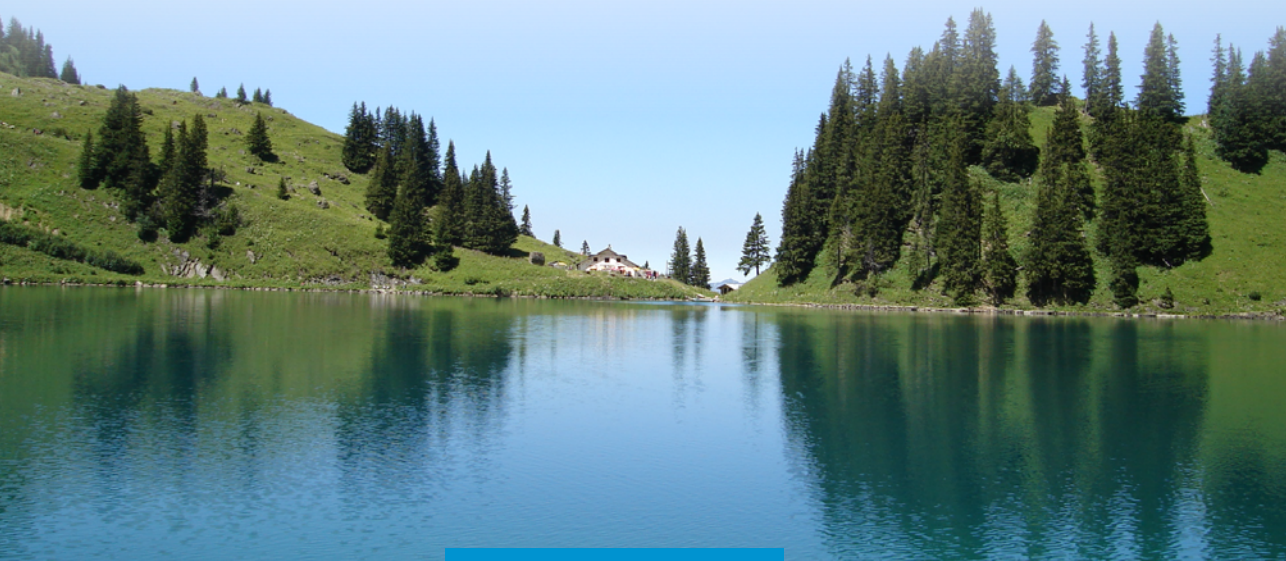
UNIL | Université de Lausanne
Institut de géographie
et durabilité

Géopatrimoines des trois Chablais : identification et valorisation des témoins glaciaires

Amandine Perret



Lausanne, 2014

UNIL | Université de Lausanne
Institut de géographie
et durabilité

Université de Grenoble - Alpes - Savoie
Laboratoire
EDYTEM
Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne

Géopatrimoines des trois Chablais : identification et valorisation des témoins glaciaires

Thèse de doctorat en cotutelle

présentée à la Faculté des géosciences et de l'environnement
de l'Université de Lausanne et à l'Université de Grenoble - Alpes - Savoie par

Amandine Perret

Diplômée ès Lettres (Lausanne)

Jury

Président du colloque	Prof. Eric Verrechia Vice-Doyen de la Faculté des GSE, Université de Lausanne
Directeur de thèse	Prof. Emmanuel Reynard Institut de géographie et durabilité, Université de Lausanne
Co-directeur de thèse	Prof. Jean-Jacques Delannoy Laboratoire Environnements, dynamiques et territoires de la montagne (EDYTEM) Université de Savoie, Chambéry
Experts	Prof. Philippe Schoeneich Institut de Géographie Alpine Université Joseph-Fournier, Grenoble
	Prof. Christian Giusti UFR de Géographie - Aménagement Université de Paris-Sorbonne (Paris IV)
	Prof. José Brilha Departamento de Ciências da Terra Universidade do Minho, Braga

Lausanne 2014

UNIL | Université de Lausanne
Décanat Géosciences et de l'Environnement
bâtiment Géopolis
CH-1015 Lausanne

IMPRIMATUR

Vu le rapport présenté par le jury d'examen, composé de

Président du colloque :	M. le Professeur Eric Verrecchia
Co-directeur de thèse :	M. le Professeur Emmanuel Reynard (UNIL)
Co-directeur de thèse :	M. le Professeur Jean-Jacques Delannoy (Grenoble)
Expert externe :	M. le Professeur José Brilha
Expert externe :	M. le Professeur Christian Giusti
Expert externe :	M. le Professeur Philippe Schoeneich

Le Doyen de la Faculté des géosciences et de l'environnement autorise l'impression de la thèse de

Madame Amandine PERRET

Titulaire d'une Licence ès Lettres
Université de Lausanne

Thèse effectuée dans le cadre d'une co-tutelle entre
l'Université Joseph Fourier de Grenoble (UJF) et l'Université de Lausanne (UNIL)
intitulée

GEOPATRIMOINES DES TROIS CHABLAIS : IDENTIFICATION ET VALORISATION DES TEMOINS GLACIAIRES

Lausanne, le 11 juin 2014

Faculté des géosciences et de l'environnement

Professeur Eric Verrecchia, Vice-doyen

Impressum

Manière de citer cet ouvrage :
Perret, A. (2014). *Géopatrimoines des trois Chablais : identification et valorisation des témoins glaciaires* (Géovisions n°45). Lausanne : Université, Institut de géographie et durabilité.

Directeur de la publication :
Emmanuel Reynard

Image page de couverture :
Le lac Lioson (VD), lac d'ombilic glaciaire et son verrou. Photo: A. Perret

Mise en page et graphisme :
Amandine Perret

Impression :
Multiprint SA
Avenue Beauregard
CH-1700 Fribourg

Publié par :
Institut de géographie et durabilité
Université de Lausanne
Géopolis
1015 Lausanne
http://www.unil.ch/igd

Publié avec le soutien de :
Groupe de travail sur les géotopes en Suisse (Scnat)
Institut de géographie et durabilité de l'Université de Lausanne

© Université de Lausanne

2014 Institut de géographie et durabilité – UNIL ISBN : 978-2-940368-21-1

Table des matières

Préambule I

Résumé III

Abstract V

Remerciements VII

1. Introduction générale et problématique 1
   - 1.1. La notion de patrimoine glaciaire, de quoi parle-t-on ? 3
   - 1.2. Problématiques de la recherche 4
   - 1.3. Objectifs et questions de recherche 5
     - 1.3.1. Objectif 1 Géopatrimoine 5
     - 1.3.2. Objectif 2 Quaternaire chablaisien 6
     - 1.3.3. Objectif 3 Inventaire de géosites 6
     - 1.3.4. Objectif 4 Médiation 7
   - 1.4. Dynamique de la recherche 7
   - 1.5. Plan de la recherche 7

2. Des témoins glaciaires au patrimoine glaciaire 11
   - 2.1. Le patrimoine comme outil de transmission 13
     - 2.1.1. Les objets du patrimoine : évolution d'un concept, évolution des sensibilités 13
     - 2.1.2. Du patrimoine culturel au patrimoine naturel 16
     - 2.1.3. La géographie et le patrimoine 17
     - 2.1.4. Le processus de patrimonialisation : du cas par cas 19
   - 2.2. Les particularités des géopatrimoines 22
     - 2.2.1. Les géosciences et la société 22
     - 2.2.2. Géoconservation 24
     - 2.2.3. Géopatrimoine et géodiversité 26
     - 2.2.4. Géotourisme et géoparcs 30
   - 2.3. Témoins glaciaires ou patrimoine glaciaire? 31

3. Trois Chablais, un territoire 33
   - 3.1. Le territoire 35
     - 3.1.1. Situation géographique 35
     - 3.1.2. Une dynamique territoriale : le projet 123 Chablais 39
     - 3.1.3. Un projet territorial tourné vers le patrimoine géologique : le Geopark Chablais 41
   - 3.2. Contexte physique 46
     - 3.2.1. Unités géographiques 46
     - 3.2.2. Cadre géologique 47
     - 3.2.3. Hydrographie : le Rhône et ses affluents 54
     - 3.2.4. Cadre climatique 54
     - 3.2.5. Géomorphologie : processus glaciaires et associés 56
     - 3.2.6. Les glaciers 64
   - 3.3. Connaissance et utilisation des témoins glaciaires dans le Chablais 65
     - 3.3.1. Les travaux pionniers : la théorie glaciaire 67
     - 3.3.2. Les recherches sur le Quaternaire du Chablais 68
     - 3.3.3. Utilisation des témoins glaciaires dans le Chablais 72

3.4. Caractéristiques des témoins glaciaires chablaisiens....77

4. Quaternaire 79

4.1. Etat des connaissances sur le Quaternaire des Chablais 81
4.1.1. Une base de données bibliographiques spatialisées....81
4.1.2. Méthodes pour la reconstruction géométrique des fluctuations....83
4.1.3. Méthodes de datation relative, numérique et absolue....85
4.1.4. Le glacier du Rhône et ses relations avec les appareils secondaires 88
4.1.5. Les scenarii de fluctuation glaciaire dans le bassin lémanique....96
4.1.6. Reconstitutions glaciaires : les problématiques actuelles....97
4.2. Reconstitution des stades glaciaires....102
4.2.1. Problématique....102
4.2.2. Méthodes 103
4.2.3. Résultats 104
4.3. Datation du retrait glaciaire....107
4.3.1. Problématique générale....107
4.3.2. La datation du LLGM et du stade de Genève 109
4.3.3. La datation du stade de Monthey....124
4.3.4. Conclusion générale sur les deux séries de datations 145
4.4. Conclusion du chapitre Quaternaire 146

