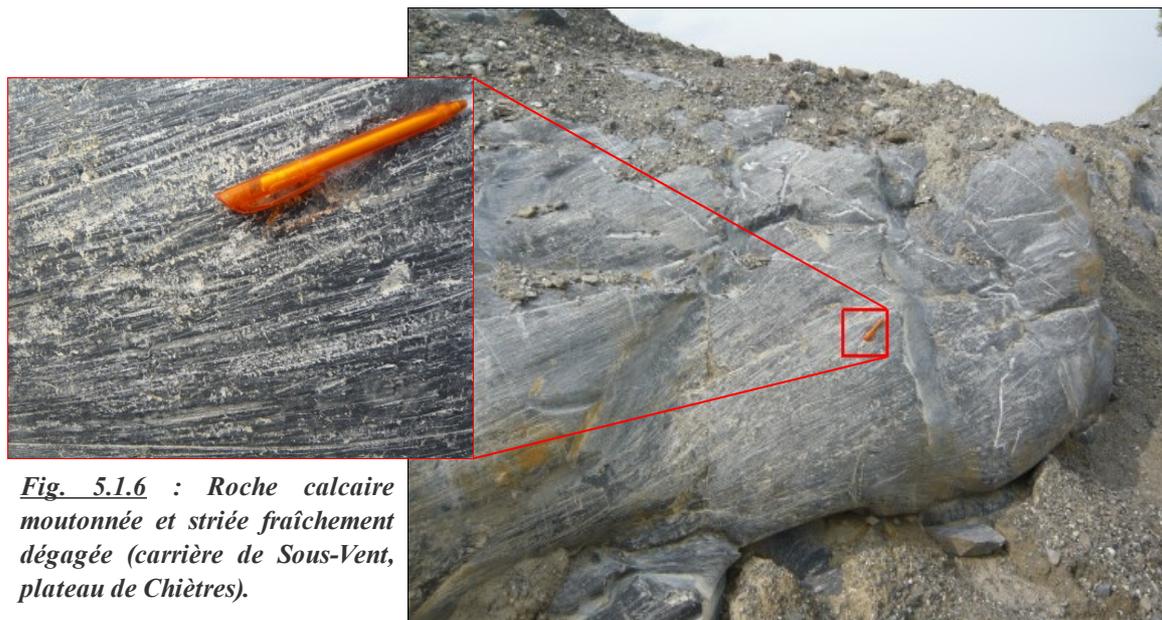


Fig. 5.1.6 : Roche calcaire moutonnée et striée fraîchement dégagée (carrière de Sous-Vent, plateau de Chiètres).

que sur du granite par exemple. A l'inverse, ce pouvoir érosif de l'eau, qui va faire disparaître les stries glaciaires au fil du temps, va accentuer de plus en plus les fractures naturelles présentes dans la roche : c'est l'érosion *karstique*. Les fractures vont finir par être très marquées, formant des sortes de crevasses dans lesquelles l'eau va s'écouler ; on les appelle des *lapiatz* (ou *lapiez*). La figure 5.1.5 nous montre les premières étapes de ce phénomène. Un exemple extrême de ce type d'érosion se trouve dans des climats très humides, par exemple les célèbres karst du sud de la Chine, qui ont récemment été classés au patrimoine mondial de l'UNESCO. Là, l'érosion a entaillé les calcaires sur plusieurs dizaines de mètres de profondeur, ce qui en fait un paysage tout à fait particulier.

5.1.4 Caractéristiques touristiques

Les collines de Saint-Triphon offrent la possibilité d'observer facilement et sur un petit périmètre les empreintes caractéristiques du passage du glacier : blocs erratiques, roches moutonnées et stries glaciaires. Elles représentent donc un paysage glaciaire typique, bien qu'il soit passablement attaqué par l'érosion et couvert en grande partie de placage morainique et de végétation. Elles ont de ce fait une valeur éducative non négligeable et une intégrité moyenne. De plus, ces différentes marques glaciaires représentent les trois formes d'érosion ou de dépôt ayant conduit à la théorie glaciaire. Leur lien avec la théorie glaciaire est ainsi important. Le fait qu'elles soient regroupées dans un si petit espace et qu'elles se situent en plaine, accessibles directement en train, en voiture, à vélo ou à pied fait de Saint-Triphon un site unique en son genre. Car pour observer ce genre de formes, il faut généralement aller plus en altitude ou se déplacer sur de plus grandes distances.

Comme dit précédemment, le site de Saint-Triphon est principalement connu pour ses découvertes archéologiques et géologiques, ainsi que pour son jardin botanique. Un des itinéraires proposé par Carine Wagner dans *Le Chablais dans les pas des archéologues* (1998), passe par le site de Saint-Triphon (no 5 : Ollon – Saint-Triphon – Antagnes – Ollon). Le Château d'Aigle ainsi que le musée sont également tout près. Soulignons encore

le chapitre écrit par Nicolas Kramar pour le projet artistique *Paysages en poésie*, où différents itinéraires culturels dans les Alpes vaudoises, le Chablais et le Pays d'Enhaut ont été développés⁵⁰.

D'un point de vue géologique, différents itinéraires de la collection du guide géologique régional *Suisse lémanique, pays de Genève et Chablais* (Charollais & Badoux, 1990) proposent des arrêts aux différentes coupes artificielles des carrières de Saint-Triphon. Dans la même catégorie de centres d'intérêts, les mines de Sel de Bex se trouvent à moins de cinq minutes en voiture. Notons encore les différents itinéraires culturels traversant la zone d'étude, *ViaFrancigena* et *ViaCook*, qui sont également proches du site présenté.

En ce qui concerne le patrimoine glaciaire présent aux alentours du site, on ne pourrait se rendre aux collines de Saint-Triphon sans s'arrêter préalablement sur le bord d'érosion du paléolac de 405 m qui occupait alors une bonne partie de la zone d'étude. La route reliant Saint-Triphon Village à Saint-Triphon se trouve exactement sur ce bord d'érosion. Nous parlerons plus en détail de ce site au chapitre 6.3.

La colline du Montet de Bex, avec ses gigantesques blocs erratiques, se trouve à moins de 4 km de celles de Saint-Triphon et offrirait un arrêt intéressant à qui souhaiterait voir des blocs erratiques de plus grande ampleur que ceux présents à Saint-Triphon.

En conclusion, on peut se rendre compte de la rareté du site de Saint-Triphon d'un point de vue glaciaire, non pas pour ses formes de dépôt et d'érosion, relativement courantes, mais bien pour leur caractéristique géographique : elles se trouvent au beau milieu de la plaine du Rhône, et sont très facilement accessibles et observables vu leur concentration spatiale. De plus, de nombreuses synergies entre les domaines archéologiques, géologiques, géomorphologiques et botaniques sont possibles grâce aux nombreux intérêts que présentent les collines de Saint-Triphon. Quiconque partant visiter le site et désirant approfondir ses connaissances dans ces domaines devrait donc être informé des différentes possibilités d'observation. Or, pour le moment, nous n'avons nulle part trouvé une quelconque information traitant du domaine glaciaire au sujet de Saint-Triphon. Au vu de ce qui a été dit, cette lacune mérite donc d'être comblée.

50 Voir www.paysages-en-poésie.ch

5.2 Le verrou glaciaire de Saint-Maurice

5.2.1 Description et caractéristiques

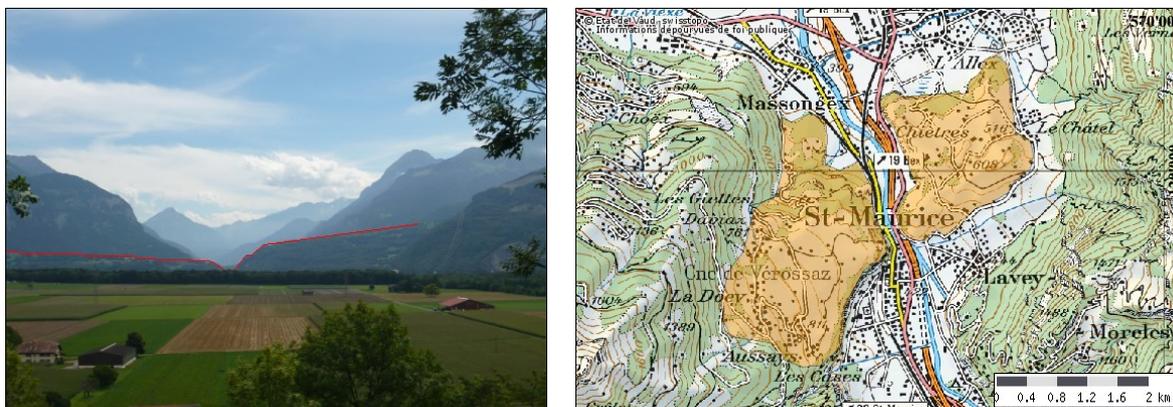


Fig. 5.2.1 : à gauche : Vue sur le verrou de Saint-Maurice depuis les collines de Saint-Triphon (trait rouge). A droite : Situation du verrou de Saint-Maurice.

Le verrou glaciaire de Saint-Maurice marque la jonction entre les deux parties de notre zone d'étude, la cluse du Rhône à l'amont et le Chablais à l'aval. Il est entaillé en son centre par le Rhône ; sa rive gauche, comptant la ville de Saint-Maurice et le plateau de Vérossaz, est donc valaisanne, tandis que sa rive droite, formée par le plateau de Chiètres, est vaudoise. On l'appelle "verrou de Saint-Maurice" car la ville du même nom est collée contre son flanc. Cependant, le verrou en tant que tel se compose du plateau de Vérossaz et de celui de Chiètres (fig. 5.2.1).

La zone du verrou entaillée par le fleuve correspond à la partie la plus étroite de la vallée du Rhône suisse : la largeur atteint à peine plus de 100 m à hauteur du goulot d'étranglement. Le Rhône y occupe toute la place avec la route cantonale du Simplon sur sa rive gauche. La largeur totale du verrou à cet endroit, en tenant compte du plateau de Vérossaz et de celui de Chiètres, atteint environ 4.5 km, pour une longueur d'un peu moins de 2 km le long du fleuve. Il couvre une superficie d'environ 7 km². L'altitude maximale se situe à 608 m sur le plateau de Chiètres, tandis que le plateau de Vérossaz s'échelonne entre 600 et 850 m en direction du versant.

Une grande partie du verrou a été déboisée pour laisser place aux pâturages et aux zones agricoles. Seule la partie N du plateau de Vérossaz est encore boisée, ainsi qu'une petite partie située au N du plateau de Chiètres. Les implantations humaines dans cette zone restent cependant sporadiques ; elles se concentrent principalement à l'amont du verrou, dans la ville de Saint-Maurice et le village de Lavey, ainsi qu'au NE dans le village du Châtel. Notons encore que le plateau de Chiètres est entaillé sur son flanc W par la carrière de Sous-Vent, encore en activité.

De part ses caractéristiques topographiques, le verrou de Saint-Maurice représente un point stratégique, étant l'unique passage pour atteindre les Alpes et l'Italie depuis le plateau romand. Le site est habité dès la Tène finale par les Nantuates, peuple celtes ayant occupé

probablement de courants et de déplacements intra-sédimentaires.

- Intervalle 3/4 composé de calcaires marneux stratifiés tendres, d'une épaisseur de 14 m, formant la vire sur laquelle la chapelle de l'Ermitage et ses annexes ont été bâtis.

-Unité 4 : calcaire biodétritique fin et massif, présentant par endroits une stratification oblique. L'ensemble de l'unité indique un ralentissement de la sédimentation et un léger mouvement épirogénique. Elle atteint une puissance de 58 m. Au-dessus vient le calcaire siliceux à patine rousse de l'Hauterivien, puis les calcaires et marnes du Barrémien inférieur (30 m) suivis par les calcaires massifs à patine gris clair de l'Urgonien.

D'un point de vue géomorphologique, un verrou peut se définir comme « un relief rocheux transversal, divisant partiellement ou totalement le fond d'une vallée glaciaire en ombilics » (Van Vliet-Lanoë, 2005 : 447). Le schéma de la figure 5.2.3 nous montre le profil longitudinal caractéristique d'une vallée glaciaire ; globalement, le glacier va surcreuser les roches les moins compétentes, créant des ombilics, et formant à l'inverse des verrous au contact des roches les plus résistantes. Cependant, cette règle est loin d'être absolue, et le verrou de Saint-Maurice en est la preuve. La morphologie d'une vallée à l'amont du verrou est généralement élargie et surcreusée, tandis qu'elle présente un aspect plus encaissé à l'approche du verrou. Après le retrait du glacier, des lacs d'ombilic vont se former dans les dépressions glaciaires ; nos magnifiques lacs alpins résultent pour la plupart de ce phénomène. L'Homme a exploité la morphologie étroite des vallées à la hauteur des verrous pour construire des barrages hydroélectriques, nombreux dans les Alpes.

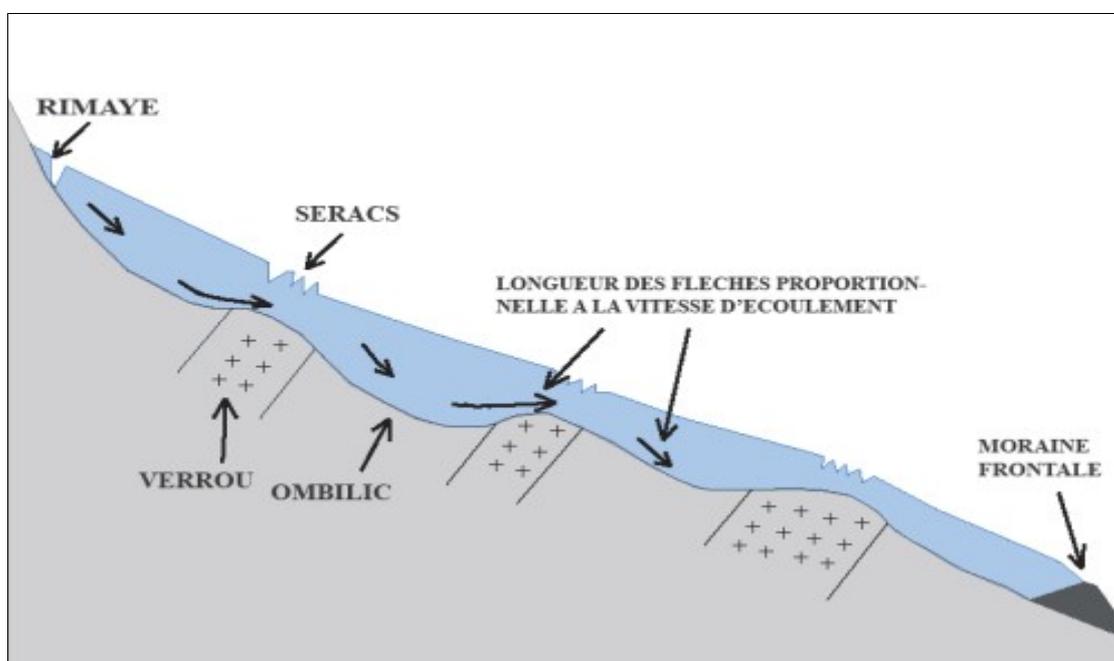


Fig. 5.2.3 : Profil longitudinal schématique d'une vallée glaciaire.

En ce qui concerne la vallée du Rhône, on peut observer cette succession d'ombilics et de verrous sur les différents profils longitudinaux obtenus par sismique réflexion (Finger & Weidmann, 1988 ; Finckh & Frei, 1991 ; Finckh & Klingele, 1991 ; Besson et al. 1992 ; 1993) et par modélisation gravimétrique du substratum rocheux (Rosselli, 2001) (fig.

5.2.4). On y remarque tout de suite la puissance du verrou de Saint-Maurice, qui est le seul à émerger du remplissage sédimentaire quaternaire de la plaine. Ce remplissage sera étudié plus en détail au chapitre 6.3.2. Retenons simplement qu'à l'amont du verrou de Saint-Maurice, on passe d'une altitude de 550 m environ depuis le plateau de Chiètres, pour atteindre, environ 2,5 km plus au SE à la hauteur de Lavey-les-Bains (alt. : 444 m), une profondeur de 550 m. Le fond rocheux se trouve donc à plus de 100 m sous le niveau de la mer, et la pente atteint plus de 26 %. Elle est par contre nettement plus douce à l'aval du verrou : la profondeur du remplissage sédimentaire atteint 135 m à la hauteur de Massongex, puis 525 m entre Saint-Triphon et Collombey-Muraz. (alt. : 390 m), situé à 7.5 km du même point d'altitude de 550 m ; le substratum rocheux se situe à 135 m sous le niveau de la mer, et la pente est donc de $\sim 7\%$. Le profil de la figure 5.2.4 résume bien cette différence de surcreusement glaciaire entre l'amont et l'aval.

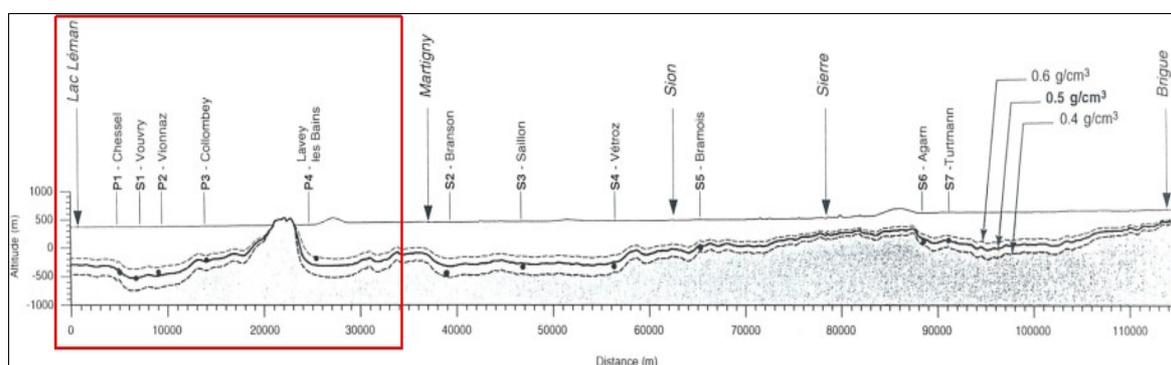


Fig. 5.2.4 : Profil longitudinal du substratum rocheux de la vallée du Rhône suisse obtenu par modélisation gravimétrique, avec trois différents contrastes de densité des sédiments suivant un modèle homogène de remplissage. Notre zone d'étude correspond au carré rouge. Notez la puissance du verrou de Saint-Maurice (Rosselli, 2001, modifié).

Ceci étant dit, il reste tout de même une question centrale : comment se fait-il que ce verrou ait pareillement résisté à l'érosion glaciaire, alors que le reste de la vallée du Rhône a été surcreusé sur plusieurs centaines de mètres par le complexe glaciaire rhodanien ? D'autant plus qu'à première vue, il se compose de roches moins dures que des secteurs cristallins situés plus à l'amont qui ont été largement érodés. Les chercheurs n'ont toujours pas trouvé de réponses exactes à cette question, même si plusieurs certitudes et hypothèses ont été énoncées. Premièrement, il faut se diriger vers les caractéristiques pétrographiques du verrou pour avoir une première partie de réponse ; les calcaires massifs composant le verrou sont très résistants à l'ablation glaciaire, contrairement aux roches cristallines telles les gneiss présents dans la partie aval de la vallée du Rhône. En effet, bien que plus massives, ces roches cristallines sont également fracturées et résistent moins bien à l'érosion glaciaire mécanique que des calcaires massifs, ces derniers étant surtout sensibles à l'érosion chimique. En effet, ils présentent une surface extrêmement lisse et homogène, donc avec très peu de points d'accroche, contrairement à un granite ou un gneiss qui sera plus rugueux, et donc plus facilement érodable. De plus, les calcaires de Saint-Maurice présentent une grande homogénéité en terme de compétence ; la quasi absence de niveaux marneux, facilement érodables par le glacier, donne à la série de Saint-Maurice une grande cohérence, ce qui réduit fortement les possibilités d'érosion différentielle (Reynard, comm. pers.). Deuxièmement, juste à l'amont du verrou se situe une source thermique, celle de Lavey-les-Bains. Le géologue Marcel Burri (comm. pers.) pense qu'il est possible que ces eaux chaudes aient pu jouer un rôle de protection envers le verrou en formant un lac sous-glaciaire sur lequel le glacier aurait flotté, ce qui aurait réduit son pouvoir érosif à la

hauteur du verrou. Une autre hypothèse, émise par Michel Marthaler (comm. pers.), fait intervenir la propagation des ondes dans la glace. En effet, le passage d'un virage (coude de Martigny) et d'un rétrécissement (cluse du Rhône) va induire une compression des ondes et une accélération de la vitesse d'écoulement du fluide. Il va en résulter un surcreusement à la hauteur du coude et de la cluse du Rhône. Le verrou, se situant à la frontière entre la partie étroite (cluse du Rhône) et la partie plus large (Chablais) de la vallée, sera ainsi "protégé" de ce phénomène de surcreusement. L'élargissement de la plaine chablaisienne va également induire un étalement des ondes et donc une diminution de la vitesse d'écoulement. Cependant, cette diminution du pouvoir érosif semble avoir été compensée par la jonction de puissants glaciers provenant des grandes vallées latérales (glacier de la Vièze, de l'Avançon, de la Gryonne et de la Grande Eau), car un important surcreusement glaciaire est présent à hauteur de Roche.

Le dernier point à souligner concerne les paléocours du Rhône. Le verrou faisait obstacle à l'écoulement du fleuve, qui le contournait à l'E par Lavey-village, Le Chatel et Bex. Le vallon semble avoir été creusé avant la dernière glaciation (Mariétan, 1964). Cet ancien cours est facilement reconnaissable aujourd'hui grâce aux images satellites. Par la suite, un éboulement descendit de la Croix de Javerne sur le plateau de Chiètres et obstrua la gorge (Burri, 1962 ; Mariétan, 1964 ; Badoux 1995). Avec le passage du glacier, le cours d'eau sous-glaciaire incisa le verrou en plusieurs points, qui furent par la suite comblés de sédiments. On reparlera de ce point au chapitre 5.4.2 qui traite de la morphogenèse de la marmite glaciaire des Caillettes. Le cours actuel du Rhône correspond à sa dernière incision sous-glaciaire. Le fleuve a donc entaillé le verrou en plusieurs endroits, isolant complètement le plateau de Chiètres.

5.2.3 Valorisation didactique

Un verrou glaciaire correspond à une **barre rocheuse perpendiculaire** à la direction de la vallée ; c'est donc un **obstacle naturel** que le glacier va devoir franchir pour continuer son chemin. D'une manière générale, un verrou est constitué de roches plus résistantes que celles situées devant et derrière lui : le glacier va donc creuser plus profondément la roche entre chaque verrou présent sur son chemin. On appelle ce phénomène « **surcreusement glaciaire** ». Ainsi, si l'on regarde le profil d'une vallée glaciaire sur sa longueur, il aura une forme bien caractéristique, présentant une succession de marches (**verrous**) et de petits creux (appelé **ombilics**) (c.f. fig. 5.2.3). Une fois que le glacier s'est retiré, l'eau va s'accumuler dans les dépressions présentes derrière les verrous, et des lacs vont ainsi se former. Le lac Léman par exemple, ou la plupart des lacs de montagne, qui présentent souvent de magnifiques couleurs, se sont formés de cette façon. Le verrou de Saint-Maurice, un des plus beaux et de plus typiques des Alpes, est un exemple magnifique et particulièrement représentatif de verrou glaciaire. Toutefois, notre vision est quelque peu trompée par le remplissage alluvial de la plaine du Rhône, et le verrou paraît beaucoup plus petit que ce qu'il est réellement. Tel un iceberg, sa pointe n'émerge que de 100-150 m au-dessus du niveau de la plaine, la plus grande partie du verrou étant cachée par les sédiments. Si on pouvait vider la plaine du Rhône de tous ses sédiments accumulés depuis la fin de la dernière grande glaciation, pour ainsi n'avoir que le fond rocheux de la vallée (c.f. fig. 5.2.4), le verrou nous paraîtrait gigantesque. Il ressemblerait à une véritable

montagne de plus de 600 m de haut, soit 2 fois la Tour Eiffel! Bien que le glacier atteignait une altitude d'environ 1800 m à la hauteur du verrou lors du dernier maximum d'englacement il y a environ 50 à 70'000 ans, le verrou constituait un obstacle de taille à franchir. De ce fait, la pente du glacier au passage du verrou devait sensiblement augmenter, ce qui a dû donner naissance à un impressionnant champ de crevasses et de séracs, car la glace est un matériau trop cassant pour réussir à épouser cette courbe et l'augmentation de vitesse qui en résulte sans se déchirer. On observe le même phénomène dans de très nombreux glaciers actuels ; partout où la pente augmente sensiblement, la glace doit se casser pour épouser la forme du fond rocheux, et des crevasses vont alors apparaître.

Tout ceci nous montre bien l'influence d'un glacier sur le paysage. On pourrait le comparer à une gigantesque machine aux multiples fonctions : « *Glacier S.A - transport, arrachage, broyage, raclage, et polissage en tout genre* ». C'est donc un ouvrier-sculpteur du paysage extrêmement compétent, à qui l'on doit une bonne partie de la beauté naturelle de nos paysages suisses!

5.2.4 Caractéristiques touristiques

Le verrou glaciaire de Saint-Maurice est certainement l'un des plus beaux et des plus représentatifs des Alpes. Son rôle d'obstacle au passage du glacier paraît évident à quiconque se trouve dans cette partie de la vallée du Rhône, ce qui en fait un site à valeur éducative élevée. De plus, avec les différentes formes d'érosion ou de dépôts glaciaires présentes sur le verrou formé du plateau de Chiètres et de celui de Vérossaz (roches moutonnées et striées de Massongex (ch. 5.5) et de Vérossaz (ch. 5.3), blocs erratiques, marmite glaciaire des Caillettes (ch. 5.4), etc.), il permet d'observer facilement dans le paysage les traces caractéristiques du passage d'un glacier, et ce sur un périmètre relativement restreint. Sa conservation remarquable, dont les raisons exactes nous échappent encore, en fait un site à intégrité élevée, car aucun autre verrou de la vallée du Rhône n'a pareillement supporté l'érosion des glaciations passées. Par contre, son lien avec la théorie glaciaire est faible, car il n'a joué aucun rôle dans son émergence et sa diffusion. Et de par sa position et sa grande visibilité, l'accessibilité à ce site est facile et les points d'observation nombreux.

La zone du verrou et de ses alentours possèdent de nombreuses offres touristiques. Le patrimoine historique et culturel de Saint-Maurice est important, et bon nombre des offres actuelles tournent autour de ces thèmes : visites des chapelles, de la basilique de l'Abbaye et de son trésor, du château et des anciens remparts, du Fort de Cindey et du Fort du Scex, des fortifications militaires, etc.. Les itinéraires culturels *ViaCook* et *ViaFrancigena*, ainsi que l'itinéraire régional *le verrou de Saint-Maurice* touche à ce patrimoine. Les *chemins bibliques et archéologiques* proposent également des parcours pour partir à la découverte de ce patrimoine historico-culturel, tout comme l'itinéraire no 8 de *le Chablais dans les pas des archéologues* (Saint-Maurice – Bassays - Les Cases – Saint-Maurice). Dans un autre champ d'intérêts, la célèbre *Grotte aux Fées* nous permet de visiter l'intérieur du plateau calcaire de Vérossaz et de s'initier à la géomorphologie karstique. A plus petite échelle, on peut encore citer les mines de sel de Bex et le *sentier du sel* récemment inauguré, les bains thermaux de Lavey ou encore le sentier didactique de la pinède du

Bois-Noir.

En résumé, toute une série d'itinéraires parcourant les nombreuses offres touristiques à travers toute la région, à effectuer à pied, à vélo ou en rollers est proposée par les milieux touristiques. Une visite sur le site internet de l'office du tourisme de Saint-Maurice⁵³ permet d'obtenir facilement toutes les informations nécessaires sur les différentes offres touristiques disponibles.

En conclusion, on peut dire que le verrou de Saint-Maurice représente une forme glaciaire incroyablement bien conservée malgré les multiples glaciations, ce qui en fait un site remarquable. De plus, il possède différentes formes glaciaires en son sein comme dit précédemment, ce qui en fait un site à fort potentiel touristique et didactique. Malheureusement, les offres touristiques présentes actuellement à Saint-Maurice se focalisent uniquement sur le patrimoine culturel et historique, laissant complètement de côté ce patrimoine glaciaire, faute d'informations et de propositions probablement. Pourtant de nombreuses synergies sont possibles, tout comme la réalisation de nouvelles propositions touristiques.

Le rapport final du projet Interreg IIIB, Alpcity « Saint-Maurice Avenir & Tourisme », indique indirectement que la région de Saint-Maurice, en voie d'essoufflement, aurait vivement besoin d'un autre champ de développement touristique. Toutefois, les auteurs de ce rapport recommandent d'axer le développement sur le patrimoine culturel et historique, pourtant déjà fort bien développé. Nous pensons qu'un troisième champ de développement, se focalisant sur le domaine glaciaire, ne pourrait que renforcer l'offre touristique déjà présente. Car rappelons que Saint-Maurice doit son patrimoine historique et culturel grâce à ses caractéristiques topographiques, qui proviennent directement de l'action du glacier du Rhône. De plus, les auteurs de ce rapport soulignent justement le besoin de développer des sentiers à thèmes en plein air, ce qui collerait tout à fait avec la thématique glaciaire. Ils indiquent également que la position géographique de Saint-Maurice est actuellement un point faible de la ville ; dans une optique de valorisation du patrimoine glaciaire, ce point faible se transformerait en avantage pour la région.

Au vu de ce qui a été énoncé, on ne peut que constater l'absence totale d'information sur le patrimoine glaciaire régional, autant sur les différents sites internet promouvant les offres touristiques⁵⁴ que dans le rapport du projet Interreg IIIB. Nous pensons que cela est principalement dû au manque d'informations et de connaissances à ce sujet. Cependant, un entretien avec le directeur de l'Office du tourisme de Saint-Maurice, Christian Schulé, qui m'a gentiment accordé une partie de son temps en été 2008, laisse supposer certes un manque d'informations, mais surtout un réel intérêt sur ce thème glaciaire, ainsi qu'une volonté de développement futur. Espérons donc que ce travail saura apporter une source d'informations suffisante pour permettre de sensibiliser le milieu du tourisme et leur offrir l'opportunité d'étoffer et d'élargir quelque peu leur bouquet d'offres touristiques déjà disponible, car force est de constater que le potentiel touristique glaciaire de la région de Saint-Maurice, encore inexploité, est important.

53 www.saint-maurice.ch

54 L'office du tourisme de Saint-Maurice indique tout de même un lien sur un article paru dans *Le Temps* au sujet de la marmite glaciaire des Caillettes (c.f. Busslinger, 2003).

5.3 Le plateau de Vérossaz

5.3.1 Description et caractéristiques

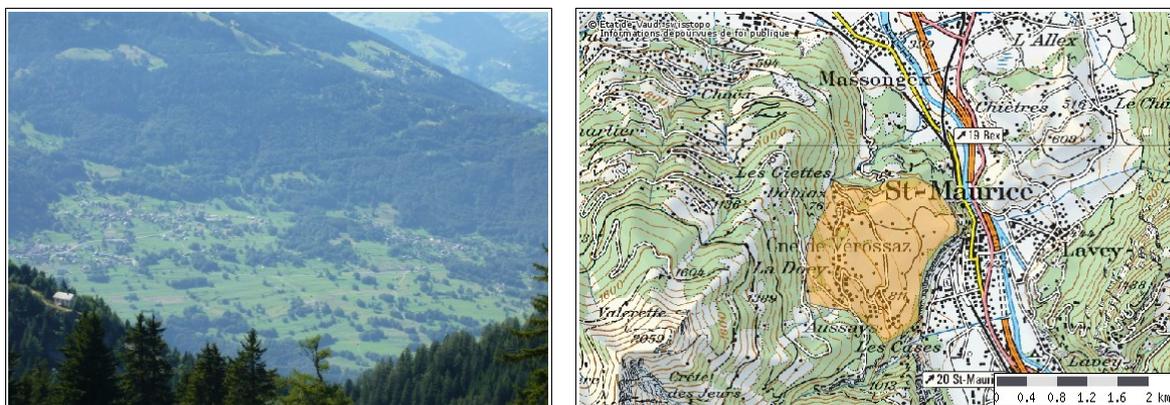


Fig. 5.3.1 : à gauche : Vue sur le plateau de Vérossaz depuis Les Martinaux. A droite : Situation du plateau de Vérossaz.

Le plateau de Vérossaz se situe en rive gauche du Rhône, à la hauteur de la ville de Saint-Maurice, et fait partie du verrou du même nom décrit au chapitre 5.2. Il est donc sur territoire valaisan. Il s'étend sur une longueur maximale N-S d'environ 2 km, un peu moins de 3 km en comptant le versant N par lequel on accède au plateau en tant que tel, pour une largeur maximale d'environ 1.7 km à hauteur du village de Vesenaux. Le plateau a une superficie approximative de 3 km². Il est dans son ensemble largement déboisé, excepté le versant N où subsiste une épaisse forêt dans laquelle sillonne l'unique route d'accès au plateau. Les habitations se concentrent dans les villages de Chavanne, La Doey, Les Bassex, Les Haussex, Vesenaux et Vérossaz qui sont sur le territoire de la commune du même nom, ainsi que dans le village de Daviaz qui est positionné sur la commune de Massongex. L'altitude du plateau s'échelonne entre 600 et 850 m environ en direction du versant.

D'un point de vue géomorphologique, le plateau de Vérossaz est intéressant pour plusieurs raisons : d'une part et comme on vient de le voir (c.f. ch. 5.2), il fait partie du verrou de Saint-Maurice et regroupe donc les mêmes intérêts, notamment au sujet de sa résistance à l'érosion glaciaire. D'autre part, il présente différentes formes d'érosion et de dépôts glaciaires facilement accessibles : roches moutonnées, blocs erratiques et moraine.

Tout comme pour le verrou de Saint-Maurice, il faut prendre un peu de distance et de hauteur pour vraiment apprécier le plateau de Vérossaz et le rôle qu'il a joué lors des grandes glaciations. Sinon, une belle vue sur l'ensemble du plateau s'offre à nous depuis Les Martinaux ou Rionda, sous la Dent de Morcles.

5.3.2 Morphogenèse

Nous n'allons pas répéter ce qui a préalablement été décrit au chapitre 5.2 au sujet de la géologie du verrou de Saint-Maurice, ainsi que par rapport aux différentes caractéristiques géomorphologiques du verrou glaciaire et de son étonnante conservation. Le plateau de Vérossaz, outre ces différents points, présente un intérêt particulier pour une autre raison.

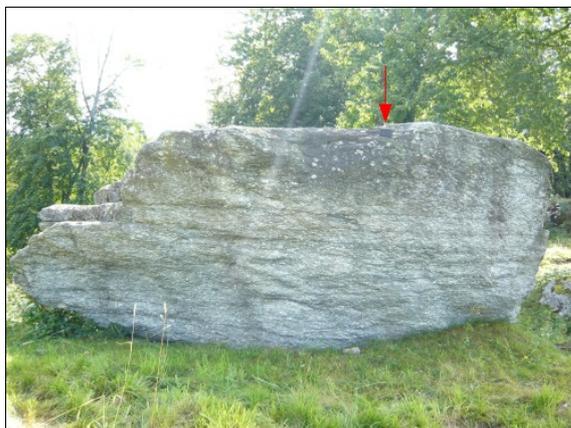


Fig. 5.3.2 : Bloc erratique de gneiss oeilé. L'appareil photo donne l'échelle (flèche rouge).

que des roches moutonnées et de petits blocs. Un très beau bloc erratique (fig. 5.3.2), non indiqué sur la carte géologique⁵⁵, se situe à environ 780 m d'altitude, dans le pré entre la route de Massongex et la route de Caro-Chepis (565'066/118'816). C'est un bloc de gneiss oeilé d'environ 8 m sur 2.5 m, pour une hauteur d'un peu moins de 2 m.

La moraine de Vérossaz (fig. 5.3.3) s'étale sur le haut du plateau, entre les villages de La Doey et Vesenaux. Elle a été en partie entaillée par les habitations, mais est parfaitement visible entre les deux villages. Située entre 800 et 750 m du S au N, Brückner (1909 ; cité par Gagnebin, 1937) l'attribue au stade de *Bühl*, et la relie à la moraine latérale de Monthey-Collombey (550-500 m), célèbre pour ses blocs erratiques (c.f. ch. 6.1). La



Fig. 5.3.3 : à gauche : La moraine de Vérossaz en direction du N (trait rouge). A droite : Dépression thermokarstique avec présence de blocs erratiques.

⁵⁵ Je remercie au passage l'aimable dame qui m'a gentiment informé et conduit à ce bloc en trottinette!

différence d'altitude entre les deux moraines, qui se situent à environ 5 km à vol d'oiseau l'une de l'autre, peut sembler trop importante. Cependant, vue la puissance de l'obstacle du verrou de Saint-Maurice au passage du glacier, un petit bourrelet a dû se former à sa hauteur, suivi par une augmentation de la pente du glacier. Ainsi, le raccord entre ces deux cordons morainiques nous paraît tout à fait plausible, et ils appartiendraient donc tous deux au même stade, celui de *Bühl*, ou le *stade de Monthey* pour utiliser une nomenclature locale, daté je le rappelle à 17'000 BP (c.f. annexe 10 et ch. 2.2.3.4). La partie S de la moraine, là où on ne trouve point d'habitation, présente une surface irrégulière avec de multiples petites dépressions (fig. 5.3.3). Ce sont des dépressions thermokarstiques dues à la présence de culots de glace morte préservés dans la moraine au moment de son dépôt et ayant fondu par la suite.

Secondement, le plateau de Vérossaz peut-être considéré comme un épaulement glaciaire (ou *banquette glaciaire*), qui est un replat surplombant le fond d'une vallée glaciaire (fig.

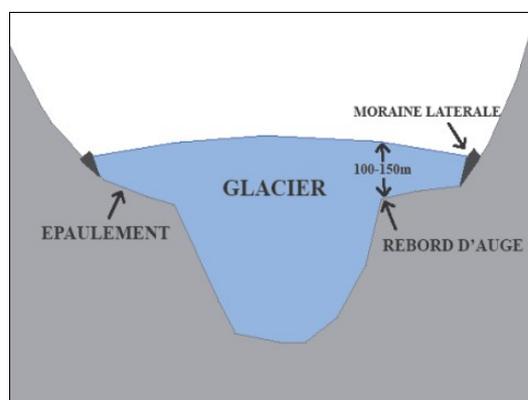


Fig. 5.3.4 : Schéma d'un épaulement glaciaire.

5.3.4) ; il correspond à un ancien niveau glaciaire ou même un ancien fond de vallée, à une époque où le thalweg était bien au-dessus de son niveau actuel. Dans le cas de Vérossaz, il pourrait correspondre aux restes d'un thalweg ayant totalement été érodé, excepté dans cette partie de la vallée, extrêmement résistante à l'érosion glaciaire comme on a pu le voir avec le verrou de Saint-Maurice. Son origine serait donc structurale étant liée au contexte géologique. Le fond rocheux de cette ancienne vallée glaciaire se situait donc à une altitude approximative de 600-800 m. Cependant, cette ancienne vallée glaciaire a bien entendu été attaquée par le

Rhône puis par la ou les glaciation(s) suivante(s), ce qui rend quelque peu illusoire une tentative de déterminer l'altitude du thalweg ou une quelconque datation. Le plateau de Vérossaz, vu son altitude et sa moraine, pourrait également correspondre au replat glaciaire du stade de Monthey ; en effet, la hauteur de glace sur un replat glaciaire ne dépasse guère de plus de 100-150 m le rebord d'auge⁵⁶. Dans ce cas-ci, la moraine aurait donc été déposée par un glacier stagnant à 800-900 m d'altitude à cet endroit.

5.3.3 Valorisation didactique

Je renvoie le lecteur au chapitre 5.1.3 pour l'explication didactique des roches moutonnées, et au chapitre 6.1.3 pour celle des blocs erratiques. L'explication et la préservation du verrou glaciaire de Saint-Maurice, dont fait partie le plateau de Vérossaz, a quant à elle été traitée au chapitre 5.2.3.