5. Inventaire des géosites glaciaires.... 149

5.1. Les géosites, unité de base de l'inventaire 151
5.1.1. Historique de la notion et définitions....151
5.1.2. Intérêt et utilisation des géosites....152
5.1.3. Caractéristiques des géosites géomorphologiques 152
5.1.4. Les valeurs attribuées aux géosites....154
5.2. L'inventaire, un processus et un outil....160
5.2.1. Le processus d'inventaire 160
5.2.2. L'inventaire des géosites glaciaires du Chablais 161
5.3. Une méthode de sélection des géosites....165
5.3.1. Problématique....165
5.3.2. La méthode 166
5.3.3. Résultats 174
5.3.4. Discussion et conclusion....178
5.4. La méthode « UNIL » en évolution 179
5.4.1. Structure de la méthode de base....179
5.4.2. Adaptation de la méthode au « terrain »....181
5.4.3. Evaluation qualitative et numérique....190
5.4.4. Analyse des résultats de l'inventaire de géosites glaciaires....193
5.5. Des géosites à la valorisation....199
5.5.1. Une méthode d'inventaire adaptée à son contexte ? 199

6. Valorisation : l'exposition sur le patrimoine .....
glaciaire des Chablais 201

6.1. Introduction et problématique....203
6.1.1. « On ne voit que ce que l'on connaît »....203
6.1.2. La vulgarisation scientifique remplacée par la médiation. 204
6.1.3. Méthodologie pour l'élaboration de produits géotouristiques 204
6.2. L'exposition sur le patrimoine glaciaire des Chablais 206
6.2.1. Contexte, évaluation et analyse (étape 1) 206
6.2.2. Les quatre pôles de la médiation (étape 2)....208
6.2.3. Réalisation (étape 3)....217
6.3. Résultats et discussion....218
6.3.1. Retour d'expérience 218

6.3.2. Impressions des visiteurs 221
6.4. Conclusion du chapitre valorisation 224

7. Conclusion générale et perspectives 225

7.1. Retour sur les objectifs de recherche 227
7.1.1. Objectif 1 Géopatrimoine 227
7.1.2. Objectif 2 Quaternaire chablaisien 230
7.1.3. Objectif 3 Inventaire de géosites 232
7.1.4. Objectif 4 Médiation 233
7.2. Conclusion et perspectives 234
7.2.1. Articulation de la connaissance objective et de l'identification du géopatrimoine 234
7.2.2. La médiation du géopatrimoine 234

Annexes 237

Bibliographie 239

Préambule

Ce travail de recherche s'intéresse au *patrimoine glaciaire*. Cette notion n'a rien d'évident pour toute personne qui ne travaille pas à la fois sur le patrimoine (naturel) et à la fois sur la géomorphologie (glaciaire). Nous nous situons donc dans des questionnements de société - le patrimoine est indissociable de la société qui le reconnaît à un moment donné - et dans des questionnements scientifiques, géomorphologiques et plus précisément de chronologie glaciaire. Ces « domaines différents » de la science supposent des *backgrounds* conceptuels et méthodologiques spécifiques, et bien souvent, une sensibilité propre. Associer ces deux types de thématique dans une même recherche est pourtant courant en géomorphologie, certainement du fait de la parenté que cette discipline entretient avec la géographie, science « à cheval » entre l'humain et le physique. Notre questionnement sur le *patrimoine glaciaire* des Chablais se situe donc pleinement dans une réflexion géographique avec toute la complexité que cela suppose, et parfois, les détours que cela implique. Pour mener à bien notre recherche, nous passerons donc par une mise en question de la notion de patrimoine et de son application aux témoins glaciaires. Puis, les témoins glaciaires seront interrogés à l'aide d'une méthode de datation quasi inédite dans le bassin lémanique. Un inventaire permettra de distinguer les éléments les plus marquants de l'histoire glaciaire locale. Enfin, les résultats scientifiques seront valorisés à l'attention du public, présentés sous forme d'exposition itinérante. Cette brève énumération reflète en partie la diversité des moyens mis en œuvre pour interroger la notion de *patrimoine glaciaire* dans ce travail, en espérant parvenir à un tout cohérent dont les parties s'additionnent et se complètent.

Pour mieux comprendre la ligne de travail que nous avons suivie, il est utile de préciser que cette recherche répond d'une manière globale à une attente d'acteurs du territoire et de façon plus pointue à des besoins d'approfondissement et d'amélioration des connaissances scientifiques. Du côté du territoire, nous sommes une toute petite composante d'un programme de développement territorial franco-suisse au sein du projet de développement local « 123 Chablais », financé par le programme Interreg IV. Nous participons donc à un projet de développement économique, basé sur la promotion des patrimoines locaux, incluant recherche et formation. Parallèlement, le Chablais français a intégré le réseau international des géoparcs (*Global Geoparks Network*), élément significatif de la dynamique ambiante de développement du patrimoine géologique et géomorphologique régional. Du côté de la recherche, nous apportons une contribution dans le domaine du Quaternaire régional (géomorphologie glaciaire), des géosites (objets du géopatrimoine) et de la valorisation des géosciences auprès du public (médiation géoscientifique), trois thématiques à divers degrés de maturation dans le paysage scientifique. Ce travail représente l'occasion de croiser les préoccupations territoriales avec les axes de la recherche actuelle. Il prend donc la forme d'un compromis entre préoccupations locales et intérêts académiques.

Résumé

Cette recherche s'applique aux témoins glaciaires des Chablais dans quatre de leurs dimensions : géopatrimoine, connaissance objective, inventaire de géosites et valorisation. Elle est organisée sur le canevas d'un processus de patrimonialisation auquel elle participe et qu'elle interroge à la fois.

En 2009, débutait le projet 123 Chablais, pour une durée de quatre ans. Il concernait l'ensemble du territoire chablaisien, réparti sur deux pays (France et Suisse) et trois entités administratives (département de la Haute-Savoie, cantons de Vaud et du Valais). Ce projet, élaboré dans le cadre du programme Interreg IV France-Suisse, avait pour but de dynamiser le développement économique local en s'appuyant sur les patrimoines régionaux. Le géopatrimoine, identifié comme une de ces ressources, faisait donc l'objet de plusieurs actions, dont cette recherche. En parallèle, le Chablais haut-savoyard préparait sa candidature pour rejoindre l'European Geopark Network (EGN). Son intégration, effective dès 2012, a fait de ce territoire le cinquième géoparc français du réseau. Le Geopark du Chablais fonde son identité géologique sur l'eau et la glace, deux thématiques intimement liées aux témoins glaciaires. Dans ce contexte d'intérêt pour le géopatrimoine local et en particulier pour le patrimoine glaciaire, plusieurs missions ont été assignées à cette recherche qui devait à la fois améliorer la connaissance objective des témoins glaciaires, inventorier les géosites glaciaires et valoriser le patrimoine glaciaire.

Le premier objectif de ce travail était d'acquérir une vision synthétique des témoins glaciaires. Il a nécessité une étape de synthèse bibliographique ainsi que sa spatialisation, afin d'identifier les lacunes de connaissance et la façon dont ce travail pouvait contribuer à les combler. Sur cette base, plusieurs méthodes ont été mises en œuvre : cartographie géomorphologique, reconstitution des lignes d'équilibre glaciaires et datations de blocs erratiques à l'aide des isotopes cosmogéniques produits in situ. Les cartes géomorphologiques ont été élaborées en particulier dans les cirques et vallons glaciaires. Les datations cosmogéniques ont été concentrées sur deux stades du glacier du Rhône : le Last Local Glacial Maximum (LLGM) et le stade de Monthey. Au terme de cette étape, les spécificités du patrimoine glaciaire régional se sont révélées être 1) une grande diversité de formes et des liens étroits avec différents autres processus géomorphologiques ; 2) une appartenance des témoins glaciaires à dix grandes étapes de la déglaciation du bassin lémanique.

Le second objectif était centré sur le processus d'inventaire des géosites glaciaires. Nous avons mis l'accent sur la sélection du géopatrimoine en développant une approche basée sur deux axes (temps et espace) identifiés dans le volet précédent et avons ainsi réalisé un inventaire à thèmes, composé de 32 géosites. La structure de l'inventaire a également été explorée de façon à intégrer des critères d'usage de ces géosites. Cette démarche, soutenue par une réflexion sur les valeurs attribuées au géopatrimoine et sur la façon d'évaluer ces valeurs, nous a permis de mettre en évidence le point de vue anthropo- et scientifico-centré qui prévaut nettement dans la recherche européenne sur le géopatrimoine. L'analyse des résultats de l'inventaire a fait apparaître quelques caractéristiques du patrimoine glaciaire chablaisien, discret, diversifié, et comportant deux spécificités exploitables dans le cadre d'une médiation scientifique : son statut de « berceau de la théorie

glaciaire » et ses liens étroits avec des activités de la vie quotidienne, en tant que matière première, support de loisir ou facteur de risque.

Cette recherche a débouché sur l'élaboration d'une exposition itinérante sur le patrimoine glaciaire des Chablais. Ce produit de valorisation géotouristique a été conçu pour sensibiliser la population locale à l'impact des glaciers sur son territoire. Il présente une série de sept cartes de stades glaciaires, encadrées par les deux mêmes thématiques, l'histoire de la connaissance glaciaire d'une part, les témoins glaciaires et la société, d'autre part.

Abstract

This research focuses on glacial witnesses in the Chablais area according to four dimensions : geoheritage, objective knowledge, inventory and promotion of geosites. It is organized on the model of an heritage's process which it participates and that it questions both.

In 2009, the project 123 Chablais started for a period of four years. It covered the entire chablaisien territory spread over two countries and three administrative entities (département of Haute-Savoie, canton of Vaud, canton of Valais). This project, developed in the framework of the Interreg IV France-Switzerland program, aimed to boost the local development through regional heritage. The geoheritage identified as one of these resources, was therefore the subject of several actions, including this research. In parallel, the French Chablais was preparing its application to join the European Geopark Network (EGN). Its integration, effective since 2012, made of this area the fifth French Geopark of the network. The Chablais Geopark geological identity was based on water and ice, two themes closely linked to the glacial witnesses. In this context of interest for the regional geoheritage and especially for the glacial heritage, several missions have been assigned to this research which should improve objective knowledge of glacial witnesses, inventory and assess glacial geosites.