Nous avons pu voir précédemment (ch. 5.1.3) qu'un glacier ne consiste pas en un gros bloc de glace pure, mais qu'il transporte divers matériaux rocheux ; tout ce qui lui "tombe" sur le dos va être incorporé petit à petit dans la glace et va voyager avec le glacier, puis se

⁵⁶ Voir www.paysagesglaciaires.net pour de beaux exemples d'épaulements glaciaires.

déposer au moment où le glacier fond ou au moment où les débris atteignent le bord ou le front du glacier. Les parois apportent beaucoup de débris de roches, et parfois de gros éboulements tombent sur le glacier. Nous reparlerons de cela au chapitre 6.1. Mais on peut également trouver toutes sortes de choses dans et sur un glacier : des arbres ou des branches, des déchets laissés par des humains, des carcasses animales, etc., et même parfois des cadavres humains souvent très bien conservés⁵⁷. Nous avons également pu nous rendre compte qu'un glacier arrache des morceaux de roches au sol, qui vont être incorporés à la base du glacier. Lorsque le glacier reste pendant plusieurs années au même endroit, les débris présents à l'intérieur et sur le glacier se déposent en tas sur les bords et à l'avant du glacier. Mais il faut faire attention à une chose : on dit qu'un glacier avance et recule, mais ceci n'est pas tout à fait vrai : en effet, **un glacier ne va jamais reculer**, c'est-à-dire qu'il ne va pas s'écouler dans l'autre sens en remontant la pente. Il va toujours s'écouler en direction de l'aval! C'est la **limite** frontale du bout du glacier (on appelle cette partie *langue glaciaire*) qui recule, car ce dernier perd plus d'eau en été (à cause de la fonte de la glace) qu'il n'en gagne en hiver (alimenté par les chutes de neige). A l'inverse, un glacier qui avance reçoit plus d'eau en hiver qu'il n'en perd en été, alors qu'un glacier qui stagne recevra autant d'eau qu'il n'en perdra. Mais quelle que soit la quantité d'eau reçue ou perdue, **le glacier s'écoule tout le temps en direction du bas!** Un glacier peut ainsi être partagé en deux zones distinctes, une zone d'accumulation (neige, pluie) et une zone de fonte. Ainsi, lorsqu'un glacier reste longtemps au même endroit, les débris vont s'accumuler devant le glacier et sur ses bords à cause de cet écoulement constant. On appelle cette accumulation de débris une **moraine**. Sur les côtés, elle prendra le nom de **moraine latérale**, et à l'avant du glacier celui de **moraine frontale**. Une moraine est donc un tas de débris de toutes tailles (d'un minuscule grain de sable à un rocher de plusieurs mètres) déposé sur le pourtour d'un glacier. Notons encore que ces moraines ne vont pouvoir se former que dans la zone de fonte du glacier, qui correspond en théorie au tiers aval de sa surface. Les moraines sont donc de bons indicateurs pour connaître l'extension d'un glacier à un certain moment. C'est le cas de la moraine de Vérossaz, qui correspond aux débris qui se sont accumulés sur le bord gauche du glacier du Rhône et qui nous indiquent que ce dernier s'est "arrêté" là un certain temps, il y a environ 17'000 ans. C'est au même moment que s'est déposée la moraine de Monthey et ses magnifiques blocs erratiques (c.f. ch. 6.1).

5.3.4 Caractéristiques touristiques

Le plateau de Vérossaz faisant partie intégrante du verrou de Saint-Maurice, sa valorisation touristique est sensiblement similaire. Je renvoie donc le lecteur au chapitre 5.2.4 pour prendre connaissance des différentes valeurs du site, des offres touristiques présentes actuellement et des synergies et développements réalisables. Nous nous bornerons ici à énoncer les différences entre ces deux sites.

Tout d'abord, il faut mentionner que la valeur éducative du plateau de Vérossaz en tant qu'épaulement glaciaire est moins élevée que celle du site vu comme partie intégrante du verrou glaciaire de Saint-Maurice ; il est en effet plus difficile à comprendre la notion

⁵⁷ Voir par exemple www.iceman.it pour l'exemple célèbre d'Ötzi, un corps vieux de plus de 5'000 ans parfaitement conservé, rejeté par un glacier.

d'épaulement glaciaire que celle d'obstacle naturel joué par le verrou. Par contre, en ce qui concerne les roches moutonnées et les blocs erratiques, cette valeur reste importante. La moraine latérale de Vérossaz, bien qu'entièrement colonisée par la végétation et en partie par les implantations humaines, reste bien dessinée et donc assez représentative d'une stagnation du glacier rhodanien, pour autant qu'elle soit accompagnée d'une explication. L'accessibilité au site, qui ne peut se faire que par le versant N, est un peu moins facile vu l'altitude de ce dernier. On peut cependant y accéder facilement en voiture ou en car postal. Quant à son lien avec la théorie glaciaire il reste faible, cet épaulement glaciaire n'ayant aucunement contribué à l'apparition de ce nouveau paradigme.

En conclusion on peut dire que la valeur du plateau de Vérossaz est double ; il représente la partie gauche du verrou de Saint-Maurice et également un épaulement glaciaire. Les dépôts et formes d'érosion glaciaire y sont nombreux, mais demandent tout de même une connaissance de base et un œil attentif pour réussir à les cerner. De plus, comme vu au chapitre précédent (5.2.4), de nombreuses offres touristiques sont présentes, mais aucune ne touche au domaine glaciaire, qui est pourtant à la base de la formation du plateau avec son contexte géologique. Le site est donc intéressant d'un point de vue touristique et pédagogique.

5.4 La marmite glacière des Caillettes (Bex, VD)

5.4.1 Description et caractéristiques

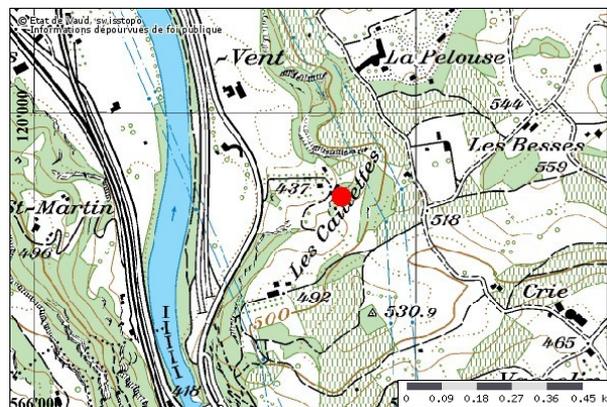


Fig. 5.4.1 : à gauche : Vue sur la paroi calcaire au pied de laquelle se trouve la marmite glacière. Le petit escalier en bois et la barrière en fer en bas à gauche donnent l'échelle. Ci-dessus : Situation de la marmite glacière des Caillettes (point rouge).

La marmite glacière des Caillettes se trouve sur le versant W du plateau de Chiètres, en rive droite du Rhône, sur le territoire de la commune de Bex (VD). Elle se situe juste derrière une ferme positionnée dans l'encoche formée par la paroi W et le monticule rocheux SW du plateau de Chiètres à l'origine du goulot d'étranglement de Saint-Maurice. Elle est propriété privée de M. Antoine Kuonen, propriétaire de la ferme et des terres environnantes. Ses coordonnées exactes sont 566'778/119'780. La partie supérieure de l'éperon rocheux sur lequel se trouve la marmite est boisée et entourée de pâturages. Il est isolé des parois calcaires adjacentes par deux petits vallons tapissés d'une couverture végétale. Nous reparlerons plus en détail de ces dépressions dans la partie consacrée à la morphogenèse de la marmite.

Les dimensions de la marmite sont impressionnantes et parlent d'elles-mêmes : hauteur totale de 8 à 9 m - 4 m 10 depuis le goulot d'écoulement - pour un diamètre de 5 m. La paroi de calcaires siliceux de l'Hauterivien à laquelle elle est accrochée mesure 20 m de haut environ, avec une pointe de Valanginien à sa base (Gagnebin, 1934 ; Lugeon & Gagnebin, 1937 ; Martin, 1964). La marmite présente une surface parfaitement lisse et une bonne visibilité des traces de la rotation de l'eau, magnifiquement dessinées sur son fond rocheux notamment (fig. 5.4.2). D'autres traces d'érosion similaires sont présentes de part et d'autre de la marmite, ainsi que dans les alentours (fig. 5.4.2 et c.f. ch. 5.5). De nombreuses marmites glaciaires doivent donc se trouver dans cette région. On en trouve une par exemple à 1 km de là en direction du N, sur le versant N du plateau de Chiètres aux coordonnées 566'500/121'005 (fig. 5.4.2). Elle est de plus petite taille, mais est parfaitement exemplaire de ce type de figure d'érosion glaciaire.



Fig. 5.4.2 : à gauche : Vue sur le fond rocheux en spirale de la marmite glaciaire des Caillettes. A droite : Vue sur une autre marmite glaciaire à proximité des Caillettes, de plus petites dimensions (le stylo donne l'échelle).

Etant un site ponctuel et quelque peu caché, il faut se rendre directement sur place pour contempler la marmite glaciaire. Par contre, si l'on souhaite avoir une vue d'ensemble de l'éperon rocheux et du site des Caillettes en général, le meilleur point d'observation se trouve vers les roches moutonnées de Massongex (ch. 5.5) à environ 700 m de là en direction du WNW.

5.4.2 Morphogenèse

Avant de parler de la morphogenèse de la marmite glaciaire, il paraît important de dire quelques mots sur la formation du plateau de Chiètres et sur les paléocours du Rhône.

5.4.2.1 Le plateau de Chiètres et les paléocours du Rhône

Cette partie du verrou de Saint-Maurice en rive droite du Rhône est appelée *plateau de Chiètres*, pourtant elle n'a rien d'un plateau. Elle se compose d'un ensemble de collines arrondies situé entre 150 et 200 m au-dessus du niveau de la plaine, que Lugeon et Gagnebin (1937 : 2) définissent comme « *un champ de buttes moutonnées* » par l'abrasion glaciaire. Pourtant, et ceci est étonnant, on n'y trouve aucune trace de dépôt morainique. Pour expliquer l'isolement du plateau de Chiètres et les dépressions présentes, il faut faire intervenir le Rhône. Ce dernier s'écoulait tout d'abord par la dépression située à l'E du plateau par Lavey-village et Le Châtel pendant le dernier interglaciaire, commandé par l'inclinaison des calcaires autochtones (Lugeon & Gagnebin, 1937). Puis le Rhône aurait taillé deux étroites gorges pendant la dernière période glaciaire, avant d'attaquer celle qu'il suit actuellement. Ces deux anciens cours du Rhône sont bien visibles sur la carte géologique (fig. 5.4.3) ; ils ont entaillé le plateau de Chiètres à la hauteur des Chenalettes à l'amont, se sont dirigés vers le N puis ont bifurqué à l'W, l'un passant à gauche de l'éperon rocheux où se trouve la marmite glaciaire, l'autre à droite. Ce sont donc les écoulements sous-glaciaires qui ont isolé la paroi calcaire de la marmite des Caillettes. Ces gorges ont par la suite été comblées par la moraine de fond rhodanienne, forçant le fleuve sous-glaciaire à utiliser le cours actuel. On a là une preuve de la puissance érosive des

écoulements sous-glaciaires, et une partie de réponse à propos de la formation de la marmite glaciaire des Caillettes.

5.4.2.2 Formation de la marmite glaciaire

On a pu constater que le pouvoir érosif des écoulements sous-glaciaires est très important de par les pressions et les vitesses élevées, couplées à la charge détritique présente dans ces écoulements. Ces trois paramètres sont essentiels pour la formation d'une marmite glaciaire.

En effet, les écoulements sous-glaciaires, qui peuvent atteindre plus de 150 km/h (c.f. ch. 5.1.2), vont attaquer le bedrock et s'infiltrer dans les moindres dépressions présentes. Des tourbillons vont se former dans ces petites crevasses, et l'eau chargée de particules rocheuses va les agrandir petit à petit par frottement et abrasion des parois. La dépression va ainsi s'agrandir au fil du temps, prenant une forme de chaudron, d'où le nom de *marmite glaciaire* ou *marmite de géant*. La figure 5.4.4 nous montre bien l'évolution de ce phénomène de creusement par les écoulements sous-glaciaires. Soulignons encore un point: au passage d'un verrou ou d'un obstacle en général, on observe une accélération de la vitesse d'écoulement du glacier afin de surmonter l'obstacle. La vitesse des écoulements sous-glaciaires va donc augmenter à l'amont et à l'aval de l'obstacle, surcreusant le bedrock à l'amont et créant d'impressionnantes formes d'érosion glaciaire à l'aval, comme la marmite glaciaire des Caillettes. De plus, d'après nos observations, il semble que de nombreuses autres marmites se trouvent dans les environs, qui n'attendent qu'à être excavées!

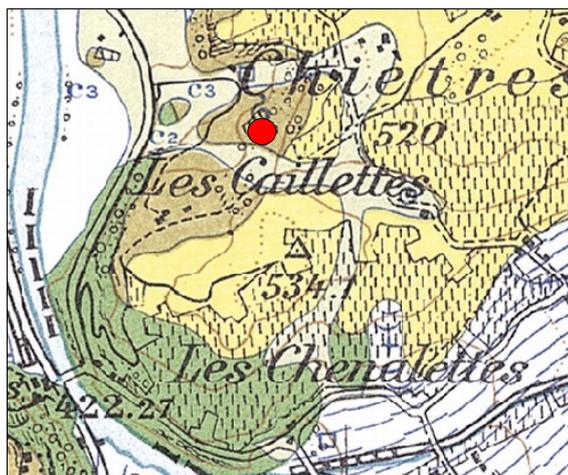
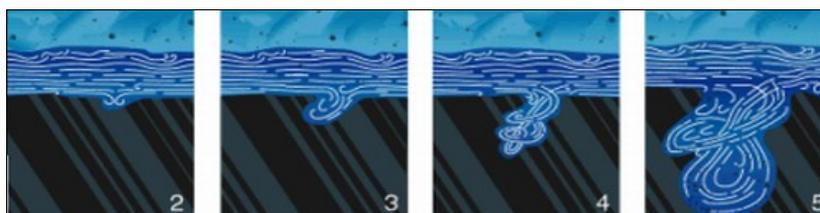


Fig. 5.4.3 : Extrait de la carte géologique montrant bien les 2 paléocours du Rhône (en blanc) entourant l'éperon rocheux des Caillettes où se trouve la marmite (point rouge) (tiré de swisstopogeodata.ch).

Une datation du début de la formation de la marmite glaciaire des Caillettes serait illusoire. Il faudrait pour cela déjà connaître le taux d'érosion des calcaires de Chiètres à l'époque glaciaire pour émettre une première hypothèse. Autant dire que c'est chose impossible. Par contre, il est certain qu'elle est d'origine glaciaire, donc qu'elle a un âge minimum de 17'000 ans environ, date de la dernière stagnation du glacier du Rhône à hauteur du verrou de Saint-Maurice lors du *stade de Monthey*, ou *stade de Bühl* selon la chronologie grisonne élaborée par Maisch (1982) (c.f. ch. 5.3.2 et ch. 6.1.2). Cependant, on peut affirmer sans trop s'avancer qu'elle doit être certainement bien plus ancienne au vue de ses dimensions, et que cet âge de 17'000 ans correspondrait plutôt à la fin de son creusement, donc du passage entre le statut de géomorphosite actif à celui de fossile.

Fig. 5.4.4 : Evolution de la formation d'une marmite glaciaire (tiré de www.gletschergarten.ch).



5.4.3 Valorisation didactique

Nous avons préalablement appris que de l'eau s'écoule très rapidement sous un glacier, où il règne une pression énorme à cause du poids de la glace (c.f. ch. 5.1.3). De plus, nous avons pu voir que cette eau est remplie de minuscules morceaux de roches qui vont agir sur la roche comme du papier de verre. Lorsqu'un petit creux apparaît sur le fond rocheux sous le glacier, cette eau va s'y engouffrer en créant un petit tourbillon. L'eau va donc s'écouler très rapidement le long des parois du petit trou, et les morceaux de rochers présents dans l'eau vont frotter ces parois avant d'être éjectés hors du trou. Cette action est continue et, petit à petit, le trou va s'agrandir au fil du temps. Ainsi, siècle après siècle, millénaire après millénaire, il va prendre la forme d'un chaudron ou d'une marmite. La figure 5.4.4 nous montre bien l'évolution de ce phénomène de creusement par les écoulements sous-glaciaires. Une fois que le glacier se retire, ces écoulements rapides vont cesser et avec le creusement de la marmite, qui va alors se remplir de débris de toutes sortes : gros cailloux restés "emprisonnés" dans le trou, sable, terre, déchets végétaux, etc.. Normalement ces gros cailloux sont juste "de passage", étant évacués par la puissance des écoulements présents sous le glacier, puis remplacés par d'autres. Mais, lorsque ces écoulements s'arrêtent, le ou les cailloux présent(s) dans la marmite reste(nt) piégé(s). Ceci explique pourquoi on a pu penser un moment que ces derniers étaient à l'origine de la formation des marmites glaciaires, en agissant comme une meule. Ils présentent d'ailleurs toujours une forme bien lisse (fig. 5.4.5). Cette théorie est aujourd'hui unanimement considérée comme obsolète.



Fig. 5.4.5 : Détail d'un des nombreux blocs excavés. Le stylo donne l'échelle.

5.4.4 Caractéristiques touristiques

La marmite glaciaire des Caillettes est sans aucun doute l'une des plus belles et des plus impressionnantes de Suisse. Ses parois polies par les eaux abrasives sous-glaciaires, ainsi que son fond rocheux en forme de spirale en font un site à très haute valeur éducative. Son excellente conservation, protégée de l'érosion depuis la dernière glaciation par sa charge détritique retirée que récemment, en fait un site à intégrité élevée. Son lien avec la théorie glaciaire est par contre assez faible, bien que de Charpentier (1841) la mentionne dans son célèbre ouvrage. Quant à l'accessibilité au site elle est facile, se trouvant à environ 300 m

de la route cantonale reliant Bex à Saint-Maurice. Elle se trouve toutefois sur une propriété privée, il faut donc au préalable contacter M. Kuonen pour avoir l'autorisation d'y accéder. Un petit escalier en bois branlant ainsi qu'une barrière de protection en fer sont présents afin de faciliter et d'assurer le visiteur désirant observer son fond rocheux (fig. 5.4.7). L'escalier mériterait tout de même une petite rénovation. Et comme on l'a dit en introduction, le point d'observation du géomorphosite se trouve à l'endroit-même, tandis qu'une belle vue sur l'ensemble du site des Caillettes s'offre à nous depuis celui des roches moutonnées de Massongex.

Nous n'allons pas répéter les offres touristiques présentes dans la région, je renvoie le lecteur au chapitre 5.2.4. Ajoutons le fait que Mme Berney, qui fait partie de l'Office du Tourisme de Bex, pense inclure la visite de cette marmite glaciaire dans une de ses ballades touristiques (Berney, 2008).

Dans les années 60, une première tentative de valorisation de cette marmite glaciaire avait été entreprise par Jacques Martin, alors président du Cercle de sciences naturelles de Vevey-Montreux (Martin, 1964). Accompagné de plusieurs bénévoles et de deux salariés siciliens, ils décidèrent d'excaver entièrement cette marmite connue depuis fort longtemps, alors totalement obstruée par des blocs erratiques de toutes tailles (jusqu'à 7 tonnes) et différents matériaux (graviers, limons, déchets végétaux, etc.) (fig. 5.4.6). Les plus gros blocs devaient être dynamités et l'opération était donc quelque peu périlleuse. On excava des granites du massif du Gothard et de la région de Salvan, des calcaires autochtones, de la protogine du massif du Mont-Blanc, des gneiss d'Arolla (qui pouvaient aussi provenir de la Dent-Blanche, du Cervin ou du Weisshorn), des serpentinites, des micaschistes des vallées latérales de la rive gauche du Rhône, des quartzites, etc. (Martin, 1964). Samedi après samedi, la marmite se vidait petit à petit et le 28^{ème} samedi, plus d'une année après le début des travaux, le fond rocheux de la marmite apparut. Les frais d'excavation se sont montés à environ 2100 francs, répartis entre la Ligue vaudoise pour la Protection de la nature, le Syndicat d'initiative de Bex, la Municipalité de Bex, la caisse du Cercle de sciences naturelles et des dons de ses membres.

Un escalier en bois ainsi qu'une barrière en fer avaient été installés afin de permettre aux curieux d'apprécier le fond rocheux en spirale (fig. 5.4.7). Malheureusement, aucune offre touristique n'ayant été développée pour cette marmite, elle tomba à nouveau dans l'oubli ; cette tentative de



Fig. 5.4.6 : La marmite en pleine excavation. La personne dans la marmite (flèche rouge) donne l'échelle (Martin, 1964).

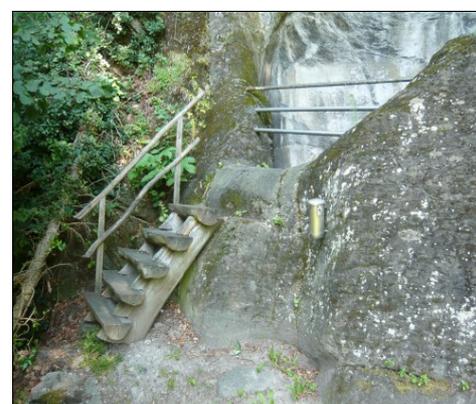


Fig. 5.4.7 : L'escalier en bois avec la barrière en fer.

valorisation menée par M. Martin et ses acolytes représente donc un bel exemple de l'importance de développer des propositions touristiques afin d'assurer la pérennité d'un site. Cependant, rien n'est perdu et il semblerait que les offices touristiques régionaux s'intéressent à nouveau à ce site exceptionnel, unique dans cette partie de la plaine du Rhône. Les efforts fournis par les bénévoles dans les années 60 n'auraient donc pas été vains!

5.5 Les roches moutonnées de Massongex

5.5.1 Description et caractéristiques

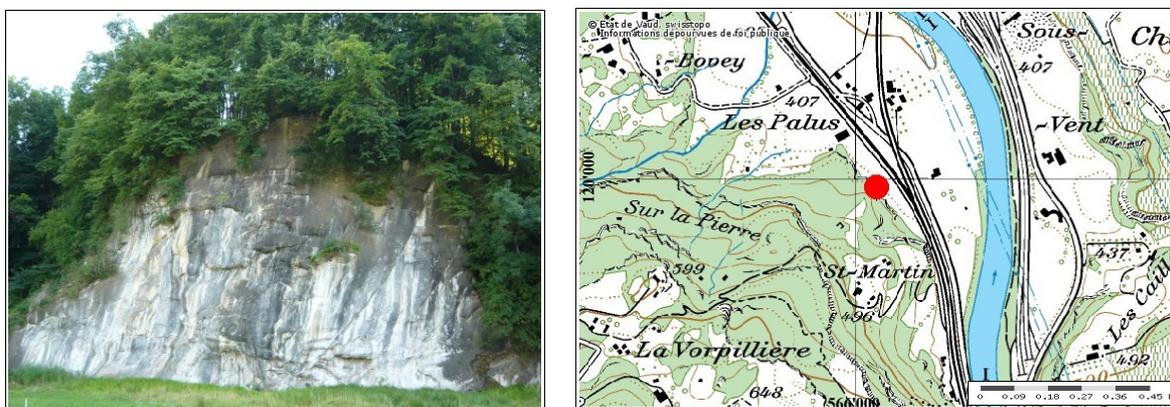


Fig. 5.5.1 : à gauche : Vue sur une partie des roches moutonnées de Massongex. A droite : Situation de l'affleurement rocheux.

Les roches moutonnées de Massongex sont situées en rive gauche du Rhône à l'aval du verrou de Saint-Maurice. Elles se situent à environ 800 m au NW du goulot d'étranglement de Saint-Maurice en partant du pont, sur le versant N du plateau de Vérossaz (ch. 5.3). Elles font donc partie de l'ensemble formant le verrou de Saint-Maurice. Cet affleurement rocheux se trouve le long de la route cantonale du Simplon et de la voie de chemin de fer, séparé par un petit champ. D'une longueur SE-NW d'environ 250 m, ses coordonnées approximatives sont 566'085/119'970.

D'un point de vue géomorphologique, le site de Massongex est intéressant car il présente différentes formes d'érosion glaciaire et fluvioglaciaire : à petite échelle il représente un ensemble de roches moutonnées par le passage du glacier. A plus grande échelle, différentes figures d'érosion peuvent être distinguées : des stries, des cannelures, des marmites, etc.

Le seul point d'observation se situe sur le site-même si l'on désire apercevoir les micro-formes d'érosion glaciaire. Le moutonnement de la roche est par contre visible depuis un peu plus loin. Notons encore qu'une belle vue sur le site de la marmite glaciaire des Caillettes s'offre à nous, situé environ à 700 m en direction du SW.

5.5.2 Morphogenèse

Nous avons déjà parlé au chapitre 5.1. de l'action érosive d'un glacier et de la formation des roches moutonnées et des stries glaciaires. Nous rajouterons ici quelques remarques de détail sur la formation des autres micro-formes d'érosion glaciaire.

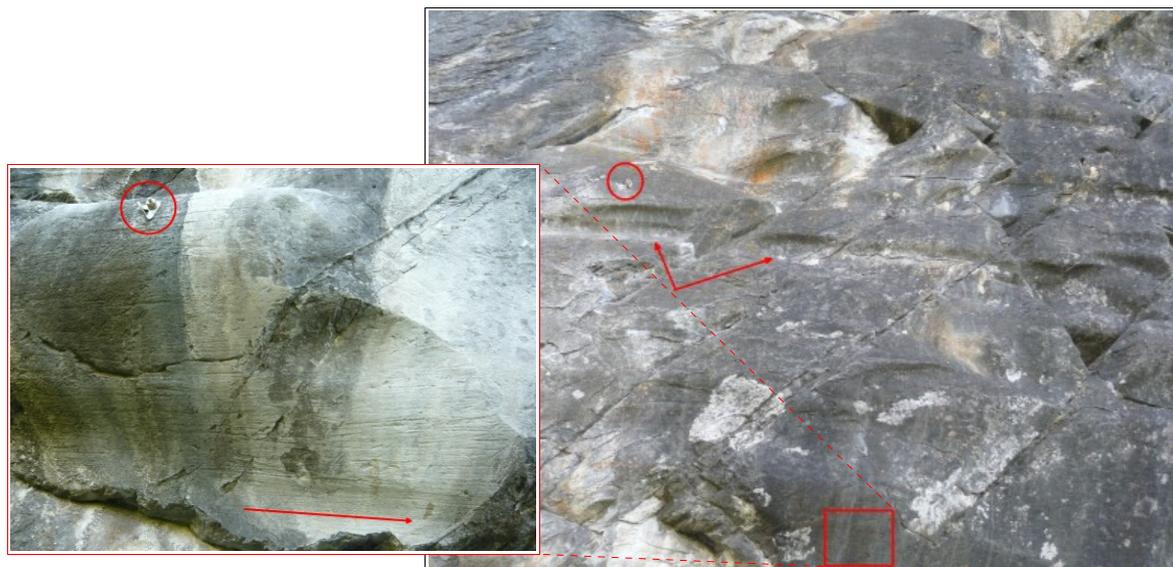


Fig. 5.5.2 : Détail de l'affleurement avec indication des stries (carré rouge), des cannelures (flèches) et des goudjons d'escalade qui donnent l'échelle (ronds rouges). Direction de l'écoulement de gauche à droite (SE-NW). À gauche : Détail des stries glaciaires.

La morphogenèse des cannelures est identique à celle des stries glaciaires, les deux se formant par frottement de débris rocheux incorporés à la base du glacier, débris plus résistants que le substratum (fig. 5.5.2). Cependant, dans le cas des cannelures, les écoulements sous-glaciaires vont également jouer un rôle en adoucissant et arrondissant la dépression créée, lui donnant une forme de sillon caractéristique. Une différence fondamentale entre ces deux formes d'érosion est la taille, ainsi que leur moment de formation dans une moindre mesure : les stries glaciaires correspondent à des rayures fines et peu profondes, millimétriques à centimétriques, tandis que les cannelures sont des incisions plus profondes et plus larges, de l'ordre du décimètre ou du mètre, voire plus. Des cannelures géantes, de taille plurimétrique, sont par exemple présentes dans la région de la rivière du Sault Plat dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent au Québec ou dans les plaines canadiennes. De par cette différence de taille, le moment de formation des cannelures sera généralement plus ancien que les stries glaciaires, ces dernières étant plus rapidement érodées. Le moment de formation des stries glaciaires observables actuellement correspond généralement à la phase terminale de l'invasion glaciaire, tandis que des cannelures peuvent s'être formées bien avant et même être réempruntées par les écoulements sous-glaciaires des glaciations ultérieures. Ces deux formes d'érosion glaciaire sont de très bon indicateurs du sens d'écoulement de la glace.

On peut remarquer plusieurs figures d'érosion en forme de fer à cheval, qui font penser quelque peu à des queues-de-rat (ou *crag-and-tail*) (fig. 5.5.3). Toutefois, ces formes sont clairement déprimées, alors que des queues-de-rat sont normalement positives, étant formées suite au passage du glacier sur une partie plus résistante ; une crête s'amincissant vers l'aval se formera juste après l'obstacle rocheux plus résistant. De plus, on n'observe ici aucune inclusion rocheuse plus résistante. Les queues-de-rat sont donc de bons indicateurs du sens et de la direction d'écoulement du glacier. C'est également le cas pour celles présentes à Massongex, bien qu'elles ne semblent pas correspondre à des queues-de-rat d'un point de vue morphogénétique, mais plutôt à des sillons parallèles ayant le même point de départ.

Ces formes d'érosion glaciaire vont également mieux se conserver sur des roches dures comme des gneiss ou des granites, peu sensibles à l'altération météorique, que sur des roches facilement érodables par érosion chimique due au ruissellement de surface. Le calcaire étant particulièrement vulnérable à l'érosion chimique, il est donc assez étonnant que des stries glaciaires soient encore visibles sur les calcaires formant l'affleurement rocheux de Massongex. De plus, au vu des photos, on peut se rendre compte que le ruissellement sur la roche est important (bandes verticales foncées). Cette exceptionnelle conservation est due à un dénudation récente du site.



Fig. 5.5.3 : Cannelure en forme de fer à cheval (flèche rouge). Ecoulement de gauche à droite (SE-NW). Notez également les nombreuses stries glaciaires. Le goujon d'escalade (rond rouge) donne l'échelle.

On note également la présence de différentes figures d'érosion fluvioglaciaire sur le site de Massongex, sculptées par les eaux sous-glaciaires soumises à de grandes vitesses et pressions. Des traces bien visibles de marmites glaciaires se trouvent en plusieurs endroits (fig. 5.5.4). Il n'est par contre pas possible de savoir si une dépression circulaire en forme de chaudron, similaire à celle des Caillettes (ch. 5.4), termine ses traces d'érosion, car elles se prolongent sous la surface. Notons encore que de belles rainures fuselées sont visibles sur la paroi, avec une extrémité amont nette et pointue, s'évasant en une rampe incurvée vers l'aval avec des bords bien définis⁵⁸.

5.5.3 Valorisation didactique

Nous avons pu voir au chapitre 5.1.3 la manière dont un glacier agit sur le fond rocheux, ainsi que les raisons de la formation des stries glaciaires. C'est de la même façon que vont se former des cannelures glaciaires, si ce n'est que la taille de l'incision dans la roche est bien plus importante. Les stries ont généralement une profondeur de quelques millimètres, tandis que les cannelures correspondent à des entailles de plusieurs centimètres voire décimètres de profond. De plus, les écoulements sous-glaciaires vont agir différemment sur l'une ou l'autre de ces figures d'érosion : ils vont adoucir voire agrandir les cannelures, leurs donnant une forme de sillon bien arrondi, tandis qu'ils vont faire disparaître progressivement les petites stries glaciaires. De ce fait, on peut dire que les stries glaciaires que l'on trouve sur les roches se sont formées à la fin de la dernière glaciation, tandis que les cannelures peuvent s'être formées bien avant. Ces deux types de figures d'érosion glaciaire, qui présentent tout le temps une forme rectiligne, nous indiquent clairement le sens d'écoulement de la glace, sans nous renseigner sur la direction.

⁵⁸ <http://cgc.mcan.gc.ca>, consulté en mars 2009.



Fig. 5.5.4 : à gauche : Forme d'érosion typique surplombant une marmite glaciaire. Taille plurimétrique (~5-6 m de haut). Ci-dessus : Détail d'une rainure fuselée (indiqué par la flèche rouge). Taille métrique.

Sur la figure 5.5.3, on peut voir des figures d'érosion en forme de fer à cheval ou de U en direction de l'aval. Elles ressemblent à des formes d'érosion appelées *queues-de-rat*, si ce n'est qu'elles sont ici creusées dans la roche, alors que des queues-de-rat apparaissent normalement en relief sur la roche. Quoi qu'il en soit, ce type de figure nous indique le sens et la direction d'écoulement de la glace, de gauche (SE) à droite (NW) sur la photo.

Les écoulements sous-glaciaires, chargés de cette farine glaciaire abrasive, vont polir la roche sur laquelle ils s'écoulent et créer des formes particulières là où ils vont se concentrer. Nous avons pu voir au chapitre 5.4 que ce sont eux qui sont à l'origine de la formation des marmites glaciaires. Sur l'affleurement rocheux de Massongex, des formes similaires sont présentes à plusieurs endroits (fig. 5.5.4). Cependant, on ne connaît pas leur profondeur ni leur forme finale car elles continuent sous le niveau de la plaine. On ne sait donc pas si elles se terminent en forme de chaudron comme la marmite glaciaire des Caillettes. Peut-être des marmites glaciaires encore plus impressionnantes se cachent sous le site de Massongex! Nous pouvons également remarquer la présence de sortes d'encoches (fig. 5.5.4), qui se sont également formées par l'action continue de ces écoulements. Ce type d'encoche présente toujours une forme nette et pointue vers l'amont, incurvée et s'amointrissant en direction de l'aval. Elles nous indiquent donc la direction d'écoulement des eaux sous-glaciaires.

5.5.4 Caractéristiques touristiques

Le site de Massongex est remarquable car il permet d'observer en plaine et sur une grande surface (plus de 200 m de long) une forme typique d'érosion glaciaire avec cet affleurement de roches moutonnées. Son accessibilité est très facile, se situant le long d'une voie de chemin de fer, de la route cantonale du Simplon et du chemin de Saint-Maurice. On peut s'y rendre à pied, à vélo ou en voiture. De plus, il offre la possibilité d'examiner facilement des figures d'érosion glaciaire et fluvioglaciaire telles des stries, des cannelures, des marmites et de rainures fuselées. Ce site a donc une valeur éducative élevée, et le

meilleur point d'observation se trouve aux abords même de la paroi. La remarquable conservation de ces formes d'érosion est d'autant plus rare qu'elles se trouvent sur une roche calcaire, sensible à l'érosion chimique due au ruissellement de surface. L'intégrité du site peut donc être considérée comme bonne à très bonne, les stries étant encore bien visibles, mais il faut faire attention au rôle destructeur de l'escalade. Le site n'a pas de lien direct avec la théorie glaciaire car il n'a pas été utilisé comme preuve d'une extension glaciaire passée dû au fait qu'il n'a été défriché que récemment. Cependant, nous avons pu voir que le moutonnement et le striage des roches en général ont servi à la compréhension et à la diffusion de cette théorie ; les roches moutonnées et striées de Massongex ont donc un lien indirect avec la théorie glaciaire, car quiconque se rendant sur les lieux comprend qu'un glacier recouvrait autrefois le site.

Se trouvant à quelques centaines de mètres du site de Saint-Maurice, de la marmite glaciaire des Caillettes et du plateau de Vérossaz, les offres touristiques présentes et les synergies possibles y sont similaires. Le chapitre 5.2.4 auquel le lecteur doit se référer résume celles-ci. Nous rajouterons ici quelques remarques supplémentaires.

Nous avons pu nous rendre compte (fig. 5.5.2 et 5.5.3) que des goujons ont été fixés sur l'affleurement rocheux de Massongex. En effet, différentes voies d'escalade se trouvent sur le site, qui possède donc déjà un intérêt touristique et sportif. Cependant, ce type d'activité représente une atteinte pour les figures d'érosion présentes sur la roche. D'une part les installations dénaturent le site, et d'autre part le passage répété des grimpeurs endommage la roche. Une synergie pourrait être mise en place afin de sensibiliser les amateurs de grimpe sur le type de rocher qu'ils escaladent, car en tant que passionnés de montagne ils ne pourraient qu'être intéressés par ce genre d'information.

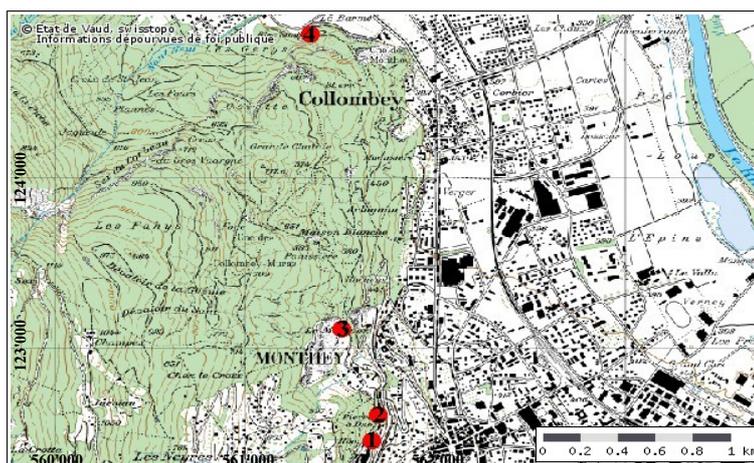
Rajoutons encore le fait que le site se trouve à environ 200 m au SE de la maison marquant le point de départ des sentiers bibliques. Six itinéraires partent de là, et une exposition proposant un parcours « de la vie à la mort » ainsi qu'une collection de bibles du monde sont également présentes. Le centre d'intérêt n'est certes pas le même, mais leur grande proximité pourrait être utilisée, les sentiers bibliques étant également empruntés par des amoureux du plein air, donc de la nature en général.

6. Les sites postérieurs au LGM

6.1 Les blocs erratiques de Monthey

6.1.1 Description et caractéristiques

Fig. 6.1.1 : Situation des différents blocs erratiques de Monthey (points rouges) avec, du S au N : la Pierre des Marmettes (1), la Pierre à Dzo (2), la Pierre à Muguet (3) et le Bloc Studer (4) tout au N.



La ville de Monthey se situe en rive gauche du Rhône sur le cône de déjection de la Vièze, à environ 5 km au NW du goulot d'étranglement de Saint-Maurice (fig. 6.1.1). Environ 100 à 200 m au-dessus du niveau de la plaine alluviale du Rhône, sur le versant gauche de la Vièze, s'étend une bande impressionnante de blocs erratiques sur environ 3 km en direction du N, dont une majeure partie est boisée. Selon Schardt (1908 : 560), « *les blocs granitiques formaient une couverture presque continue de 100 à 150 m de largeur* ». C'est là que se trouvent les quatre plus célèbres et imposants blocs erratiques de la rive gauche rhodanienne : la Pierre des Marmettes, la Pierre à Dzo, la Pierre à Muguet et le Bloc Studer (c.f. fig 6.1.1). Ils sont tous constitués de protogine, un granite légèrement métamorphisé provenant du massif du Mont-Blanc. Les témoignages du 19^{ème} siècle relatent tous la concentration exceptionnelle de blocs erratiques de grande taille sur cet étroit territoire. Malheureusement, suite à leur exploitation intensive dès le milieu du 19^{ème} siècle par les tailleurs de pierre, quasiment tous les blocs erratiques ont disparu, sauf dans les endroits difficiles à atteindre ; il suffit de se promener dans la forêt de Collombey-Muraz pour s'apercevoir qu'elle est jonchée de pierres erratiques et que les quatre blocs cités précédemment sont de vrais miraculés! Nous verrons ci-après que leur sauvegarde ne résulte point d'un miracle, mais d'une réelle volonté de conservation.

Le plus beau et le plus impressionnant des blocs erratiques de Monthey, la **Pierre des Marmettes**, se situe dans le parking de l'hôpital de Monthey (fig. 6.1.2). Sa position exacte est 561'670/122'448, et ses dimensions parlent d'elles-mêmes : environ 19 m de long sur 10 de large, pour une hauteur d'un peu plus de 9 m. Son volume actuel est de 1820 m³ (Delacrétaz, 1994). Il a été légèrement incisé sur son flanc W pour la construction d'un petit escalier en pierre permettant d'accéder au sommet du bloc. Là, un petit pavillon blanc a été construit, autrefois joliment décoré et entouré d'un petit jardin fleuri ainsi que d'arbres fruitiers (Schardt, 1908). Aujourd'hui, la maisonnette est toujours là, mais en total

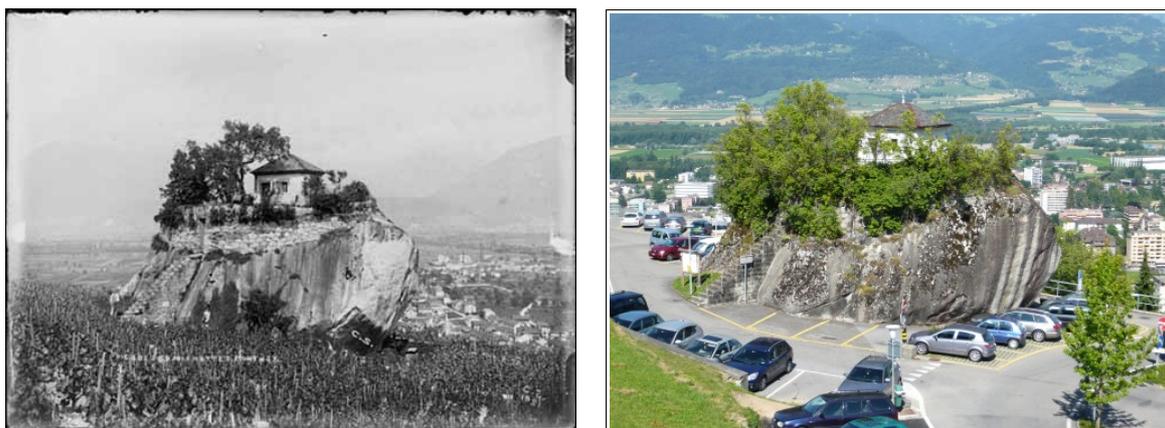


Fig. 6.1.2 : La Pierre des Marmettes. *A gauche* : Vue d'époque (Siebenmann, 1935). *A droite* : Aujourd'hui, au milieu du parking de l'hôpital de Monthey. Les voitures donnent l'échelle.

délabrement : l'intérieur est vide et jonché de déchets, une fenêtre manque et des inscriptions sur les murs et le plafond lui donnent une allure sinistre. Une barrière en métal entoure le sommet du bloc, et deux bancs permettent d'admirer la vue sur la ville de Monthey et la plaine du Rhône. Sur son flanc S est gravée une inscription où l'on peut difficilement lire : « *Pierre des Marmettes – bloc erratique – Granite du Mont Blanc – Propriété de la Soc. Helv. des Sc. Nat. - 1907* ». Notons encore que c'est le seul de tous les blocs erratiques de la zone d'étude à avoir un petit panneau didactique, qui se situe à gauche de l'escalier de pierre. Ce panneau correspond en fait à l'arrêt intitulé « *Les blocs erratiques de Monthey* » du sentier didactique « *Scènes sur le parcours de l'eau* », dont nous reparlerons au chapitre 6.1.4.

Selon Schardt (1908), le nom de « *Pierre des Marmettes* » pourrait provenir du fait que des tanières de marmottes se trouvaient dans le voisinage. Comtesse (1921) conteste cette version, en affirmant qu'un vieux manuscrit de 1726 renferme les mots « *pierre à Mermet* », Mermet n'étant autre que le propriétaire du bloc à ce moment-là. En effet, de nombreux blocs erratiques portent le nom de leur propriétaire (Pierre à Martin, Pierre à Milan, Pierre à Mourguet, etc.). De plus, les autochtones montheyens utilisaient encore au début du 19^{ème} siècle le nom de « *Pierre des Mermettes* », qui s'est par la suite transformé en Pierre des Marmettes.

Environ 130 m plus au N se situe l'étonnante **Pierre à Dzo**, qui est plutôt un groupe de blocs (fig. 6.1.3). Elle est située sur le côté amont le long de la voie de chemin de fer reliant Aigle à Champéry. Ses coordonnées exactes sont 561'705/122'605. Elle se compose d'un bloc massif polyédrique relativement émoussé et arrondi, aux apparences instables, positionné sur un autre bloc similaire en partie enterré. Son nom provient du patois « *à dzo* », qui signifie « *perché en équilibre*,

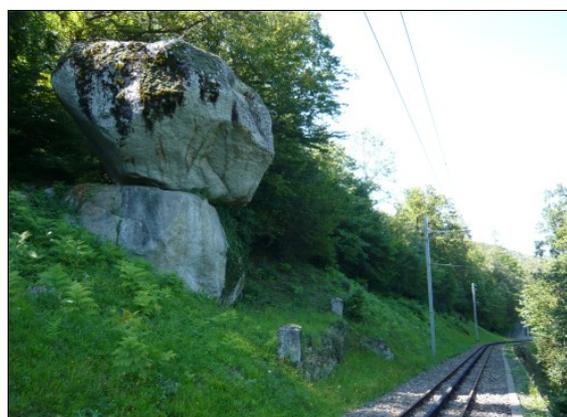


Fig. 6.1.3 : La Pierre à Dzo, semblant menacer la voie de chemin de fer.

juché » (Comtesse, 1921). Les dimensions approximatives du bloc supérieur sont d'environ 6-7 m pour la hauteur maximale, 8 m pour la longueur et 6 pour la largeur. Son volume atteint environ 300 m³. Des travaux de maçonnerie ont été entrepris afin de colmater le bloc supérieur et d'éviter qu'il ne roule sur la ville de Monthey. On peut lire sur le flanc NW du bloc supérieur l'inscription suivante, parfaitement visible : « *A J. De Charpentier – Don national 1858 – Transféré à la Société Vaudoise des Sciences Naturelles – 1875 – Pierre à Dzo – Perraudin*⁵⁹ - 1815 ». Ajoutons encore qu'un petit sentier pédestre passe juste à côté du bloc du côté de l'inscription.

La **Pierre à Muguet** de Monthey est située à un peu plus de 500 m de la Pierre à Dzo en direction du NNW, sur le site de l'ancienne carrière de Malévoz (fig. 6.1.4). Ses coordonnées sont 561'525/123'085. A nouveau, elle représente plutôt un groupe de blocs, composé de deux fragments provenant apparemment du même bloc qui s'appuient l'un contre l'autre, formant une sorte d'abri naturel. L'ensemble des blocs est entouré d'un petit muret en pierre recouvert en grande partie de végétation et mesure environ 25 m de long sur 15 de large, pour grossièrement 7 m de haut. Il représente donc une surface d'environ 400 m², pour un volume d'environ 1000 m³. On peut lire sur une des parois de cet abri : « *Perraudin 1815 – Charpentier 1884 – A J. De Charpentier – Don national 1853 – transféré à la Société vaudoise des Sciences Naturelles 1875 – Pierre à Muguet* ». Son nom originel est « *Pierre à Mourguet* », nom du propriétaire de la pierre, qui s'est par la suite transformé en « *Pierre à Muguet* » ou « *Pierre des Muguets* » (Comtesse, 1921).



Fig. 6.1.4 : La Pierre à Muguet de Monthey, en partie camouflée par la végétation.

Le **Bloc Studer** (fig 6.1.5) se trouve à l'extrémité septentrionale de la zone morainique de Monthey sur le territoire de la commune de Collombey-Muraz, à un peu plus de 1.5 km au N de la Pierre à Muguet. Il est situé à quelques mètres sur la droite du chemin pédestre (construit à la base pour l'exploitation du granite justement (Delacrétaz, 1994)), à une trentaine de mètres de la paroi surplombant au SE le village de Muraz. Ses coordonnées sont 561'353/124'840. D'une hauteur maximale d'environ 8 m pour une longueur de 9 m et une largeur de 6 m, il a un volume approximatif de 500 m³. On peut y trouver une inscription sur sa face E : « *A Bernard Studer – La Soc. Helv. Sc. Nat. 1877. - Don*



Fig. 6.1.5 : Le Bloc Studer. La personne à gauche du bloc donne l'échelle (flèche rouge).

59 Le graveur a dû oublier un « r » à Perraudin, qui a été rajouté par la suite.

Breganti. 1869. ». Son nom est en hommage au géologue suisse Bernhard Studer, à l'origine de l'*Appel aux Suisses pour les engager à conserver les blocs erratiques* (1867) avec son collègue Alphonse Favre.

Bien évidemment, d'autres blocs erratiques jalonnent la région entre Monthey et Muraz. Cependant, ces quatre blocs représentent les plus importants, que ce soit par leur taille ou par leur situation. Notons tout de même un imposant bloc situé juste en dessous de la route cantonale, 160 m au S de la Pierre des Marmettes (fig. 6.1.6). Il n'a pas de nom particulier, mais sa taille et sa position méritent de le faire remarquer.



Fig. 6.1.6 : Le bloc anonyme sous la route cantonale.

6.1.2 Morphogenèse

Un glacier est un agent de transport extrêmement compétent, capable de charrier sur des centaines voire des milliers de kilomètres autant des blocs de plusieurs tonnes que du sable et du gravier. De plus, contrairement aux rivières qui n'évacuent les blocs les plus importants que lors des crues, un glacier transporte en permanence sa charge sédimentaire. La charge détritique d'un glacier a deux sources d'alimentation : soit ce sont des matériaux tombés des parois bordant le glacier, soit des morceaux arrachés au substratum par l'avancée du glacier. Ainsi, on parlera de charge détritique sous-glaciaire (incorporé à la glace basale), intra- et supra-glaciaire. Et lorsque le glacier fond, toute cette charge détritique va se déposer telle quelle à l'endroit où elle se situe, sans aucun tri granulométrique. Les blocs erratiques représentent donc de formidables indicateurs du passage d'un glacier en étant déposés loin de leur contexte géologique originel. On a pu voir au chapitre 2 qu'ils sont à la base de l'avènement et de la diffusion de la théorie glaciaire. De par leurs caractéristiques pétrographiques, il est également possible de connaître leur lieu d'origine, ce qui permet de retracer l'itinéraire parcouru par les blocs, et dans certains cas (le lobe lyonnais par exemple) de calculer la part d'alimentation de chaque bassin (Isère, Rhône).

Les blocs erratiques de Monthey correspondent à de la protogine, qui est un granite très légèrement métamorphisé et constituant une part importante du massif du Mont-Blanc (Foucault & Raoult, 2005). Ce granite a été déposé en grande quantité par le glacier du Rhône et celui de l'Arve⁶⁰. La carte de la figure 6.1.7 nous montre bien le cheminement parcouru par les blocs erratiques de Monthey, qui ont voyagé 40 km environ. Ils se sont déposés à leur emplacement actuel lors du stade de Monthey daté environ à 17 Ka BP (c.f. ch. 2.2.3.4), correspondant à une stagnation du glacier qui a déposé la moraine à blocs de Monthey. Il semblerait que la moraine latérale présente sur le plateau de Vérossaz corresponde également à ce stade (c.f. ch. 5.3.2). La grande concentration de blocs erratiques de protogine présente à Monthey nous indique qu'un important éboulement a eu

⁶⁰ www.glacier-climat.com, consulté en mars 2009.



Fig. 6.1.7 : à gauche : Carte du cheminement parcouru par les blocs erratiques de Monthey (flèche rouge) (fond de carte Coutterand, 2005, modifié). À droite : Illustration du stade de Monthey. L'ellipse rouge indique la zone de dépôt de la moraine à blocs de Monthey (fond de carte Coutterand, comm. pers., modifié).



lieu dans le Val Ferret, qui a été ensuite transporté par le glacier puis déposé lors du stade de Monthey.

6.1.3 Valorisation didactique

Les glaciers sont probablement les agents de transport les plus puissants et les plus constants que l'on puisse trouver. Seul un réchauffement des températures peut leur porter préjudice, comme on le voit bien actuellement. Un glacier va transporter tout ce qui se trouve sur ou à l'intérieur de sa masse de glace, quelle que soit sa taille et son origine : des blocs de plusieurs tonnes aux particules de sable, des déchets végétaux, des cadavres humains, des carcasses d'avions, etc. Cette charge va se déplacer avec le mouvement continu du glacier, puis va être déposée telle quelle lors de la fonte de la glace ou lorsqu'elle atteint la limite frontale ou latérale du glacier. Le schéma de la figure 6.1.8 nous montre comment se déposent les blocs erratiques, que l'on retrouve un peu partout sur le plateau et le Jura notamment.

Les blocs erratiques de Monthey se sont déposés il y a environ 17'000 ans, à un moment où le glacier du Rhône a stagné pendant plusieurs années à la même position (fig. 6.1.7). En effet, lorsqu'un glacier reste plusieurs années à la même place, les débris qu'il transporte vont se déposer en tas sur les côtés et à l'avant du glacier : ce sont les moraines latérales et frontales. Cela résulte du fait que le glacier continue de s'écouler vers le bas, et avec lui sa charge détritifique, tandis que sa limite externe ne bouge pas, car il reçoit autant d'eau sous forme de neige en hiver dans sa partie supérieure qu'il n'en perd en été par fonte dans sa partie inférieure. On dit qu'il est en équilibre, car sa limite n'avance et ne recule pas. Une moraine n'a donc aucun tri et

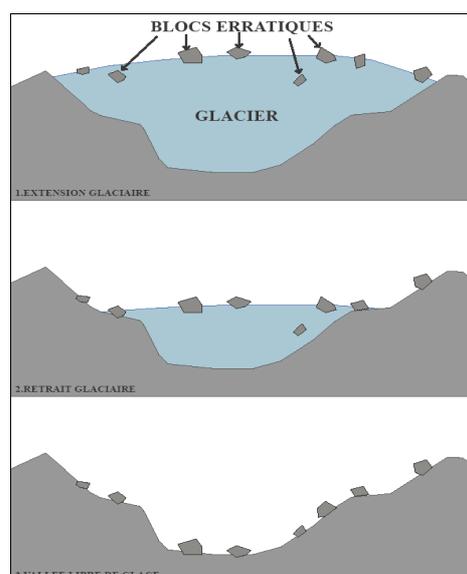


Fig. 6.1.8 : Schéma illustrant le dépôt des blocs erratiques.

correspond à un amas de gros morceaux de roches mélangés à des cailloux plus petits et à du sable et du gravier. La ville de Lausanne est par exemple construite sur différentes moraines latérales déposées par le glacier du Rhône il y a 20 à 30'000 ans (c.f. ch. 2.2.3.4). Nous avons également vu un bel exemple de moraine latérale sur le plateau de Vérossaz (c.f. ch. 5.3.2). Il semblerait qu'elle corresponde au même stade de stagnation du glacier que celui de la moraine à blocs de Monthey.

Les blocs erratiques de Monthey correspondent tous au même type de roche, un granite particulier, que l'on peut trouver dans le massif du Mont-Blanc. Ceci nous indique le lieu d'origine de ces rochers : le Val Ferret dans le SW des Alpes suisses (c.f. fig. 6.1.7). Ils ont donc fait un "petit" voyage, comparé à certains blocs erratiques ayant parcouru des centaines voire des milliers de kilomètres. Leur impressionnante concentration à Monthey, qui n'est plus que l'ombre d'elle-même aujourd'hui, nous indique qu'un important éboulement a dû avoir lieu dans le Val Ferret au-dessus du glacier, qui les a transportés puis déposés lors du stade de stagnation de Monthey.

6.1.3.1 La moraine à blocs de Monthey, de hier à aujourd'hui

Les témoignages de l'époque laissent tous paraître le caractère exceptionnel de la moraine à blocs de Monthey, qui « *était autrefois littéralement couverte de blocs erratiques de toutes les dimensions ; ils se touchaient presque et formaient une des apparitions des plus frappantes dans le domaine du phénomène erratique* » (Schardt, 1908 : 562). Dans son célèbre *Essai sur les glaciers*, l'illustre Jean de Charpentier en parle ainsi (1841 : 139-142) :

« L'un des faits les plus surprenants du terrain erratique est sans contredit l'accumulation ou la réunion d'un nombre considérable de blocs tous de la même espèce de roche. [...] L'un des dépôts le plus remarquable que je connaisse, se trouve [...] près de Monthey dans le Bas-Valais. [...] Ces fragments étonnent autant par leur nombre que par leur volume. [...] Je ne crois pas commettre une exagération en comptant la bande des blocs erratiques de Monthey parmi les objets les plus curieux, les plus remarquables et les plus instructifs que l'on puisse trouver dans les Alpes. Ces blocs jetant beaucoup de jour sur la cause probable du transport des débris erratiques, nous invitons les géologues qui visitent la Suisse occidentale, à aller voir ce dépôt vraiment extraordinaire. Nous recommandons également cette course aux peintres paysagistes, et à toutes les personnes d'un esprit assez cultivé pour aimer la contemplation des grands phénomènes de la nature et pour savoir en jouir. »

Il en ressort le caractère hautement pédagogique et représentatif de ce site à propos du transport des dépôts erratiques par les glaciers. Bien que bon nombre d'entre eux aient été exploités par les granitiers, ce site reste aujourd'hui extrêmement intéressant, autant d'un point de vue didactique, scientifique que touristique.

En effet, dès la première moitié du 19^{ème} siècle, la valeur scientifique des blocs erratiques de Monthey, qui commençait à peine à faire jour, s'opposa à leur valeur économique. Les tailleurs de pierre voyaient en ces blocs déposés "devant leur porte" une véritable aubaine à ne pas manquer. Ainsi, à partir du milieu du siècle, la plupart des blocs erratiques

exploitables ont commencé à disparaître inexorablement sous les coups des tailleurs de pierre, aidés par l'arrivée de granitiers tessinois et italiens qui importaient avec eux les techniques d'exploitation des roches dures. Cependant, petit à petit, les autochtones commençaient à s'inquiéter du sort de certains blocs remarquables, comme le mentionne Schardt (1908 : 556) : « *Chaque fois que les coins des carriers attaquaient un nouveau bloc, on se disait dans la contrée : "il faudra qu'au moins la Pierre des Marmettes soit épargnée"* ». Ainsi, en 1853, la protection des blocs erratiques valaisans commença lorsque le Grand Conseil valaisan décida de léguer à titre de don national deux blocs erratiques à Jean de Charpentier, la Pierre à Dzo et la Pierre de Mourguets, devenue par la suite Pierre à Muguet. Ils furent plus tard légués à la SVSN. Le bloc Studer fut quant à lui offert à la SVSN par M. Breganti, principal exploitant de blocs erratiques de la région (Schardt, 1908). Ce geste remarquable fut salué par la SVSN, qui grava son nom sur la face E du bloc en guise de remerciement. La même année, la SVSN créa une *Commission des blocs erratiques* et 28 blocs furent mis sous protection jusqu'en 1906, où elle devint la *commission pour la Protection de la Nature* (Delacrétaz, 1994). Une année plus tôt commença l'histoire mouvementée de la protection du plus beau et du plus grand des blocs, la Pierre des Marmettes. Notons encore que c'est en 1867 que Favre et Studer lance l'*Appel aux Suisses pour les engager à conserver les blocs erratiques*, qui suscita une mobilisation nationale et un vif intérêt sur le moment de la part de la population suisse, comme le souligne l'action pour la sauvegarde de la Pierre des Marmettes (Reynard, 2004b).

Le propriétaire du bloc, un certain M. Donnet, fit la promesse qu'il serait à jamais conservé. Mais, le 24 mai 1905, il rompit sa promesse en vendant le bloc à un granitier afin de l'exploiter dans les plus brefs délais. Des travaux d'approche en vue de l'exploitation avait même déjà été entrepris (fig. 6.1.9). Une vaste mobilisation générale des habitants de Monthey, de la commune, de la Société helvétique des Sciences naturelles (SHSN) et de particuliers de toute la Suisse permit, après trois ans d'effort et plus de 30'000 francs suisses⁶¹ réunis (!) pour l'achat du bloc et du terrain sur lequel il repose, de conserver à jamais ce bloc. C'est un véritable combat acharné qui a été mené contre le propriétaire sournois, qui mit tout en oeuvre pour faire capoter la tentative de sauvegarde. Le comité de la SHSN s'était adressé à la commission nouvellement créée pour la protection des monuments naturels et préhistoriques (*Naturschutz*), qui accepta avec empressement cette première importante tâche (Schardt, 1908). L'histoire de la protection de la Pierre des Marmettes en fait ainsi un véritable symbole pour les habitants de la région, mais marque également la fin de la protection et de l'intérêt des géotopes au profit des biotopes, qui vont être le centre d'intérêt principal de tout le 20^{ème} siècle avec la création en 1908 de la *Ligue suisse pour la protection de la Nature* (Delacrétaz, 1994).



Fig. 6.1.9 : Travaux d'approche en vue de l'exploitation de la Pierre des Marmettes (Siebenmann, 1935).

⁶¹ 26'000.- furent récoltés par la SHSN (12'000.- venant de la Confédération, 5'000.- du canton du Valais et 9'000.- de dons personnels!), les 4'000.- restant furent supportés par la commune de Monthey.

6.1.4 Caractéristiques touristiques

La moraine à blocs de Monthey, bien que largement dénudée par les tailleurs de pierre durant le 19^{ème} siècle, reste un site exceptionnel à tous points de vue. De plus, grâce à la sauvegarde de certains de ses blocs les plus impressionnants, il est encore possible de s'imaginer l'aspect qu'elle a dû avoir avant ce débitage intensif. Une simple ballade dans la forêt suffit à se rendre compte de la quantité exceptionnelle de blocs erratiques présents sur cette étroite bande morainique. Tout ceci donne à ce site une valeur éducative très élevée, démontrant à quiconque se rendant sur les lieux la capacité de transport d'un glacier, et donc la compréhension de l'extension passée du glacier rhodanien. Nous avons pu voir également (c.f. ch. 2.1) que les blocs erratiques, et en particulier ceux de Monthey, sont à l'origine de la théorie glaciaire et de sa diffusion. Leur lien avec la théorie glaciaire est donc très important. De plus, ils sont tous faciles d'accès, se situant soit aux abords de la ville ou dans la ville-même, soit dans la forêt environnante proches des sentiers pédestres. Et en tant que géotopes ponctuels de petite taille, le seul point d'observation se situe aux alentours des blocs. Seule la Pierre à Muguet se trouve sur un site "interdit", celui d'une carrière désaffectée. On peut toutefois y accéder facilement et sans danger. Les quatre blocs présentés étant protégés, leur intégrité est donc élevée. Trois points négatifs sont tout de même à relever : tout d'abord la Pierre des Marmettes se situe aujourd'hui au milieu d'un parking, ce qui dénature fortement le site, et le petit pavillon à son sommet est en voie de délabrement total et les inscriptions sont presque invisibles. Ensuite, soulignons que des inscriptions vandales sont présentes sur le versant N du Bloc Studer.

Sans faire l'énumération de toutes les offres touristiques offertes par la ville de Monthey, indiquons tout de même le parcours didactique *Scène sur le parcours de l'eau*, dont un des deux itinéraires propose une visite à la Pierre des Marmettes (entre l'arrêt 7 *Fontaine et eau potable* et l'arrêt 8 *gestion de l'eau "urbaine"*). C'est ce parcours qui est à l'origine du panneau didactique *Les blocs erratiques de Monthey*, présent à gauche de l'escalier montant au sommet du bloc. L'itinéraire no 3 de *Le Chablais dans les pas des archéologues* propose un parcours partant de Monthey et passant par Muraz et Barmaz notamment. Les itinéraires culturels internationaux *ViaCook* et *ViaFrancigena* traversent la zone d'étude, et sont donc indirectement proches de tous les sites présentés dans ce travail. Le site de Monthey ne fait pas exception. Toutefois, un des itinéraires culturels régionaux de *ViaRegio* est en lien direct avec la moraine à blocs de Monthey : le *chemin des Carrières de Collombey*. Il s'étend de Monthey à Vionnaz en passant par Muraz. Le lien entre les blocs erratiques de Monthey et la thématique de ce chemin paraît évident, bien que les prospectus n'en fassent pas mention. Une synergie pourrait ainsi être développée, mettant en avant le contexte de dépôt de ces blocs erratiques granitiques et leur exploitation intensive du 19^{ème} siècle. Un autre itinéraire régional est intéressant, *le Val d'Illiez*, qui part de Monthey pour rejoindre le Col du Clou par Troistorrents et Champéry. Notons encore que plusieurs kilomètres de parcours VITA sillonnent la forêt de Collombey-Muraz.

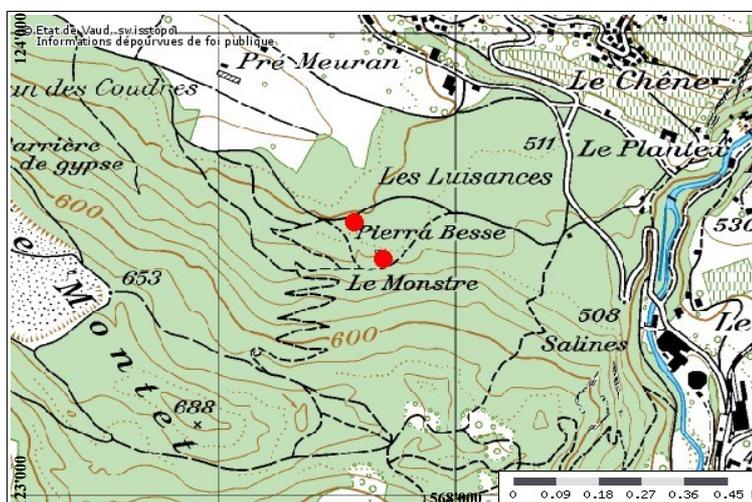
Comme on a pu le voir, la protection des blocs erratiques représente la première action d'envergure pour la protection d'objets naturels en Suisse. Suite à l'émergence de la théorie glaciaire, un réel engouement pour ces objets géologiques d'un autre âge s'est emparé de la

population suisse dès le milieu du 19^{ème} siècle, à un moment où ces blocs étaient les proies des tailleurs de pierre. Certains ont ainsi pu être sauvés grâce à une importante mobilisation de la population et font aujourd'hui partie du patrimoine naturel régional et national. Malheureusement, ils sont de nos jours délaissés par les organisations touristiques et de protection de la nature, qui ont axé leurs politiques sur le patrimoine biologique principalement et sur la conservation de la biodiversité. Pour preuve le manque total d'informations disponibles au sujet des blocs erratiques de Monthey, que ce soit sur le terrain ou auprès de l'Office de tourisme du Chablais ou de la ville de Monthey, exception faite de l'unique panneau didactique présent au pied de la Pierre des Marmettes. Un nouvel axe de développement touristique local et régional pourrait ainsi être développé, car force est de constater, après discussion avec de nombreuses personnes rencontrées sur le terrain, que trop peu de gens connaissent l'origine et l'histoire de ces géants granitiques d'un autre temps.

6.2 Les blocs erratiques du Montet (Bex, VD)

6.2.1 Description et caractéristiques

Fig. 6.2.1 : Situation des deux principaux blocs erratiques de Bex (points rouges), sur la colline du Montet.



En rive droite du Rhône, à environ 5 km à l'E de la moraine à blocs de Monthey, se trouvent deux énormes blocs erratiques dans la forêt de la colline du Montet à Bex : le Bloc Monstre et la Pierra Bessa, ou Pierra Besse (fig. 6.2.1). La colline du Montet est située au N de la ville de Bex et fait obstacle à l'embouchure de l'Avançon dans la plaine du Rhône, qui la contourne par le SE. Elle se trouve donc sur le territoire de la commune de Bex et occupe une superficie d'environ 2.5 km². Son point culminant atteint 688 m. La colline est en grande partie boisée ; seul son versant S a été déboisé pour permettre l'implantation d'un vignoble, qui jouit d'excellentes conditions climatiques. La géologie de la colline du Montet se compose de gypse et le versant N est recouvert par du placage morainique rhodanien et local (Badoux et al., 1960). La partie sommitale NW de la colline est entaillée par la carrière de gypse du Montet, la seule encore en activité.

De nombreux blocs erratiques de lithologie différente sont présents sur le versant N de la colline, qui peut par endroits faire penser au site de la moraine à blocs de Monthey. Toutefois, deux d'entre eux sortent largement du lot de par leur taille impressionnante : le Bloc Monstre et la Pierra Bessa.

Le **Bloc Monstre** (fig. 6.2.2) est de loin le plus gros bloc erratique de toute notre zone d'étude. Il se situe à une altitude de 520 m, le long du chemin pédestre accédant au sommet de la colline, qui le contourne par le SE. Ses coordonnées exactes sont 567'840/123'506. Il a une longueur et une largeur moyenne d'environ 15 m, pour une hauteur approximative de 20 m. Il a donc un volume moyen de 4500 m³, soit près de deux fois et demi la Pierre des Marmettes de Monthey! On peut dire que de Charpentier (1841 : 125) n'a pas choisi le nom de *Bloc Monstre* par hasard... Il est constitué de calcaire urgonien compact provenant des versants qui bordent la vallée de l'Avançon (Charpentier, 1841). Un autre bloc, plus petit mais également imposant, se trouve à quelques mètres au NNE. On peut lire sur le côté SE du Bloc Monstre l'inscription suivante : « *Bloc Monstre – Dédié à J. de Charpentier – 1837 – donné à la Soc. Vaud. d. Sc. Nat. par J. P. Bocherens - 1877* ».



Fig. 6.2.2 : à gauche : Le Bloc Monstre et son acolyte à droite. L'ellipse rouge (à gauche du bloc) entoure une bouteille de Rivella de 5dl, à peine visible tant les dimensions du bloc sont imposantes. A droite : La Pierra Bessa. Idem pour l'ellipse rouge au milieu de la base du bloc. Notez la fissure qui sépare le bloc en deux.

Le deuxième bloc erratique, la **Pierra Bessa** (fig. 6.2.2), est situé 90 mètres plus en contrebas en direction du NW, à une altitude de 510 m environ. Ses coordonnées sont 567'773/123'565. Il présente une base isocèle dont les deux côtés longs mesurent environ 17 m chacun et le côté court une dizaine de mètres, pour une hauteur de 20 m. Il a donc un volume approximatif de 1500 m³ (Charpentier, 1841). Son nom provient du patois « *besson* » qui signifie « *double* », car elle est fissurée perpendiculairement du sommet à la base, ce qui donne l'image de deux personnes, les bessons (soit les jumeaux) (Delacrétaz, 1994). C'est également un bloc de calcaire massif provenant de la vallée de l'Avançon. L'inscription suivante est visible sur sa face NW : « *Pierra-Bessa – Donnée à la Soc. vaud. d. Sc. Nat. par G. Grenier et F. Cherix - 1877* ».

Deux autres blocs assez imposants sont à souligner sur cette colline du Montet (fig. 6.2.3). Le premier se situe au sommet de la colline, à côté du chemin pédestre qui le contourne par le N. C'est le bloc du Pavillon de Fer, car un petit pavillon en fer à été installé sur son sommet. Il mesure 5-6 m de haut, pour une longueur de 10 m et une largeur de 5 m environ. Il a donc un volume approximatif de 500 m³. Le second est positionné sur le versant NW du Montet, à gauche de la route qui mène à la carrière de gypse. Il est également de taille plurimétrique, mais sa position sur un versant très pentu rend la mesure de ses dimensions difficile. Les deux blocs sont composés du même calcaire que le Bloc Monstre et la Pierra Bessa.



Fig. 6.2.3 : à gauche : Le Pavillon de Fer, avec son petit pavillon sur son sommet (flèche rouge). A droite : Bloc anonyme le long de la route de la carrière de gypse.

6.2.2 Morphogenèse

Nous renvoyons le lecteur au chapitre 6.1.2 pour l'explication de la morphogenèse des blocs erratiques et du rôle de transport de l'agent glaciaire.

Comme mentionné en introduction, la lithologie du matériel erratique présent sur la colline du Montet est hétérogène, contrairement à la moraine à blocs de Monthey. Les gros blocs erratiques calcaires, provenant des vallées de l'Avançon, reposent sur des dépôts erratiques cristallins originaires du Valais (Charpentier, 1841). Ceci nous indique la succession chronologique des événements : au LGM, le puissant glacier rhodanien obturait la progression du glacier de l'Avançon, qui ne pouvait que s'écouler parallèlement à ce dernier. Lors du retrait du glacier du Rhône, sa charge erratique se déposa. Puis, l'écoulement du glacier de l'Avançon n'étant plus dirigé par le glacier principal, il put s'étendre librement dans la plaine, recouvrant la colline gypseuse du Montet et déposant les énormes blocs calcaires. On peut donc affirmer que ces rochers se sont déposés tardivement, au moment où le complexe glaciaire rhodanien s'était retiré du bord de la plaine chablaisienne, à une époque contemporaine ou postérieure au stade de Monthey. Leur dépôt est donc contemporain ou postérieur à 17'000 BP, et antérieur à l'Interstade du Bølling-Allerød (12'600 – 11'000 BP), moment à partir duquel les Préalpes semblent avoir été totalement déglacées (Schoeneich, 1998a). Schoeneich (1999) précise quelque peu ceci en affirmant que le bassin chablaisien semble avoir été entièrement libre de glace depuis au moins 15'000 ¹⁴C BP.

6.2.3 Valorisation didactique

L'explication didactique au sujet du dépôt des blocs erratiques et de la capacité de transport d'un glacier se trouve au ch. 6.1.3.

Contrairement aux dépôts granitiques de Monthey, on trouve deux sortes de roches sur la colline du Montet : des roches cristallines, surmontées par des roches calcaires. Cela nous indique que les premières sont originaires du Valais, et donc qu'elles ont été amenées par le

grand glacier rhodanien, qui occupait toute la plaine du Rhône. Ce faisant, il barrait la route au glacier de l'Avançon, qui n'avait pas d'autres choix que de s'écouler parallèlement au glacier principal. En se retirant suite à sa fonte progressive, le grand glacier du Rhône déposa sur place tout ce qu'il transportait. On sait que le retrait glaciaire définitif du Chablais s'est déroulé après le stade de Monthey, donc il y a moins de 17'000 ans. Par la suite le glacier de l'Avançon, enfin libre de s'écouler normalement, recouvrit la colline du Montet. Lors de sa fonte, qui semble s'être définitivement terminée il y a 15'000 ans environ, il déposa à son tour le matériel qu'il transportait, recouvrant partiellement celui déposé par le glacier du Rhône. Les deux géants présentés précédemment, le Bloc Monstre et la Pierra Bessa, sont des gros morceaux de roches tombés sur le glacier de l'Avançon des versants calcaires bordant les vallées homonymes, puis transportés jusqu'en plaine et déposés tel quel lors de la fonte du glacier.

Les blocs erratiques du Montet, de par leur nature lithologique, ont échappé à la ferveur des tailleurs de pierre de l'époque, qui s'intéressaient surtout à des roches dures, granitiques, idéales pour la construction de fontaines, de péristyles, de marches d'escaliers, de base de pressoirs, de bornes, de ponts, etc.. Les calcaires, moins résistants que des granites, n'étaient pas très appréciés pour ce type de construction, et on les utilisait (et utilise encore aujourd'hui) principalement pour les fours à chaux ; la plupart des blocs erratiques calcaires provenant des Alpes avaient d'ailleurs disparu avant l'exploitation de leurs frères granitiques (Delacrétaz, 1994). Ceux du Montet font exception, d'où l'importance de leur protection.

5.6.4 Caractéristiques touristiques

Le versant N de la colline du Montet est un site remarquable pour plusieurs raisons : tout d'abord, de par le nombre important de rochers erratiques et surtout la présence de deux énormes blocs dont le plus grand de toute notre zone d'étude, la valeur éducative du site est élevée. En effet, une simple ballade dans cette forêt permet de se faire une idée de la capacité de transport des glaciers. Ensuite, se situant près de la demeure de Charpentier et ayant été utilisés par ce dernier comme preuve directe d'une grande extension passée des glaciers, le lien entre ces blocs erratiques et la théorie glaciaire est très important. De plus, c'est de Charpentier lui-même qui donna le nom de *Bloc Monstre* au plus gros des deux.

L'accès aux différents blocs est très facile, car ils se situent tous à côté du parcours VITA. Le Bloc Monstre et la Pierra Bessa appartiennent à la SVSN et sont donc sous protection. Le Pavillon de Fer n'a par contre aucune inscription, et doit donc être propriété de la commune de Bex, tout comme l'autre bloc anonyme. L'intégrité de ces blocs est élevée, mais deux points négatifs sont tout de même à relever : tout d'abord nous avons pu voir qu'un pavillon de fer a été construit au sommet du bloc du même nom. Cela rend ce dernier plus attractif et connu, mais dénature quelque peu le bloc. Ensuite, soulignons encore qu'une voie d'escalade a été installée sur la face W de la Pierra Bessa, bien qu'elle ne semble que très peu utilisée vu la rouille présente.

La forêt du Montet est un site très apprécié des promeneurs et sportifs de la région, qui viennent promener leur chien, se balader, faire du VTT ou courir sur les 2.4 km de parcours VITA proposés. Le site est ainsi déjà très fréquenté et connu de la population. Un sentier didactique intitulé *Le sentier du sel. Sur les traces de l'or blanc* a été inauguré en juin 2008. Il propose un parcours partant de Salin, sur les hauteurs d'Ollon, à la saline du

Bévioux sur le thème du sel et de ses enjeux, de la découverte de la première source salée de Suisse jusqu'à son exploitation industrielle dans les mines de sel de Bex. 26 thèmes sont développés tout au long du parcours, dont un qui nous intéresse en particulier faisant mention du Bloc Monstre : *De la Saline des Dévens au Bloc Monstre*. Ce type de sentier didactique, avec des panneaux bien réalisés, est un bel exemple de ce qui pourrait être effectué pour valoriser l'important patrimoine glaciaire du Chablais. Notons encore les célèbres mines de Sel de Bex, qui proposent toute une série d'activités et de visites à effectuer.

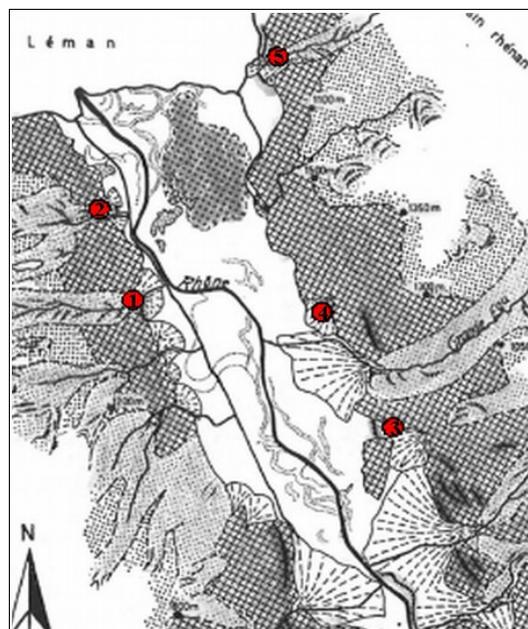
De nombreuses offres touristiques sont proposées par la commune de Bex⁶². Mais, à nouveau, aucune ne s'intéresse au patrimoine glaciaire. Un développement de propositions touristiques autour de cet axe ne pourrait que renforcer l'attractivité touristique régionale, vu le patrimoine glaciaire important présent entre Bex, Saint-Maurice et Monthey, qui représente un périmètre de 15 km environ. Et ce n'est pas Jean de Charpentier, véritable icône de la région et l'un des principaux acteurs du développement et de la diffusion de la théorie glaciaire, qui habitait qui plus est à quelques centaines de mètres des blocs erratiques, qui contredirait cette proposition. Bien au contraire, il serait certainement plutôt étonné du manque d'intérêt et de valorisation de ce patrimoine glaciaire exceptionnel.

62 www.bex.ch

6.3 Les deltas perchés

6.3.1 Description et caractéristiques

Fig. 6.3.1 : Situation des différents deltas perchés présentés (points rouges) avec, en rive gauche du Rhône (du S au N) : le site de Vouvry (1) et celui des Evouettes (2). En rive droite (du S au N) : le site d'Ollon (3), celui d'Yvorne (4) puis celui de la Tinière (5). Fond de carte : voir annexe 7.



La plaine chablaisienne se situe à une altitude moyenne de 410 m à l'aval du goulot d'étranglement de Saint-Maurice, pour s'abaisser progressivement jusqu'à 372 m à l'embouchure du Rhône. A la convergence des vallées latérales avec la vallée principale se sont développés des cônes de déjection, qui correspondent en fait à des deltas formés après le retrait glaciaire, lorsque la partie amont du Lac Léman atteignait Saint-Maurice (fig. 6.3.1). L'Homme les a par la suite colonisés en y implantant des habitations ou des vignobles.

En effet, nous verrons ci-après les raisons pour lesquelles ce type de terrain est idéal pour la viticulture. Une brusque rupture de pente est visible entre 400 et 410 m sur certains de ces deltas perchés ayant échappé aux constructions humaines, correspondant au bord d'érosion d'un Lac Léman stationnant à cette cote. Pour les autres, la progradation deltaïque suite aux abaissements successifs du niveau du lac a détruit les traces d'érosion du lac de 405 m. Dans le Chablais, on trouve des traces de cet ancien niveau lacustre en plusieurs endroits. On peut également retrouver cette terrasse glacio-lacustre sur une partie du pourtour du bassin lémanique, notamment à Lausanne où les terrasses glacio-lacustres et lacustres sont bien développées.

Les deux plus grands cônes de déjection du Chablais sont situés juste à l'aval du verrou de Saint-Maurice et déterminent le cours du Rhône. C'est le grand cône de la Vièze en rive gauche, sur lequel s'est implantée la ville de Monthey, ainsi que le puissant cône situé sur la rive opposée, formé par l'emboîtement de celui de l'Avançon et de la Gryonne. Aucune trace d'érosion n'est visible sur le cône de la Vièze, tandis qu'on peut en voir une au N de l'embouchure de l'Avançon dans le Rhône, au lieu-dit de la Tuilière. Toutefois, comme nous le verrons, elle ne semble pas correspondre à un bord d'érosion lacustre.