The objective knowledge's component was to acquire a synthetic vision of the glacial witnesses. It required a first bibliography synthesis step in order to identify gaps in knowledge and how this work could help to fill them. On this basis, several methods have been implemented: geomorphological mapping, reconstruction of the equilibrium-line altitude and dating of glacial erratic blocks using cosmogenic isotopes produced in situ. Geomorphological maps have been developed especially in glacial cirques and valleys. Cosmogenic datings were concentrated on two stages of the Rhone glacier: the Last Local Glacial Maximum (LLGM) and « the stage of Monthey ». After this step, the specificities of the regional glacial heritage have emerged to us as 1) a wide variety of forms and links to various other geomorphological processes; 2) belonging of glacial witnesses to ten major glacial stages of Léman Lake's deglaciation.

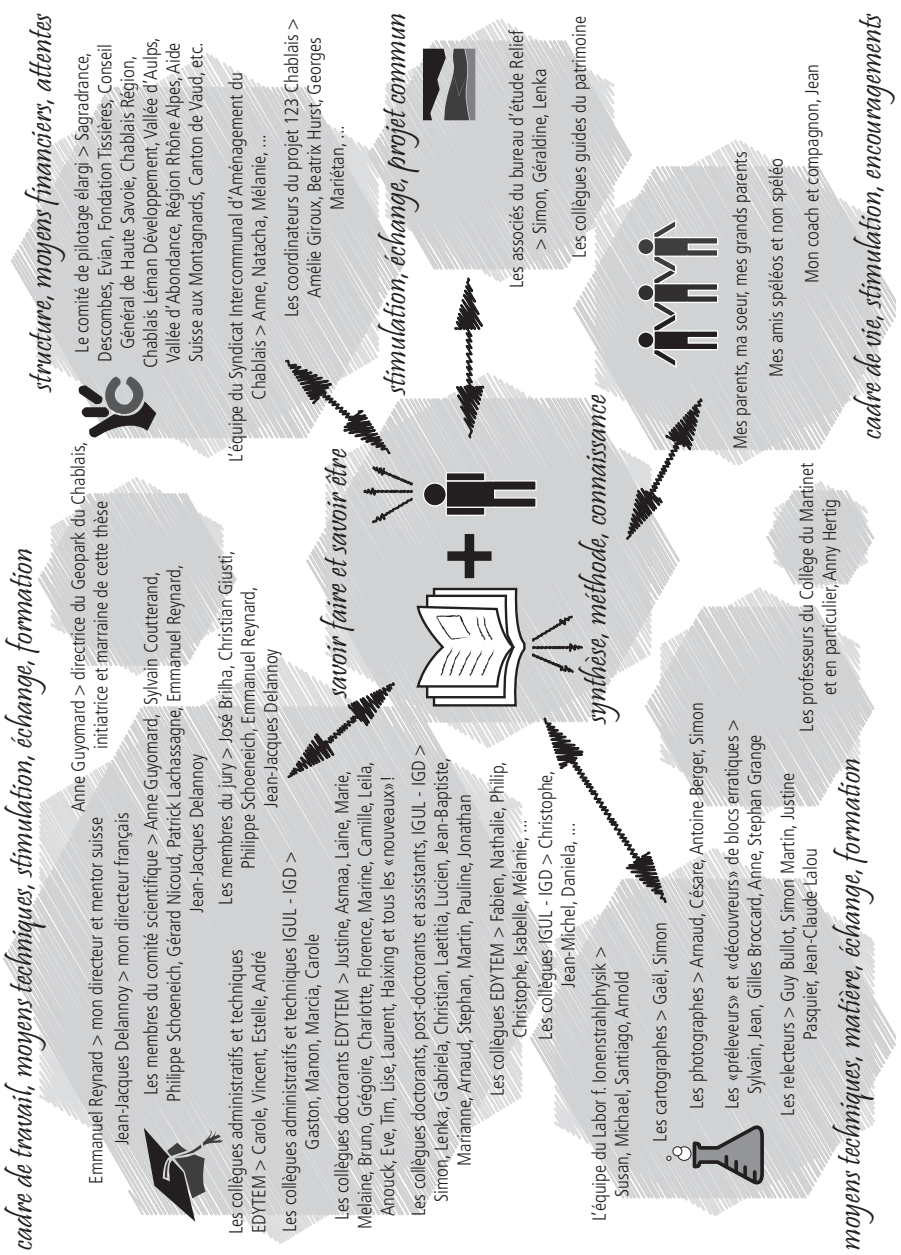
In the inventory of glacial geosites component we focused on the selection of geoheritage. We developed an approach based on two axes (time and space) identified in the preceding components. We obtained a thematic inventory, consisting of 32 geosites. The structure of the inventory was also explored in the aim to integrate use criteria of geosites. This approach, supported by a thought on the values attributed to the geoheritage and how to assess these values allowed us to highlight the point of view much anthropological - and scientific -centered prevailing in the European research on geoheritage. The analysis of the inventory's results revealed some characteristics of chablaisien glacial heritage, discrete, diverse, and with two features exploitable in the context of a scientific mediation: its status as « cradle of the glacial theory » and its close links with activities of daily life, as raw material, leisure support and risk factor.

This research leads to the development of a traveling exhibition on the glacial heritage of the Chablais area. It presents a series of seven glacial stage's cards,

framed by the two themes mentioned above: « history of glacial knowledge » and « glacial witnesses and society ».

Remerciements

Au terme de ce travail, j'aimerais remercier toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, en phase initiale, finale ou tout au long des années écoulées, au travail présenté dans ces pages. Plus qu'à la réalisation d'une thèse, elles ont participé au façonnement d'un individu.



1. Introduction générale et problématique

Dans ce chapitre, nous précisions le cadre conceptuel dans lequel s'inscrit notre travail. Bien que l'étude comprenne une forte composante quaternariste (chapitre 3 & chapitre 4), la thématique principale qui guide cette recherche est celle des géopatrimoines. Nous abordons succinctement cette question qui sera développée dans le chapitre 2. Nous présentons ensuite la problématique générale de recherche, ses objectifs et ses questions. Enfin, nous expliquons l'articulation des chapitres qui soutient la dynamique de cette recherche.

1.1. La notion de patrimoine glaciaire, de quoi parle-t-on ?

Comme nous l'avons évoqué en préambule, la notion de patrimoine glaciaire n'est pas intuitive, et pour cause ! Si la notion de patrimoine est entrée dans le vocabulaire commun, elle est généralement associée à des productions humaines : bâtiments, œuvres artistiques, etc., lorsqu'elle ne fait pas référence aux biens de l'entreprise ou de la famille. L'association du vocable « patrimoine » avec celui de « glaciaire » suppose une alliance de la culture avec la nature (Fig. 1.1).

Qu'entend-t-on par « glaciaire » ? Le point de vue du géomorphologue ou du quaternariste est celui des « dépôts, formations, accumulations, reliefs, formes d'érosion, morphologies, processus, dynamiques, etc. », soit des témoins de l'action des glaciers. De la notion de témoin on est relativement proche de celle d'héritage. La forme des vallées en U, l'accumulation sédimentaire qui constitue l'aquifère d'une eau minérale ou le bloc erratique granitique sur les flancs d'une montagne calcaire, tous ces éléments du relief témoignent du passage d'un ancien glacier, d'un état différent de la planète et de l'évolution de son climat. Leur présence nous renseigne sur le fonctionnement de notre environnement. Lorsqu'ils sont identifiés, analysés, que l'on a pu cerner leur articulation, leur chronologie, les interactions qu'ils entretiennent avec les autres éléments du relief, ces témoins deviennent de précieux moyens de compréhension de cet environnement. La mémoire qui est ici visée est celle de la Terre, l'homme évoluant à la surface de cette dernière et entrant en interaction avec ces éléments.

Qu'entend-on par « patrimoine » ? Le géomorphologue qui s'intéresse au patrimoine tient une position particulière dans sa discipline. S'écartant des sciences naturelles, il emprunte aux sciences sociales et notamment à la géographie humaine dont il est proche, un concept qui permet d'interroger les liens entretenus entre une société et un type d'objet. Si le patrimoine concernait à l'origine la cellule familiale, il s'est aujourd'hui élargi de manière à englober une multitude d'objets (culturels et naturels) et de traditions. Les deux dénominateurs communs du patrimoine semblent pouvoir être résumés à deux éléments (Davallon, 2002; Di Méo, 2008). Le premier est une reconnaissance sociale de l'importance de l'objet. Le second est une volonté de transmettre cet objet aux générations futures. Etudier les témoins glaciaires à travers cette notion de patrimoine revient donc, selon nous, à s'interroger sur l'importance des témoins glaciaires pour une société dans son environnement et sur les moyens de transmettre ces témoins par-delà les générations.

Quels sont « les liens » entre témoins glaciaires et société ? Les formes du relief ne sont pas uniquement des composants du fonctionnement de la planète. Elles entrent en interactions avec les activités humaines et jouent un rôle non négligeable dans le fonctionnement de la société (occidentale) : source d'inspiration pour les artistes (lacs), lieux de croyances ancestrales (blocs erratiques), support d'activités de loisir (gorges), matériaux de construction (graviers) ou composante du paysage (cordons morainiques), les témoins glaciaires sont omniprésents même s'ils ne sont que rarement identifiés comme tels. D'autres liens existent comme le rôle d'archive pour l'éducation, de laboratoire naturel pour les sciences, de support de vie pour les espèces, etc. Ces liens constituent autant d'éléments d'importance des témoins glaciaires pour cette société.