Le premier delta perché de la rive gauche se situe à **Vouvry**. Il correspondait à l'embouchure du Fossau, torrent parcourant le vallon du Flon, dans le paléolac Léman. En se référant à la carte géologique, le cône d'alluvions de Vouvry a une superficie d'environ 0.75 km². La vigne occupe encore une place importante sur le versant gauche, tandis que le versant droit est en majeure partie couvert d'habitations. Pourtant, c'est sur ce dernier que le bord d'érosion du lac de 405 m est encore bien visible (fig. 6.3.2) ; il s'étend sur un peu plus de 300 m du S au N, et ses coordonnées sont 557'470/131'600. Il est mis en évidence



Fig. 6.3.2 : Vue sur le bord d'érosion de Vouvry (à gauche) et sur celui des Evouettes (à droite), accentué par le trait rouge.

par la seule zone viticole encore présente sur ce versant, au-dessus de l'avenue de la Côte, qui se développe sur cette rupture de pente, à partir de 405 m jusqu'au niveau de la plaine.

Le second delta fossile de la rive gauche se trouve aux **Evouettes** : c'est le cône de déjection du Tové. Il a la particularité de comporter deux formations emboîtées l'une dans l'autre et des traces nettes d'un éboulement, semblables au cône d'Yvorne (Horwitz, 1911 ; Burri, 1962). La superficie totale du complexe des Evouettes représente environ 0.7 km². L'ensemble du complexe peut être clairement partagé en trois zones distinctes. La moitié S est entièrement couverte de vignobles et est traversée en son centre par le torrent canalisé du Tové. L'autre moitié peut être séparée en deux, une partie W boisée appuyée contre le versant et une zone d'habitation du côté de la plaine. Le bord d'érosion du lac de 405 m est surtout bien visible sur la moitié S, là où les vignes ont été implantées (fig 6.3.2).

En rive droite du Rhône, nous trouvons un premier bord d'érosion au N des collines de Saint-Triphon : il correspond au flanc droit du cône d'**Ollon**. Ce cône a une superficie totale d'environ 1,8 km² et a la particularité de se scinder en deux à cause de l'obstacle des collines de Saint-Triphon ; sa partie gauche vient se confondre avec le cône de la Gryonne, tandis que sa partie droite suit la dépression isolant les collines du versant de la vallée. Elle est marquée par un bord d'érosion bien visible à l'altitude de 400 m, sur lequel a été construite la route reliant Saint-Triphon Village aux collines du même nom (fig 6.3.3).



Fig. 6.3.3 : Le bord d'érosion d'Ollon. Le trait rouge marque la rupture de pente.

Le cône d'**Yvorne** (fig. 6.3.4) se situe 4 km plus à l'aval du bord d'érosion d'Ollon. Il montre clairement deux formes : une sorte de petit cône allongé en forme de langue, reposant sur un grand cône régulier, qui rejoint sur son flanc gauche le puissant cône de déjection de la Grande-Eau sur lequel a été bâtie la ville d'Aigle. On pourrait donc penser que nous sommes en présence de deux cônes superposés, mais nous verrons qu'il n'en est rien. L'ensemble du complexe couvre une superficie approximative d'un peu plus de 0.8



Fig 6.3.4 : à gauche : Le delta d'Yverne avec le dépôt de l'événement de 1584 (entouré en rouge). À droite : Le delta perché de la Tinière, avec la rupture de pente soulignée par le trait rouge.

km². Aucun bord d'érosion d'un lac à 405 m n'est présent, mais une rupture de pente est bien dessinée à 420 m. Le site reste tout de même intéressant par rapport à cet hypothétique cône superposé et à sa grande ressemblance avec un delta perché.

Le dernier cône de la rive droite se situe à Villeneuve : c'est celui de la **Tinière** (fig. 6.3.4). Il ne fait donc plus partie de la vallée du Rhône strictement parlant, mais est intéressant car il présente un bord d'érosion du niveau lacustre de 405 m bien marqué. L'ensemble du cône de déjection fait un peu plus de 0.5 km². La Tinière, canalisée, coupe le cône en deux parties égales : la partie S est en majorité couverte de vignobles et le bord d'érosion y est bien visible, tandis que de nombreuses habitations sont présentes sur la partie N.

6.3.2 Morphogenèse

Lors du retrait glaciaire rhodanien, jalonné de phases de stagnation et de récurrence (c.f. ch. 2.2.3), un lac proglaciaire se développa dans le Chablais, correspondant à la plus importante extension du Lac Léman qui atteignait alors le verrou de Saint-Maurice. Des deltas se développèrent à l'embouchure des torrents des vallées latérales. Le lac stationna un certain temps à la cote de 405 m, ce qui permit l'élaboration d'une terrasse glacio-lacustre, que l'on retrouve dans le Chablais ainsi que sur le pourtour lémanique. Cette terrasse dite « de 30 m » est complexe et s'échelonne en fait en 3 ou 4 niveaux différents, situés entre 410 et 390 m. Je renvoie le lecteur à l'article de Schoeneich (1999a) pour plus de renseignements au sujet du problème posé par cette « terrasse de 30 m » et des terrasses lémaniques en général, qui ont fait couler beaucoup d'encre. Par la suite, le lac s'abaissa progressivement par étapes, construisant respectivement une terrasse de 10 et 3 m, pour atteindre son niveau actuel. Il connut même un niveau plus bas que l'actuel lors de l'*Atlantique* (5200-5000 ¹⁴C BP) et du *Subboréal* (4500-2500 ¹⁴C BP), à 368-369 m, comme nous le prouvent les stations archéologiques littorales immergées du Néolithique et de l'Age du Bronze (Gallay & Kaenel, 1981 ; Corboud, cité par Schoeneich, 1999b).

6.3.2.1 Remplissage sédimentaire du bassin chablaisien

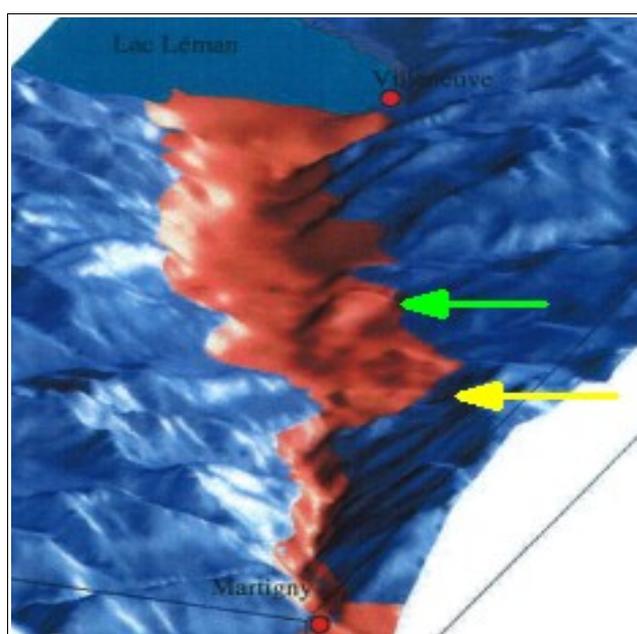
Le paléolac Léman avait une profondeur importante dans le bassin chablaisien, comme nous le montrent les résultats des campagnes de sismique-réflexion et de modélisation gravimétrique du fond rocheux de la plaine du Rhône (Finger & Weidmann, 1988 ; Finckh & Frei, 1991 ; Finckh & Klingele, 1991 ; Besson et al., 1992 ; 1993 ; Rosselli, 2001). Ainsi, nous pouvons évaluer de manière relativement précise la profondeur du substratum rocheux, dont voici l'épaisseur du remplissage sédimentaire en quelques endroits (une vue d'ensemble de la vallée du Rhône sans son remplissage sédimentaire est présentée à la fig. 6.3.5) (Rosselli, 2001):

<i>Localité</i>	<i>Noville</i>	<i>Roche</i>	<i>Aigle</i>	<i>Collombey</i>	<i>Massongex</i>	<i>Lavey-les-Bains</i>	<i>Dorénaz</i>	<i>Branson</i>
<i>Épaisseur des sédiments (m)</i>	784	925	877	540	135	550	690	500

Tableau 6.3.1 : Épaisseur du remplissage sédimentaire en différents points de notre zone d'étude (Rosselli, 2001).

De plus, on peut aujourd'hui affirmer que ce remplissage est essentiellement glacio-lacustre. Nos connaissances stratigraphiques de ce remplissage sont bien moindres, mais on peut tout de même préciser, grâce notamment aux nombreux forages de faible profondeur (de 8 à 70 m) effectués pour la construction de l'autoroute, que seules les quelques dizaines de mètres supérieures sont d'origine lacustre et fluviale post-glaciaire (Freymond, 1971 ; Finger & Weidmann, 1988 ; Schoeneich, 2004). De ce fait, le remplissage glacio-lacustre très important s'est déroulé en un temps très court par rapport à la puissance qu'il représente, ce qui signifie que le taux de sédimentation était très élevé, de l'ordre de 100 mm/an, voire plus (Finger & Weidmann, 1988).

Fig. 6.3.5 : Modèle géométrique 3D de notre zone d'étude, à partir du MNA25 de l'Office Fédéral de Topographie et de l'interpolation des résultats de la modélisation gravimétrique. En rouge apparaît le remplissage sédimentaire de la plaine du Rhône. Notez le verrou de Saint-Maurice (flèche jaune) et celui de Saint-Triphon (flèche verte), ainsi que l'important surcreusement respectivement à l'amont et à l'aval de ceux-ci. (Rosselli, 2001, modifié).



6.3.2.2 Formation des deltas perchés

Lorsqu'un cours d'eau arrive dans un plan d'eau, sa dynamique va brusquement changer. D'une part, il n'est plus confiné par les berges de son lit et va donc s'étendre en largeur ; d'autre part, sa vitesse va soudainement diminuer, permettant le dépôt de sa charge sédimentaire selon une stratification particulière : la série sommitale (topset beds) correspond à du matériel grossier, le premier à se déposer (petits clastes, graviers, sables grossiers). Les strates sont presque horizontales. Ensuite vient se déposer la série correspondant à la progradation du delta (foreset beds), qui est inclinée de 30-35°. Ce sont des petits graviers et des sables. Pour finir on trouve les dépôts de fond (bottomset beds), qui correspondent aux particules en suspension (sables fins, limons et argiles) qui se déposent en fines strates au devant du complexe deltaïque. Cette structure sédimentaire caractéristique permet de reconnaître facilement un dépôt deltaïque et représente, en raison de sa porosité, un type de terrain idéal pour la viticulture entre autres, une fois émergé cela va de soit.

Les différents deltas fossiles présentés précédemment se sont développés dans un lac stationnant à 405 m, formant une terrasse aux alentours de 400 - 410 m. C'est le cas par exemple du cône tronqué de **Vouvry**, où la partie supérieure de l'escarpement correspond à une terrasse glacio-lacustre, inclinée en direction de la plaine (Horwitz, 1911 ; Burri, 1962).

La forme des **Evouettes** est par contre un peu plus complexe, comprenant deux formations emboîtées l'une dans l'autre. Selon Gagnebin (1938) et Badoux (comm. orale, cité par Burri, 1962), la forme supérieure correspond à une moraine locale déposée par le glacier des Evouettes lors d'une récurrence glaciaire du Tardiglaciaire, car sa surface n'est effectivement pas régulière. Horwitz (1911 : 88) considère plutôt cette formation comme les traces nettes d'un éboulement « *qui a glissé comme une masse demi-fluide (il rappelle un paquet semblable, dû aussi à l'éboulement, sur le cône d'Yvorne [...])* ». Elle ressemble en effet à celle d'Yvorne. De plus, il signale la présence de petits blocs peu ou pas arrondis. Quant à Burri (1962), il émet l'hypothèse d'un cône fluvio-glaciaire construit lors de la décrue du glacier local. Quoi qu'il en soit, la rupture de pente à 405 m atteste bien de la présence du lac à cette cote, qu'elle corresponde à un bord d'érosion (origine lacustre) ou à une limite d'accumulation du cône (origine fluviale ou fluvio-glaciaire), démontrant que le lac s'est maintenu après la récurrence des glaciers locaux (Burri, 1962). Des forages permettraient de préciser quelque peu la genèse de ce complexe des Evouettes.

Le bord d'érosion d'**Ollon** est par contre bien étudié, des forages profonds effectués pour le compte de la CEDRA⁶³ ayant permis son analyse sédimentologique. Il en ressort une séquence de progradation deltaïque (fig. 6.3.6), et la pétrographie des graviers permet d'attribuer ce delta à la Gryonne ou à l'Avançon ; il se serait donc développé avant 15'000 ¹⁴C BP dans un lac latéral au glacier rhodanien, ce dernier obligeant le cours d'eau à le longer en direction d'Ollon (Schoeneich, 1999b).

En ce qui concerne le cône d'**Yvorne**, l'hypothétique cône supérieur décrit précédemment correspond en fait au dépôt de l'éboulement et de la lave torrentielle du 1^{er} au 4 mars 1584, qui partit de Plan-Falcon sur Corbeyrier et détruisit ce village ainsi qu'une bonne partie de celui d'Yvorne (Horwitz, 1911 ; Berger, 1993 ; Badoux & Onde, 1996). La masse éboulée

63 Conditionnement et Entreposage de Déchets Radioactifs.

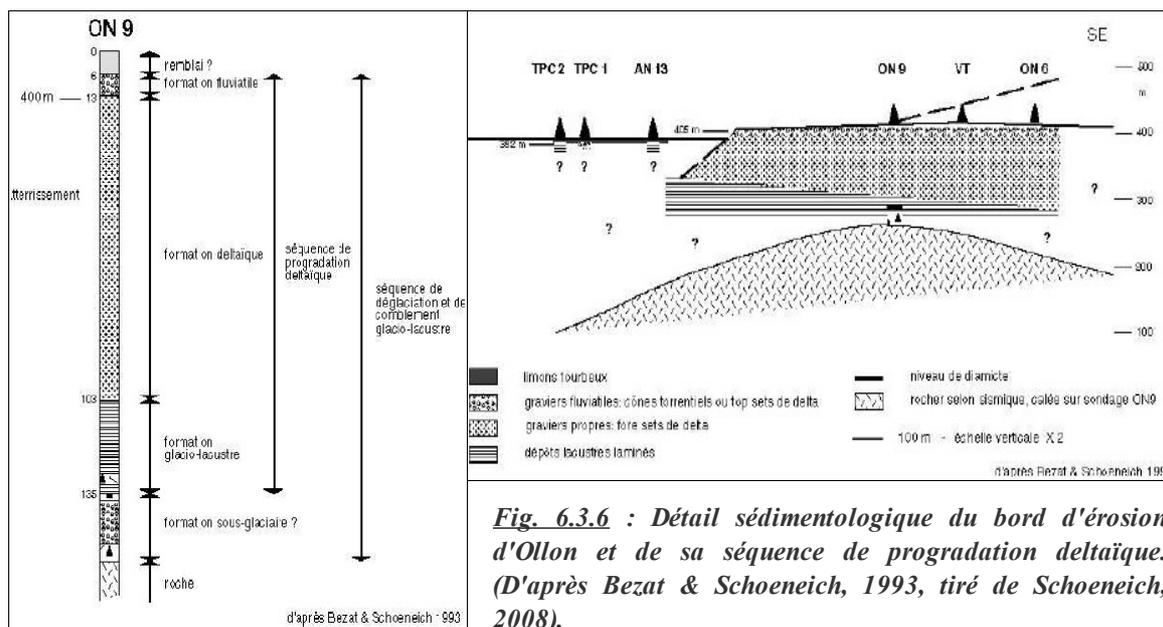


Fig. 6.3.6 : Détail sédimentologique du bord d'érosion d'Ollon et de sa séquence de progradation deltaïque. (D'après Bezat & Schoeneich, 1993, tiré de Schoeneich, 2008).

avait un volume de 10^7 m^3 et 328 personnes trouvèrent la mort⁶⁴. Il n'a donc aucun lien avec un quelconque delta perché, bien que sa ressemblance puisse induire en erreur.

Le delta de la **Tinière** montre un magnifique delta perché parfaitement préservé sur son flanc gauche grâce à l'implantation du vignoble. La rupture de pente est particulièrement bien marquée à 400 m environ, accentuée par la présence d'un petit chemin viticole indiquant la ligne de rivage du paléolac. Ce site est d'autant plus intéressant qu'une grotte taillée dans des poudingues se trouve juste à côté, la *grotte du Scex*, où des découvertes archéologiques datées de 10'000 ans av. J.-C. ont été effectuées par Taillefer en 1868 et 1869⁶⁵ (Corboud, 1999).

Soulignons encore que le bord d'érosion du cône d'alluvions de la Gryonne, situé au N de l'embouchure de l'Avançon dans le Rhône au lieu-dit de la Tuilière, est considéré par Burri (1962) comme une cote du niveau lacustre de 405 m. Il se situe en effet le long de la cote de 400 m. Cependant, après analyse détaillée, Klaasen (1976) attribue plutôt une origine fluviatile à ce bord d'érosion plutôt que lacustre. En effet, au vu du tracé actuel du Rhône qui suit la même courbure, on serait tenté d'attribuer cette érosion à un ancien cours du Rhône.

Pour finir, ajoutons que le comblement du bassin chablaisien va résulter de différents facteurs agissant à différentes échelles, que l'on peut résumer ainsi (Schoeneich, 1999b) : le comblement vertical lacustre, processus lent (bien qu'il soit particulièrement rapide dans ce cas-ci comme on l'a vu plus haut), mais affectant tout le bassin ; le comblement latéral par les différentes progradations deltaïques, processus rapide mais localisé ; le comblement horizontal SE-NW par progradation du delta du Rhône (fig. 6.3.7). La dynamique fluviatile, avant les corrections du Rhône et les différents barrages alpins, véritables pièges à sédiments, apportait également sa contribution au comblement du bassin chablaisien. Ajoutons encore que la dynamique des progradations deltaïques latérales va dépendre de la topographie du fond rocheux, plus précisément du versant sous

64 www.quanterra.org, consulté en avril 2009.

65 www.speleo-lausanne.ch, consulté en avril 2009. Voir Corboud (1999) pour plus de détails à ce sujet.

le niveau de la plaine alluviale ; un versant très escarpé va forcer le delta à s'étendre sur la profondeur, limitant son développement horizontal, tandis qu'un versant peu raide permettra une plus grande extension horizontale. La figure 6.7.2 (c.f. ch. 6.7) illustre parfaitement cette différence ; le versant gauche est peu escarpé avec un delta bien étendu sur la longueur, tandis que le versant droit est nettement plus raide avec un delta peu étendu mais nettement plus profond.

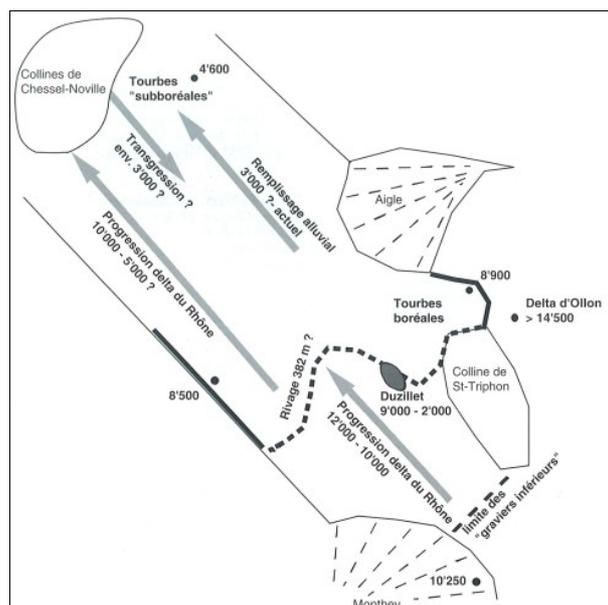


Fig. 6.3.7 : Représentation schématique des phases de remplissage du bassin chablaisien. Les âges sont en ^{14}C bruts (Schoeneich, 1999b).

6.3.3 Valorisation didactique

Un delta se forme quand un cours d'eau rencontre une masse d'eau, grâce à deux processus principaux. Premièrement, le cours d'eau n'est plus limité de côté par ses berges et va ainsi pouvoir s'étendre latéralement, en prenant une forme d'éventail. Deuxièmement, sa vitesse d'écoulement va brusquement diminuer en arrivant dans le plan d'eau, ce qui permet le dépôt de tout ce qu'il transporte suivant un ordre bien précis. Les éléments les plus gros (cailloux, graviers, sables grossiers) vont se déposer en premier et peuvent être vus comme la continuité du lit de la rivière. Ensuite les éléments moyens (petits graviers, sables) vont se déposer sur la pente du delta en progression selon un angle de 30-35°. Puis, au-devant de cette pente, là où le courant est le plus faible, se déposent les particules les plus fines (sables fins, limons et argiles). Cette arrangement particulier permet de reconnaître facilement un ancien delta et donne une terre excellente pour la culture. Ceci explique (en partie seulement!) la qualité des vignobles chablaisiens.

Lors du retrait par étapes des glaciers présents dans la plaine du Rhône chablaisienne, un lac s'est formé au-devant du glacier. C'est le début de la formation du Lac Léman actuel. Il atteignait le verrou de Saint-Maurice lors de son niveau le plus haut, qui se situait environ à 405 m. Il stationna un certain temps à cette cote, ce qui permit l'élaboration de deltas à l'embouchure des différents cours d'eau des vallées latérales. Ce niveau est d'ailleurs présent en de nombreux endroits sur les rives lémaniques. On l'appelle grossièrement « terrasse de 30 m », bien qu'elle se situe entre 20 et 40 m au-dessus du niveau actuel de 372 m⁶⁶. Puis le niveau du Léman s'abaissa par étapes d'une manière générale, formant une terrasse de 10 m et une terrasse de 3 m, pour arriver à son niveau actuel. Les deltas qui s'étaient formés dans le lac de 405 m se sont donc retrouvés émergés, dévoilant leur forme caractéristique en éventail, avec une rupture de pente vers 405 m. Ce changement de pente nous indique la ligne de rivage du Lac Léman lors de son niveau le plus haut. Ces deltas

⁶⁶ Voir Schoeneich (1999a) pour plus de précisions.

sont aujourd'hui fossiles, les processus à la base de leur formation n'étant plus en activité, et se situent plusieurs mètres au-dessus du niveau de la plaine, d'où leur nom de deltas « perchés ».

Le Lac Léman dans le bassin du Chablais avait une profondeur importante, de l'ordre de plusieurs centaines de mètres. On connaît aujourd'hui relativement bien la profondeur du fonds rocheux de la vallée du Rhône grâce à l'usage de différentes méthodes géophysiques. Le tableau 6.3.1 nous indique l'épaisseur des sédiments présents dans le bassin chablaisien, donc également la profondeur du fond rocheux (c.f. fig. 6.3.5). On peut voir par exemple qu'il se situe à près de 1000 m sous le niveau actuel de la plaine à hauteur de Roche, c'est-à-dire plus de 600 m en-dessous du niveau de la mer! De plus, bien qu'on ne connaisse pas grand chose sur ces sédiments, on peut tout de même affirmer qu'une part substantielle est d'origine morainique et surtout fluvio-glaciaire. Puis viennent les sédiments purement lacustres, seules les quelques dizaines de mètres supérieures étant d'origine fluviale.

6.3.4 Caractéristiques touristiques

Pour reconnaître et apprécier les deltas perchés, une connaissance théorique préalable est requise, sans quoi ils passent totalement inaperçus, contrairement à des géomorphosites comme les blocs erratiques par exemple. Ceci dit, une fois cette théorie acquise, leur valeur prend tout de suite plus d'ampleur et l'on se rend vite compte du rôle important de témoins du niveau lacustre de 405 m qu'ils représentent. Leur valeur éducative peut donc être considérée comme moyenne à élevée, une bonne approche théorique de leur morphogenèse étant indispensable. En ce qui concerne l'intégrité des différents sites, elle peut être considérée comme moyenne à bonne, ceci pour deux raisons : tout d'abord, pour que le delta perché et sa rupture de pente soient visibles, il faut qu'ils soient exempts de toute habitation. Nous pouvons effectivement voir que c'est grâce à l'implantation d'un vignoble que les différents sites ont pu être préservés, à l'exception du bord d'érosion d'Ollon. Toutefois, les traces anthropiques sont tout de même présentes sur tous les sites, que ce soit de petits chemins viticoles (Evouettes, Tinnière, Yvorne), des routes (Ollon) ou des habitations (Vouvry), les cônes de déjection étant des zones d'implantations anthropiques très appréciées. L'intégrité des sites est donc variable selon le lieu. Leur accessibilité est par contre très facile et les meilleurs points d'observation se situent aux abords des deltas voire légèrement en altitude (versant S de la colline de Plantour pour le site d'Ollon ou versant NW d'Yvorne par exemple). Le lien avec la théorie glaciaire est par contre inexistant.

Les différents deltas perchés couvrent l'ensemble du Chablais ; il serait donc autant inutile qu'ennuyeux pour le lecteur d'énumérer toutes les offres touristiques disponibles. Ces dernières dépendent du delta perché choisi. Cependant, les autres sites présentés dans ce travail couvrant relativement bien la plaine chablaisienne, je renvoie le lecteur à ceux situés à proximité du delta perché choisi pour une connaissance des différentes propositions touristiques et synergies possibles. Toutefois, on peut tout de même noter les synergies possibles entre différents sites présentés dans ce travail et certains deltas perchés : le complexe des Evouettes, en plus de sa proximité géographique, a un lien évident avec le site de Chessel-Noville. Et comme vu au chapitre 5.1.4, on ne saurait se rendre aux collines de Saint-Triphon sans faire un arrêt préalable au bord d'érosion d'Ollon.

6.4 La cascade de la Pissevache

6.4.1 Description et caractéristiques

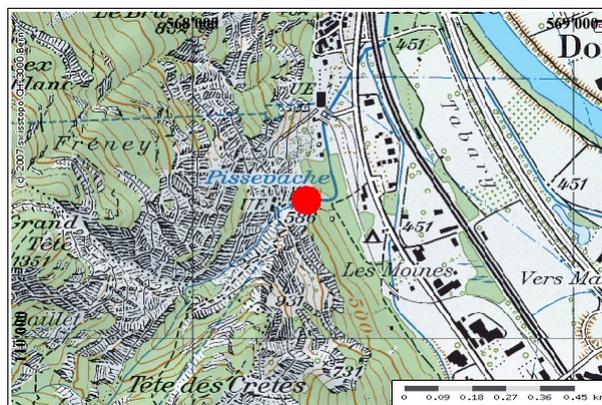
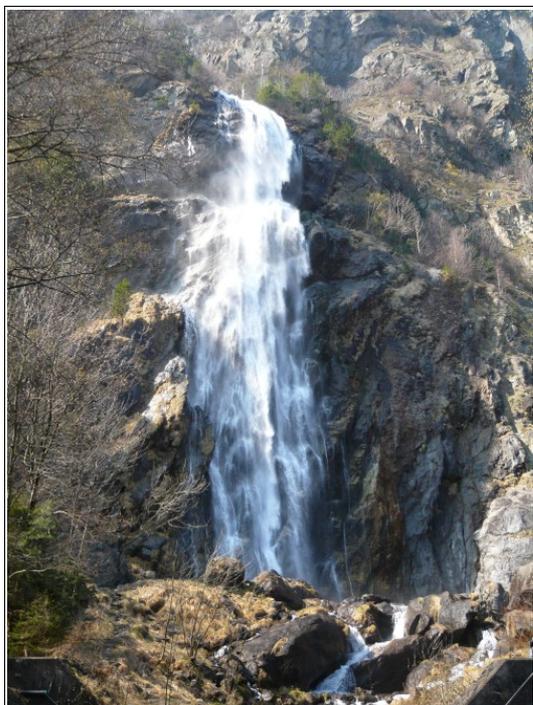


Fig. 6.4.1 : à gauche : La cascade de la Pissevache. Ci-dessus : Situation de la cascade (point rouge).

Le site de la cascade de la Pissevache se trouve en rive gauche du Rhône à environ 9 km à l'amont du verrou de Saint-Maurice, à Miéville sur la commune de Vernayaz (VS) (fig. 6.4.1). Ses coordonnées sont 568'250/110'360. La cascade s'étend de 585 m à 520 m au NNE de la Tête des Crêtes (1046.8 m) et a donc une hauteur de 65 m. Elle est alimentée par les eaux de la Salanfe, provenant des bassins versants de la Saufla à l'W (12.8 km²) et de la Salanfe (18.4 km²), qui, après avoir passé les gorges du Dailley⁶⁷, viennent se jeter dans la plaine du Rhône par la cascade de la Pissevache. Les environs immédiats de la cascade sont assez sauvages, avec un petit sentier pédestre partant du restaurant-hôtel-camping « *La Cascade* » en direction de la Pissevache (une barrière en bois sécurisant les alentours de la cascade est d'ailleurs présente), puis longeant le versant en direction du S à travers une jolie petite zone boisée, jonchée de blocs éboulés et de ruines. Notons que la cascade jouit également d'un éclairage nocturne.

Le nom de *Pissevache* n'est pas unique à la cascade. Pissevache est le nom de quelques ruisseaux du pays romand et savoyard, ainsi que d'un alpage du val de Bagnes⁶⁸ (LSPN, 1947). Il provient du nom donné aux grandes fougères qui sont supposées être diurétiques pour le bétail (Fellay et al., 2000, tiré de henrysuter.ch). On peut également citer le nom de Pissechèvre, qui est une cascade située près de Lavey.

⁶⁷ Voir Kozlik (2006) pour une évaluation des différents géomorphosites de la région.

⁶⁸ www.henrysuter.ch, consulté en avril 2009.



Fig. 6.4.2 : La cascade de la Pissevache vue du N, par Lory Gabriel père (1811). (tiré de la base de données VIATICALPES).

Aujourd'hui, les installations hydroélectriques perturbent largement l'écoulement naturel de ce bassin versant de plus de 30 km² ; deux stations de pompage (Giétroz du fond et Clusanfe), un barrage sur le verrou gneissique de Salanfe créant un lac de retenue de 40 mio de m³, une conduite forcée ainsi que la centrale de Miéville à proprement parler ont été construits. Autrefois, à l'époque où aucune infrastructure ne venait perturber la Salanfe, la cascade de la Pissevache avait un débit nettement supérieur et représentait un des sites les plus spectaculaires et visités des Alpes (fig. 6.4.2 et 6.4.3).

La cascade de la Pissevache a une longue histoire. Sans faire l'historique complet de ce géomorphosite, notons qu'elle est déjà citée dans des récits de voyage au 16^{ème} siècle, notamment par l'humaniste allemand Sébastien Münster, et constituera l'une des attractions principales des voyageurs romantiques s'aventurant dans la vallée du Rhône (Reichler & Ruffieux, 1998). Les plus célèbres artistes, écrivains, naturalistes ou voyageurs de l'époque s'en inspirent (LSPN, 1947 ; Reynard, 2005 ; Kozlik, 2006) : André César Bordier (1773) dit qu'elle « offre l'image de la Nature retournant à grand pas à son premier chaos », Goethe (1779) écrit qu'elle « mérite plus que beaucoup d'autres sa renommée. [...] Nous désirâmes de pouvoir passer à cette place des heures et des jours ». Citons encore Rousseau, de Haller, Beattie (1830), Javelle (1833), Flaubert (1845) ou encore Rambert (1865) et Ramuz, qui vantent tous ce phénomène naturel remarquable, chacun à sa manière. D'autres au contraire, comme par exemple l'écrivain genevois Rodolphe Töppfer (1836 et 1837), la dénigrent : « (Le vallon entre Martigny et St-Maurice) est néanmoins un des vallons les plus ingrats de la Suisse [...]. La cascade elle-même est nue, mal encadrée entre toutes les cascades, sans compter son ignoble nom ». « Plus nous visitons Pissevache, ou du moins plus nous avons l'occasion de voir d'autres cascades, moins celle-ci nous paraît mériter sa réputation. Elle n'a ni encaissements mystérieux, ni végétations élégantes ou fortes, ni entourage séduisant ».

Elle représente ainsi une attraction touristique majeure pour tout voyageur se rendant dans cette partie des Alpes. Ce géomorphosite a de ce fait une haute valeur culturelle de part son importance historique, littéraire et artistique (fig. 6.4.2 et 6.4.3). Toutefois, on commença petit à petit à essayer de dompter sa puissance énergétique, tout d'abord en y captant l'eau



Fig. 6.4.3 : La cascade de Pissevache vue du S, par Jean Antoine Linck (1789). © Bridgeman Art Library / Musee Marmottan, Paris, France (tiré de www.bridgemanartondemand.com).



Fig. 6.4.4 : Ruine de l'ancienne fabrique de crosses de fusil, qui se situe quelques mètres à peine au S de la cascade.

pour actionner une tannerie⁶⁹, puis pour approvisionner une scierie qui fabrique des crosses de fusil en bois dès 1842, dont les ruines sont encore présentes (fig. 6.4.4). Une première centrale électrique est construite à la fin du 19^{ème} siècle, marquant les prémices de la « catastrophe » à venir. Dans la première moitié du 20^{ème} siècle, les cours d'eau alpins attisent la convoitise de l'industrie hydroélectrique grandissante et le site de Salanfe ne fait pas exception. Une importante controverse nationale a lieu dès 1945 entre les protecteurs du patrimoine alpin, qui soulignent la haute valeur symbolique du site de Salanfe et de Pissevache, et les industriels, qui voient en ces eaux fougueuses une perte d'énergie considérable qu'il faut utiliser. La Ligue suisse de sauvegarde du patrimoine (*Heimatschutz*) et la Ligue suisse pour la protection de la nature (*Naturschutz*) mettent tout en oeuvre pour stopper le projet. Toutefois, l'aménagement hydroélectrique est construit entre 1947 et 1952, et désormais la cascade n'est plus que l'ombre de sa gloire d'antan, un mince filet d'eau ayant remplacé le puissant flot admiré par tant de voyageurs dès le 16^{ème} siècle.

La région de Salanfe a par contre été récemment valorisée avec la réalisation d'un sentier didactique par Sandro Benedetti⁷⁰, dans le cadre de l'*Espace Mont-Blanc*, sur mandat de la commune d'Evionnaz⁷¹.

6.4.2 Morphogenèse

La puissance du complexe glaciaire rhodanien a profondément surcreusé la vallée du Rhône lors des épisodes glaciaires pléistocènes, surcreusement proportionnel à l'épaisseur de la masse glaciaire entre autres. Ainsi, les glaciers des vallées latérales, plus petits, ne vont pas pouvoir surcreuser pareillement leur fond rocheux, et il en résulte un gradin de confluence avec présence de vallées latérales suspendues. C'est le cas dans la région de Salanfe. Suite au retrait glaciaire, le thalweg de la vallée latérale va chercher son profil d'équilibre en entaillant le gradin de confluence par érosion fluviale régressive. Dans notre cas, la Salanfe effectue cette action érosive via deux processus fluviaux : le

⁶⁹ www.vernayaz.ch, consulté en avril 2009.

⁷⁰ www.bureaubenedetti.ch

⁷¹ Se référer à la brochure de Benedetti et al. (2000) ainsi qu'au mémoire de Rouiller (2002) pour plus de renseignements.

creusement d'une gorge de raccordement (les gorges du Dailley) et la cascade de la Pissevache. Les gorges sont taillées dans des granites, tandis que la cascade se trouve sur des gneiss. On est donc en présence de deux sites témoignant de l'évolution postglaciaire du réseau hydrographique régional. De plus, la cascade de la Pissevache est la seule cascade de raccordement postglaciaire de la plaine du Rhône valaisanne, et certainement l'une des plus belles de Suisse. Notons encore que ce travail d'incision fluviale a probablement déjà commencé lors de la dernière période glaciaire par les écoulements sous-glaciaires. Ceci est encore plus évident pour les puissantes gorges du Trient, qui n'a pas pu éroder pareillement le substratum gneissique en moins de 10-15'000 ans. Cela signifie donc que la morphogenèse des gorges a pu débuter par l'érosion des écoulements sous-glaciaires lors de la dernière grande glaciation, voire même être postérieure à celle-ci. Ainsi, la morphogenèse des deux sites, très certainement synchrone, s'est opérée de manière différentielle selon différents paramètres (taille et lithologie du bassin versant, charge sédimentaire, accidents géologiques, etc.).

6.4.3 Valorisation didactique

Nous avons pu voir au chapitre 6.3.2 que le fond rocheux de la vallée du Rhône se situe plusieurs centaines de mètres sous le niveau actuel de la plaine. Ceci est dû au surcreusement du glacier du Rhône, qui avait une épaisseur de plusieurs milliers de mètres lors des grandes glaciations (c.f. ch. 2.2.3.3). Les glaciers des vallées latérales, moins épais, n'ont pas pu entailler leur vallée avec la même puissance ; il en résulte une différence de niveau (nommé "gradin de confluence") entre la profonde vallée principale et les vallées latérales. On appelle d'ailleurs ces dernières "vallées suspendues", car leur thalweg est situé nettement plus haut que celui de la vallée principale (fig. 6.4.5). Et une fois que les glaciers se sont retirés, il y a un peu plus de 10'000 ans, les cours d'eau des vallées latérales vont chercher à éliminer cette différence de niveau selon deux processus : le creusement de gorges et la formation de cascades. La Salanfe a ainsi formé la cascade de la Pissevache et a creusé des gorges (les gorges du Dailley, situées environ 1000 m à l'amont de la cascade de la Pissevache). Moins de 2 km au SE, les gorges du Trient nous montrent le même phénomène d'incision des parois latérales de la vallée du Rhône, mais dans des dimensions plus grandes, car le Trient a une puissance abrasive plus importante. Ainsi, nous pouvons admirer sur un petit espace les deux formes fluviales de réajustement du relief après une grande glaciation. Toutefois, il est tout à fait probable que ce travail d'érosion ait déjà commencé lors des glaciations par les écoulements sous-glaciaires (c.f. ch. 5.1.3).

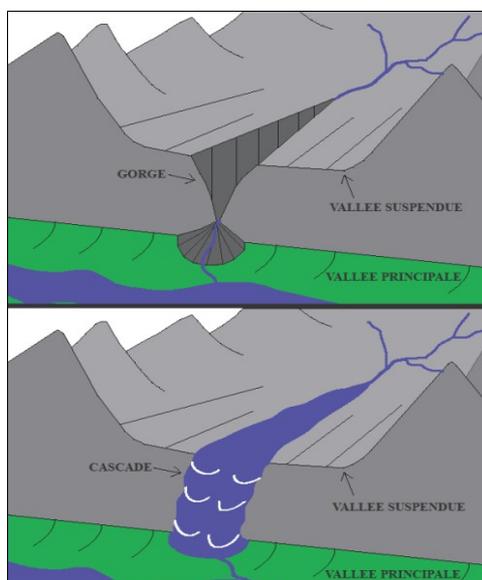


Fig. 6.4.5 : Schéma de formation des gorges (en haut) et des cascades (en bas) de raccordement postglaciaire.

6.4.4 Caractéristiques touristiques

La cascade de la Pissevache est le seul exemple de cascade de raccordement de la vallée du Rhône valaisanne, et est particulièrement représentative de l'évolution postglaciaire du système hydrographique régional. C'est donc un site exemplaire de réajustement du relief après une grande glaciation, qui est accentué par la proximité des gorges du Dailley plus à l'amont et par celles du Trient 2 km au SE, ainsi que par l'immense cône de déjection de Saint-Barthélémy 4 km au N. Sa valeur éducative est donc particulièrement élevée, ce qui est confirmé par le travail d'évaluation de Kozlik (2006) qui lui attribue un score maximum. Son intégrité est par contre moyenne, le site ayant particulièrement souffert des installations hydroélectriques. Cependant, les environs de la cascade sont encore relativement bien préservés comme mentionné auparavant et, bien que moins spectaculaire qu'à l'époque, elle attire toujours les sens des curieux s'y rendant. L'accessibilité au site est très facile, un parking et un hôtel-camping-restaurant se situant à moins d'une minute. Le lien avec la théorie glaciaire est par contre nul. Et en ce qui concerne les points d'observation, on peut l'admirer depuis ses bords ainsi que de relativement loin ; elle est par exemple bien visible depuis l'autoroute. Une vue depuis les hauteurs donne un autre spectacle : selon Goethe (1779), « *si l'on s'élève d'avantage, on jouit encore d'un plus beau phénomène* » (cité par Kozlik, 2006 : 98).

Les offres touristiques aux abords du site ne sont pas très fournies. La principale attraction est bien entendu les gorges du Trient, qui se trouvent à moins de 2 km au SE et qui attirent des dizaines de milliers de visiteurs chaque année. Sinon, nous pouvons noter la présence du *Labyrinthe Aventure* d'Evionnaz, qui est le plus grand labyrinthe permanent du monde. Les itinéraires culturels *Via Cook* et *Via Francigena* passe à travers la région. On peut également souligner le passage d'un des itinéraires de la *Via Alpina*, chemin de randonnée pédestre alpin reliant Monaco à Trieste. C'est l'itinéraire rouge R107 *Col du Demècre > Vernayaz/Pissevache*. Les chemins bibliques & archéologiques proposent également un circuit passant par Pissevache.

Pour conclure, on peut affirmer que le site de la cascade de la Pissevache est remarquable pour plusieurs raisons évoquées précédemment, et mérite vraiment le détour. Il est relativement bien encadré et garde quelque peu un caractère sauvage, bien que la présence anthropique se fait vite sentir dès que l'on s'éloigne du petit sentier pédestre. Et comme le souligne Reynard (2005), on peut retracer toute l'évolution dans la perception des paysages et leur protection à travers l'étude des textes et iconographies du site de la cascade de la Pissevache, ce qui ne fait qu'accentuer l'importance de ce site unique. Une synergie avec les gorges du Trient devrait ainsi être réalisée afin de revaloriser cette cascade et ce site mériterait également un panneau culturel le long de l'autoroute.

6.5 Les gorges du Trient

6.5.1 Description et caractéristiques

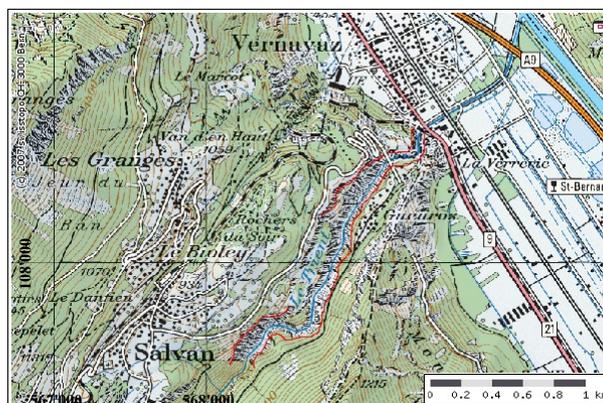


Fig. 6.5.1 : à gauche : Vue sur l'entrée des gorges du Trient (Kozlik, 2006). Ci-dessus : Situation des gorges (entourées par un trait rouge).

Les gorges du Trient sont situées en rive gauche du Rhône à 3.5 km de la ville de Martigny, sur la commune de Vernayaz (VS) (fig. 6.5.1). C'est le site le plus méridional de ce travail. Leurs coordonnées sont 568'875/108.200. Orientée SW-NE, elles s'étendent d'une altitude de 840 m au SE du village de Salvan à 460 m à leur débouché au SE de Vernayaz, pour une longueur totale de 2200 m. La pente moyenne du thalweg est relativement faible (3.1°) (Kozlik, 2006). Le Trient, affluent latéral du Rhône à l'origine de ces gorges, recueille les écoulements d'un bassin versant de 160 km^2 ⁷². Il a profondément entaillé les gneiss, créant des parois verticales atteignant plus de 200 m par endroits. Les gorges sont actuellement classées à l'Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale (IFP). Le Pont de Gueuroz, véritable monument de génie civil, enjambe les gorges à 187 m de hauteur, sur une longueur de 170 m environ. Construit dans les années 1930, il a été longtemps le plus haut pont d'Europe. Dans les années 90 un nouveau pont a été construit à côté de l'ancien, victime du temps et de l'augmentation du trafic.

Tout comme la cascade de la Pissevache présentée au chapitre précédent (ch. 6.4), les gorges du Trient ont passionné les voyageurs dès l'époque romantique et n'ont cessé depuis de susciter l'admiration. Les grands noms de l'époque (de Haller, Goethe, Töppfer, Gautier, Bordier, etc.) ont décrit, par l'écriture ou la peinture, ce paysage à la fois magnifique et terrifiant. Mais contrairement à la cascade de la Pissevache qui a vu son intérêt diminuer dès le 20^{ème} siècle suite à l'exploitation hydroélectrique de ses eaux, les gorges du Trient continuent d'être un site majeur d'intérêt touristique, accueillant en moyenne 15 à 20'000 visiteurs chaque année. Un an après la construction des premières infrastructures d'accès en

⁷² www.idealp.ch, consulté en avril 2009.

1861, le site accueillait déjà plus de 4'000 visiteurs, et 15'000 curieux les visitèrent dix ans plus tard en 1871 (Berrebi, 2006). A la fin du 20^{ème} siècle, les gorges accueillait 15 à 20'000 visiteurs par année. Mais, en septembre 2000, un accident mortel conduit à la fermeture des gorges au public. D'importants travaux de consolidation sont entrepris : en 2002, la rénovation des passerelles des gorges nécessite d'importantes purges des parois rocheuses et la pose de filets de protection⁷³. Les gorges réouvrent en 2003 et, en 2004, un sentier didactique avec création de panneaux didactiques et postes interactifs est réalisé par Elisabeth Fierz-Dayer⁷⁴, sur mandat de la société exploitante des gorges, *Trient Nature* (Berrebi, 2006). Aujourd'hui, on vise les 30'000 visiteurs annuels avec l'ouverture d'une via ferrata et l'intégration au site de la forteresse militaire.

6.5.2 Morphogenèse

La morphogenèse des gorges de raccordement à été expliquée au chapitre 6.4.2. Nous rajouterons ici quelques remarques de détail.

On peut affirmer que le creusement des gorges est d'origine fluviale car différentes traces d'érosion fluviale sont visibles sur les parois, tandis qu'on en trouve aucun d'origine glaciaire. C'est donc bien le Trient et son importante charge détritique cristalline, provenant des différentes formations sédimentaires qu'il traverse (sandur, moraines, éboulis, cônes de déjection, etc.), qui est responsable de leur formation. Il a donc une puissance érosive plus importante que celui de la Salanfe, dont une bonne partie de la surface du bassin versant est située dans des roches sédimentaires, qui a creusé des gorges plus petites (celles du Dailley) et formé une cascade (la Pissevache).

6.5.3 Valorisation didactique

Une valorisation didactique est déjà présente dans les gorges du Trient comme nous avons pu le voir. Je renvoie le lecteur au chapitre 6.4.3 pour la valorisation didactique de ce phénomène de raccordement postglaciaire.

6.5.4 Caractéristiques touristiques

Les gorges du Trient ont une valeur éducative élevée car elles sont particulièrement imposantes et il est possible de voir de ses propres yeux l'érosion encore active du Trient. Leur intégrité peut être considérée comme bonne, bien que des infrastructures aient été installées dès le milieu du 19^{ème} siècle déjà pour permettre leur visite. L'accessibilité au site est facile, et les points d'observation se trouvent sur le site même ou depuis le pont de Geuroz. Les gorges du Trient, tout comme la cascade de Pissevache, n'ont par contre aucun lien avec la théorie glaciaire.

Une offre touristique étant déjà disponible et bien fournie avec la création d'un sentier

⁷³ www.risknat.org, consulté en avril 2009.

⁷⁴ Pour plus de renseignements, se référer à Fierz-Dayer E. (2004). *Les gorges du Trient (VS, Suisse) : une expérience de valorisation du patrimoine géologique et géomorphologique*.

6. Les sites postérieurs au LGM

didactique en 2004, le site des gorges du Trient ne demande pas de valorisation touristique supplémentaire. Par contre, une synergie avec la cascade de la Pissevache serait intéressante à développer, les deux sites représentant chacun un type de raccordement fluvial postglaciaire d'une vallée latérale suspendue avec la vallée centrale.

6.6 Le cône du Bois-Noir

6.6.1 Description et caractéristiques

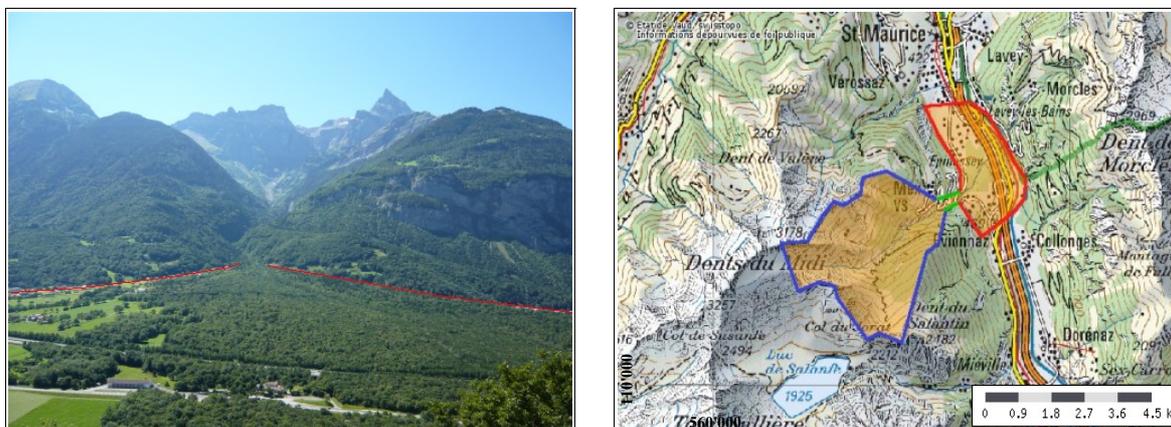


Fig. 6.6.1 : *à gauche* : Le cône de déjection du Saint-Barthélémy (trait rouge) avec la forêt du Bois-Noir. *À droite* : Situation du cône de déjection, avec indication des 3 parties du torrent du St-Barthélémy : trait bleu = bassin de réception, trait vert = chenal d'écoulement, trait rouge = cône de déjection.

Le cône du Bois-Noir correspond au cône de déjection du torrent du Saint-Barthélémy, qui se trouve en rive gauche du Rhône à 4 km à l'amont du verrou de Saint-Maurice (fig. 6.6.1). Le torrent recueille les écoulements d'un bassin versant de 12 km² environ, pour former un cône de déjection couvrant une superficie approximative de 4.5 km². C'est le plus puissant cône de déjection de la vallée du Rhône après ceux de l'Ilgraben et de Chamason, bien qu'ici l'encaissement de la vallée lui donne un aspect plus impressionnant que ce dernier. Il atteint plus de 3.5 km de largeur maximale, pour une longueur de plus d'1.5 km. Le Rhône s'abaisse de 23 m sur les 4.05 km de son parcours au bord du cône, qui joue un rôle de seuil naturel où se développent des rapides (Horwitz, 1911 ; Montandon, 1931). C'est d'ailleurs à cet endroit que le Rhône y a sa déclivité la plus importante en Suisse, et c'est le seul endroit de la vallée du Rhône, avec celui de l'Ilgraben, où la rivière est encore sauvage. La puissance du cône est telle qu'il rejette complètement le Rhône contre le versant opposé, où aucun cône de déjection n'a pu se former. Le cône du Bois-Noir commence à 600 m d'altitude à hauteur du village de la Rasse, pour se terminer à 450 m environ ; il a donc une pente de 9 % environ. On peut le diviser en trois parties selon l'occupation du sol : les parties N et S du cône ont été déboisées pour l'implantation humaine avec les villages d'Epinassey au N et d'Evionnaz au S, tandis que la partie centrale du cône de déjection correspond au Bois-Noir à proprement parler. Cette forêt est une pinède à bruyère, où s'est développée une grande biodiversité avec la présence de pins sylvestres, érables, bouleaux, sapins blancs, de nombreux buissons et fleurs comme la bruyère, ainsi que d'une plante rare : le cyclamen pourpre. On y trouve également une faune importante (chevreuils, cerfs, sangliers, lynx, divers espèces de poissons, etc.)⁷⁵. Un sentier didactique a été créé afin de découvrir ce biotope étonnant. Malheureusement, le cône est traversé de part et d'autre par la route cantonale, l'autoroute et la voie de chemin de fer, qui coupent une voie de transit autrefois empruntée par le gros gibier.

⁷⁵ www.saint-maurice.ch, consulté en avril 2009.

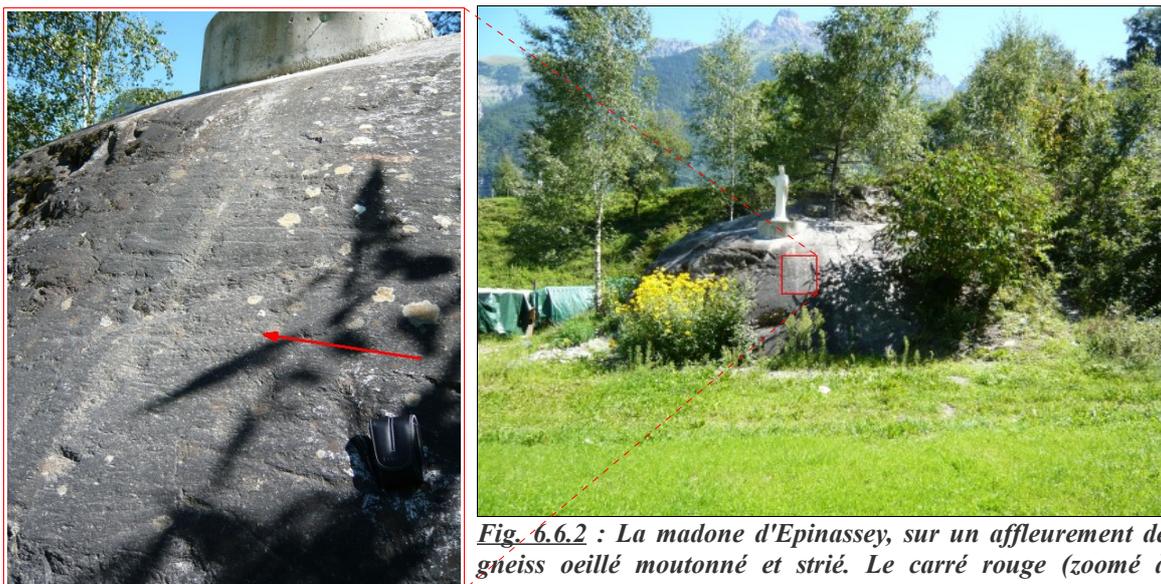


Fig. 6.6.2 : La madone d'Epinassey, sur un affleurement de gneiss ocellé moutonné et strié. Le carré rouge (zoomé à gauche) montre les stries glaciaires (du S au N).

On peut encore noter la présence d'une magnifique roche moutonnée sur le flanc gauche du cône à Epinassey, au lieu-dit de *la madone d'Epinassey* (fig. 6.6.2)⁷⁶. C'est un affleurement de gneiss ocellé d'une dizaine de mètres de long pour 5 m de large, moutonné et strié par le passage du glacier. Il se situe à 486 m d'altitude aux coordonnées 566'920/115'650.

6.6.2 Morphogenèse

Le site du Bois-Noir représente un exemple d'école d'un système torrentiel ; le bassin de réception en forme d'entonnoir (érosion), le chenal d'écoulement (transport) et le cône de déjection (dépôt) en forme d'éventail sont parfaitement représentés et distincts. Le torrent du Saint-Barthélémy, à l'origine du puissant cône, se caractérise par un potentiel de charriage très important. Les raisons qui ont conduit à la formation d'un tel cône peuvent être d'origines diverses⁷⁷ (Horwitz, 1911 ; Montandon, 1931) : tout d'abord le bassin de réception est très encaissé, avec des versants raides où l'érosion est particulièrement active, notamment lors d'épisodes pluvieux importants et de la fonte des neiges. De plus, le thalweg se situe au contact des gneiss du massif cristallin des Aiguilles Rouges avec les roches sédimentaires (marnes et flysch) de la nappe de la Dent de Morcles ; ce contexte géologique particulier partage le bassin de réception en deux ce qui favorise le développement de grands éboulements, chaque versant réagissant différemment au creusement du thalweg et à l'érosion météorique. Le versant N, correspondant à la nappe de Morcles, est particulièrement instable et fournit une grande partie du matériel charrié par le torrent. On peut encore ajouter le fait que des dépôts de moraines locales et d'éboulements représentent également des stocks sédimentaires constamment grignotés et emportés par les ruisseaux et le torrent principal.

De nombreux événements catastrophiques ont été recensés et sont à la base de cette importante accumulation détritique, qui a toutefois dû commencer à se former bien avant

⁷⁶ Je remercie au passage M. Burri de m'avoir transmis cette information (comm. orale).

⁷⁷ www.quanterra.org, consulté en avril 2009.

les premiers témoignages, datant de l'époque romaine⁷⁸ (Montandon, 1931 ; Reynard, 2008b). En 1635 et 1636, un important éboulement suivi de différentes laves torrentielles ont obstrué hermétiquement le Rhône, créant un lac de barrage. C'est d'ailleurs à cette époque que les habitants de la région changèrent le nom de *torrent de la Marre* pour celui de *torrent du Saint-Barthélémy* et prièrent pour ce saint, espérant ainsi apaiser son caractère destructeur⁷⁹. Deux siècles plus tard, en 1835, le même phénomène de barrage se produisit. On peut encore noter des laves torrentielles importantes en 1869, 1877, 1888, 1891, 1926, 1927, 1930 et 1970. Différents barrages ont été construits sur le lit du torrent afin de diminuer sa puissance et sa charge détritique (fig. 6.6.3). Cinq barrages d'environ 25 m de haut ont été construits de 1931 à 1939, un en 1975 et le dernier en 1984. D'importants travaux de réfection de ces ouvrages ont été effectués de 2000 à 2003 pour un coût total de 3 mio de francs⁸⁰, ce qui nous indique les frais importants occasionnés par ce type de processus géomorphologiques particulièrement destructeurs et difficilement domptables.

Ce site représente ainsi, après ceux de la cascade de la Pissevache et des gorges du Trient, un autre exemple de réajustement postglaciaire du système hydrographique et des versants. Le torrent du Saint-Barthélémy a d'ailleurs également creusé des gorges et formé une cascade.



Fig. 6.6.3 : Détail d'un des barrages torrentiels du Saint-Barthélémy (tiré de www.esm-group.ch).

6.6.3 Valorisation didactique

Un système torrentiel se caractérise par trois zones aux formes et fonctions bien distinctes (fig. 6.6.4) : la partie supérieure correspond au **bassin de réception** qui, comme son nom l'indique, réceptionne les précipitations (neige, pluie). Il a une forme en entonnoir, avec des pentes raides où l'érosion est très active, et va alimenter en eau et en débris rocheux le torrent. Vient ensuite le **chenal d'écoulement**, partie étroite où vont se concentrer les écoulements, créant le torrent en tant que tel. C'est une zone de transition qui joue le rôle de transport de débris rocheux entre la partie supérieure et la partie inférieure. Cette dernière est appelée **cône de déjection** ; elle a une forme en éventail et correspond à la zone de dépôt du matériel transporté par le torrent. C'est une zone caillouteuse-graveleuse à pente assez faible, sur laquelle une importante végétation va s'installer. La forêt du Bois-Noir est une réserve naturelle où l'on peut découvrir

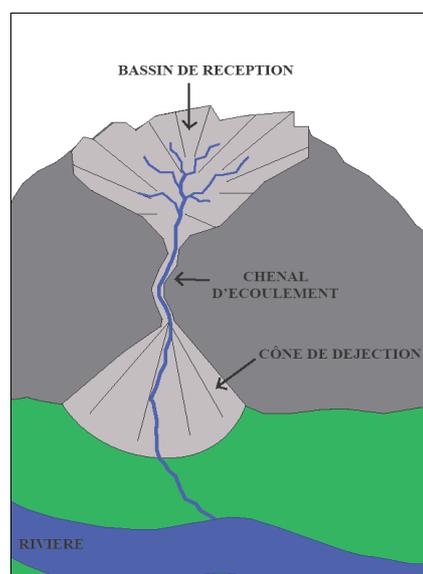


Fig. 6.6.4 : Schéma représentant les 3 parties d'un système torrentiel.

78 www.quanterra.org, consulté en avril 2009.

79 www.evionnaz.ch, consulté en avril 2009.

80 www.esm-group.ch, consulté en avril 2009.

une flore et une faune très diversifiées.

Le système torrentiel du Saint-Barthélémy a connu différents événements catastrophiques, répertoriés au sous-chapitre précédent, qui correspondent à des coulées soudaines de boue et blocs de toutes tailles, d'une puissance impressionnante, dévastant tout sur leur passage ; on les appelle des **laves torrentielles**. Elles se produisent souvent suite à des éboulements des versants et/ou des épisodes de pluies intenses. Afin de limiter au maximum les dégâts causés par ces débâcles, on a construit durant le 20^{ème} siècle différents barrages torrentiels (c.f. fig. 6.6.3) , qui ressemblent à un gradin d'une vingtaine de mètres de haut, sur le lit du torrent afin de limiter le volume des blocs transportés et la puissance du torrent.

6.6.4 Caractéristiques touristiques

Le cône du Bois-Noir représente un des plus beaux exemples de cône de déjection de la vallée du Rhône avec celui de Finges (torrent de l'Illgraben). La morphologie du système torrentiel du Saint-Barthélémy fait apparaître clairement les trois parties distinctes du système. Sa valeur éducative est donc élevée, le site étant particulièrement représentatif de ce type de modelé alpin. L'intégrité du site est par contre moyenne, d'une part car la vitalité du torrent a été limitée par les aménagements de retenue, et d'autre part car le cône du Bois-Noir a été partiellement anthropisé : il a été en partie déboisé sur ces bords afin de permettre l'implantation humaine, et une route cantonale ainsi que l'autoroute et une voie de chemin de fer le traversent. Cependant, la réserve naturelle du Bois-Noir représente un biotope important et le tronçon du Rhône contournant le cône est le seul à être encore sauvage avec celui du cône de l'Illgraben. L'accessibilité au site est aisée et la visite de la réserve naturelle du Bois-Noir est facilitée par l'implantation d'un sentier didactique. Le point d'observation va par contre dépendre de l'intérêt de l'observateur ; il faut se rendre dans la forêt même pour admirer sa diversité biologique, par contre il faut prendre un peu de hauteur pour bien apprécier le système torrentiel dans son ensemble. La montée en direction du village de Morcles offre par exemple une superbe vue sur le site. Enfin, pour se rendre compte de la puissance de l'obstacle que ce cône représente pour le Rhône, il faut prendre un peu de recul en direction de Martigny. Une belle vue sur le cône de déjection ainsi que sur le verrou de Saint-Maurice s'offre à nous depuis de la plaine ou depuis les hauteurs, comme par exemple sur la pointe N du Mont d'Ottan vers Gueuroz.

Le site du cône du Bois-Noir, avec ceux de la cascade de la Pissevache et des gorges du Trient, représente un exemple parfait d'évolution postglaciaire du réseau hydrographique. On a ainsi, sur à peine 7 km, trois sites illustrant de manière exemplaire différents processus géomorphologiques de réajustement des versants. Ce caractère unique, que l'on ne trouve nulle part ailleurs dans la vallée du Rhône suisse, mériterait donc d'être un peu plus mis en avant. Car force est de constater qu'aucune offre touristique ne présente ces sites de ce point de vue là. Je renvoie le lecteur aux chapitres 6.4.4 et 5.2.4 pour un aperçu des différents propositions touristiques disponibles. La grande affluence des gorges du Trient pourrait ainsi être "utilisée" afin de valoriser un peu plus les deux autres sites, nettement mis à l'écart.

6.7 Les collines de Chessel-Noville

6.7.1 Description et caractéristiques

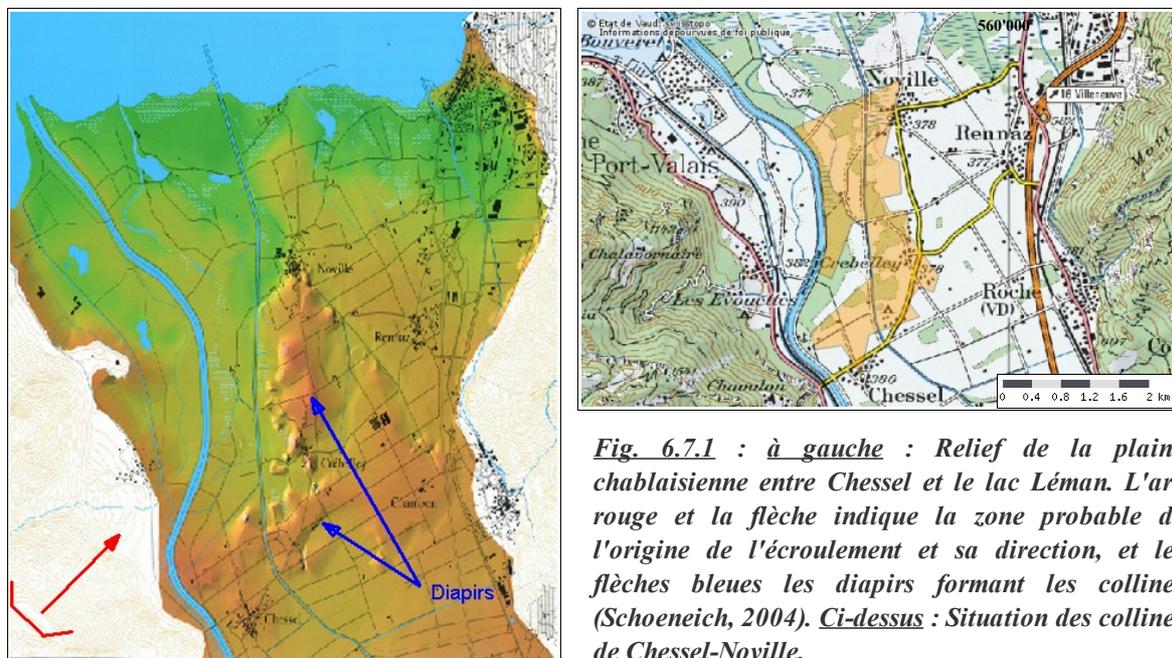


Fig. 6.7.1 : à gauche : Relief de la plaine chablaisienne entre Chessel et le lac Léman. L'arc rouge et la flèche indique la zone probable de l'origine de l'écroulement et sa direction, et les flèches bleues les diapirs formant les collines (Schoeneich, 2004). Ci-dessus : Situation des collines de Chessel-Noville.

Dans la partie septentrionale de la plaine chablaisienne se trouvent différentes petites collines, d'une hauteur de quelques mètres à moins d'un mètre, étalées entre 2 et 4 km à l'amont du lac Léman. Elles forment plusieurs arcs concentriques N-S en rive droite du Rhône, dont la hauteur diminue en direction de l'E (fig. 6.7.1). On peut les situer grossièrement aux coordonnées 558'400/135'200. Elles se situent sur les communes de Chessel, Roche, Rennaz et Noville, dont les territoires sont en très grande majorité exploités par l'agriculture. Seules quelques zones boisées sont encore présentes à l'emplacement des collines.

Les collines de Chessel-Noville ont intrigué les scientifiques depuis le milieu du 19^{ème} siècle et ont fait l'objet de très nombreuses publications à propos de leur morphogénèse. Ce n'est que dans la deuxième moitié du 20^{ème} siècle que les techniques modernes de prospection géophysique ont permis de lever le voile sur l'origine de leur formation. Toutefois, ces résultats n'ont fait que soulever un autre débat, celui de l'origine historique de l'événement à la base de leur formation.

6.7.2 Morphogénèse

Sans faire l'historique complet des tentatives d'explication de la morphogénèse de ces étranges collines, rappelons dans les grandes lignes les différentes théories émises. Trois théories se sont "affrontées" durant plus d'un siècle (Bersier, 1953 ; Burri, 1962 ; Schoeneich, 2004) : d'un côté on trouve les partisans des restes d'un éboulement historique,

celui du Tauredunum (Blanchet, 1843 ; Troyon & Morlot, 1853 ; Favre & Schardt, 1887 ; Schardt, 1908 ; Montandon, 1937), et de l'autre les partisans d'une origine glaciaire, correspondant soit aux restes de moraines frontales du glacier du Rhône (Venetz, 1841 ; Penck & Brückner, 1909 ; Jeannet, 1916 ; Montandon, 1937) soit à du matériel fluvioglaciaire remanié par le glacier local des Evouettes (Gagnebin, 1938 ; Bersier, 1953 ; Burri, 1962). Mais un point essentiel était inconnu de tous à cette époque, c'est la profondeur des sédiments de la vallée du Rhône en général.

Ainsi, lorsque les campagnes de prospection géophysique ont été entreprises et que la profondeur du fond rocheux de la vallée du Rhône fut connue (c.f. ch. 6.3.2.1 et annexe 11), les hypothèses glaciaires ont pu être définitivement écartées, le fond rocheux se trouvant à 790 m sous le niveau de la plaine alluviale à hauteur de Crebelley (fig. 6.7.2 et

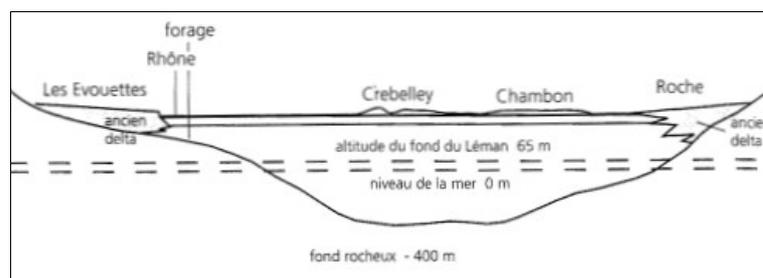


Fig. 6.7.2 : Coupe schématique de la vallée du Rhône à hauteur des collines. Notez la profondeur du fond rocheux. (Schoeneich, 2004).

annexe 11). Les partisans de l'éboulement avait donc raison, mais en partie seulement. En effet, les collines ne correspondent pas au dépôt de l'éboulement en tant que tel comme ils le pensaient, mais à des sédiments du delta du Rhône soulevés et liquéfiés suite à l'impact de l'éboulement dans la plaine. La masse de l'éboulement, qui correspond au volume total des collines, a été estimée à environ 30 millions de m³ (Schoeneich, 2004)! Il semblerait que cet éboulement corresponde à un écroulement historique, celui du *Tauredunum*, reporté par deux chroniqueurs en l'an 563 après J.-C.. Nous reparlerons de ce point ci-après. A titre de comparaison, le volume de l'éboulement de Randa de 1991 a également été estimé à 30 mio de m³. Les blocs trouvés dans les collines, analysés par Badoux, proviennent de la région du Grammont et du vallon de la Dérochiaz (Burri, 1962). L'éboulement est donc parti soit de la Dérochia au NE du Grammont, soit de la Suche. Personnellement, je pencherais plutôt pour la zone de la Suche pour deux raisons : d'une part un éboulement de ce volume partant du fond du vallon de la Dérochia aurait profondément bouleversé, voire détruit, la structure deltaïque des Evouettes, ce qui n'est pas du tout le cas. D'autre part, le versant NE sous la Suche présente clairement des traces d'un important éboulement, avec une paroi verticale tronquée à la patine plus fraîche, et un dépôt d'éboulement sur son versant. (fig. 6.7.3). Ajoutons encore que des blocs de « Couches rouges » trouvés dans les matériaux éboulés confirment cette hypothèse (Schoeneich, 2004). De plus, le phénomène de diapirisme qui s'est produit nous donne encore une autre indication sur la géographie de la région : les sédiments rhodaniens sablo-limoneux sur lesquels la masse s'est éboulée devaient être mal consolidés et gorgés d'eau, puisqu'ils ont été partiellement liquéfiés, poussés en avant et plissés sous l'énorme pression induite par

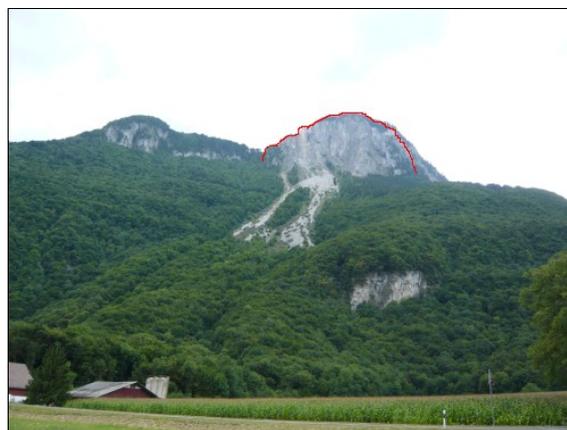


Fig. 6.7.3 : Vue sur la zone de la Suche, avec indication de la paroi tronquée (trait rouge). Notez le dépôt encore visible sous la paroi.

l'impact. Le rivage du Léman se trouvait donc plus à l'amont au moment de l'éboulement. Si l'on reprend l'hypothèse du Tauredunum, on peut situer la ligne de rivage lacustre environ 1 km plus à l'amont que l'actuelle à cette époque grâce à une discontinuité dans les sédiments deltaïques révélée par la sismique (Schoeneich, 2004). Soulignons encore deux points : premièrement l'arc des collines s'interrompt à hauteur de Noville, à environ 1 km de la ligne de rivage actuelle, ce qui semble apporter une preuve supplémentaire à l'hypothèse du Tauredunum pour la formation des collines de Chessel-Noville. Secondement, une tuile romaine a été découverte dans les sédiments déformés, confirmant une datation contemporaine ou post-romaine de l'éboulement.

Ceci étant dit, il faut également parler quelque peu des autres conséquences de cet éboulement. Tout d'abord, il semble que la puissance de l'impact ait induit un glissement sur le front du delta provoquant une turbidite, générant un tsunami dévastant les rives du Léman, ses habitants et ses infrastructures (Dupuy, 2006 ; Schoeneich et al., 2007). Différentes sources relatent les dégâts causés par ce tsunami, qui a fait des ravages à Genève notamment (destruction du pont de Genève!), étant amplifié par le resserrement du Petit Lac. L'autre conséquence de l'éboulement est la modification de l'hydrographie locale, guidant le cheminement du Rhône.

6.7.2.1 Le Tauredunum

L'écroulement du Tauredunum de l'an 563 avant J.-C. est reporté par deux chroniqueurs du Moyen Age, Marius d'Avenches et Grégoire de Tours. En résumé et de manière indirecte, les indications du premier semblent le placer près du lac, c'est-à-dire dans la zone qui nous intéresse, tandis que Grégoire de Tours situe l'écroulement à l'amont du verrou de Saint-Maurice. Je renvoie le lecteur à l'annexe 12 pour le texte latin et la traduction des deux récits. Cependant, comme le fait remarquer Schoeneich (2004 et annexe 12), Marius d'Avenches a écrit son texte dix ans après l'éboulement et se trouvait à proximité des lieux, tandis que le récit de Grégoire de Tours a été écrit vingt ans après et à des centaines de km de là. De plus il est étonnamment détaillé, ce qui laisse supposer une part de fantaisie dans son récit, même si Horwitz pense le contraire (1931 : 254). Ajoutons encore deux points : tout d'abord, l'abbaye d'Agaune à Saint-Maurice aurait très probablement été détruite par la vidange soudaine du lac de barrage formé par l'écroulement, qui devait être extrêmement puissante vu qu'elle produisit un tsunami à son arrivée dans le Léman 20 km plus à l'aval. De plus, la plaine chablaisienne étant marécageuse à cette époque, l'énergie suite à cette vidange se serait fortement amoindrie à son arrivée dans la plaine alluviale chablaisienne du Rhône. Ensuite, une tombe celtique a été découverte en 1861 à faible profondeur à l'amont de Saint-Maurice, ce qui semble infirmer l'hypothèse d'un éboulement à cet endroit⁸¹.

Aujourd'hui encore, aucune hypothèse n'est acceptée de tous, faute de preuves directes irréfutables, et le débat demeure ouvert, avec peut-être une part de chauvinisme dans l'opinion de chacun. Quoi qu'il en soit, ce qui nous intéresse réellement ici est l'origine de la formation des collines de Chessel-Noville, et ce débat semble par contre définitivement clos, les prospections géophysiques récentes ayant apporté les éléments indiscutables qu'il manquait aux chercheurs de l'époque.

81 www.dhs.ch, consulté en avril 2009.

6.7.3 Valorisation didactique

Les collines de Chessel-Noville ont posé beaucoup de problèmes aux chercheurs qui tentaient de déterminer l'origine de leur formation. On pensait qu'elles correspondaient soit à des moraines frontales du glacier du Rhône ou du glacier local des Evouettes, soit à des dépôts d'éboulement. Cependant, ces hypothèses ont pu être définitivement écartées au début des années 1990 lorsque la profondeur du fond rocheux a pu être déterminée grâce à différentes méthodes géophysiques (c.f. ch. 6.3.3). Aujourd'hui, après de nombreuses études, on sait qu'elles se sont formées suite à l'impact d'un immense éboulement dans la plaine du Rhône provenant des flancs du Grammont. La masse rocheuse, en s'enfonçant dans la plaine encore marécageuse, a formé un vaste cratère, poussant les sédiments en avant et les soulevant en contrecoup de l'enfoncement de la masse éboulée, créant de petits monticules de quelques mètres de hauteur. On peut comparer ceci, dans un tout autre ordre de grandeur, aux bourrelets qui se forment quand on lance un caillou dans de la vase par exemple : le caillou va s'enfoncer et créer des bourrelets concentriques autour de lui, qui vont diminuer de hauteur au fur et à mesure que l'on s'éloigne du caillou. C'est ce que l'on observe sur le site, les collines devenant de plus en plus petites en direction du versant E. Ajoutons que le volume des sédiments soulevés va correspondre au volume de la masse éboulée, qui peut être estimé à 30 millions de m³! Le mystère sur la formation des collines étant aujourd'hui élucidé, la question au centre des débats est de dater cet éboulement, comme dit au sous-chapitre précédent, certains pensant au Tauredunum, d'autres réfutant cette hypothèse.

6.7.4 Caractéristiques touristiques

Comme on peut le constater, les collines de Chessel-Noville ont fait couler beaucoup d'encre et on est loin encore d'avoir élucidé tous leurs mystères. Leur morphogenèse est par contre connue aujourd'hui et les collines de Chessel-Noville « *constituent de ce fait un exemple remarquable et quasi unique en Suisse des effets secondaires d'un éboulement sur des sédiments mal consolidés et gorgés d'eau* » (Gmür et al., 2008). Leur valeur scientifique est donc importante, d'où leur insertion dans l'inventaire cantonal des géotopes (Gmür et al., 2008). Leur valeur éducative peut être considérée comme moyenne, car la compréhension de leur morphogenèse demande tout de même une bonne théorie au préalable, le phénomène de diapirisme étant loin d'être connu de tous. De plus, sans ces explications, les collines passent totalement inaperçues, au contraire des blocs erratiques par exemple. Par contre, les caractéristiques géomorphologiques de la zone de la Suche, qui laissent facilement supposer un ancien éboulement, augmentent quelque peu cette valeur. L'intégrité des collines est également moyenne, car certaines d'entre elles ont été aplanies pour des raisons agricoles, et peuvent être sujettes dans le futur à des terrassements ou être affectées par l'urbanisation. Leur accessibilité est par contre facile, et les points d'observation sont variés, que ce soit en hauteur ou sur les lieux mêmes. Leur lien avec la théorie glaciaire est quant à lui inexistant.

Les offres touristiques sont nombreuses dans la région du site. On peut citer entre autres les célèbres *Swiss Vapeur Parc* et *Aqua Parc* au Bouveret, ainsi que le *Fun Planet* à

Villeneuve. L'itinéraire no 2 de *Le Chablais dans les pas des archéologues* passe par Vouvry-Porte du Scex-Crebelley et concerne donc directement ce site, tout comme les itinéraires culturels *ViaCook* et *ViaFrancigena* qui traversent tout la zone d'étude. Notons encore la grande proximité du delta perché des Evouettes, avec lequel une synergie pourrait être développée. En effet, les deux sites témoignent de l'évolution de l'hydrographie régionale, avec tout d'abord le niveau lacustre à son maximum pour le delta perché, puis une preuve d'une ligne de rivage plus à l'amont que l'actuel, avec présence d'une plaine marécageuse et d'un Rhône divaguant dans sa plaine alluviale au gré des aléas géomorphologiques pour les collines de Chessel-Noville.

7. Propositions d'itinéraires didactiques

Comme nous avons pu le voir au travers des différents sites présentés, plusieurs itinéraires didactiques peuvent être réalisés en fonction de la thématique choisie. Les sites couvrent d'une part l'ensemble de notre terrain d'étude, soit des environs de la ville de Martigny jusqu'à l'embouchure du Rhône dans le Léman, et s'étalent également sur une relativement longue période temporelle. En effet, on peut remonter jusqu'à l'orogénèse préalpine pour la formation des collines de Saint-Triphon, bien que ce ne soit pas ce qui nous intéresse directement pour ce site, ou aux premières glaciations quaternaires pour le verrou de Saint-Maurice, jusqu'au plus récent des sites, les collines de Chessel-Noville, qui sont contemporaines ou postérieures à l'occupation romaine dans la plaine chablaisienne. On peut encore développer des propositions selon le moyen de locomotion utilisé, ou selon les autres offres touristiques déjà présentes. Les choix de développement d'itinéraires touristiques sont ainsi nombreux. De ce fait, nous n'allons pas énumérer toutes les solutions de développement réalisables, mais uniquement celles qui paraissent les plus évidentes et les plus importantes par rapport au sujet traité. Rappelons à ce propos que la théorie glaciaire, un des paradigmes scientifiques les plus importants du 19^{ème} siècle et développé dans notre zone d'étude et le Val de Bagnes, correspond au pilier central de cette étude. Nous renvoyons le lecteur au différents sites (ch. 5 et 6) pour plus de précisions sur les sites auxquels nous ferons référence par la suite. Nous allons donc proposer des itinéraires selon les thématiques suivantes :

1. La théorie glaciaire
2. Les preuves géomorphologiques du passage d'un glacier
3. Les réajustements post-glaciaires

7.1 Itinéraire thématique 1 : « A la découverte de la théorie glaciaire »

Cette première thématique touche directement à la théorie glaciaire et a ainsi pour but de sensibiliser l'Homme à l'importance de la conservation et de la valorisation des blocs erratiques du Chablais, et donc également de tous les blocs erratiques d'une manière générale. Nous proposons ici un parcours invitant l'utilisateur à retourner dans le passé, avant l'élaboration de la théorie glaciaire, afin de se mettre dans la peau de ceux qui ont imaginé et diffusé cette théorie, et de comprendre les problèmes auxquels ils ont dû faire face. Blocs erratiques, roches moutonnées et stries glaciaires sont donc au centre de ce parcours, car rappelons que c'est en cherchant à comprendre la dynamique à l'origine du dépôt de ces blocs et de la formation de ces stries que la théorie glaciaire est née.