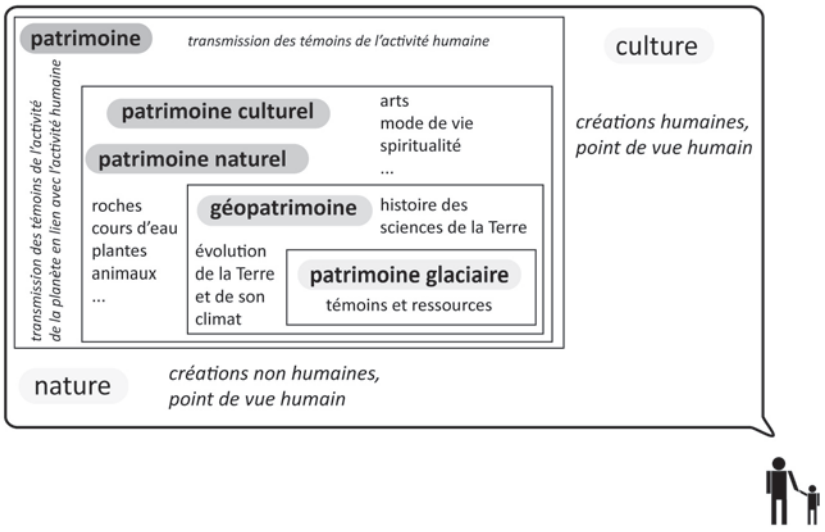


Fig. 1.1 : Les objets naturels considérés comme patrimoine, une interface plutôt qu'une contradiction.

1.2. Problématiques de la recherche

Cette recherche sur le patrimoine glaciaire chablaisien est issue d'une demande d'acteurs du territoire. Ces acteurs, soucieux de développer leur région durablement, souhaitent s'appuyer sur des éléments de patrimoine qui caractérisent leur région, au-delà des frontières nationales. La géologie est une des thématiques qui a été identifiée comme une composante importante du patrimoine naturel local et sur laquelle une partie de ce développement pouvait miser. En parallèle, un projet de géoparc, initié depuis un certain nombre d'années, devait se concrétiser sur une partie de ce territoire, en même temps que s'effectuait ce travail de thèse. La recherche que nous menons est donc fortement liée à sa région d'étude, c'est-à-dire aux éléments géologiques qui y sont représentés et à la dynamique territoriale qui s'y exprime en faveur du géopatrimoine.

Le Chablais tient une place spéciale vis-à-vis de la recherche sur le Quaternaire. C'est dans cette région que la théorie glaciaire - basée sur l'observation des témoins locaux - a connu son développement décisif (Agassiz, 1840). La plupart de ces témoins sont conservés et peuvent encore être étudiés aujourd'hui. Le Chablais possède en outre des formations particulières, souvent fossiles, qui lui confèrent encore actuellement un intérêt pour la recherche. La région bénéficie donc d'études sur le Quaternaire depuis plus de deux siècles et de façon continue. Aujourd'hui, malgré cette longue activité scientifique, de nombreuses interrogations subsistent encore sur l'histoire glaciaire chablaisienne. Quelques zones ont été délaissées, certaines formations entretiennent des mystères sur la durée et les modalités de leur mise en place, la chronologie glaciaire, enfin, est encore incertaine. A l'heure où les acteurs du territoire (Syndicat Intercommunal du Chablais (SIAC), Mairies, Accompagnateurs en Moyenne Montagne (AMM), etc.) souhaitent s'appuyer sur le patrimoine géologique pour développer des activités économiques, des programmes de protection ou de sensibilisation, un

certain besoin d'amélioration des connaissances se fait donc sentir, notamment, un besoin de synthèse régionale.

Au-delà de la connaissance « objective » sur les formations quaternaires, la recherche s'inscrit ici dans une démarche de développement économique local nécessitant une valorisation (sensibilisation, protection, transmission) du patrimoine glaciaire. Ce travail ne se cantonne donc pas aux questions de chronologie glaciaire qui ne sont qu'une étape, une composante indispensable à l'émergence du patrimoine glaciaire et à sa gestion. Deux autres volets sont abordés. Ils possèdent tous deux un aspect fondamental et un aspect appliqué.

Le premier volet concerne la gestion du patrimoine glaciaire. Le Chablais est un terrain empreint de géohistoire, ponctué de hauts lieux de la recherche sur le Quaternaire et paradoxalement peu propice aux observations glaciaires ou soumis à une forte pression foncière. Dans ce contexte, quelles stratégies adopter pour développer des activités autour de ce patrimoine particulier ? Le Chablais, en effet, ne compte que des sommets peu élevés et des glaciers qui ne sont guère plus que des reliques. Les témoins glaciaires, bien que nombreux et développés, restent discrets dans le paysage, souvent couverts de forêts ou modifiés par les activités anthropiques. La gestion de ce patrimoine, du point de vue de sa protection comme de son utilisation à des fins géotouristiques, nécessite donc un outil de gestion. C'est dans cette optique que nous réalisons un inventaire de géosites glaciaires. L'élaboration de ce type d'outil dans le contexte chablaisien doit permettre l'identification de sites privilégiés qui puissent servir, principalement, de support à la médiation.

Le second volet est à destination de la population chablaisienne. La relative méconnaissance de l'histoire glaciaire régionale et de ses témoins locaux demande un effort de communication, dans une double optique. La sensibilisation doit mener à une meilleure connaissance du patrimoine glaciaire et déboucher sur une meilleure protection de la ressource patrimoniale. Pour participer à ce mouvement de « transmission », la recherche devient appliquée en élaborant un produit de médiation scientifique à destination du public, sous la forme d'une exposition itinérante. Il s'agit de réaliser, par le biais d'un produit géotouristique, un outil de valorisation de la recherche scientifique et de sensibilisation au patrimoine glaciaire.

Ce travail se présente donc comme une étude à buts multiples, qui fait intervenir des méthodes empruntées à plusieurs disciplines. Dans le domaine du Quaternaire, elle nécessite un important travail de synthèse pour aboutir à une vue générale de la région d'étude. Plus qu'une vue d'ensemble, elle essaie de placer le Chablais dans un schéma de compréhension plus global sur le parcours du glacier du Rhône. Elle se veut également recherche-action, dans la thématique des géopatrimoines et principalement des inventaires mais aussi de la médiation scientifique.

1.3. Objectifs et questions de recherche

1.3.1. Objectif 1 Géopatrimoine

Le premier objectif que nous avons poursuivi ne faisait pas partie du projet de thèse initial. Il nous a cependant paru inévitable, suite aux nombreuses interrogations de

nos collègues et connaissances, notamment en dehors du milieu scientifique. Cet objectif est en relation avec la contradiction apparente à parler de patrimoine pour les témoins glaciaires, témoins qui sont 1) des éléments naturels et non culturels et 2) des objets considérés comme confidentiels, n'intéressant qu'un petit groupe social : les géomorphologues et les quaternaristes. Nous souhaitions donc, à la base de ce travail, éclaircir la notion de géopatrimoine. Suivant l'intuition que nous étions placée au cœur d'un processus de patrimonialisation en cours (Reynard et al., 2011), et que nos difficultés à communiquer sur cette recherche devaient découler de notre position double de chercheur et d'acteur. Nous somme donc remontée à la source du concept de patrimoine pour y chercher les conditions qui favorisent et peuvent mener à la réalisation d'un processus de patrimonialisation. Suivant, enfin, la demande du territoire en matière de développement local, nous avons cherché à éclaircir les spécificités du géopatrimoine glaciaire chablaisien, notamment, en interrogeant les liens explicites ou implicites que la société chablaisienne entretient avec les témoins glaciaires. Deux questions de recherche découlent de cette problématique.

Question 1.1.

Quelles sont les conditions qui pourraient nous permettre de parler de patrimoine glaciaire au sujet des témoins glaciaires chablaisiens ?

Question 1.2.

Quelles sont les spécificités du patrimoine glaciaire chablaisien sur lesquelles s'appuyer dans un contexte de développement local ?

1.3.2. Objectif 2 Quaternaire chablaisien

Le second objectif de recherche est clairement du domaine des sciences naturelles. Il s'agit, selon le contexte brièvement décrit précédemment, de faire une synthèse des connaissances du Quaternaire régional, dans le but de produire des documents montrant l'histoire glaciaire, à l'échelle de la région d'étude. Il est doublé d'un objectif secondaire, celui d'améliorer la précision de la chronologie de la déglaciation. Deux questions principales guident ce volet de connaissance « objective ».

Question 2.1.

Quelles sont les zones d'ombre de la connaissance glaciaire régionale et comment combler partiellement ces lacunes de connaissances ?

Question 2.2.

Comment améliorer la connaissance de la chronologie glaciaire régionale ?

1.3.3. Objectif 3 Inventaire de géosites

Le troisième objectif de recherche concerne l'identification de sites glaciaires propices à la médiation des géosciences. L'outil utilisé est celui d'un inventaire de géosites à l'échelle du Chablais. Deux aspects de cet inventaire sont particulièrement développés : la sélection des géosites et les valeurs attribuées aux géosites, dans un contexte de gestion (optique de valorisation).

Question 3.1.

Quels sont les sites les plus propices à la valorisation du patrimoine glaciaire régional ?

Question 3.1.1.

Comment réaliser une sélection qui satisfasse aux principales attentes du projet : transparence de la méthode et intérêts des acteurs du développement local ?

Question 3.1.2.

Comment mieux prendre en compte les valeurs d'usage des géosites dans la procédure d'évaluation des géosites ?

1.3.4. Objectif 4 Médiation

Le quatrième objectif de recherche se place dans le domaine de la médiation scientifique. Il s'agit, sur la base des volets « Quaternaire » et « Inventaire », d'élaborer un produit géotouristique propre à sensibiliser la population locale à la thématique du patrimoine glaciaire.

Question 4.1.

Quelles stratégies peuvent-elles être développées pour l'élaboration d'un produit de médiation du géopatrimoine local ?

1.4. Dynamique de la recherche

Le terme de patrimoine est utilisé ici pour interroger les témoins glaciaires, et plus généralement les formes du relief, en utilisant plusieurs étapes de ce que suppose un processus de patrimonialisation en cours. Ce parallélisme entre les processus de patrimonialisation et cette recherche (Fig. 1.2) n'est pas un souhait particulier des personnes qui sont à l'origine de ce projet de thèse, d'autant plus que deux entités bien distinctes (un projet de territoire et deux Universités) ont émis des intérêts propres par rapport aux thématiques et aux méthodes qui devaient être abordées et utilisées. Il n'est cependant pas très surprenant que ces deux groupes d'acteurs, qui se retrouvent liés par une même volonté de valoriser les géosciences, par l'intermédiaire de leurs objets, aient construit ce projet de recherche, de façon à apporter les éléments nécessaires à cette valorisation. C'est finalement notre travail personnel qui, pour résoudre l'apparent éclatement des volets de recherche abordés, s'est appuyé sur les étapes de la patrimonialisation pour comprendre d'une part, comment ces parties pouvaient se construire les unes par rapport aux autres et présenter d'autre part ce travail en un tout cohérent.

1.5. Plan de la recherche

Le plan selon lequel nous présentons notre travail se calque sur la dynamique de recherche que nous avons explicitée plus haut, à savoir celle d'un processus de patrimonialisation en cours. Les chapitres sont ordonnés de façon à ce que la matière dégagée par les uns puisse servir de base de développement aux suivants.

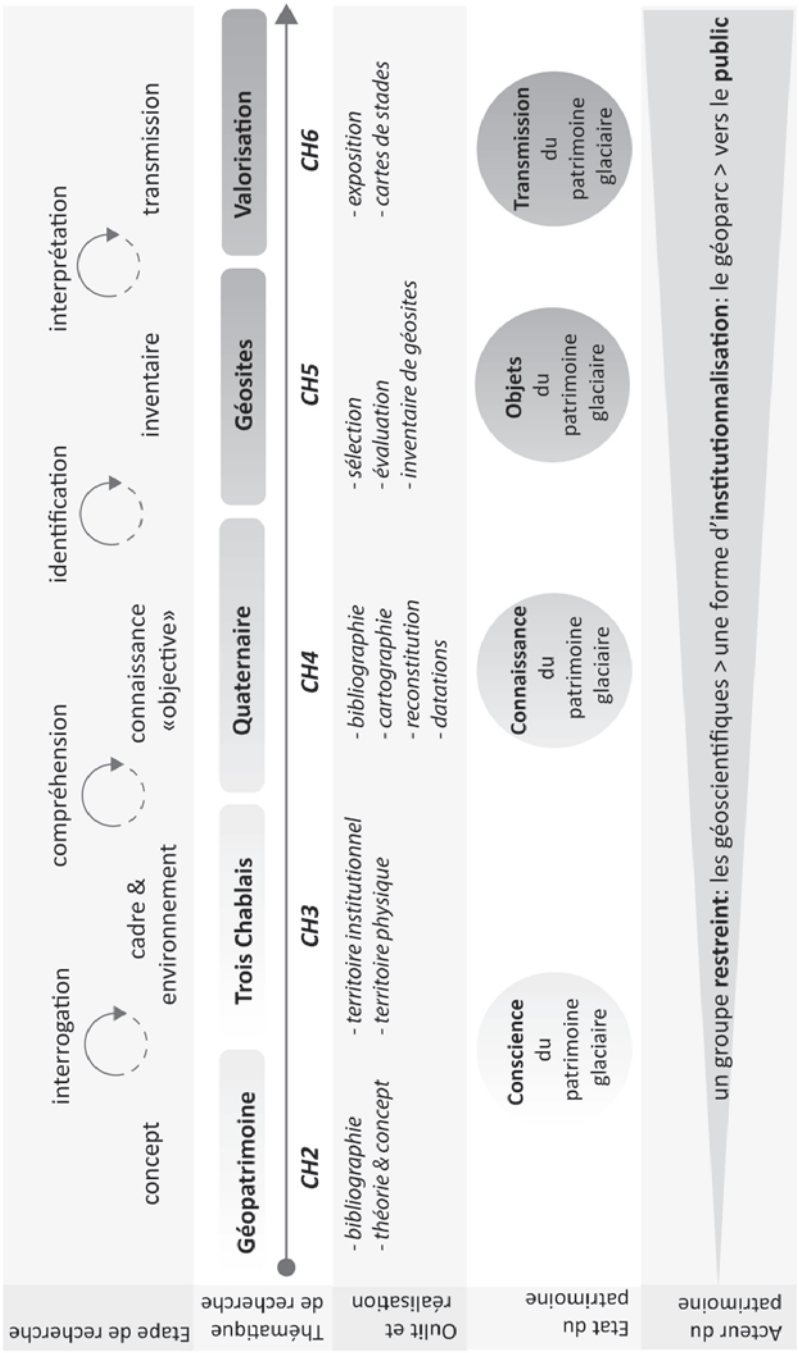


Fig. 1.2 : Dynamique de la recherche calquée sur le processus de patrimonialisation.

Le chapitre 1 introduit la recherche, en pose la problématique et les questions qui la guident (Fig. 1.2). Le chapitre 2 fait le point sur les notions de patrimoine, de patrimoine naturel puis de géopatrimoine en mettant en avant le contexte dans lequel ces concepts sont développés et en cherchant à mettre en avant les motivations de ces développements. Le chapitre 3 présente la région d'étude d'un point de vue physique et institutionnel et fait le point sur l'histoire des connaissances et sur l'utilisation des témoins glaciaires dans la région. Le chapitre 4 propose une synthèse du Quaternaire régional et tente d'apporter des éclairages sur certains aspects de la chronologie et de la géomorphologie glaciaire régionale. Le chapitre 5 est consacré à l'inventaire du géopatrimoine glaciaire et met l'accent sur des problèmes de sélection et d'inventaire. Le chapitre 6 expose une expérience de valorisation, depuis sa conception jusqu'au retour d'expérience qui suit sa présentation au public. Finalement, le chapitre 7 revient sur les objectifs de la recherche et esquisse des perspectives de recherches futures.

2. Des témoins glaciaires au patrimoine glaciaire

A l'image du patrimoine géologique, le patrimoine glaciaire est une notion peu intuitive et peut apparaître *a priori* comme une « *rencontre forcée* » (Billet, 1994). Nous allons donc voir dans ce chapitre comment le concept de patrimoine évolue au point d'intégrer des objets naturels puis, comment la géographie se sert du même concept pour interroger les relations des sociétés à leur environnement et enfin, comment les géomorphologues se saisissent de la notion de patrimoine pour valoriser leurs objets d'étude. De l'association de deux termes a priori bien éloignés (« patrimoine » et « témoins glaciaires »), on entrevoit la possibilité d'une ouverture des préoccupations sociales vers une conception globale et anthropocentrée de l'évolution de la planète. Sauvegarder et valoriser le patrimoine glaciaire revient à transmettre son intérêt et sa vision du monde pour une communauté scientifique.

Dans ce chapitre essentiellement théorique, nous ne tenterons pas de montrer que les objets « naturels » peuvent accéder légitimement au statut de patrimoine (on ne cherche pas à savoir si le lac d'ombilic glaciaire peut faire partie du patrimoine local) mais plutôt comment, par quels biais, sous quelles impulsions et en vue de quels résultats, certaines communautés en viennent à choisir le cadre conceptuel et souvent législatif du patrimoine pour valoriser et protéger leurs objets étendards.

2.1. Le patrimoine comme outil de transmission

2.1.1. Les objets du patrimoine : évolution d'un concept, évolution des sensibilités

Du monument de la culture au « petit patrimoine »

Si le patrimoine est un concept qui évolue, les objets du patrimoine évoluent également (Fig. 2.1). D'un point de vue historique et occidental, focalisé sur la France, on voit se dessiner un cheminement, partant des monuments historiques (la Cathédrale Notre-Dame de Paris), aux objets du quotidien (la petite cuillère) (Heinich, 2009), patrimoine ordinaire, en passant par la faune sauvage (le bouquetin des Alpes) (Mauz, 2012) et les pratiques nationales (le repas gastronomique à la française). Le patrimoine est d'abord réservé aux productions humaines « exceptionnelles », puis s'étend aux productions humaines ordinaires, ce que l'on appelle le « petit patrimoine », passe ensuite aux objets issus de la nature (Vivien, 2005), bien qu'individualisés et catégorisés par un point de vue humain (Di Méo, 2008), avant d'inclure des pratiques et savoir faire, soit, d'atteindre la catégorie de l'immatériel (UNESCO, 2003). Cette énumération se place du point de vue du type d'objet. D'autres évolutions ont lieu parallèlement, conjointement ou consécutivement : du patrimoine « bien de famille » (« *biens que l'on a hérités de ses ascendants* » (Petit Robert, 2011)) au « patrimoine mondial » (UNESCO, 1972), un autre type d'évolution a lieu et témoigne d'un changement de conception de l'individu à l'espèce humaine, voire au « vivant » (Micoud, 1995).

La littérature offre plusieurs essais de typologie. Dans son ouvrage *La fabrique du patrimoine*, N. Heinich (2009) décrit l'extension du patrimoine selon quatre critères : 1) extension chronologique, de l'Antiquité aux objets actuels ; 2) extension topographique, du monument au secteur urbain ; 3) extension catégorielle, de la cathédrale à l'usine ; 4) extension conceptuelle, de l'unique au typique, du Pont du Gard à la ferme à colombage.

G. Di Méo (2008) propose une autre classification qui décrit les « *formes originales de la production patrimoniale contemporaine* » : 1) du privé au public ; 2) du sacré à l'ordinaire et au profane ; 3) du matériel à l'idéel ; 4) de l'objet au territoire : une spatialisation croissante ; 5) de la culture à la nature ou plutôt à l'environnement.

Plus simplement exprimé dans un des articles pionniers sur la thématique du patrimoine abordée par un géographe (Di Méo, 1994), le patrimoine contemporain subit deux mutations majeures : 1) du monument punctiforme (objet) vers l'étendue spatiale (zone à protéger) et 2) de l'objet concret aux formes patrimoniales abstraites.

A la base de cette tendance extensive ou évolutive, l'implication de groupes d'acteurs nous semble déterminante. Au delà du type d'objets qui accèdent au rang de patrimoine, il y a des logiques, des processus. La question de savoir si le patrimoine glaciaire est légitime ou non semble, dès lors, moins importante que la question de savoir qui, quand et comment on se mobilise pour la reconnaissance d'un bloc erratique, d'une petite cuillère ou d'une usine délabrée. Une autre question surgit en arrière-plan, guidée par les nombreuses études de cas, toutes disciplines confondues qui interrogent, au-delà des objets du patrimoine, le

processus de patrimonialisation (Faure, 2000; Duval, 2007; Pasquier, 2011): se pourrait-il que plusieurs personnes cherchent à faire entrer dans la sphère du patrimoine un même objet avec des mobiles différents, à une époque différente ou avec des « justifications mouvantes » (Mauz, 2012) ?