Le parcours commence logiquement à Monthey, là où se trouvent les blocs erratiques les plus célèbres (c.f. ch. 6.1). Ceci a pour but d'attirer l'attention sur le problème que posaient ces blocs de protogine, et les blocs erratiques en général, n'appartenant pas à la formation géologique sur laquelle ils reposent. Nous proposons de démarrer l'itinéraire depuis la Pierre à Muguet, voire depuis le Bloc Studer pour ceux désirant effectuer une bonne ballade dans la forêt (arrêt n° 1). Ensuite il faut se diriger à la Pierre à Dzo (n° 2) puis à la Pierre des Marmettes (n° 3) en empruntant le sentier pédestre dans la forêt, laquelle est

jonchée d'innombrables débris rocheux, afin de bien se rendre compte de la quantité impressionnante de blocs erratiques qu'elle devait compter par le passé. Cela permet également de réaliser l'intense exploitation effectuée par les tailleurs de pierre au 19^{ème} siècle et les efforts accomplis pour sauvegarder ces quatre rescapés granitiques. Ensuite, une traversée de la ville de Monthey permet de comprendre à quelle fin cette matière première a été utilisée (peristyles, fontaines, bordures de trottoirs, etc.).

Par la suite il faut se rendre sur le site de Massongex (c.f. ch. 5.5) afin de pouvoir observer les deux autres preuves géomorphologiques ayant conduit à la compréhension d'une extension passée importante des glaciers : les roches moutonnées et striées (n° 4). En effet le site de Massongex, unique en plaine de par sa taille, permet d'observer facilement ces traces d'érosion glaciaire, apportant une preuve formelle du passage d'un glacier. Pour finir, nous proposons de se diriger vers la colline du Montet à Bex afin d'y apprécier deux géants erratiques (n° 6) : le Bloc Monstre et la Pierra Bessa (c.f. ch. 6.2). Avant cela, nous conseillons de faire un petit détour par la marmite glaciaire des Caillettes (n° 5) (c.f. ch. 5.4) se situant à quelques centaines de mètres de Massongex, bien qu'elle ne soit pas directement en lien avec la thématique de cette itinéraire.

L'itinéraire complet fait environ 15 km de long, et peut s'effectuer à pied ou en vélo vu l'accessibilité aisée des différents sites.

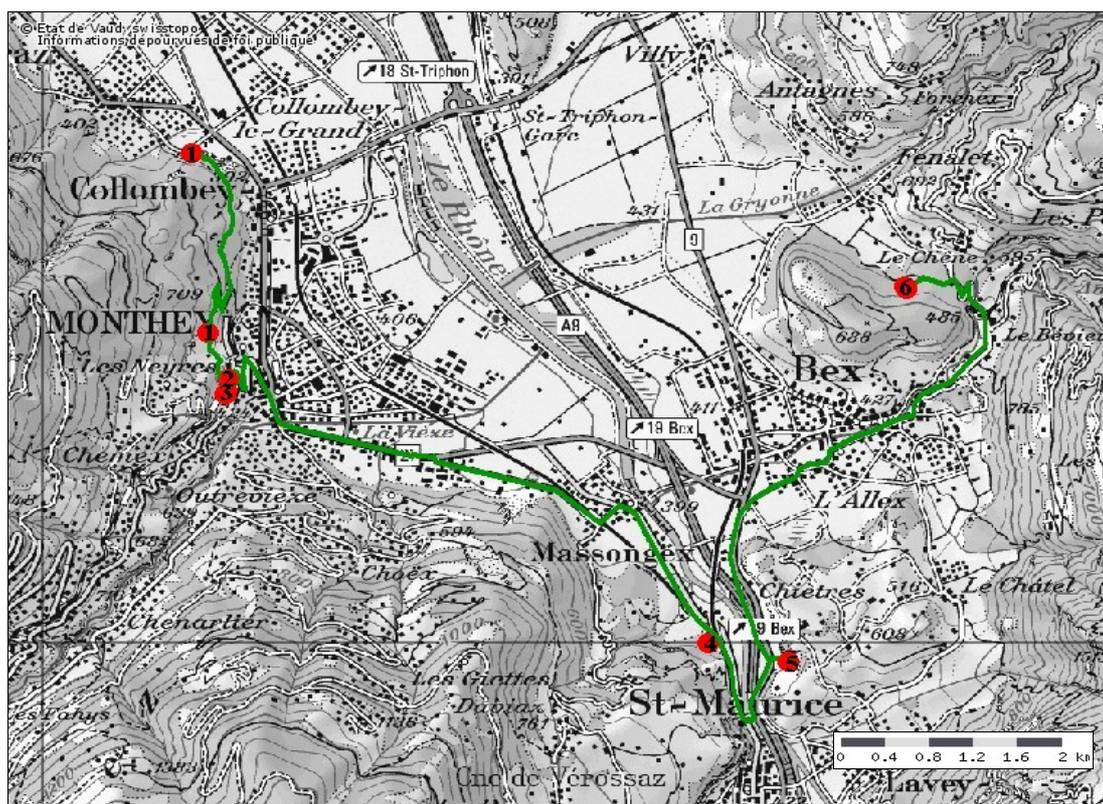


Fig. 7.1 : Carte de l'itinéraire thématique 1, avec indication du parcours (trait vert) et des différents arrêts (points rouges).

7.2 Itinéraire thématique 2 : « Le verrou de Saint-Maurice et l'empreinte glaciaire »

Ce second itinéraire a pour objectif de valoriser l'important patrimoine glaciaire présent dans la région du verrou de Saint-Maurice. La position géographique de Saint-Maurice, jusqu'alors vue comme un point faible freinant le développement touristique régional, serait ici mise en avant par son rôle d'obstacle au passage du glacier rhodanien. Car en comprenant la manière dont un glacier érode et surcreuse certaines parties de son substratum, on prend conscience que c'est grâce à l'action glaciaire et au contexte géologique que Saint-Maurice est devenu un point stratégique primordial, à l'origine de son important patrimoine historique et culturel. Et les preuves géomorphologiques du passage d'un glacier sont très nombreuses dans les environs de la ville (roches moutonnées, stries, marmite, moraine, blocs erratiques, etc.).

Avant de commencer l'itinéraire à proprement parler, il serait utile de faire un bref arrêt quelques kilomètres à l'amont ou à l'aval du verrou, ceci afin de bien apprécier le rôle d'obstacle de ce dernier, qui barre perpendiculairement la vallée. Car c'est avec un peu de recul qu'il apparaît le plus clairement.

Nous proposons de commencer le parcours didactique sur le plateau de Vérossaz (c.f. ch. 5.3) au village de La Doey, afin d'observer la moraine latérale située entre ce village et celui de Vesenaux (n° 1). Par la suite, il faut suivre la route ou couper à travers les champs jusqu'au bloc erratique gneissique présenté précédemment (n° 2). Une ballade sur le plateau de Vérossaz permet d'observer de nombreux affleurements rocheux calcaires, moutonnés par le passage du glacier. Ensuite, nous proposons deux itinéraires pour rejoindre le site de Massongex selon le temps à disposition et le moyen de locomotion : le premier, plus long, suit la route de Vérossaz au N du plateau pour atteindre la plaine. Il est certes plus long, mais permet d'observer de nombreuses roches moutonnées et blocs erratiques situés le long de la route. Le second propose de rejoindre la plaine par le chemin de la Grotte aux Fées, à l'E du plateau. Une fois en plaine, le site de Massongex ne se trouve plus qu'à quelques centaines de mètres (n° 3) (c.f. ch. 5.5). Là, on peut observer de différentes formes d'érosion glaciaire très bien conservées. Puis il faut emprunter le pont pour traverser le Rhône et se rendre à la marmite glaciaire des Caillettes (n° 4) (c.f. ch. 5.4). Pour finir, on peut terminer l'itinéraire par une visite de la ville de Saint-Maurice et apprécier l'impressionnante paroi calcaire la surplombant.

La longueur totale de l'itinéraire court fait environ 6.2 km, alors que le parcours long fait 9 km environ, le tout sans compter la distance de la marmite glaciaire à la ville de Saint-Maurice.

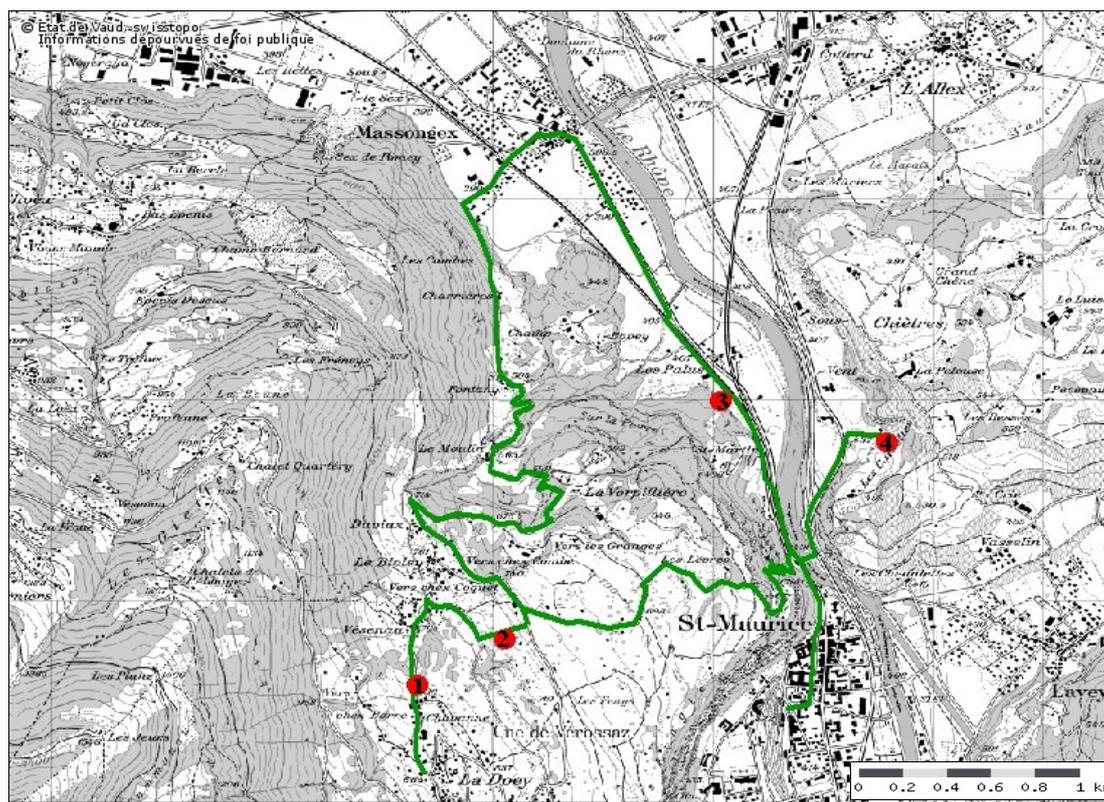


Fig. 7.2 : Carte de l'itinéraire thématique 2, avec indication du parcours (trait vert) et des différents arrêts (points rouges).

7.3 Itinéraire thématique 3 : « Les formes de réajustement postglaciaire »

Ce troisième itinéraire propose de découvrir les différentes formes géomorphologiques de réajustement postglaciaire. Elles se trouvent toutes dans la cluse du Rhône, à l'exception du site des collines de Chessel-Noville. Au travers de ce parcours, la personne intéressée découvrira les différents moyens utilisés par la nature pour retrouver son état d'équilibre après une grande glaciation.

Le parcours commence aux gorges du Trient (n° 1), site le plus méridional de ce travail. Là, on peut observer la profonde entaille effectuée par le Trient dans le gradin de confluence entre la vallée latérale suspendue et la vallée principale (c.f. ch. 6.5). Nous proposons ensuite de se diriger en direction du N jusqu'à la cascade de la Pissevache (n° 2), où il est possible d'observer l'autre forme géomorphologique de réajustement fluviale postglaciaire (c.f. ch. 6.4). Par la suite, toujours en direction du N, nous arrivons au cône du Bois-Noir (n° 3) érigé par le torrent particulièrement actif du Saint-Barthélémy (c.f. ch. 6.6). Ici se mélangent différents agents d'érosion mécanique (gravité, cryoclastie, ruissellement, etc.) qui vont éroder les versants et fournir une quantité importante de matériaux au torrent, qui va les déposer en plaine. Le dernier site touchant à cette thématique concerne celui des collines de Chessel-Noville (n° 4) (c.f. ch. 6.7). Il se situe cependant à l'opposé de la cluse du Rhône, à environ 20 km au N du cône du Bois-Noir. Il

7. Propositions d'itinéraires didactiques

est tout de même important de le mentionner, car c'est l'unique site de ce travail témoignant d'un réajustement gravitaire postglaciaire instantané suite à la décompression des versants.

La longueur totale de l'itinéraire, sans compter le site des collines de Chessel-Noville, atteint environ 6.5 km et tous les sites sont faciles d'accès.

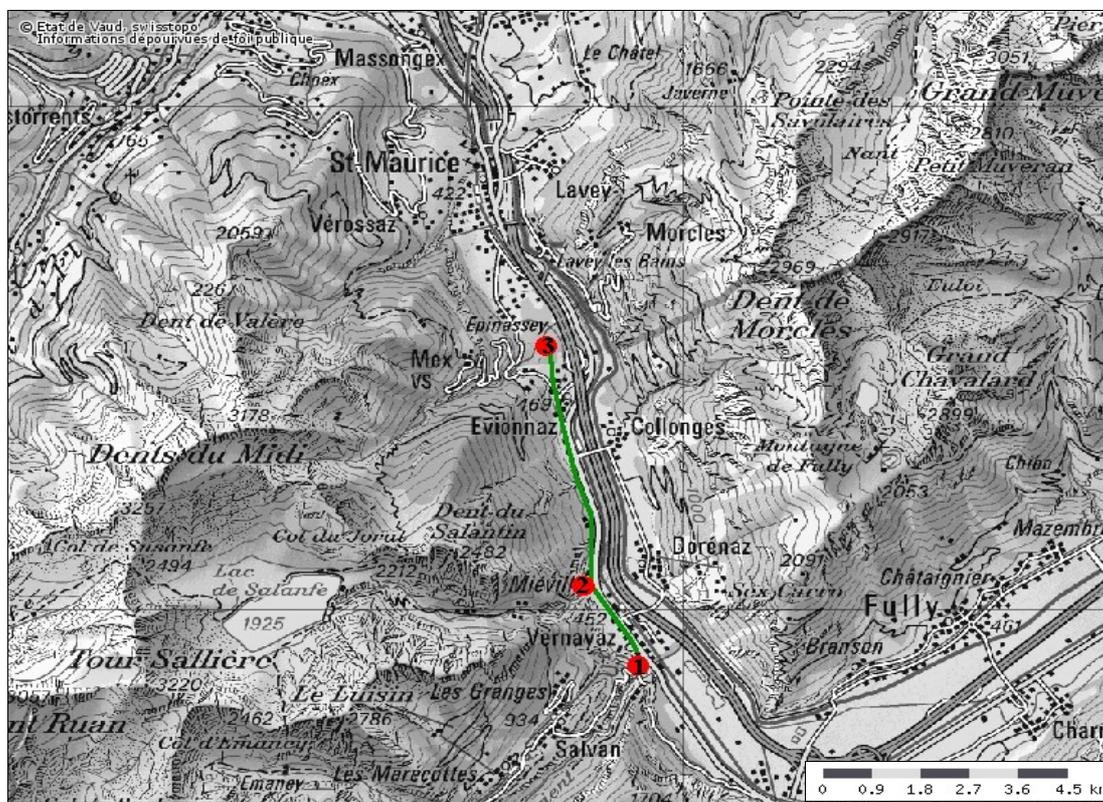


Fig. 7.3 : Carte de l'itinéraire thématique 3, avec indication du parcours (trait vert) et des différents arrêts (points rouges).

7.4 Synthèse

Ces quelques propositions de parcours didactiques démontrent les différents thèmes exploitables et les nombreuses possibilités de développement touristique autour de ce patrimoine glaciaire. Le premier itinéraire permet de comprendre les raisons ayant conduit à l'élaboration de la théorie glaciaire, tandis que le second, en lien étroit, s'attarde sur les preuves d'un envahissement complet de la zone d'étude par les glaciers. Quant au dernier parcours, il offre la possibilité d'observer la réaction de la nature suite au retrait de ces glaciers. La combinaison de ces trois itinéraires thématiques permet ainsi de comprendre d'une part l'action géomorphologique d'un glacier et, d'autre part, le lien très étroit entre cette action glaciaire et le paysage actuel de cette partie de la vallée du Rhône.

Chapitre 8 : Conclusion et perspectives

Dans ce dernier chapitre, nous allons tout d'abord effectuer une synthèse globale des différents résultats de cette étude en fonction des thèmes abordés et du travail de valorisation du patrimoine glaciaire (ch. 8.1). Nous présenterons ensuite les perspectives futures, autant d'un point de vue de la recherche au sujet de cette thématique que d'un point de vue du géotourisme (ch. 8.2).

8.1 Synthèse globale

8.1.1 Un patrimoine glaciaire important mais méconnu

La plaine du Rhône entre Martigny et le lac Léman est un territoire au patrimoine glaciaire riche et diversifié. Il couvre une large échelle temporelle et spatiale, et permet de retracer l'histoire géomorphologique de la région, de l'action des grandes glaciations du Pléistocène aux réajustements des versants suite au retrait glaciaire. Certains sites, comme les gorges du Trient ou la cascade de la Pissevache par exemple, sont même encore actifs de nos jours, alors que d'autres sont considérés comme fossiles, les processus ayant conduit à leur formation n'étant plus présents. Leur disparition ou une atteinte à leur intégrité serait ainsi irrévocable. En outre, cette région est à l'origine du développement et de la diffusion de la théorie glaciaire, paradigme apparu dès le début du 19^{ème} siècle et encore d'actualité aujourd'hui. C'est d'ailleurs suite à cette nouvelle théorie et à la conjoncture économique de l'époque que les premiers mouvements de protection du paysage ont vu le jour. Les blocs erratiques, preuves directes d'une extension importante des glaciers alpins, ont vu leur valeur scientifique s'opposer à leur valeur économique à une période d'exploitation intensive du granite comme pierre de construction. On comprit rapidement l'importance de protéger ces témoins de l'histoire climatique de notre Terre afin d'en assurer la pérennité et la transmission aux générations futures. Cependant, ce patrimoine glaciaire fut mis de côté au profit des biotopes dès le 20^{ème} siècle et actuellement trop peu de personnes ont conscience de ce qu'ils représentent et de l'importance qu'ils ont joué par le passé pour l'évolution des sciences de la Terre.

8.1.2 Apport de cette étude

Ce travail, dont l'objectif premier est de fournir les informations nécessaires pour une valorisation future de ce patrimoine, apporte une base solide et complète afin de combler cette importante lacune. Tout d'abord, il permet de se familiariser avec la notion de paysage géomorphologique et tout ce qu'englobe ce concept (géoconservation, géotourisme, enjeux, moyens de protection, etc.). Ensuite, il fournit tous les renseignements permettant de cerner avec précision la théorie glaciaire, son contexte d'émergence, le lien avec la zone d'étude, l'importance du patrimoine glaciaire, etc., car rappelons que cette dernière est le centre de gravité de cette étude. Nous avons également abordé l'étude du Quaternaire, en particulier la dernière grande glaciation, et tout ce qu'elle englobe (méthodes d'analyse,

raisons d'entrée dans une période glaciaire, LGM, WGM, Tardiglaciaire, etc.). Par conséquent, le lecteur a à disposition toutes les informations nécessaires pour cerner et saisir le cadre dans lequel s'inscrit ce travail de mémoire. Le premier objectif secondaire (c.f. *partie introductive* point II) est ainsi atteint. Ce cadre théorique est indispensable pour la compréhension de la partie touchant à la valorisation du patrimoine glaciaire en tant que telle.

C'est dans la partie traitant de la valorisation du patrimoine glaciaire que le reste de nos objectifs a été atteint. Nous avons premièrement apporté toutes les informations utiles pour chaque site, ainsi que celles permettant de comprendre leur morphogenèse. Ensuite, nous avons vulgarisé ce savoir scientifique afin de le rendre facilement compréhensible pour une personne ayant peu ou pas de connaissances dans ce domaine. Nous avons pour cela utilisé un langage simple, accompagné de schémas, graphiques et photos, retouchées ou non. Puis nous avons présenté le potentiel touristique des sites, ainsi que les offres touristiques présentes à proximité de ces derniers et quelques synergies possibles. Nous avons finalement terminé cette étude par trois exemples d'itinéraires didactiques réalisables selon des thèmes différents.

8.1.3 Conclusion

En résumé, nous pouvons conclure que nous avons pleinement atteint les différents objectifs fixés au début de ce travail. En effet, nous sommes en mesure d'affirmer que quiconque souhaitant développer une offre touristique sur cette thématique trouvera dans ce travail de mémoire toutes les informations dont il pourrait avoir besoin d'un point de vue théorique, laissant à ce dernier plus que la réalisation pratique à exécuter. Non seulement ce travail a permis de souligner le large éventail de géomorphosites glaciaires que possède cette partie de la plaine du Rhône, mais surtout l'importance qu'il a joué au 19^{ème} siècle pour le développement des géosciences. Toutefois, nous nous sommes également rendu compte de l'ignorance actuelle de la population et des acteurs dans le domaine du tourisme au sujet de ce patrimoine glaciaire. Espérons simplement que ce travail saura diriger leur attention sur ce domaine et encourager les possibilités de développement qu'il offre, afin que la géoconservation retrouve son statut d'antan.

8.2 Perspectives

Les perspectives futures peuvent être scindées en deux catégories, l'une touchant à la recherche et l'autre au géotourisme.

Concernant la recherche, l'enjeu principal touche logiquement à la géoconservation. Il consiste d'une part à multiplier les études de cas, inventaires, tentatives de protection du paysage, pressions politiques, etc., afin que la conservation des objets abiotiques devienne autant prioritaire que celle touchant au monde biotique. Il faut pour cela développer davantage les instruments légaux de protection et de mise en valeur des géotopes. D'autre part, il est également important de continuer à valoriser les sites exceptionnels par différentes méthodes didactiques pour sensibiliser un maximum de personnes, car rappelons que tout processus de protection et de conservation du paysage passe en premier lieu par la compréhension et la connaissance de celui-ci.

En ce qui concerne le géotourisme, le but premier touche bien entendu à la valorisation du patrimoine glaciaire de la zone d'étude, mais également des vallées latérales. Il faut pour cela que les milieux touristiques et politiques prennent conscience de la valeur du patrimoine glaciaire présent et, comme tout type de patrimoine, de l'importance de le protéger et de le préserver pour les générations à venir. La nouvelle dynamique apparue ces dernières années dans le monde du tourisme, traduite par une croissance toujours plus importante du géotourisme, tend à démontrer un réel changement dans les mentalités de chacun, tant de la part des usagers que des acteurs, qui s'adaptent à cette nouvelle demande. Il est ainsi du devoir des milieux universitaires et des bureaux spécialisés d'apporter le cadre théorique nécessaire permettant le bon développement des offres touristiques répondant à cette nouvelle forme de tourisme.

D'un point de vue pratique et concret, nous pouvons souligner plusieurs perspectives qui vont ou sont en train d'être réalisées sur cette thématique. Tout d'abord, la révision des géotopes d'importance nationale est en cours de réalisation et une publication des résultats est prévue pour 2010. En ce qui concerne les géoparcs, plusieurs projets sont actuellement à l'étude ou en cours de réalisation, ce qui démontre le réel intérêt accordé de nouveau à la géoconservation.

Pour ce qui est de notre zone d'étude, on peut tout d'abord mentionner le programme Interreg IV Franco-Suisse « *Valorisation des richesses naturelles et culturelles des 3 Chablais* ». Une thèse, intitulée « *Identification et valorisation du patrimoine glaciaire des Chablais* », va être réalisée par Amandine Perret sous la direction de l'école doctorale Sciences et Ingénierie des Systèmes, de l'Environnement et des Organisations (SISEO), en collaboration avec l'Institut de Géographie de l'Université de Lausanne et le laboratoire EDYTEM de l'Université de Savoie. Elle s'inscrit ainsi dans la continuité de ce travail de mémoire, tout en élargissant le terrain d'étude et le domaine de recherche. Ensuite, nous pouvons encore noter le déménagement du Musée historique du Chablais, qui quitte Bex pour s'installer dans le Château de la Porte du Scex à Vouvry. Ayant pour thématique centrale le Rhône, le but est de « *faire rayonner loin à la ronde le patrimoine culturel du Chablais* »⁸². Le patrimoine géo(morpho)logique de la région, qui inclut logiquement le patrimoine glaciaire, fait donc partie intégrante de la thématique du musée. Et c'est avec un immense plaisir que j'ai accepté de m'occuper de cette partie de l'exposition en tant que coordinateur scientifique pour le musée. Christian Schulé, directeur de l'Office du Tourisme de Saint-Maurice qui m'avait gentiment accordé un entretien durant l'été 2008 (c.f. ch. 5.2.4), a été nommé conservateur du musée. Sandro Benedetti, expert de ce travail de mémoire, est quant à lui vice-président du comité de la Fédération des Associations et Fondations historique du Chablais, en charge du musée. De ce fait, nous pouvons affirmer qu'une partie de l'objectif final de cette étude, à savoir la valorisation concrète du patrimoine glaciaire de cette région, est ainsi atteinte grâce à la réalisation de ce musée, dont l'ouverture est prévue pour automne 2009.

82 Musee-chablais.ch, consulté en mai 2009.

A. Bibliographie

-Agassiz L. (1840). *Etude sur les glaciers*. Neuchâtel et Soleure, 1 vol. et Atlas, 346 p. + 32 planches.

-Agassiz L. (1851). *Le phénomène erratique dans les environs du Lac Supérieur. Extrait de l'ouvrage ayant pour titre : Lake Superior*. Genève : F. Ramboz. 32 pages.

-Arn R. (1984). *Contribution à l'étude stratigraphique du Pléistocène de la région lémanique*. Thèse, Université de Lausanne. 307 p.

-*Atlas climatologique de la Suisse (1982-2000)*. Edit. Institut suisse de météorologie. Wabern-Bern : Verlag des Bundesamtes für Landestopographie.

-Aviollat W. (1987). *Saint-Triphon : origines et histoire*. Bevais : Imprimerie ACRPT.

-Aubert D. (1989). La protection des blocs erratiques dans le canton de Vaud. *Bulletin SVSN*, 79/3, p. 185-205.

-Badoux H. (1962). La géologie des collines de Saint-Triphon. *Bulletin SVSN*, 68/1, p. 35-48.

-Badoux H. (1965). *Montreux*. Feuille 47 de l'Atlas géologique de la Suisse au 1:25'000. Berne : Commission géologique suisse.

-Badoux H. (1989). Histoire de la cluse du Rhône entre Martigny et le Léman (VS et VD, Suisse). *Bulletin de la Murithienne*, 107, p. 213-224.

-Badoux H. (1995). Le glacier du Rhône au Pléistocène. *Bulletin SVSN*, 83/4, p. 245-292.

-Badoux H., Chessex R., Jeannet A., Lugeon M. (1960). *Monthey*. Feuille 37 de l'Atlas géologique de la Suisse au 1:25'000. Berne : Commission géologique suisse.

-Badoux H., Burri M., Gabus J. H., Krummenacher D., Loup G., Sublet P. (1971). *Dent de Morcles*. Feuille 58 de l'Atlas géologique de la Suisse au 1:25'000. Berne : Commission géologique suisse.

-Badoux H., Gabus J. H., Mercanton C. H. (1990). *Les Diablerets*. Feuille 88 de l'Atlas géologique de la Suisse au 1:25'000. Berne : Commission géologique suisse.

-Badoux H., Onde H. (1996). *Pays de Vaud, une terre, une histoire*. Tomes 2 et 4, Yens s/Morges : Ed. Cabédita.

-Bailey R. H. (1983). *Les glaciers*. Amsterdam : Time-Life. 176 p.

-Bard E. (2004). Greenhouse effect and ice ages : historical perspective. *C. R. Geoscience*,

336, p. 603-638.

-Basset C. A. (1815). *Explication de Playfair sur la théorie de la Terre par Hutton, et examen comparatif des systèmes géologiques fondés sur le feu et sur l'eau, par M. Murray ; en réponse à l'explication de Playfair*. Paris : Bossange et Masson. 688 p.

-Baud A. (1972). Observations et hypothèses sur la géologie de la partie radicale des Préalpes médianes. *Eclog. Geol. Helv.*, 65/1, p. 43-55.

-Baud A. (1984). *Histoire naturelle des calcaires de Saint-Triphon : (Anisien, Préalpes et Alpes occidentales)*. Thèse, Université de Lausanne, 2 vol.

-Baud A. (2007), Introduction. In *Documents de l'Association pour le patrimoine naturel et culturel du canton de Vaud*, 9, Lausanne: Association pour le patrimoine naturel et culturel du canton de Vaud.

-Baud A., Masson H. (1975). Preuves d'une tectonique liasique de distension dans le domaine briançonnais : failles conjuguées et paléokarst à Saint-Triphon (Préalpes médianes, Suisse). *Eclog. Géol. Helv.*, 68/1, p.131-145.

-Baumgartner P. (2007-2008). *Sédimentologie des roches détritiques*. Cours + notes de cours, Université de Lausanne.

-Benedetti S., Rouiller S., Scheurer A. (2000). *Sentier de Salanfe*. Evionnaz.

-Berger R. (1993). *Les Alpes vaudoises : histoire et toponymie*. Yens s/Morges : Cabédita.

-Berger J.-P., Reynard E., Bissig G., Constandache M., Dumas J., Felber M., Häuselmann P., Jeannin P.-Y. (2008). *Révision de la liste des géotopes d'importance nationale : rapport du groupe de travail 2006-2007*. Groupe de travail pour les géotopes en Suisse, Fribourg.

-Berney M. (2008). *Une trace dans le paysage. La marmite glaciaire des Caillettes*. Université de Genève. Certificat Patrimoine et Tourisme (non publié).

-Berrebi Y. (2006). *Les sentiers didactiques. Analyse de la perception du public face à quatre réalisations géodidactiques*. Mémoire de licence en géographie, Université de Lausanne (non publié).

-Bersier A. (1953). Les collines de Noville-Chessel, crêtes de poussée glaciaire. *Bulletin SVSN*, vol. 65, 6p.

-Besson O., Rouiller J.-D., Frey W., Masson H. (1992). Campagne de sismique réflexion dans la vallée du Rhône entre Sion et Martigny, Suisse. *Bulletin de Géologie de l'Université de Lausanne*, no 317.

-Besson O., Marchant R., Pugin A., Rouiller J.-D. (1993). Campagne de sismique réflexion dans la vallée du Rhône entre Sion et St-Maurice : perspectives d'exploitation

A. Bibliographie

géothermique des dépôts torrentiels sous-glaciaires. *Bulletin du Centre d'Hydrogéologie de Neuchâtel*, 12, p. 39-58.

-Blavoux B. (1988). L'occupation de la cuvette lémanique par le glacier du Rhône au cours du Würm. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 2/3, p. 69-79.

-Burri M. (1962). Les dépôts quaternaires de la vallée du Rhône entre St-Maurice et le Léman. *Bull. de la Murithienne*, 78, p. 37-59.

-Burri M. (1994). *Les roches*. Martigny : Pillet. 3^e édition. 159 p.

-Burri M., Jemelin L., Oulianoff N., Ayrton S., Blanc P., Grasmück K., Krummernacher D., Raumer J.-F., Stalder P., Trümpy R., Wutzler B. (1983). *Sembrancher*. Feuille 77 de l'Atlas géologique de la Suisse au 1:25'000. Berne : Commission géologique suisse.

-Busslinger L. (2003). *La plus belle marmite glaciaire de Suisse*. Le Temps, dossier spécial du 8 juillet.

-Charollais J., Badoux H. (1990). *Suisse lémanique, Pays de Genève et Chablais*. Paris : Masson, 223 p.

-Chavannes S. (1888). L'éboulement du Tauredunum. *Bulletin SVSN*, XXIV, 6 p.

-Chorlton W. (1984). *Les périodes glaciaires*. Amsterdam : Time-Life. 176 p.

-Comtesse A. (1921). Sur l'origine du nom de la "Pierre des Marmettes". *Annales valaisannes*, tome 3, année 5, p. 144-146.

-Coratza P., Giusti C. (2005). Methodological proposal for the assessment of the scientific quality of geomorphosites. *Il Quaternario*. 18/1, p. 307-313.

-Corboud P. (1999). Les villages préhistoriques littoraux du Léman. In : *Découvrir le Léman 100 ans après François-Alphonse Forel*, Actes du colloque pluridisciplinaire, Nyon, 16-18 septembre 1998, Genève, Slatkine et Nyon, Musée du Léman, 1999, p. 483-502.

-Coutterand S. (2005a). Reconstitution paléogéographique de la région du Massif du Mont-Blanc et de la vallée de l'Arve pendant le dernier maximum glaciaire – Approche chronologique. *Nature et patrimoine en Pays de Savoie*, 117, p. 19-26.

-Coutterand S. (2005b). Les Alpes à l'âge de glace. *Alpes Magazine*, 96, p. 28-35.

-Coutterand S., 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 (vallée de l'Arve, Haute-savoie). *Quaternaire*, 16/2, p. 85-94.

-Coutterand S., Buoncristiani J.-F. (2006). Paléogéographie du dernier maximum glaciaire

du Pléistocène récent de la région du Massif du Mont-Blanc, France. *Quaternaire*. 17/1, p. 35-43.

-Coutterand S., Schoeneich P. (2007). Le lobe glaciaire lyonnais au maximum würmien : la part des glaciers savoyards dans l'alimentation du lobe de piémont. *Congrès annuel de la SHF*, Grenoble, 16 mars 2007.

-Cutler A. (2006). *La montagne et le coquillage : comment Nicolas Sténon a remis en cause la Bible et créé les sciences de la terre*. Traduit de l'anglais par Stéphane Carn, Paris : Lattès, 282 p.

-De Saussure H.-B. (1779-1796). *Voyages dans les Alpes, précédés d'un Essai sur l'histoire naturelle des environs de Genève*. Vol. 1 1779 Neuchâtel, Vol. 2 1786 Genève, Vol. 3 et 4 1796 Neuchâtel.

-De Charpentier J. (1835). Sur la cause probable du transport des blocs erratiques de la Suisse. *Annales des Mines*, tome 8, p. 219-236.

-De Charpentier J. (1841). *Essai sur les glaciers et sur le terrain erratique du bassin du Rhône*. Lausanne : Ducloux.

-Dean D.R. (1992). *James Hutton and the History of Geology*. Ithaca N.Y. ; London : Cornell University Press, 303 p.

-Decrouez D., Lombard A. (1980). Stratigraphie des couches de Saint-Maurice (Valais). *Eclog. Geol. Helv.*, 73/1, p. 109-124.

-Decrouez D., Jordan P., Auf der Maur F. (2003). *Géotopes : un voyage dans le temps : 20 promenades en Suisse dans le secret des roches*. Chavannes / Renens : Ed. MPA. 207 p.

-Delacrétaz P. (1994). *Pierres mystérieuses : histoire, légendes, énigmes*. Yens/Morges ; St-Gingolph : Ed. Cabédita, 154 p.

-Duplessy J.-C., Morel P (1990). *Gros temps sur la planète*. Paris : éditions Odile Jacob. 296 p.

-Dupuy D. (2006). *Etude des sédiments quaternaires, de la Molasse et sa tectonique, dans le Grand Lac (Léman) à partir de données sismiques 2D et 3D*. Thèse, Université de Lausanne, Institut de Géophysique.

-Ellenberger F. (1994a). *Histoire de la géologie. Tome 1 : des Anciens à la première moitié du XVIIIe siècle*. Paris : Technique et documentation – Lavoisier, 352 p.

-Ellenberger F. (1994b). *Histoire de la géologie. Tome 2 : la grande éclosion et ses prémices 1660-1810*. Paris : Technique et documentation – Lavoisier, 381 p.

-EPICA community members (2004). Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Nature*, 429, p. 623-628.

- Favre A., Studer B. (1867). *Appel aux Suisses pour les engager à conserver les blocs erratiques*. Rheinfelden : Actes de la SHSN.
- Finckh P., Frei W. (1991). Seismic reflection profiling in the Swiss Rhone valley. Part 1 : seismic reflection field work, seismic processing and seismic results of the Roche-Vouvry and Turtmann and Agarn lines. *Eclog. Geol. Helv.*, 84/2, p. 345-357.
- Finckh P., Klingele E. (1991). Seismic reflection profiling in the Swiss Rhone valley. Part 2 : gravimetric and geological interpretation of the Roche-Vouvry line. *Eclog. Geol. Helv.*, 84/2, p. 359-368.
- Finger W, Weidmann M. (1988). Quelques données géologiques nouvelles sur la vallée du Rhône entre Sierre et le Léman. *Bull. Murithienne*, 105, p. 27-40 et *Bulletin de géologie Lausanne*, no 296.
- Flamm C. (1994). *Géologie et fracturation du Massif des Aiguilles Rouges dans la région de Saint-Maurice*. Diplôme en géologie. Université de Lausanne (non publié).
- Florineth D., Schlüchter C. (2000). Alpine evidence for atmospheric circulation patterns during the Last Glacial Maximum. *Quaternary Research*, 54, p. 295-308.
- Fontana G. (2008). *Analyse et propositions de valorisation d'un paysage géomorphologique. Le cas de la Greina*. Mémoire de master en géographie, Université de Lausanne (non publié).
- Forbes J. D. (1843). *Travels through The Alps of Savoy and other parts of the Penins chain, with observations on the phenomena of glaciers*. Edinburgh : Adam and Charles Black, 424 p.
- Forel F.-A. (1900). Jean-Pierre Perraudin de Lourtier, le précurseur glaciairiste. *Eclog. Geol. Helv.*, 6/2, p.169-175.
- Foucault A., Raoult J.-F. (2005). *Dictionnaire de géologie*. Paris : Dunot, 6^{ème} édition.
- Freymond P. (1971). Les dépôts quaternaires de la vallée du Rhône entre St-Maurice et le Léman, d'après les résultats des sondages d'étude de l'autoroute et de l'aménagement hydroélectrique du Bas-Rhône. *Bull. SVSN*, 71/1, p. 1-13.
- Gagnebin E. (1937). Les invasions glaciaires dans le bassin du Léman. *Bulletin des laboratoires de Géologie, Géographie physique, Minéralogie et Paléontologie de l'Université de Lausanne*, no 58, p. 1-82.
- Gagnebin E. (1938). Les collines de Chessel-Noville, près de Villeneuve, sur la plaine vaudoises du Rhône. *Bulletin des laboratoires de Géologie, Géographie physique, Minéralogie et Paléontologie de l'Université de Lausanne*, no 60, p. 27-35.
- Gagnebin E. (1939). La géologie du Chablais. *Bulletin de la Société géologique de*

France, Paris, p. 673-690.

-Gagnebin E., de Loys F., Reinhard M., Lugeon M., Oulianoff N., Hotz W., Poldini E., Kaenel F. (1934). *Saint-Maurice*. Feuille 8 de l'Atlas géologique de la Suisse au 1:25'000. Berne : Commission géologique suisse.

-Gard J.-M. [conception et maquette] (1988). *16 juin 1818. Débâcle du Giétro : exposition thématique sur la géographie, la géologie et la glaciologie de la vallée de Bagnes. Le Châble, Musée de Bagnes, Valais, 16 juillet-9 octobre 1988*. Le Châble : Musée de Bagnes, Valais.

-Gauthier E., Couterrand S. (2008). *Cours de paléoclimatologie*. Disponible en version pdf sous www.glaciers-climat.com.

-Genoud M. (2008). *Inventaire, évaluation et projets de valorisation des géomorphosites du Val de Bagnes*. Mémoire de master en géographie, Université de Lausanne (non publié).

-Gingins-La-Sarra F. J. C. de (1855). Recherches sur quelques localités du bas-Vallais et des bords du Léman aux premiers siècles de notre ère et en particulier sur l'éboulement du Tauredunum en 563. *Mémoires de l'Institut national genevois*, tome 3, p. 1-63.