Les trajectoire patrimoniales (Gauchon, 2010; Portal, 2010) apparaissent rétrospectivement, comme une succession de cycles, alimentés dans leurs mouvements par des périodes de crise (Di Méo, 2008), mobilisant certains groupes d'acteurs autour d'objets, de lieux, de pratiques. L'exemple, français toujours, est riche en évolution de ce type. Babelon et Chastel (2004) en font une revue très complète dans leur ouvrage *La notion de patrimoine*. Décrivant tour à tour les milieux atteints par le besoin de conservation, du « fait religieux » au « fait monarchique », puis familial, national, administratif et finalement scientifique, les auteurs montrent un glissement de la démarche patrimoniale qui atteint petit à petit toutes les strates et tous les domaines de la société.

Exemple de démarche : l'inventaire des monuments historiques de France

L'exemple de l'inventaire des monuments historiques de France offre de nombreux parallèles avec d'autres types de patrimoines, dont, les témoins glaciaires. Le poste « d'inspecteur général des monuments historiques», occupé un temps par Prosper Merimée, avait pour but de dresser un catalogue de monuments à sauvegarder (Chastel & Babelon, 2004). Dans l'esprit de « connaître pour préserver », il s'agissait de sauver de la destruction des édifices (statues, tombaux, vitraux, etc.) remarquables dans le sens où ils manifestent l'évolution des antiquités nationales. En effet, quand on ne les laissait pas simplement à l'abandon, on réutilisait les pierres des anciens bâtiments pour en construire de nouveaux. Cette pratique témoigne d'une conception moderne du patrimoine (inventorier : connaître – sauvegarder – transmettre) et dessine des lignes fortes applicables à d'autres types d'objet.

Exemple de valeurs qui sont attachées au patrimoine

Au-delà de l'aspect matériel, on se rend compte qu'un certain nombre de valeurs sont attachées aux objets du patrimoine et que ces valeurs supportent leur statut particulier. En premier lieu, la dimension culturelle du patrimoine doit être soulignée. Elle est fondamentale puisque c'est elle qui détermine la perception que les individus ont de leur environnement, ce qui fait dire à G. Di Méo (1994) que (territoire et) patrimoine sont « *des formes culturelles spécifiques de rapport sociaux à l'espace ou aux objets qui les composent* ». Ce même auteur rappelle la dimension toute occidentale de notre approche du patrimoine qui n'existe que dans une conception linéaire du temps et de l'histoire (Di Méo, 2008). La tradition nipponne par exemple, qui se conçoit dans un univers cyclique, entretient un rapport tout différent avec ses lieux de culte, ses monuments, qui sont régulièrement remis à neuf comme au premier jour de leur construction (Chastel & Babelon, 2004). Ce rappel effectué, on envisage mieux la dimension sociale du patrimoine et le poids des représentations dans la distinction d'un objet, d'un espace ou d'une tradition.

Dans ce sens, le patrimoine mondial de l'UNESCO entretient une sorte d'ambiguïté intéressante. Le patrimoine mondial doit être important pour l'ensemble de la population mondiale alors que souvent il s'agit d'objets qui se rapportent à une

culture particulière. Le maintient de certaines coutumes au nom du patrimoine a pour but officiel de perpétuer la coutume (UNESCO, 2003, art. 11-15). Nous ne sommes donc pas dans un système de mémoire - les gestes, les intentions sont encore vivants - mais plutôt d'**identité**. La société considérée maintient son mode de vie et continue à se distinguer des autres par ses coutumes locales, ses rites, sa cuisine. On lutte ainsi contre l'uniformisation, la globalisation.

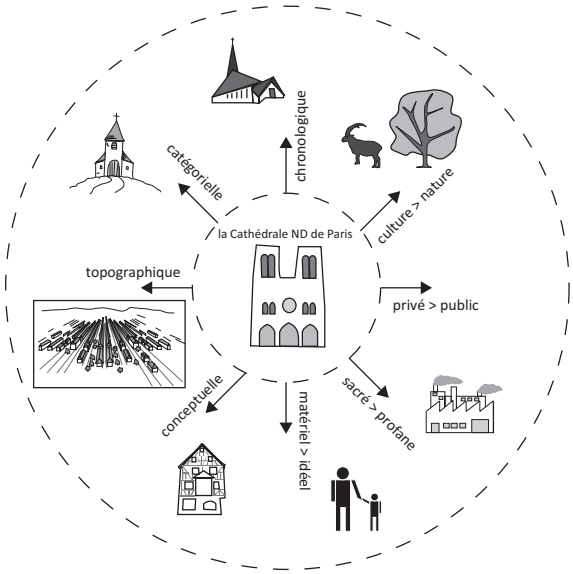


Fig. 2.1 : L'expansion du patrimoine selon N. Heinich et G. Di Méo.

Dans d'autres cas, celui des œuvres d'art par exemple, on cherche à maintenir une idée de grandeur des œuvres humaines en conservant des édifices que l'on ne serait peut-être plus capable de construire actuellement, soit que les matériaux n'existent plus, soit que la technique est oubliée ou que l'on en a perdu le savoir-faire. On voit ici une volonté de témoigner de gestes du passé, d'un certain génie de l'homme, peut-être face à la peur de le voir amoindri, devenu incapable de construire de « belles » choses. Le patrimoine remplit ici une fonction de **témoin**, d'archive. On pourra au besoin réétudier le monument pour retrouver les techniques qui ont présidé à son édification.

Le cas, fort et significatif, du patrimoine industriel est très riche en symboles. D'un passé relativement proche est difficilement vécu par les populations qui y ont participé, on cherche à en maintenir la mémoire la plus vivante possible lorsque les lieux où se sont exercés les systèmes industriels sont menacés de destruction. Quand les dernières personnes vivantes se font âgées et menacent de s'éteindre avec leur témoignage, c'est la mémoire vivante qui menace de s'effacer. Une partie de la société, par une brusque prise de conscience, se mobilise alors pour sauver de la destruction les témoins qui peuvent être maintenus. Il est intéressant de mesurer à quel point le maintien d'un édifice peut être jugé important dans le maintien de la **mémoire** collective. De nombreux témoignages sont aujourd'hui enregistrés, des documentaires ont été tournés pour conserver des récits et des images (Perret, 2012), mais il semble qu'un marqueur spatial soit considéré comme nécessaire

pour que la fonction de mémoire soit assurée. Le bâtiment conservé permet ainsi l'expérience sensible (Bergeron, 1996). N'est-ce pas le moyen le plus marquant que de faire pénétrer les gens dans un bâtiment, dans un lieu, pour leur évoquer le sentiment de l'usine ?

D'autres valeurs ont pu être soulevées par les chercheurs (historique, artistique, esthétique). Il n'est pas question ici de faire un inventaire exhaustif mais plutôt d'évoquer la profondeur de la signification que peuvent revêtir les objets du patrimoine et au moins, de faire entrevoir leurs possibles significations multiples et entrecroisées. Au final, il se dégage de cette revue que le mot d'ordre actuel est une sorte de maintien de la **diversité**. Le patrimoine semble lutter contre la globalisation, l'uniformisation et la perte des spécificités. La multiplicité des patrimoines est perçue comme une **richesse**. Nous verrons dans les paragraphes suivants à quel point les témoins glaciaires peuvent entrer facilement dans ces mécanismes de valeurs reconnues et transmises par la société.

2.1.2. Du patrimoine culturel au patrimoine naturel

Naturel versus artificiel

Malgré l'ancienneté de la question, la dichotomie entre patrimoine naturel et patrimoine culturel semble toujours présente dans la littérature et sous la plume de certains chercheurs. Sans trouver de justification avérée à cet état de fait, on peut supposer quelques freins conceptuels à l'assimilation du terme naturel dans le domaine patrimonial. Quelques pistes nous sont fournies dans la littérature, en particulier celle qui traite du « patrimoine » (sans qualification proposée), mais également celle qui traite des « espaces naturels protégés ». Un premier indice est constitué par l'oubli fréquent de la « branche » naturelle du patrimoine, plus ou moins passée sous silence ou non considérée (Veschambre, 2007; Heinich, 2009), ce qui ne paraît pas étonnant de la part d'une anthropologue (N. Heinich) mais plus intriguant de la part d'un géographe (V. Veschambre), même si ce dernier se situe clairement dans une approche dite « humaine » de sa discipline. Un second indice se trouve parfois exprimé implicitement dans un discours où le terme « naturel » est remis en question dans une conception où l'environnement est globalement influencé par l'activité humaine et qu'il ne reste plus, actuellement, de nature intacte (Dépraz, 2008). Cette réserve est d'ailleurs mentionnée mais dépassée par l'Institut national (français) de la statistique et des études économiques à propos du patrimoine naturel qui est défini comme « *L'ensemble des biens dont l'existence, la production et la reproduction sont le résultat de l'activité de la nature, même si les objets qui le composent subissent des modifications du fait de l'Homme* » (INSEE, 1986).

Un troisième indice, plus intéressant encore, transparaît dans une réflexion sur l'appréhension de l'environnement par l'homme. Si l'on considère que tout élément est appréhendé par l'intermédiaire de la conception humaine, on en vient à remettre en question le terme de « naturel » pour des objets dont la forme, la limite, la classification, etc. découlent uniquement de critères humains, scientifiques ou culturels (Bertrand, 1968).

Dans ce débat, qui soulève par ailleurs des questions de fond (la relation homme – nature, l'impact de l'homme sur son environnement, par exemple), on peut se demander s'il n'est pas plus intéressant, plutôt que de refuser simplement

l'étiquette de patrimoine à la faune sauvage ou aux cordons morainiques, de chercher les mécanismes qui font que des objets non artificiels en viennent à être approchés par ce concept.

On pourrait penser qu'à l'heure actuelle, et avec le développement au niveau mondial de la reconnaissance du patrimoine immatériel, tous les types de patrimoine peuvent être potentiellement reconnus. Il faut cependant rappeler que si les coutumes locales du Fado ou de la fauconnerie peuvent prétendre au titre de patrimoine, ces pratiques restent indubitablement liées à la production humaine. Leur statut est peut-être de ce fait moins facilement remis en cause. Ne serait-ce pas là un signe que, dans ce concept de patrimoine, une vision du monde anthropocentrée serait exprimée avant toute autre ? La nature conservée pour elle-même, même si on trouve ce paradigme dans certains courants de l'écologie, tel que le biocentrisme (Larrère & Larrère, 1997) ne serait pas si bien acceptée et surtout pas dans le domaine de la recherche patrimoniale ? Partant de cette idée, on entrevoit que c'est bien plus la signification (la valeur) que la société attache aux objets qui motive leur sauvegarde que les objets eux-mêmes (Davallon, 2002; Gauchon, 2010; Tornatore, 2010).

2.1.3. La géographie et le patrimoine

La notion de patrimoine fait maintenant partie intégrante des objets d'étude de différentes disciplines des arts, des sciences humaines et des sciences naturelles. La littérature montre cependant de profondes différences d'approche, de point de vue et de finalité selon ces disciplines. Le cas de la géographie est un peu particulier dans le sens ou elle rassemble traditionnellement deux courants ou deux branches, la géographie « humaine », tournée vers les sciences sociales et la géographie « physique » dont la géomorphologie est une section spécifique, tournée vers les sciences naturelles. Lorsqu'on se renseigne sur les travaux des géographes qui ont trait au patrimoine, on découvre donc grossièrement deux types de travaux. Les premiers sont confondus avec les autres sciences humaines et sociales (anthropologie, ethnologie, sociologie, histoire, philosophie), s'appuient sur une conceptualisation du patrimoine et étudient les processus de patrimonialisation (Veschambre, 2007). L'autre est issue d'une volonté de protection de la nature et aboutit au concept de patrimoine par le biais de la valorisation des sciences de la Terre. Elle s'accompagne d'une réflexion sur la composante culturelle de la géomorphologie (Panizza & Piacente, 2003).

Géographie et patrimoine

La géographie (humaine, culturelle ou sociale) s'est assez naturellement saisie de la notion de patrimoine pour interroger son objet d'étude fétiche : le territoire et le rapport des sociétés à l'espace (Di Méo, 1994; Gravari-Barbas, 1996). Les travaux de géographes impliquant le patrimoine sont précoces et peu visibles – ce sont principalement des thèses – dès les années 1970-1980, c'est-à-dire, dès l'émergence de la thématique au sein des sciences sociales (Veschambre, 2007) et selon la nouvelle acceptation du terme, élargie à un « ensemble de biens ou ressources» concernant un « groupe social » dans un but de « transmission». Les géographes interrogent la notion tout d'abord sans réelle ligne méthodologique (Veschambre, 2007) bien que leur approche par « l'espace » soit reconnaissable. La véritable entrée des géographes dans l'environnement patrimonial intervient à la fin des années 1990. Ils profitent en quelque sorte de l'extension topographique

du patrimoine (Heinich, 2009), à moins qu'ils ne participent à cette extension. La spécificité des géographes serait de s'attacher plus à comprendre le processus de patrimonialisation qu'à l'objet lui-même (Hertzog, 2011b), à envisager le patrimoine comme un construit social (Gauchon, 2010; Veschambre, 2007). Dans un cadre concret, de conseil scientifique par exemple, le géographe intervient spécifiquement pour la gestion d'un territoire et pour la conciliation des acteurs (Hertzog, 2011a), lorsque une certaine appropriation de l'espace est en jeu.

Géomorphologie et patrimoine

A partir des années 1990, émergent, parallèlement, les concepts de **géopatrimoine**, **géodiversité** et **géosite**, portés par la branche physique de la géographie, la géomorphologie, ou par la géologie (Panizza & Piacente, 1993; Martini, 1994; Hooke, 1994; Grandgirard, 1996, 1997b; Brocx, 2008). Pourquoi cette émergence au sein de la géomorphologie en particulier plutôt que de la pédologie, de la climatologie ou de la biogéographie? Parce que les géomorphologues étudient des formes du relief qui s'apparentent à des objets concrets (une grotte, un bloc erratique, une gorge, un glacier), identifiables et circonscriptibles, dont la valeur esthétique est souvent prégnante et reconnue et qui entretiennent des interactions multiples et directes avec les activités humaines. Cette approche est nettement poussée par une volonté de protection des formes du relief et de reconnaissance de la discipline par le biais de ses objets d'étude (Reynard, Monbaron & Marthaler, 2004). Elle semble, de prime abord, très différente de l'insertion de la géographie (humaine) dans le champ patrimonial et apparaît même avoir évolué parallèlement sans interactions notables d'une branche à l'autre de la géographie. Cette évolution distanciée est illustrée notamment dans la thèse de F. Joly (2000, p. 32) qui en vient à se demander si les objets de la géomorphologie, par essence dynamiques, ne seraient pas intrinsèquement incompatibles avec la notion de patrimoine. Il faut cependant préciser que ces champs de recherche ne sont pas apparus subitement dans le paysage scientifique mais qu'ils trouvent leurs racines profondément ancrées dans une longue tradition de conservation géologique ou geoconservation en anglais (Burek & Prosser, 2008). Ils se sont développés en interaction étroite dans de nombreux pays d'Europe (Portugal, Espagne, Angleterre, Italie, France, Suisse, Roumanie, Belgique, Allemagne, Bulgarie, etc.), d'Asie (Chine) ou d'Australie, avec comme développements conceptuels, des questions de vulnérabilité, d'évaluation, de sélection, de gestion et de valorisation des géopatrimoines auprès du public.

A l'interface entre la géomorphologie et la société représentée par sa culture, M. Panizza et S. Piacente (2003) proposent un nouveau champ de recherche, la **géomorphologie culturelle** : « *discipline qui étudie la composante géomorphologique d'un territoire, soit comme un élément culturel du paysage, soit pour ses interactions avec les biens culturels de type archéologique, historique, architectural, etc.* » (p. 3). Les auteurs, pionniers dans la réflexion sur les géopatrimoines, proposent une subdivision des biens culturels en deux grands groupes : ceux qui résultent de l'œuvre de l'Homme et ceux qui sont l'œuvre de la Nature, les biens naturels étant eux-mêmes subdivisés entre les phénomènes biotiques et les phénomènes abiotiques, dont les biens géomorphologiques (géomorphosites) font partie.

La géomorphologie trouve dans la question des géopatrimoines (comme dans celle des risques) une thématique à l'interface entre sciences naturelles et sciences

sociales (Giusti, 2010, 2012). Les investigations et développements conceptuels nécessitent autant de documenter les processus géomorphologiques que de questionner les impacts et attentes sociales face aux formes du relief, que l'on se situe dans un cadre d'étude d'impact ou de développement géotouristique. La différence d'approche que l'on constate à la lecture des articles et ouvrages scientifiques produits soit par la géographie (ou d'autres sciences sociales) soit par la géomorphologie (ou d'autres sciences de la Terre), s'explique certainement en partie par des différences épistémologiques, de méthode et de sensibilité. La géomorphologie étant une science empirique plus que de concepts (M. Panizza, 1996) il semble cohérent que les applications pratiques aient introduit la question patrimoniale dans la recherche et non l'inverse.

Intriguée par cette évolution double de la question patrimoniale au sein des sciences humaines et des géosciences, il nous a semblé intéressant, en introduction théorique à notre sujet d'étude (le patrimoine glaciaire) de nous demander si ces trajectoires parallèles ne pouvaient pas trouver une sorte de boucle réconciliatrice. Il nous semble, en effet, que l'intérêt pour les témoins glaciaires qui a engendré ce travail autant que le travail lui-même, sous forme de mandat, s'apparente à un processus de patrimonialisation en cours, dont on ne sait pas si l'issue sera favorable, c'est-à-dire acceptée par une société plus large que la seule communauté scientifique mais dont on peut observer en amont, des caractéristiques appartenant au champ patrimonial.

Nous reviendrons plus longuement sur les notions de géopatrimoine, de géoconservation et de géomorphologie culturelle dans la deuxième partie de ce chapitre (2.2 La particularité des géopatrimoines).

2.1.4. Le processus de patrimonialisation : du cas par cas

Des étapes de construction sociale

Nous avons évoqué sous le point 2.1.3 (La géographie et le patrimoine) que les géographes s'étaient attachés à décrypter le processus de patrimonialisation. On trouve par exemple chez G. Di Méo (2008) une formalisation des processus concrets de patrimonialisation : 1) la prise de conscience patrimoniale 2) jeux d'acteurs et contextes 3) la sélection et la justification patrimoniales 4) la conservation, 5) l'exposition, la valorisation des patrimoines.

Un autre essai de formalisation analogue mais plus détaillé est proposé par J. Davallon (2002), qui s'appuie sur l'exemple de la découverte de la grotte de Lascaux : 1) la découverte de l'objet comme trouvaille 2) la certification de l'origine de l'objet 3) l'établissement de l'existence du monde d'origine 4) la représentation du monde d'origine par l'objet 5) la célébration de la trouvaille de l'objet par son exposition 6) l'obligation de transmettre aux générations futures.