-Gmür P. (2007). Quel avenir pour l'inventaire des géotopes dans la législation vaudoise?. In *Documents de l'Association pour le patrimoine naturel et culturel du canton de Vaud*. 9, Lausanne: Association pour le patrimoine naturel et culturel du canton de Vaud, p. 5.

-Gmür P., Pieracci K., Reynard E., Marchant R., Meisser N., Borel G., Baud A., Masson H., Jeannin P.-Y., Schoeneich P., Deriaz P., Dutruit J., Perret A., Weidmann M. (2008). *Inventaire des géotopes du canton de Vaud*. Département de la sécurité et de l'environnement. Service des forêts, de la faune et de la nature. Centre de conservation de la faune et de la nature.

-Gohau G. (1990). *Histoire de la géologie*. Paris : Seuil, 277 p.

-Gos C. (1928). *L'Hôtel des Neuchâtelois : un épisode de la conquête des Alpes*. Lausanne : Payot, 170 p.

-Grandgirard V. (1997). *Géomorphologie, protection de la nature et gestion du paysage*. Fribourg : Institut de géographie (thèse de doctorat non publiée).

-Grandgirard V. (1999). L'évaluation des géotopes. *Geologia Insubrica*, 4/1, p. 59-66.

-Gray M. (2004). *Geodiversity : valuing and conserving abiotic nature*. Chichester : Wiley, 434 p.

-GT géotopes (1999). Inventaire des géotopes d'importance nationale. *Geologia Insubrica*, 4/1, p. 25-46.

-Guettard J.-E. (1768-1786). *Mémoires sur différentes parties des sciences et des arts*, 6

volumes, Paris.

-Hallam A. (1988). *Great geological controversies*. Oxford : Oxford University Press, 182 p.

-Hintermann U., Weber D. (2001). *La Nature Demain. Rapport de l'étude pour un projet d'inventaire et de protection des géotopes vaudois*. Montreux, rapport non publié.

-Hooke J. M. (1994). Strategies for conserving and sustaining dynamic geomorphological sites. In : O'Halloran D. et al. (Eds.). *Geological and Landscape Conservation*. London : Geological Society, p. 191-195.

-Horwitz L. (1911). Contribution à l'étude des cônes de déjection dans la vallée du Rhône (Entre le glacier du Rhône et le Léman). *Extrait du Bulletin de la SVSN*, vol. XLVII, no 173.

-Ivy-Ochs S., Kerschner H., Reuther A., Maisch M., Sailer R., Schaefer J., Kubik P.W., Synal H., and Schlüchter C. (2006). The timing of glacier advances in the northern European Alps based on surface exposure dating with cosmogenic ¹⁰Be, ²⁶Al, ³⁶Cl, and ²¹Ne. In : Siame L.L., Bourlès D.L., Brown E.T. (eds.). *In Situ-Produced Cosmogenic Nuclides and Quantification of Geological Processes*. Geological Society of America, Special Paper 415, p. 43-60.

-Jerz H. (1995). Bayern. In : Benda L. (éd.). *Das Quartär Deutschlands*. Berlin : Bornträger. p. 296-326.

-Jordan P., Hipp R., Reynard E. (2004). La protection des géotopes et la création de géoparc en Suisse. In : Reynard E., Pralong J.-P. (eds), *Paysages géomorphologiques*. Lausanne : Institut de Géographie (« Travaux et Recherches », n° 27), p. 151-160.

-Kaeser M.-A. (2007). *Un savant séducteur : Louis Agassiz (1807-1873), prophète de la science*. Vevey : Editions de l'Aire, 291 p.

-Kelly M. A., Buoncristiani J.-F., Schlüchter C. (2004). A reconstruction of the last glacial maximum (LGM) ice-surface geometry in the western Swiss Alps and contiguous Alpine Regions in Italy and France. *Eclog. Geol. Helv.*, 97, p. 57-75.

-Kozlik L. (2006). *Les géomorphosites culturels des vallées du Trient, de l'Eau Noire et de Salanfe. Inventaire, évaluation et valorisation*. Mémoire de licence ès Lettres, Université de Lausanne (non publié).

-Kramar N. (2003). Le cycle orogénique comme outil didactique. *Actes du colloque sur l'enseignement et la vulgarisation des sciences de la Terre*. Nice, 14-16.05.2003.

-Kramar N. (2005). Enjeux didactiques et épistémiques liés à l'utilisation d'un modèle historique en Sciences de la Terre. *Actes JIES XXVII*, Chamonix, 22-25.11.2005.

-Kramar N., Pralong J.-P. (2005). La didactique des sciences : une chance pour les sciences

de la Terre. In : Dambo L., Reynard E. (eds), *Vivre dans les milieux fragiles : Alpes et Sahel. Hommage au Professeur Jorg Winistorfer*. Lausanne : Institut de Géographie (« Travaux et Recherches », n° 31), p. 44-56.

-Lardy C. (1835). Note sur l'éboulement d'une portion de la Dent du Midi. (Communiquée par M. Elie de Beaumont.). *Bull. Soc. Geol. de France*, 7, p. 27-30.

-Larousse (2005). *Le petit Larousse illustré (2006)*. Paris : Larousse.

-LSPN (Ligue Suisse pour la Protection de la Nature) (1947). *La cascade de Pissevache et le plateau de Salanfe doivent être sauvés!*. Bâle : Ligue suisse pour la protection de la nature, 52 p.

-Lugeon M., Gagnebin E. (1937). La géologie des collines de Chiètres. *Bulletin des laboratoires de Géologie, Géographie physique, Minéralogie et Paléontologie de l'Université de Lausanne*, no 57. p. 1-10.

-Lugon R., Reynard E. (2003). Pour un inventaire des géotopes du canton du Valais. *Bull. Murithienne*, 121, p. 83-97.

-Macdougall J. D. (2004). *Frozen earth : the once and future story of ice ages*. Berkeley : University of California Press, 256 p.

-Maisch M. (1982). Zur Gletscher- und Klimageschichte des alpinen Spätglazials. *Geographica Helvetica*, 37, p. 93-104.

-Mariétan I. (1964). Note sur la formation de la marmite glaciaire des Caillettes. *Bull. de la Murithienne*, 81, p.81-83.

-Martin J. (1964). La marmite glaciaire des Caillettes. *Bull. de la Murithienne*, 81, p. 72-81.

-Marthaler M. (2001). *Le Cervin est-il africain ?* Lausanne : L.E.P (Loisirs et Pédagogie), 96 p.

-Marthaler M. (2003). La mémoire de la Terre cachée derrière les panoramas. In : Reynard E., Holzmann C., Guex D., Summermatter N. (eds), *Géomorphologie et Tourisme*. Lausanne : Institut de Géographie (« Travaux et Recherches », n° 24), p. 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 : Institut de Géographie (« Travaux et Recherches », n° 27), p. 51-66.

-Masson H., Baud A. (1974). Stries et lunules glaciaires à Saint-Triphon (Vallée du Rhône). *Bull. Lab. Géol. Mus. Univ. Lausanne*, no 212, p. 141-154.

-Monjuvent G., Winistorfer J. (1980). Glaciations quaternaires dans les Alpes franco-

suisses et leur piedmont. *Géologie alpine*, t. 56, p. 251-282.

-Montandon F. (1931). L'étranglement du Rhône au Bois-Noir (Valais). *Les Etudes Rhodaniennes*, 7/3, p. 241-266.

-Onde H. (1948). Observations glaciologiques en Suisse et en Savoie, il y a un siècle. *Revue de Géographie alpine*, 36/3, Grenoble, p. 399-409.

-Panizza M. (2001). Geomorphosites: concepts, methods and example of geomorphological survey. *Chinese Science Bulletin*, 46, Suppl Bd, p. 4-6.

-Panizza M., Piacente S. (1993). Geomorphological assets evaluation, *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, Suppl. Bd., 87, p. 13-18.

-Panizza M., Piacente S. (2003). *Geomorfologia culturale*. Bologna : Pitagora Editrice.

-Panizza M., Piacente S. (2004). Pour une géomorphologie culturelle. In : Reynard E., Pralong J.-P. (eds), *Paysages géomorphologiques*. Lausanne : Institut de Géographie (« Travaux et Recherches », n° 27), p. 193-207.

-Penck A., Brückner E. (1909). *Die Alpen im Eiszeitalter*. 3 vol., Leipzig : H. Tauchnitz.

-Petit J. R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N. I., Barnola J.-M., Basile I., Bender M., Chappellaz J., Davisk M., Delaygue G., Delmotte M., Kotlyakov M., Legrand M., Lipenkov V. Y., Lorius C., Pépin L., Ritz C., Saltzman E., Stievenard M. (1999). Climate and atmospheric history of the past 420'000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399, p. 429-436.

-Piffner O.A., Lehner P., Heitzmann P., Mueller S., Steck A. (1990). *Deep structure of the Swiss Alps : results of NRP 20*. Basel : Birkhäuser.

-Pièce R. (1999). Jean de Charpentier (1786-1855). in *Revue historique du Mandement de Bex*. Vol. 32. p. 26-43.

-Playfair J. (1802). *Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth*. Edinburgh, 528 p.

-Portmann J.-P. (1962). Louis Agassiz, pionnier de la glaciologie. *Annales Guéhard*, vol. 38, 11 p.

-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., Summermatter N. (eds), *Géomorphologie et Tourisme*, Lausanne, Institut de Géographie (« Travaux et Recherches », n° 24), p. 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 : Institut de Géographie (« Travaux et Recherches », n° 27), p. 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, p. 301-310.

-Pralong J.-P. (2006). *Géotourisme et utilisation des 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, Lausanne, Institut de Géographie (« Travaux et Recherches », n° 32).

-Pralong J.-P., Reynard E. (2004). Lecture et analyse d'un paysage : Lavaux (Vaud, Suisse). In : Reynard E., Pralong J.-P. (eds), *Paysages géomorphologiques*, Lausanne : Institut de Géographie (« Travaux et Recherches » n° 27), p. 35-50.

-Preusser F., Fiebig M., Spencer J. (2007). From the Swiss Alps to the Crimea – Alpine Quaternary stratigraphy in a European context. *Quaternary International*. Volumes 164-165, p.1-5.

-Quemada B. (dir.) (1971-1994). *Trésor de la langue française : dictionnaire de la langue française du XIXe et du XXe siècle (1789-1960)*. Paris : Edition du Centre national de la recherche scientifique : Klincksieck : Gallimard, 16 volumes.

-Reichler C., Ruffieux R. (1998). *Le voyage en Suisse : anthologie des voyageurs français et européens de la Renaissance au XXe siècle*. Paris : Laffont, 1745 p.

-Rémy F., Testut L. (2006). Mais comment s'écoule donc un glacier? Aperçu historique. *C. R. Geosciences*, 338, p. 368-385.

Rémy F. (2008). *Histoire de la glaciologie*. Paris : Vuibert, 169 p.

-Reynard E. (2004a). La géomorphologie et la création des paysages. In : Reynard E., Pralong J.-P. (eds), *Paysages géomorphologiques*. Lausanne : Institut de Géographie (« Travaux et Recherches », n° 27), p. 9-20.

-Reynard E. (2004b). Protecting stones : conservation of erratic blocks in Switzerland. In : Prikryl R. (ed), *Dimension Stone 2004. New perspectives for a traditional building Material*. Prague : Balkema Publishers, p. 3-7.

-Reynard E. (2004c). L'évaluation des géotopes géomorphologiques en Suisse. In : Reynard E., Pralong J.-P. (eds), *Paysages géomorphologiques*. Lausanne : Institut de Géographie (« Travaux et Recherches », n° 27), p. 137-149.

-Reynard E. (2004d). Géotopes, géo(morpho)sites et paysages géomorphologiques. In : Reynard E., Pralong J.-P. (eds), *Paysages géomorphologiques*. Lausanne : Institut de Géographie (« Travaux et Recherches », n° 27), p. 123-136.

-Reynard E. (2005). 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, p. 101-124.

-Reynard E. (2006). *Fiche d'inventaire des géomorphosites*, Université de Lausanne, Institut de géographie, rapport non publié, 8 pages. (<http://www.unil.ch/igul/page17893.html>).

-Reynard E. (2007). Le patrimoine naturel de Savièse. In : Fondation Bretz Héritier (ed), *Patrimoine saviésan : inventaire, acteurs et enjeux*- Savièse : Editions de la Chervignine, p. 63-76.

-Reynard E. (2008a). *Géomorphosites et paysages*, cours + note de cours.

-Reynard E. (2008b). The geomorphology of the swiss Rhone river. *Geomorphology* (soumis).

-Reynard E., Holzmann C., Guex D. (2003). Géomorphologie et tourisme : quelles relations ? In : Reynard E., Holzmann C., Guex D., Summermatter N. (eds), *Géomorphologie et Tourisme*. Lausanne : Institut de Géographie (« Travaux et Recherches », n° 24), p. 1-10.

-Reynard E., Gentizon C. (2004). Les instruments de protection du paysage en Suisse : état des lieux. In : Reynard E., Pralong J.-P. (eds), *Paysages géomorphologiques*. Lausanne : Institut de Géographie (« Travaux et Recherches », n° 27), p. 95-109.

-Reynard E., Pralong J.-P., Gentizon C. (2005). La géoconservation : pour un renouvellement de la protection de la nature en Suisse. In : Dambo L., Reynard E. (eds), *Vivre dans les milieux fragiles : Alpes et Sahel. Hommage au Professeur Jorg Winistorfer*, Lausanne, Institut de Géographie (« Travaux et Recherches », n° 31), 57-70.

-Reynard E., Coratza P. (2007). Geomorphosites and geodiversity: a new domain of research, *Geographica Helvetica*, 3/2007, p.138-139.

-Reynard E., Bissig G. (2007). Du sauvetage des blocs erratiques à la protection des géotopes dans le canton de Vaud. In *Documents de l'Association pour le patrimoine naturel et culturel du canton de Vaud*, 9, Lausanne : Association pour le patrimoine naturel et culturel du canton de Vaud, p. 7-14.

-Reynard E., Fontana G., Kozlik L., Scapozza C. (2007a). A method for assessing the scientific and additional values of geomorphosites, *Geographica Helvetica*, 3/2007, p.148-158.

-Reynard E., Baillifard F., Berger J.-P., Felber M., Heitzmann P., Hipp R., Jeannin P.-Y., Vavrecka-Sidler D., Von Salis K. (2007b). *Géoparc en Suisse. Un rapport stratégique*, Berne: Groupe de travail sur les géotopes en Suisse.

-Rivas V., Rix K., Francés E. Cendrero A., Brundsen D. (1997). Geomorphological indicators for environmental impact assessment : consumable and non-consumable geomorphological resources. *Geomorphology*, 18, p. 169-182.

- Rosselli A. (2001). *Modélisation gravimétrique bi- et tridimensionnelle du substratum rocheux des vallées alpines. Applications à la vallée du Rhône (Suisse), à la vallée de l'Adige (Italie) et au glacier de Lobbia (Italie)*. Thèse, Lausanne : Institut de Géophysique.
- Rotaru M., Gaillardet J., Steinberg M., Trichet J. (2006). *Les climats passés de la Terre*. Paris: Vuibert, 195 p.
- Rougerie G., Beroutchachvili N. (1991). *Géosystèmes et paysages. Bilan et méthodes*, Paris : Armand Colin, 302 p.
- Rouiller S. (2002). *A la découverte de Salanfe... D'une étude géologique et géomorphologique à la création d'un sentier didactique*. Mémoire de licence en géographie, Université de Lausanne (non publié).
- Scapozza C. (2008). *Contribution à l'étude géomorphologique et géophysique des environnements périglaciaires des Alpes tessinoises orientales*. Mémoire de master en géographie, Université de Lausanne (non publié).
- Schaer J.-P. (2000). Agassiz et les glaciers. Sa conduite de la recherche et ses mérites. *Eclog. Geol. Helv.*, 93, p. 231-256.
- Schardt H. (1908). La Pierre des Marmettes et la grande moraine de blocs de Monthey (Valais). *Eclog. Geol. Helv.*, 10, p. 555-566 + 7 planches.
- Schoeneich P. (1998a). *Le retrait glaciaire dans les vallées des Ormonts, de l'Hongrin et de l'Étivaz (Préalpes vaudoises)*. Thèse, Lausanne : Institut de Géographie (« Travaux et Recherches », n° 14), 2 vol.
- Schoeneich P. (1998b). Corrélation du dernier maximum glaciaire et de la déglaciation alpine avec l'enregistrement isotopique du Groenland. *Quaternaire*, 9/3, p. 203-215.
- Schoeneich P. (1999a). Les terrasses quaternaires du Léman. In : *Découvrir le Léman 100 ans après François-Alphonse Forel*, Actes du colloque pluridisciplinaire, Nyon, 16-18 septembre 1998, Genève, Slatkine et Nyon, Musée du Léman, 1999, p. 415-429.
- Schoeneich P. (1999b). Cadre géologique et stratigraphique. In : Becker B., Bezat-Grillet E., Bezat P.-A., Burri F., Burri M., Hurni J.-P., Kromer B., Monnard E., Orcel C., Remmele S., Schoeneich P., Spurrk M., Tercier J., *Les troncs d'arbres fossiles des gravières de Duzillet (Ollon, VD, Suisse) et l'évolution du Chablais au Tardi- et postglaciaire*. Lausanne : SVSN, p. 311-324.
- Schoeneich P. (2004). La naissance violente d'un terroir. In : Baatard F., Barmetter F., Branche S. et alii. *Noville & Rennaz*. Association de l'Académie du Chablais, p. 14-21.
- Schoeneich P. (2005). *Matériaux pour les cours et séminaires. 31, Quaternaire*, 4^{ème} mise à jour, Lausanne: Institut de géographie de l'Université de Lausanne.

A. Bibliographie

-Schoeneich P. (2007). Géotopes, biotopes et paysages : vers un concept intégrateur du paysage. In *Documents de l'Association pour le patrimoine naturel et culturel du canton de Vaud*, 9, Lausanne : Association pour le patrimoine naturel et culturel du canton de Vaud, p. 15-20

-Schoeneich P (2008). Cours « *Géomorphologie du Quaternaire régional* » + notes de cours, Université de Lausanne.

-Schoeneich P., Dupuy D., Marillier F. (2007). *A rockfall-triggered tsunami in Lake Geneva – AD 563*. 5th Swiss Geoscience Meeting, Geneva.

-Schoeneich P., Coutterand S., Maisch M. (soumis en mars 2008). Alpine Lateglacial Stratigraphie – synthesis and proposals. *Quaternary Sciences Research*, soumis.

-Serrano E., Ruiz-Flaño P. (2007). Geodiversity. A theoretical and applied concept. *Geographica Helvetica*, 3/2007, p. 140-147.

-Siebenmann C. (1935). *Pierre des Mermettes, Monthey [images fixes]*. Négatif noir blanc, plaque de verre ; 13x18 cm.

-Steck A., Epard J.-L., Escher A., Gouffon Y., Masson H. (1999). *Carte tectonique des Alpes de Suisse occidentale et des régions avoisinantes*. Berne : Office fédéral des eaux et de la géologie.

-Strasser A., Heitzmann P., Jordan P., Stapfer A., Stürm B., Vogel A., Weidmann M. (1995). *Géotopes et la protection des objets géologiques en Suisse : un rapport stratégique*, Fribourg, Groupe de travail suisse pour la protection des géotopes.

-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., Summermatter N. (eds), *Géomorphologie et Tourisme*. Lausanne : Institut de Géographie (« Travaux et Recherches », n° 24), p. 129-144.

-Triganon A., Nicoud G., Guiter F., Blavoux B. (2005). Contrôle de la construction détritique de la région d'Evian par trois phases glaciaires durant le Würm. *Quaternaire*. 16/1, p.57-63.

-Trompette R. (2004). *La Terre : une planète singulière*. Paris : Belin-Pour la Science, 303 p.

-UNESCO (1982), Déclaration de Mexico sur les politiques culturelles. Conférence mondiale sur les politiques culturelles, Mexico City, 26 juillet - 6 août 1982.

-Van Vliet-Lanoë B. (2007). Le Prélude au Quaternaire : les modalités d'entrée en glaciation (65 Ma – 2,2 Ma). *Quaternaire*, 18/2, p.111-128.

-Van Vliet-Lanoë B. (2005). *La planète des glaces : histoire et environnements de notre ère glaciaire*. Paris : Vuibert, 470 p.

-Venetz I. (1833). *Mémoire sur les variations de la température dans les Alpes de la Suisse*. Denkschriften d. allgem. Schweizer. Ges. für die gesammten Naturwiss., Zürich, Bd. 1, Abt. 2, 38 p.

-Venetz I. (1861). *Mémoire sur l'extension des anciens glaciers*. Zürich, 33 p.

-Von Buch L. (1810). *Reise durch Norwegen und Lappland*, Berlin, 2 vol.

-Wagner C. (1998). *Le Chablais dans les pas des archéologues (avec huit itinéraires de promenades à pied ou à vélo)*. Monthey.

-Weidmann M. (1973). A propos d'Ignace Venetz (1788-1859). *Bull. de la Murithienne*, no 89, 1972, 9 p.

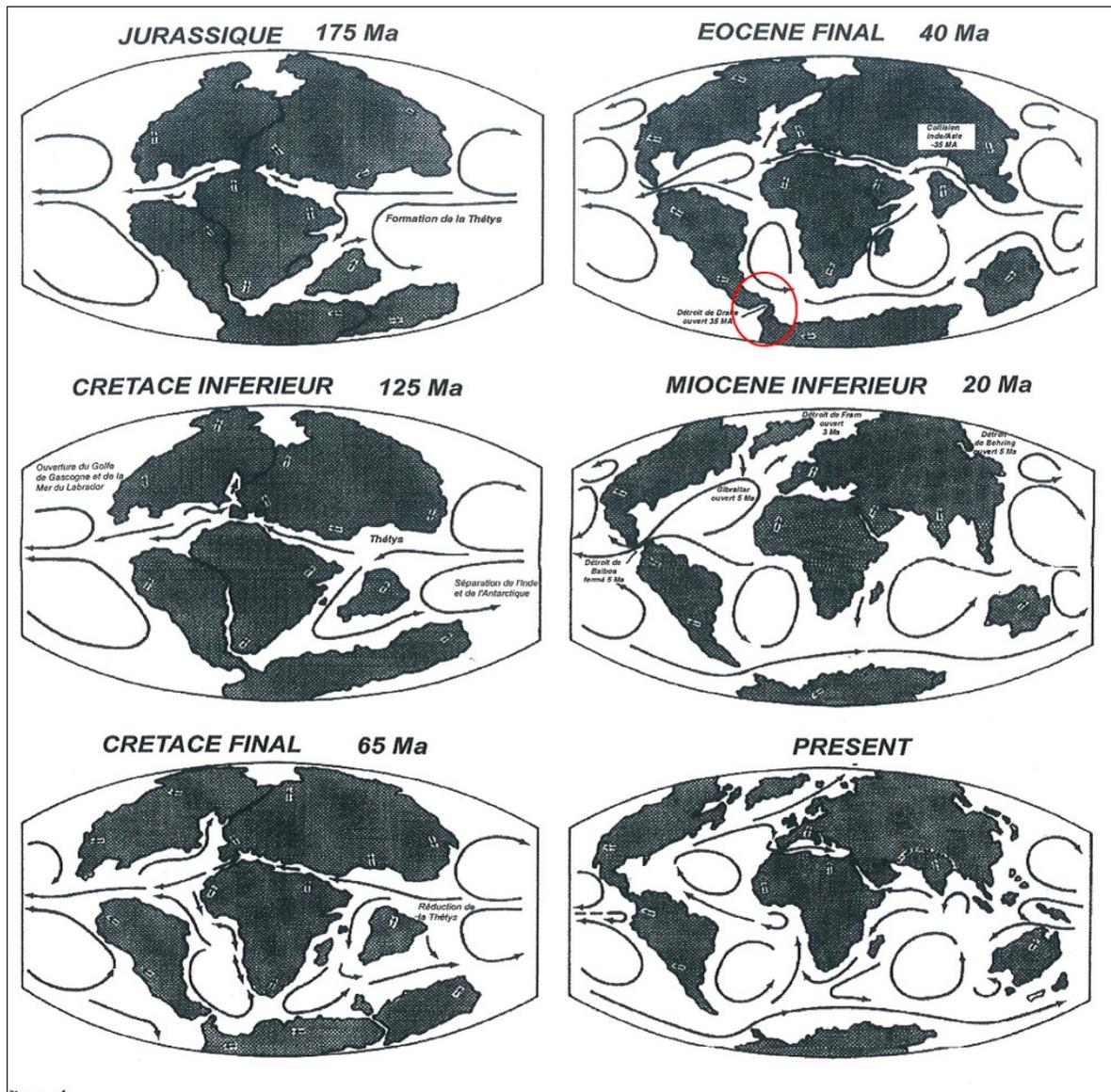
-Werner P. (1988). *La Flore*. Martigny : Pillet. 259 p.

-Zryd A. (2001). *Les glaciers*. Saint-Maurice : Pillet, 325 p.

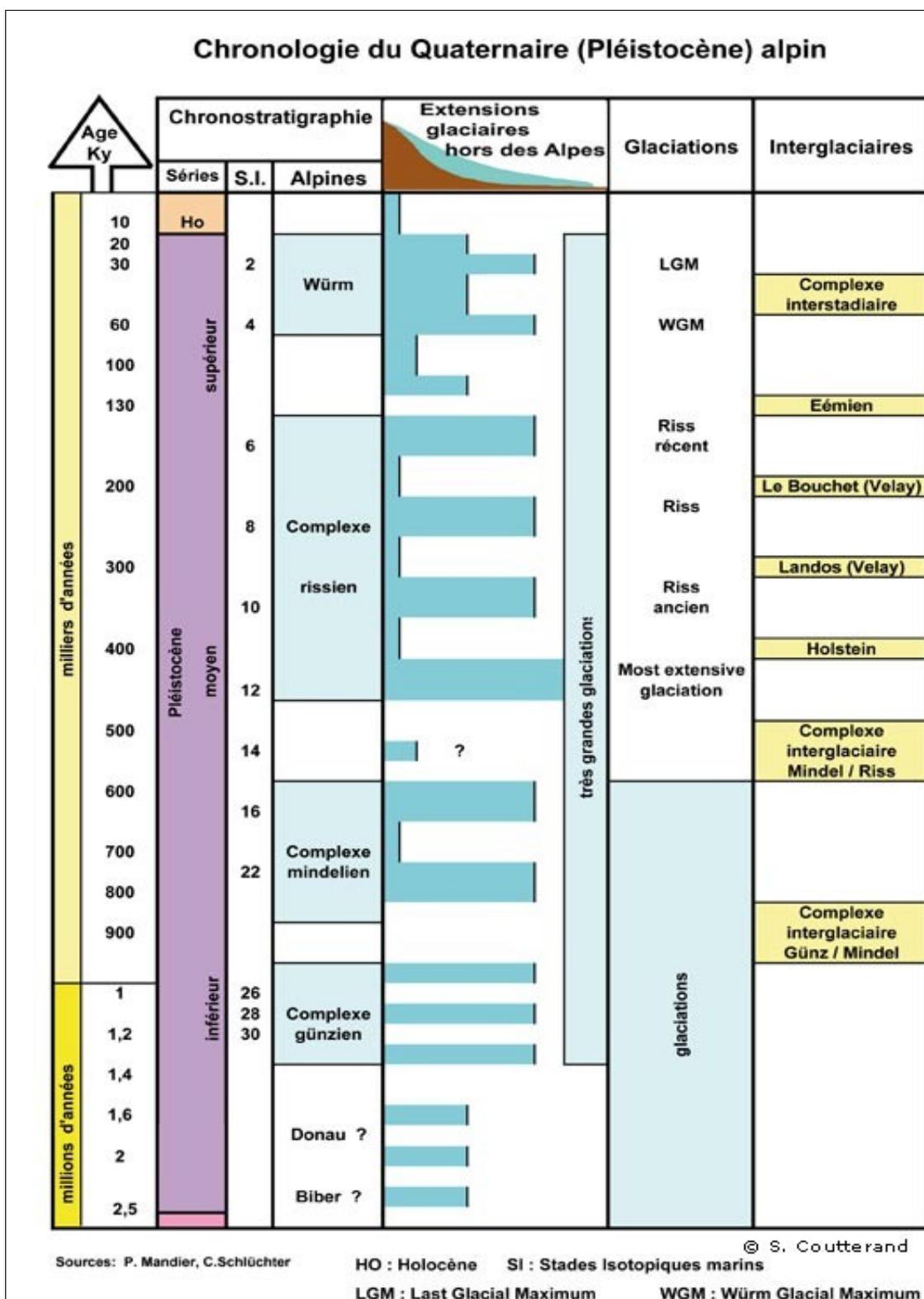
-Zryd A. (2008). *Les glaciers en mouvement. La population des Alpes face aux changements climatiques*. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, 135 p.

B. Annexes

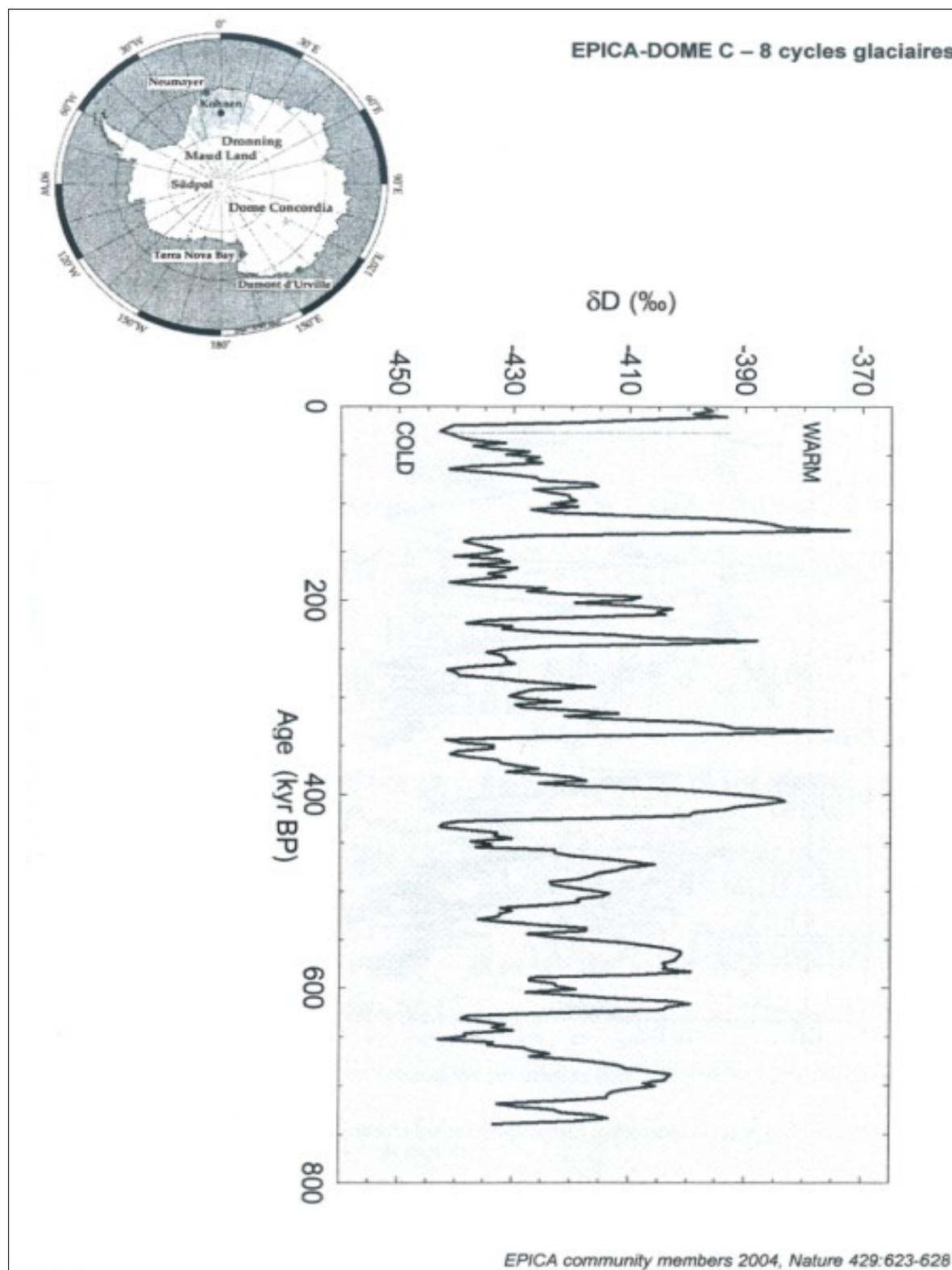
Annexe 1 : Evolution des masses continentales et des courants océaniques principaux lors de la fragmentation de la Pangée. Notez L'ouverture du détroit de Drake (cercle rouge) lors de l'Eocène final. (Tiré de Van Vliet-Lanoë, 2007, modifié).



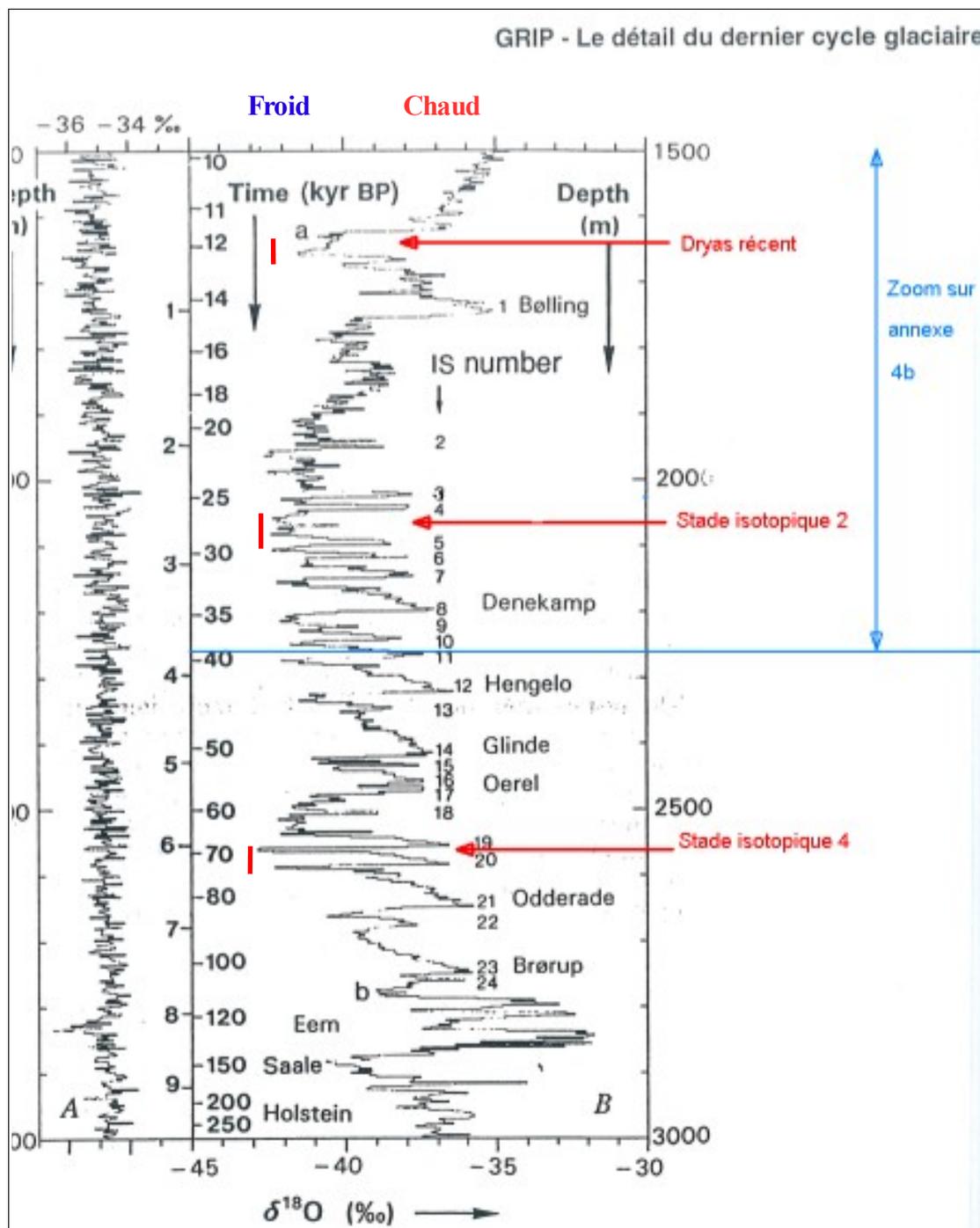
Annexe 2 : Tableau chronologique du Quaternaire alpin avec indication des stades isotopiques océaniques (S.I) (voir annexe 5) et de la nomenclature selon Penck & Brückner (1909) (tiré de www.glaciers-climat.com).



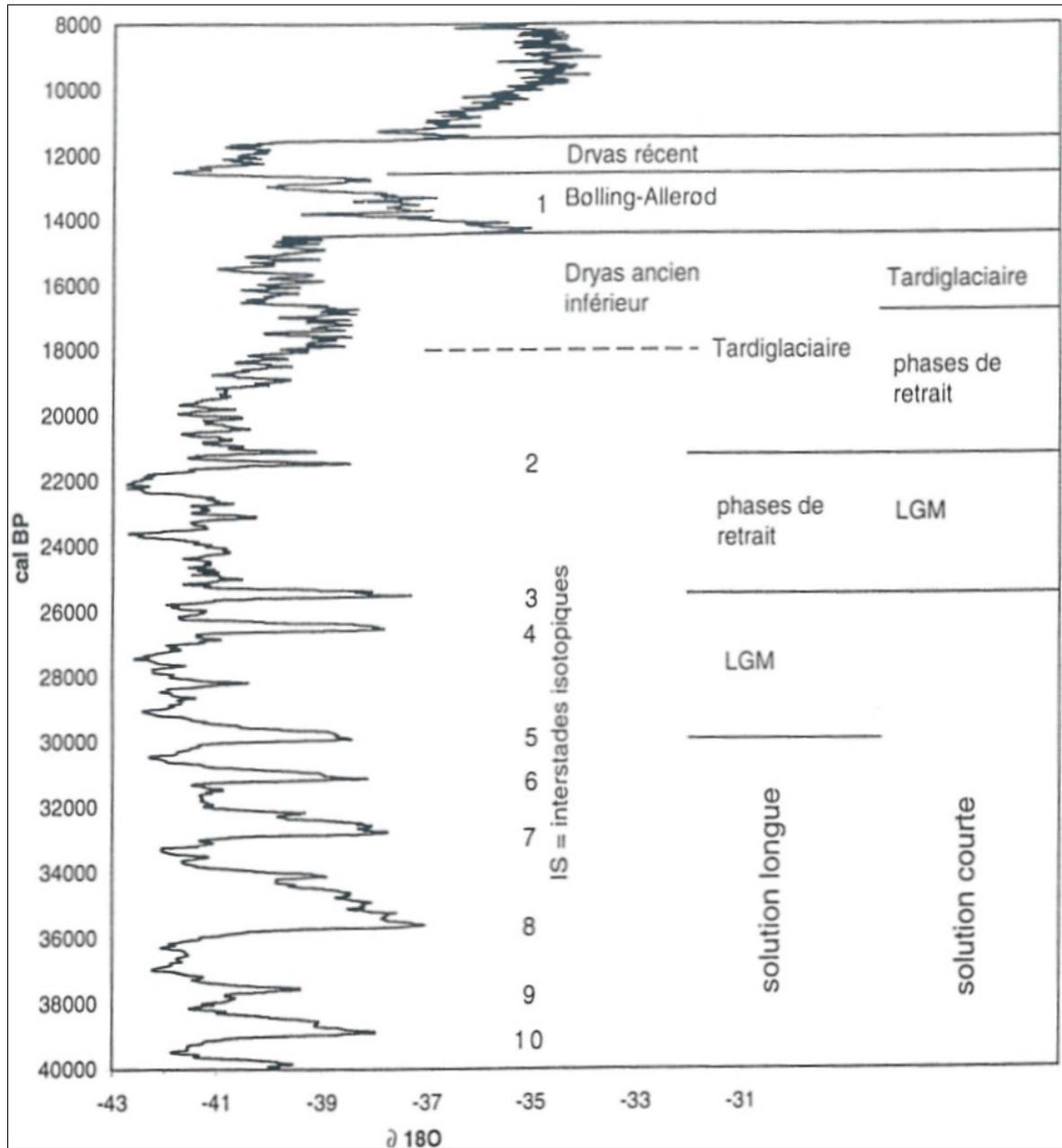
Annexe 3 : Courbe isotopique du projet EPICA remontant jusqu'à -740 Ka et montrant 8 cycles glaciaires. Elle nous renseigne sur les variations de température (tiré de Schoeneich, 2005).



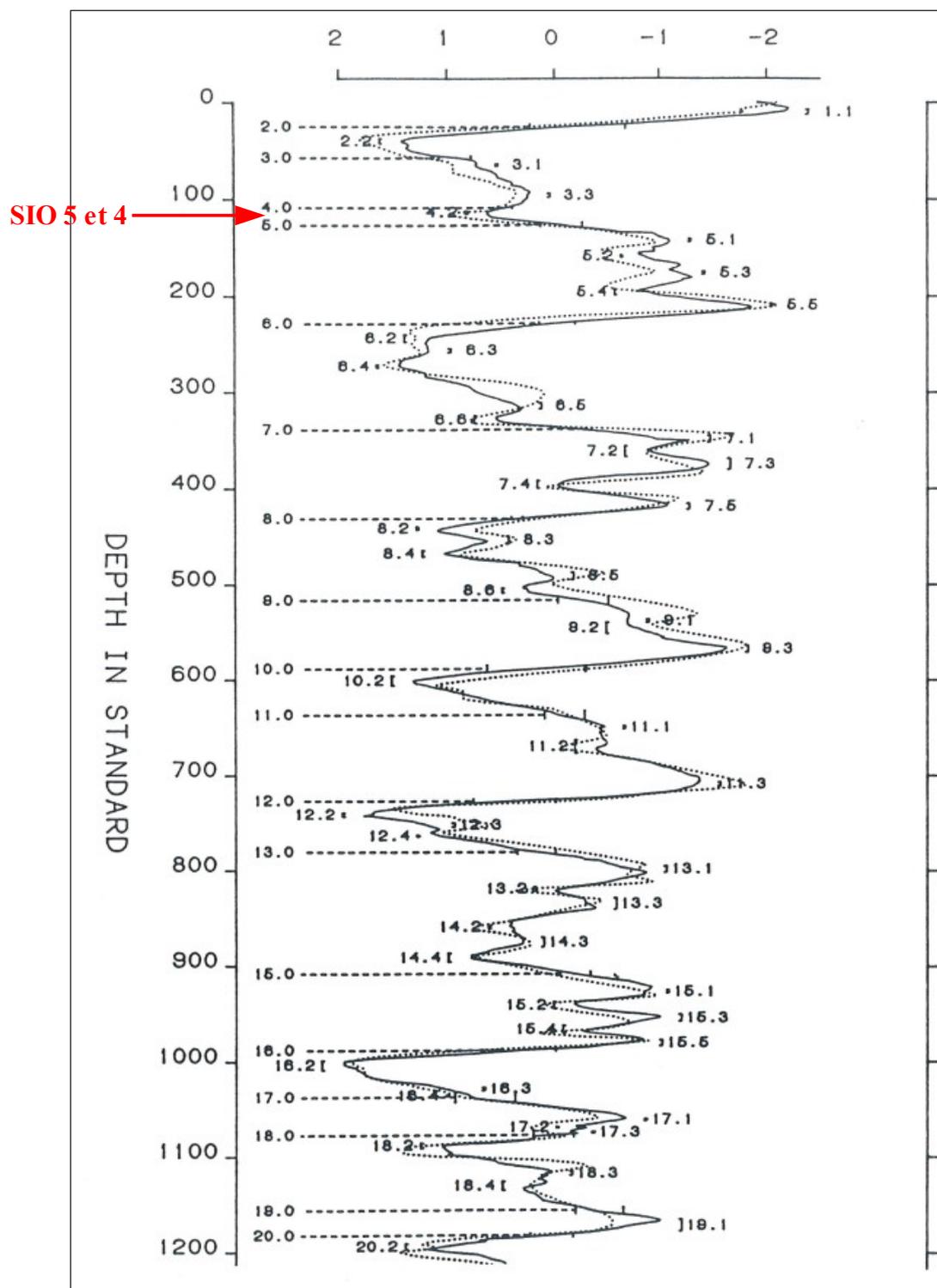
Annexe 4 a : Courbe GRIP (Groenland) représentant le dernier cycle glaciaire, avec indication des stades isotopiques importants. Elle nous renseigne sur les variations de température (Dansgaard et al. 1993, tiré de Schoeneich, 2005, modifié).



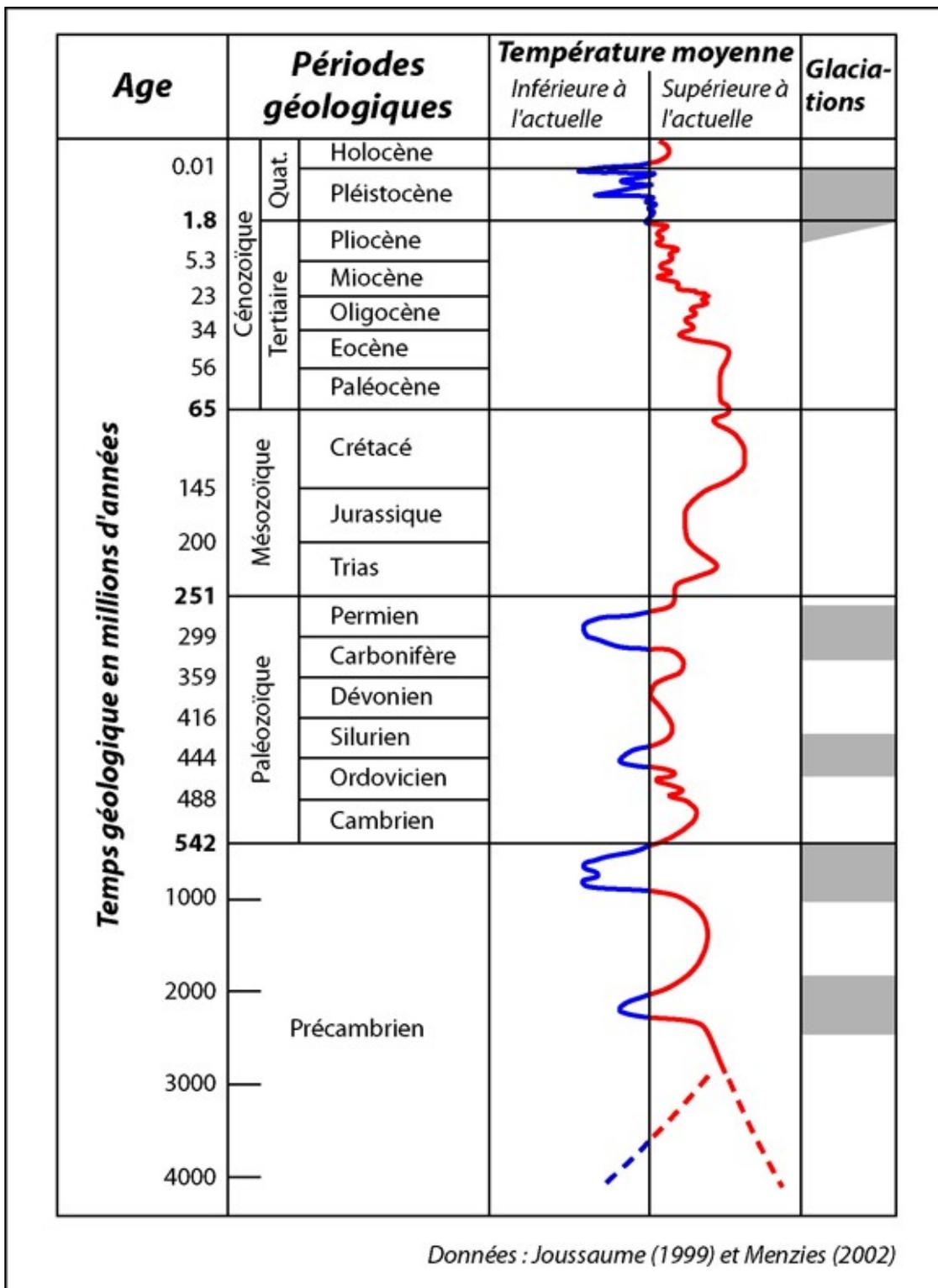
Annexe 4 b : Zoom de la courbe GRIP (annexe 4 a) pour la période de transition Pléni-glaciaire – Holocène (Tardiglaciaire), avec tentative de corrélation du LGM (tiré de Schoeneich, 1998b).



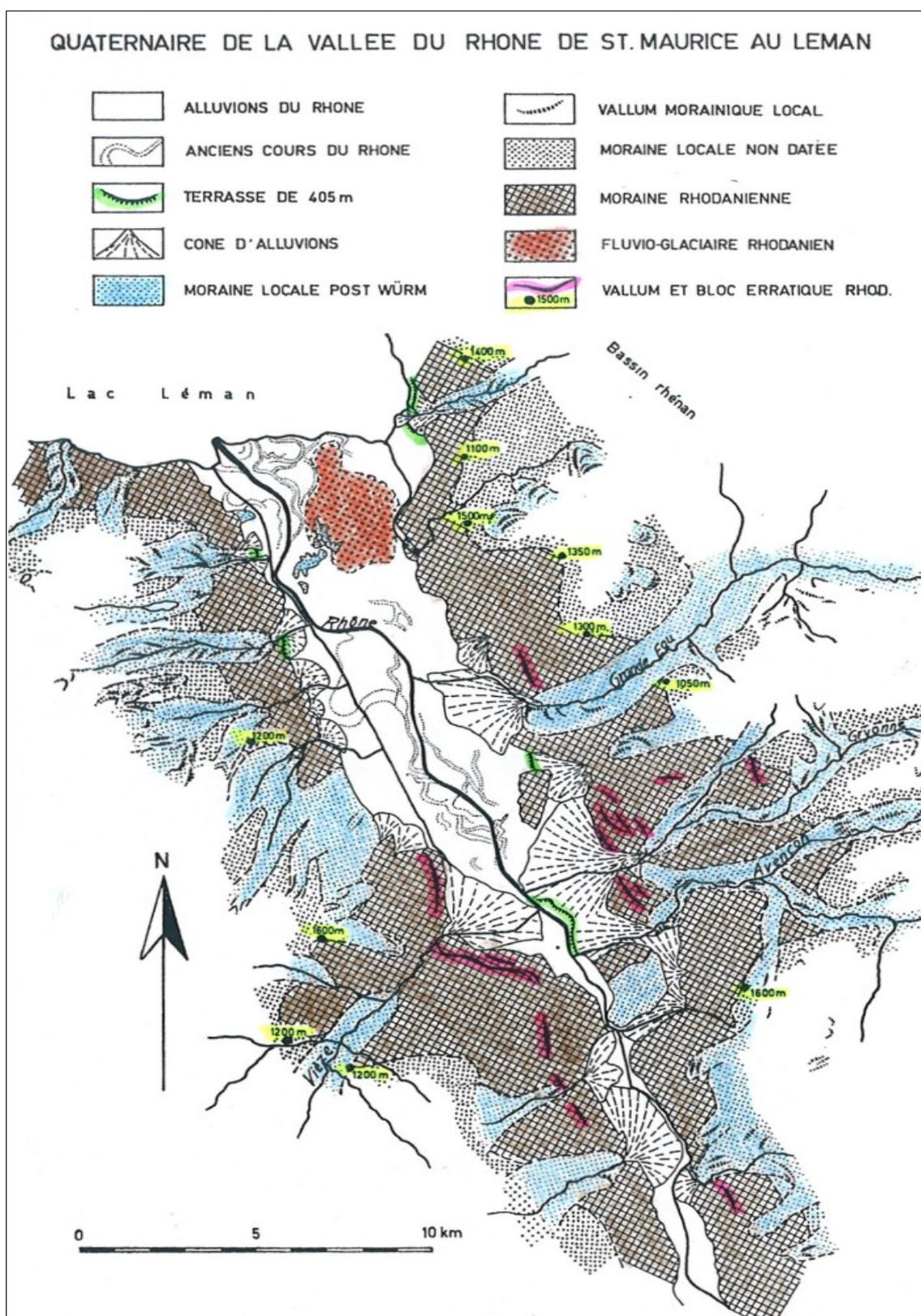
Annexe 5 : La courbe isotopique océanique standard des 800'000 ans passés (trait continu). Elle nous renseigne sur le niveau général des océans et le volume de glace mondial. La courbe en trait tillé représente celle de Vostok, qui montre une profonde similitude. L'échelle des profondeurs du forage (à gauche) correspond à un peu plus de 100 Ka par 200 m (Prell et al. 1986, tiré de Schoeneich, 2005).



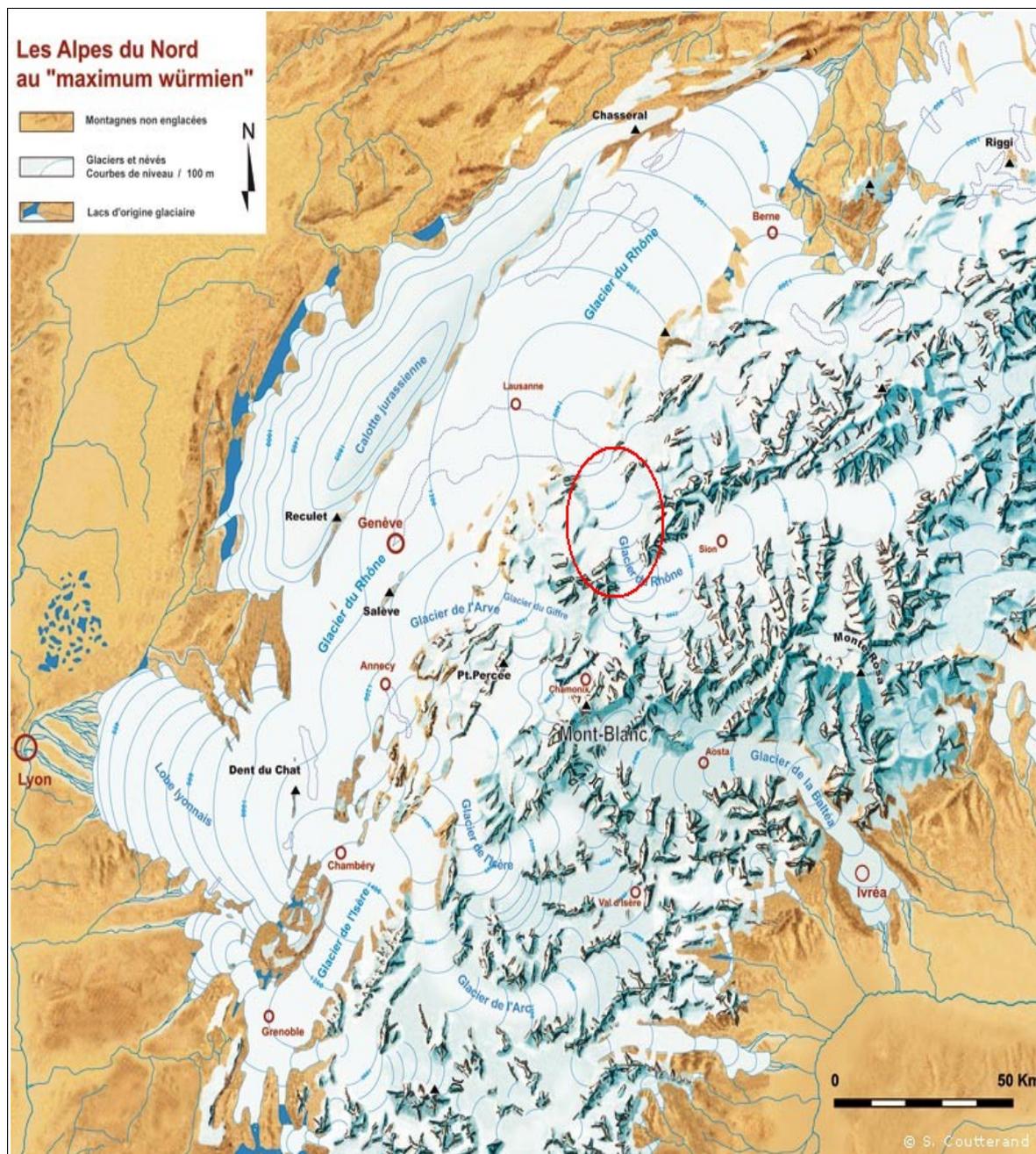
Annexe 6 : Tableau simplifié des périodes géologiques, avec indication de l'évolution des températures et des périodes glaciaires (tiré de www.unifr.ch/géoscience/geographie/ssgmfiches).



Annexe 7 : Carte des formations quaternaires de la vallée du Rhône entre Saint-Maurice et le Léman. (Burri, 1962, modifié).



Annexe 8 : Carte des complexes glaciaires des Alpes du Nord au maximum d'englacement würmien, avec indication de la zone d'étude (cercle rouge). (Coutterand, 2005, modifié, tiré de www.glaciers-climat.com).

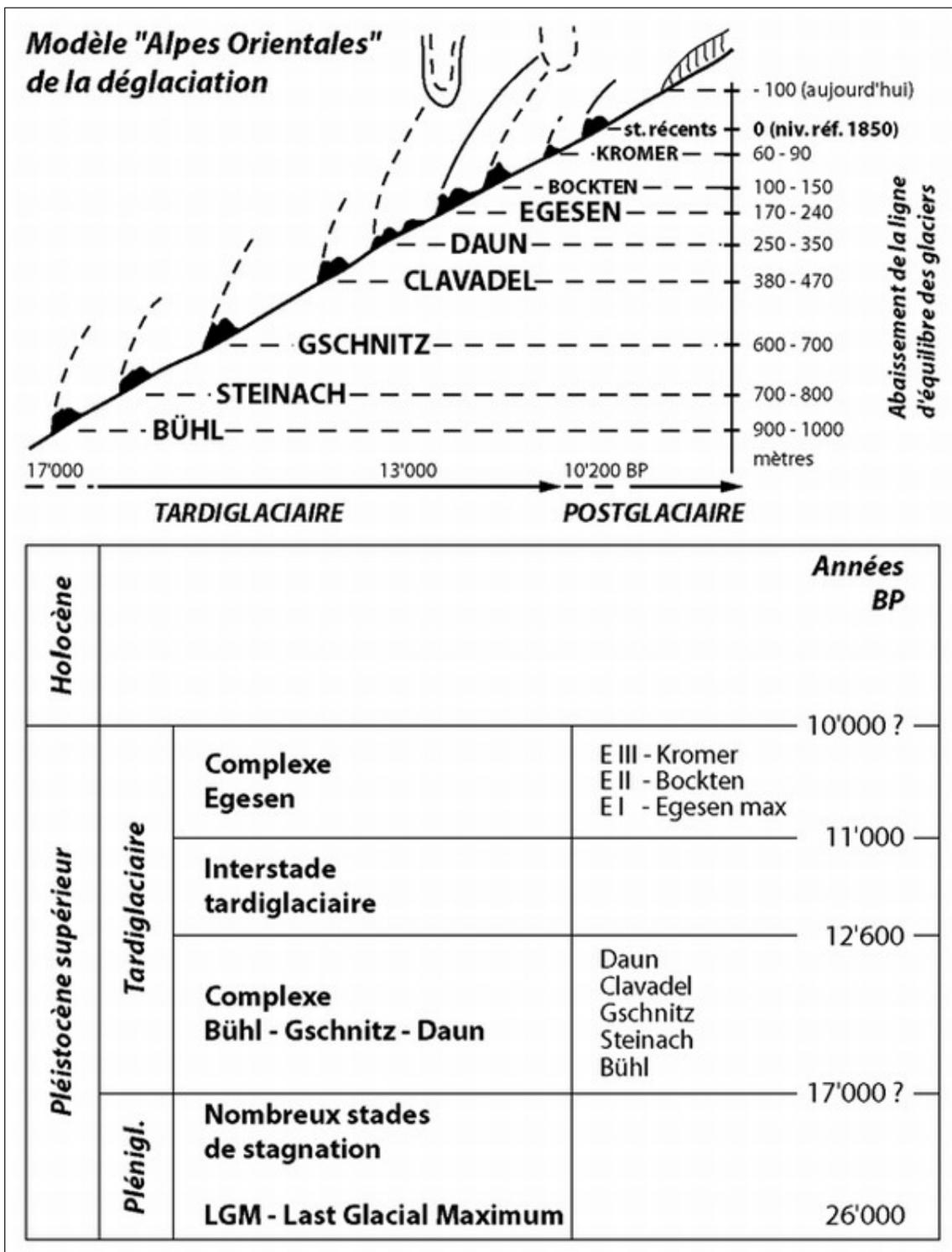


Annexe 9 : Corrélation des différents stades tardiglaciaires. (Scapozza, 2008).

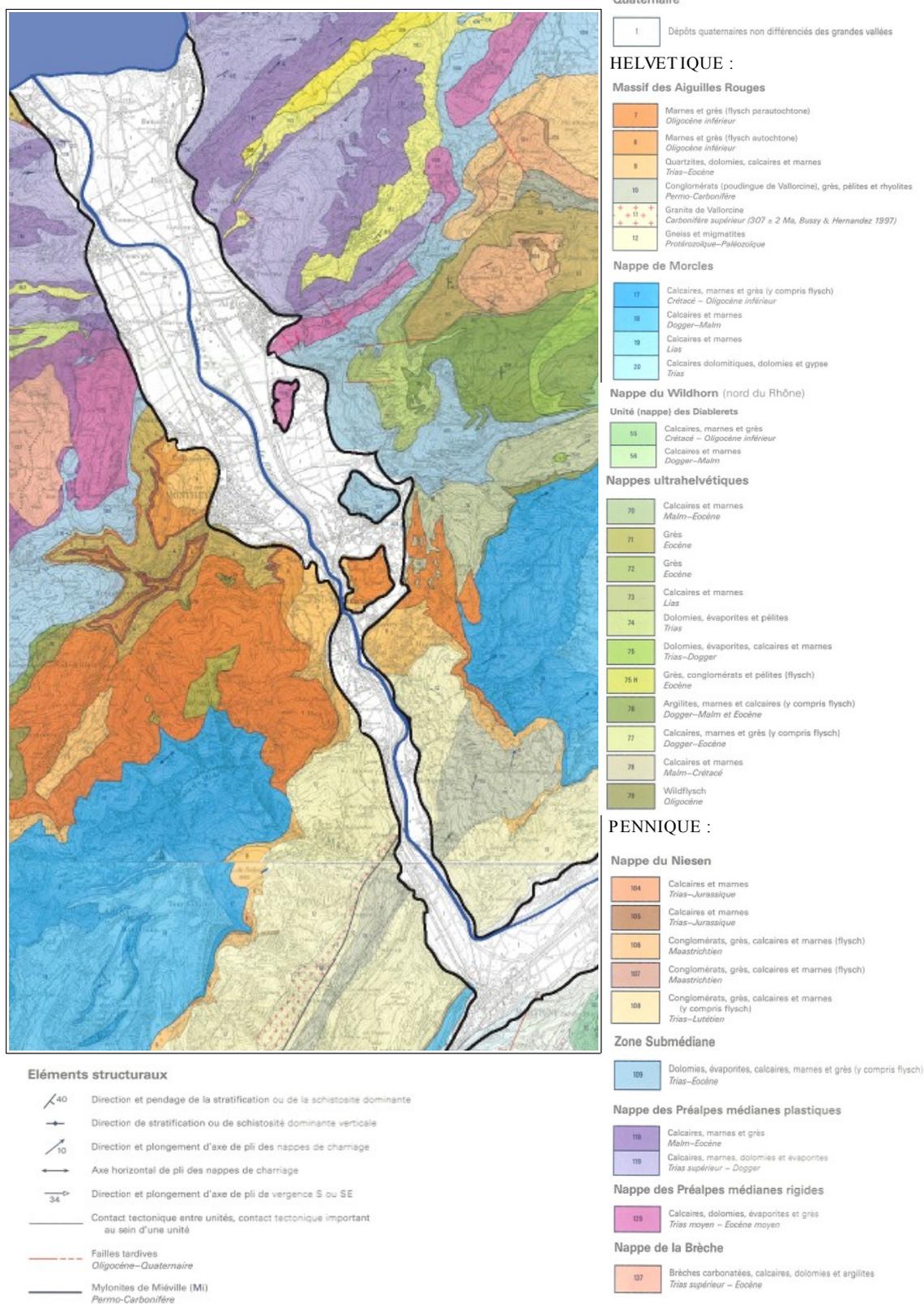
Orino-W ce travail	Composite Blenio ce travail		Gothard-S Remmer (1982) ; Hanke (1983)		Alpes Orientales Maisch (1982)		Vallée de l'Arve Coutterand & Nicoud (2005)		Préalpes vaudoises Schoeneich (1998)	
OW1 max.	290	BLE 1 200-330	Manio ? All'Acqua ?	200-240 280-315	Egessen max. ? Daun ?	170-240 250-350	Chamonix ? Les Houches ?	240 320-430	DA 2	345 ± 100
OW2	400-420	BLE 2 280-510	All'Acqua ? Fontana ?	280-315 420-450	Daun ? Clavadel ?	250-350 380-470	Les Houches ?	320-430	HE 1 – DA 3 HE 2 – DA 4	490 ± 130 585 ± 85
OW3	470-560	BLE 3 505-600	Airolo	660	Gschmitz	600-700	Fayet	620-800		
OW4	810-850	BLE 4/5 575-850	Faido	805-830	Steinach	700-800	Magland	800-850	HE 4 – HE 5	760 ± 100
OW5	995-1035	BLE 6 950-1080	?	?			Bonneville ? Les Rocailles	900-950 1000-1100	HE 6 HE 7	950 ± 100 980 ± 100
OW6	1080-1200	BLE 7 1080-1200	Biasca	1100-1300	Bühi ?	900-1000 ?			HE 8 – GE 9	1050 ± 100

Tab. 6. 14 : Essai de corrélation des stades tardiglaciaires de la séquence Orino-W et de la séquence composite Blenio avec la séquence du Val Leventina - Val Bedretto (Remmer 1982 ; Hanke 1983), le modèle " Alpes Orientales " de Maisch (1982), la séquence de la Vallée de l'Arve (Coutterand & Nicoud 2005) et la séquence de déglaciation des Préalpes vaudoises (Schoeneich 1998a) - Les chiffres indiquent la dépression de la ligne d'équilibre glaciaire (DLEG) en mètres pour un AAR de 0.67 (Gross et al. 1977) et par rapport au stade de référence 1850. La DLEG pour les stades OW 4 et OW 5 de la séquence Orino-W et les stades de la séquence composite Blenio (mis à part le stade de Biasca) a été calculée selon la méthode d/2 de Zienert (1965). A noter que pour le Gothard-S, l'âge minimal du Stade de Selva (Oberen Taveisch), corrélié avec le Stade de All'Acqua, est de 10325 ± 130 C¹⁴ BP (UZ-167) (Remmer 1982), tandis que l'âge minimal du Stade de Manio est de 9995 ± 110 C¹⁴ BP (UZ-348) (Remmer 1982).

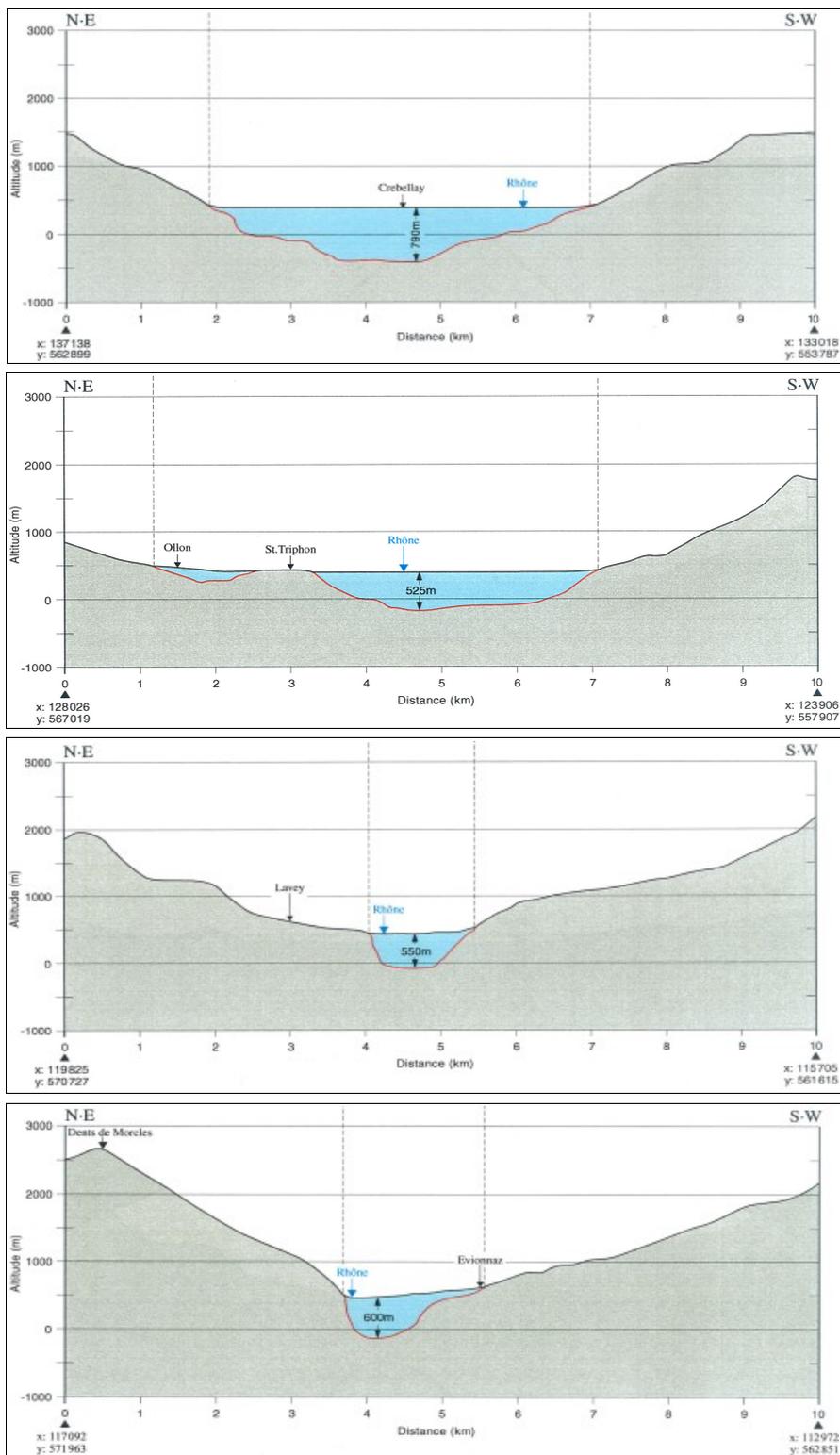
Annexe 10 : *En haut* : Modèle des stades tardiglaciaires de Maisch (1982) sur la base de celui de Penck & Brückner (1909). *En bas* : Modèle de Schoeneich (1998a et b) regroupant les stades tardiglaciaires en deux complexes principaux séparés par l'interstade Bølling-Allerød. (tiré de Scapozza, 2008).



Annexe 11 : Carte tectonique de notre zone d'étude (Steck et al., 1999, modifié).



Annexe 12 : Quelques profils du substratum rocheux de la vallée du Rhône et de son remplissage sédimentaire (en bleu) obtenus par modélisation gravimétrique (Rosselli, 2001).



Annexe 13 : Le texte de Marius d'Avenches (ci-dessous) et celui de Grégoire de Tours (page suivante) relatant l'écroulement du Tauredunum (Schoeneich, 2004).

Le texte de Marius d'Avenches

563 P.C. Basili annos XXII, indictione XI.

Hoc anno mons validus Tauretunen/sis in territorio Vallensi ita subito ruit ut castrum qui vicinus erat et vicos cum omnibus ibidem/ habitantibus oppressisset et lacum in longitudine LX milium et latitudine XX milium/ ita totum movit ut egressus utraque ripa vicos antiquissimos cum hominibus et pecoribus vas/tasset etiam multa sacrasancta loca cum eis servientibus demolisset et pontem Genavacum, / molinas et homines per vim deiecit et Genua civitate ingressus plures homines interfecit.

563 Post-consulat de Basilius, 22e année, 11e indiction (1er sept. 562 - 31 août 563).

Cette année-ci, la grande montagne du Tauredunum dans le diocèse du Valais s'écroula si brusquement qu'elle écrasa un bourg qui était proche, des villages et en même temps tous leurs habitants. Sa chute mit aussi en mouvement tout le lac, long de 60 milles et large de 20 milles, qui, en sortant de ses deux rives, détruisit des villages très anciens avec hommes et bétail. Le lac démolit même beaucoup d'églises avec ceux qui les desservaient. Enfin, il emporta dans sa violence le pont de Genève, les moulins et les hommes et, entrant dans la cité de Genève, il tua beaucoup d'hommes. (trad. Justin Favrod 1991)

Marius (le «Saint-Maire» qui a donné son nom au château de Lausanne) a été évêque d'Avenches et Lausanne de 573 à 593. A son arrivée dans le pays dix ans après l'écroulement, les traces de celui-ci devaient être encore bien visibles. On peut supposer en outre qu'il avait à sa disposition des sources de première main.

Le texte de Grégoire de Tours

De Tauretunensis Montis Lapsu

Igitur in Galliis magnum prodigium de Taureduno castro apparuit, quod super Rhodanum fluvium in monte collocatum erat. Qui cum per dies amplius sexaginta nescio quem mugitum daret, tandem scissus atque separatus mons ille ab alio monte sibi propinquo, cum hominibus, ecclesiis opibusque ac domibus, in fluvium ruit, exclusoque amnis illius littore, aqua retrorsum petiit. Locus etenim ille ab utraque parte a montibus conclusus erat, inter quorum angustias torrens defluit. Inundans ergo superiorem partem, quae ripae insidebat, operuit ac delevit. Adcumulata enim aqua erumpens deorsum, inopinatos reperiens homines, ut desuper fecerat, ipsos enecavit, domos evertit, jumenta delevit, et quae cuncta littoribus illis insidebant, usque ad Genevam civitatem, violenta atque subita subvertit. Traditur a multis tantam congeriem inibi aquae fuisse, ut in ante dictam civitatem super muros ingrederetur. Quod dubium non est, quia, ut diximus, Rhodanus, in locis illis inter angustias montium defluit, nec habuit, in latere cum fluit exclusus, quo se diverteret; commotumque montem qui descenderat ad semel rupuit, et sic cuncta delevit. Quod cum factum esset, triginta monachi, unde castrum ruerat, advenerunt, et terram illam, qua monte diruente remanserat, fodientes, aes sive ferrum reperiunt. Quod dum agerent, rugitum montis, ut prius fuerat, audierunt. Sed dum a saeva cupiditate retinentur, pars illa, quae nondum ruerat, super eos cecidit, quos operuit atque interfecit, nec ultra inventi sunt.

De la chute de la montagne de Tauredunum

C'est alors que, dans les Gaules, on vit un grand prodige touchant le bourg de Tauredunum, qui se trouvait au bord du Rhône. La montagne faisait un étrange bruit depuis soixante jours; enfin, s'étant séparée de la montagne voisine, elle s'effondra dans le fleuve avec les habitants, les églises, les biens et les maisons; le lit du Rhône fut obstrué et l'eau reflua. En effet, l'endroit était des deux côtés enserré par des montagnes; dans le défilé, le fleuve coulait en tourbillonnant. Inondant ainsi la partie supérieure, il recouvrit et détruisit tout ce qui occupait les rives. Puis, l'eau accumulée se précipita en contrebas, prenant les gens à l'improviste comme elle l'avait fait en amont, les noya, renversa les maisons, fit périr les bêtes de somme et tout ce qu'il y avait sur les rives du lac jusqu'à Genève. Elle pénétra dans la ville et la détruisit en l'inondant violemment et brusquement. Beaucoup racontent que se trouvait là une si grande masse d'eau qu'elle envahit Genève par-dessus les murailles. Il n'y a pas à en douter, parce que, comme nous l'avons dit, le Rhône en ces lieux s'écoule dans le défilé formé par les montagnes; barré, il n'avait pas eu sur ses côtés de quoi se répandre. Il avait rompu d'un seul coup la montagne qui s'était effondrée et avait ainsi tout détruit. Après les événements, trente moines se rendirent à l'endroit d'où le bourg avait été emporté et, creusant la terre qui était restée une fois la montagne éboulée, ils trouvèrent des objets de bronze et de fer. Tandis qu'ils s'affairaient, ils entendirent un grondement de la montagne, comme cela s'était produit auparavant. Mais ils étaient retenus par leur sauvage cupidité, et la partie qui n'était pas encore écroulée tomba sur eux; elle les recouvrit et les tua et on ne les retrouva pas là-dessous. (trad. Viviane Durussel et Jean-Daniel Morerod)

Grégoire de Tours a été évêque de Tours de 572 à 594. Sa chronique a été écrite à partir de 583 (?), soit plus de vingt ans après l'événement, et à des centaines de kilomètres de là. Bien qu'offrant apparemment plus de détails sur l'événement, le texte de Grégoire de Tours doit être considéré comme un témoignage de seconde main, et donc moins fiable que celui de Marius.

Quand les glaciers progressaient

Au début du XIXe siècle, la langue glaciaire du Giétro s'étirait encore tout au long de la paroi rocheuse où coule la cascade d'aujourd'hui. L'importante déclivité du site accélérât la progression du glacier, provoquant de multiples fractures de la glace. Les chutes de séracs étaient fréquentes. Dès 1805, combinés à la neige des avalanches, ces gigantesques blocs de glace se ressoudaient pour former un glacier régénéré. Il allait progressivement conduire à la formation d'un lac glaciaire, en obstruant le lit de la Dranse, une rivière qui sillonne la vallée pour rejoindre le Rhône.

C'est là que «l'histoire locale et l'histoire systémique se rejoignent pour raconter les grands changements climatiques». En avril 1815, l'Indonésie subit l'éruption du volcan Tambora, la plus violente du dernier demi-millénaire. Près de 15 000 personnes perdent la vie. Sur toute l'île et plus loin dans le pays, tsunamis, famines et épidémies font 70 000 victimes supplémentaires. En Europe occidentale, la température moyenne chute de 3 degrés. L'année 1816 restera comme «l'année sans été». Pendant que la disette gangrène le continent, les glaciers avancent brusquement. Au printemps de cette année-là, malgré les fontes annuelles, le débit de la Dranse ne cesse de diminuer. Le tunnel par lequel les eaux s'écoulaient auparavant semble obstrué. Chasseur de chamois réputé, Jean-Pierre Perraudin se rend sur les lieux pour découvrir l'ampleur de la menace.

En 1818, le lac du Giétro s'étire sur deux kilomètres de long et il est profond d'une soixantaine de mètres. Il contient approximativement 30 millions de mètres cubes d'eau et de matériaux.

La catastrophe de 1818

Ingénieur du canton du Valais, le jeune Ignace Venetz analyse cet inquiétant phénomène le 12 mai 1818. Dans l'urgence, il imagine une solution inédite pour libérer les eaux du lac et les travaux débutent dès le lendemain. Armés de haches, 32 ouvriers de la région s'acharnent à creuser un tunnel dans la digue glacée. Après de multiples interruptions de chantier, les eaux du lac du Giétro commencent à s'écouler le 13 juin au soir. Le 16 au matin, près du tiers du volume a été évacué sans accident grave, mais la digue souffre d'érosion et la catastrophe reste imminente. Ignace Venetz écrit: «Nous avons veillé cette nuit car l'ennemi est en pleine marche.» Vers 16h30, les glaces cèdent dans un éclat assourdissant. En moins d'une demi-heure, 20 millions de mètres cubes d'eau et de glace se déversent dans le val de Bagnes

Dans la montagne, les bûchers qui auraient dû alerter la population ne sont pas tous enflammés, ou alors trop tard. Vers 18h, la crue tue 34 personnes à Martigny après en avoir emporté une dizaine dans la vallée.

La naissance de la théorie glaciaire

Pour le géomorphologue Christophe Lambiel, de l'Université de Lausanne, «la théorie glaciaire est née dans le val de Bagnes». La débâcle du Giétro revient avec insistance dans la littérature spécialisée du XIXe siècle. En 1821, Ignace Venetz rédige un mémoire sur les variations de température dans les Alpes. Pour la première fois, il ose une explication au déplacement des blocs erratiques, ces fragments de roche transportés par les glaciers. Dans ce texte, l'ingénieur soutient que les glaces ont recouvert la majeure partie de la Suisse par le passé, et que le climat de la planète oscille entre périodes chaudes et froides. Ces hypothèses se heurteront longtemps au scepticisme de la communauté scientifique.

Mandaté pour une expertise de la catastrophe, Jean de Charpentier lui apporte son soutien en 1841, quand il publie son *Essai sur les glaciers*. Le géologue germano-suisse reconnaît la paternité valaisanne de la théorie glaciaire: «La personne que j'ai entendue pour la première fois émettre cette opinion est un bon et intelligent montagnard nommé Jean-Pierre Perraudin, passionné chasseur de chamois et encore vivant au hameau de Lourtier, dans le val de Bagnes.» Ce dernier fonde ses hypothèses sur les stries sculptées dans la roche par les mouvements des glaciers. Il observe ces «cicatrices» à la fois sur le site du Giétro et beaucoup plus bas dans la vallée. «Les autochtones ont été les premiers à se questionner sur la montagne, à un moment où elle inspirait surtout la crainte.»