Ces deux exemples montrent à quel point ce processus est construit, passe par des étapes clefs, implique des acteurs, des savoirs, des dynamiques, un environnement, etc. Si l'on voulait synthétiser ces deux propositions, on pourrait souligner :

1) l'importance de la **découverte**, qu'il s'agisse effectivement d'un nouvel objet, par exemple une nouvelle grotte ornée, le tableau d'un peintre resté dans l'oubli, un glacier rocheux encore non identifié ou qu'il s'agisse de la redécouverte d'un

objet sous un jour nouveau, enrichi de significations qu'on ne lui attribuait pas auparavant, par exemple, la ferme neuchâteloise des Crêtets à La Chaux-de-Fonds, devenue « musée paysan et artisanal » ou la Pierre des Marmettes, devenue le symbole de la protection des blocs erratiques en Suisse (Reynard, 2004), possédée l'Académie suisse des sciences naturelles. Cette découverte implique des acteurs, généralement un groupe de personnes pour qui l'objet en question prend une signification nouvelle et qui produit un discours dans le but de transformer le statut de l'objet considéré, généralement, dans une optique de sauvegarde. Outre le groupe d'acteurs, les auteurs s'accordent sur l'importance d'un contexte de crise (Di Méo, 2008), d'une menace (Chastel, 1986) au moins latente, comme déclencheur de l'engouement patrimonial.

2) la phase de « **connaissance objective de la ressourc**e » (Gauchon, 2010) durant laquelle l'objet est passé au crible des méthodes scientifiques actuelles et obtient un âge, une époque de référence, des caractéristiques techniques, un créateur, etc. L'objet est, au moins implicitement, certifié authentique. C'est lors de cette étape que peuvent également intervenir la sélection de l'objet emblématique, s'il y a d'autres candidats potentiels. On fait appel à certains critères de sélection, tels que l'intégrité, la rareté ou la représentativité. Néanmoins, C. Gauchon (2010) indique que dans des cas spéciaux, par exemple, les mégalithes tels que le cercle de pierres de Stonehenge ou les statues de l'île de Pâques, cette connaissance objective peut être très réduite, si le site est suffisamment évocateur.

3) le dernier mouvement est celui de l'**ouverture** au public ou au reste de la société, des objets patrimoniaux. On trouve alors souvent pêle-mêle des notions de sauvegarde, de conservation, de gestion, de valorisation, de médiation, d'interprétation et de transmission. Le patrimoine est conçu pour être transmis aux générations futures, ce qui peut nécessiter une phase d'éducation durant laquelle le public sera sensibilisé non seulement à l'objet mais à tout son environnement, son époque, son espace, etc. Il semblerait d'ailleurs qu'au-delà de l'objet, ce soient plutôt les valeurs qu'il véhicule qui sont transmises (Tornatore, 2010). Or, pour sensibiliser le public, il faut bien lui donner accès à ce patrimoine. S'imposent alors de véritables questions de gestion, où il faut concilier accès à la ressource patrimoniale et conservation de ce qui fait l'intérêt de la ressource. Une réflexion autours des hauts-lieux (Davallon, 1991) a d'ailleurs montré toute la difficulté de la mise en valeur du patrimoine pour le public dont l'évolution récente place l'ancien destinataire (le public) en « raison d'être » de la valorisation.

Les trajectoires patrimoniales

Le processus de patrimonialisation ne se résume pas à ces quelques étapes dont certains ne sont même pas indispensables à son accomplissement. La notion de trajectoire patrimoniale est abordée notamment par C. Gauchon (2002) ou C. Portal (2010) et introduit des mises en perspective dans cette partition trop bien écrite (Fig. 2.2). Il arrive en effet que des mouvements se brisent, que des patrimoines reconnus et admirés tombent en désuétude. En effet, ce qui fait sens à une époque ne le fera peut-être plus à une autre époque. Dans cet esprit, un même objet pourra revenir sur le devant de la scène avec de nouvelles justifications. Ainsi, les sites classés au début du siècle, telles que certaines cascades ou quelques arbres remarquables, s'ils ont pu susciter un fort engouement à un certain moment, ne sont plus guère visités aujourd'hui (Gauchon, 2002). Cette tendance semble s'inverser dans le cas des arbres, alors que le canton du Jura a inauguré

un « *recensement des arbres remarquables* » en avril 2011 (www.jura.ch, s. d.). 62 spécimens ont été sélectionnés parmi un panel de propositions issues de la population jurassienne, les candidats arborés devant répondre à un certain nombre de critères parmi lesquels, l'âge, la situation, l'aspect esthétique ou historique. Cette initiative fait suite à l'année de la forêt décrétée par les Nation Unies en 2011 et poursuit plusieurs objectifs, dont la valorisation de la forêt jurassienne, la conservation d'arbres jugés remarquables sur le long terme et la sensibilisation de la population jurassienne à cette thématique. Il est à noter que cette démarche est fortement inscrite dans un contexte politique et territorial, ce dont témoigne le souci de sélectionner au moins un spécimen par ban communal, ainsi que l'impulsion et la gestion exclusivement cantonale, par l'Office de l'environnement.

Le cas du patrimoine géologique et géomorphologique alpin est significatif de ce type de trajectoire et des redéfinitions possibles des valeurs qui sont attribuées à certains objets (Reynard et al. 2011). Le cas des blocs erratiques en Suisse offre un bel exemple de mobilisation nationale avant de retomber dans un oubli relatif puis de revenir sur le devant de la scène via les inventaires de géosites. Nous reviendrons sur cet exemple dans le chapitre 3 puisque cette partie de l'histoire concerne directement notre région d'étude : le Chablais.

La crise pour moteur

Le moteur général de l'insertion d'un nouveau champ du patrimoine semble être la prise de conscience d'une pression ou d'une menace sur des objets particuliers. Autrement dit, l'intérêt que peut présenter un type d'objet apparaît à un groupe lors d'une période de crise (Di Méo, 2008) ou d'insécurité (Chastel, 1986). Cette constatation fait dire à G. Di Méo (2008) que le patrimoine porte une vision du monde et des préoccupations de société. Cette proposition se vérifie aisément dans des cas très concrets, par exemple, l'exploitation des blocs erratiques par les graniteurs ou les conflits armés en Afghanistan visant les œuvres de la vallée de Bamiyan. Elle est certainement plus diffuse dans le cas des géopatrimoines. Même si cette prise de conscience est relativement récente, on sait aujourd'hui que les formes du relief sont des objets vulnérables (Reynard & Coratza, 2007), régulièrement menacés par les aménagements en plaine comme en haute montagne (urbanisation, stations de sports, etc.). Il faut certainement prendre en compte dans les préoccupations actuelles de la société, le climat de menace globale sur l'environnement, véhiculé tant par les médias que directement perceptible pour celui qui observe par exemple, le retrait glaciaire dans les Alpes. L'émergence du géopatrimoine est à mettre en relation avec l'apparition d'une conscience environnementale collective (Portal, 2010).

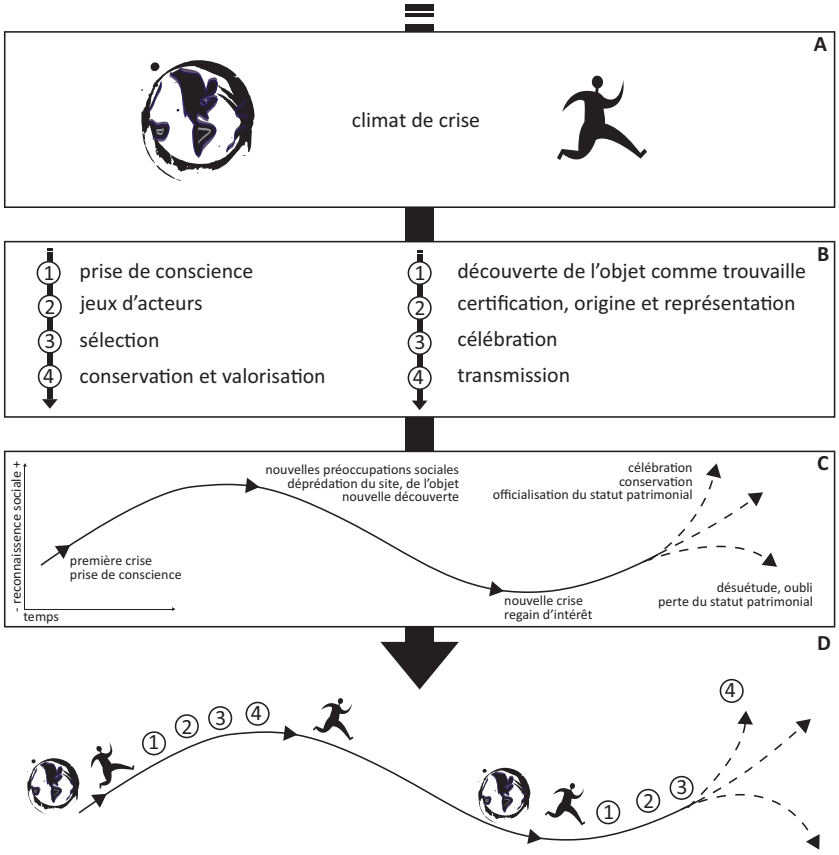


Fig. 2.2 : Les trajectoires patrimoniales envisagées comme un processus social. A. La crise est un moteur de la patrimonialisation. Elle est portée par des groupes sociaux. B. Les étapes du processus de patrimonialisation selon G. Di Méo (à gauche) et selon J. Davallon (à droite). C. La patrimonialisation suit une trajectoire guidée par la reconnaissance sociale de l'objet, dont l'orientation varie au cours du temps.

2.2. Les particularités des géopatrimoines

2.2.1. Les géosciences et la société

« Les géosciences au service de la société » est le titre d'un colloque organisé par l'Institut de géographie de l'Université de Lausanne en l'honneur du professeur Michel Marthaler, en juin 2010 (Reynard et al. 2011). Ce colloque était destiné à mettre en valeur le travail d'un professeur en géologie qui a œuvré pendant de longues années parmi les géographes (géomorphologues) afin de promouvoir le dialogue entre ces deux disciplines et dont le talent de vulgarisateur est unanimement reconnu par ses étudiants et ses collègues. Cet effort de communication en dehors du cercle géologique et académique est fondé sur « *la conviction que les savoirs académiques dans ce domaine présent[ai]ent pour la société un potentiel largement sous-exploité* » (IGUL, 2009). En d'autres termes, les savoirs académiques en sciences de la Terre sont encore peu communiqués au

sein du public. D'ailleurs, le vocable « géosciences », calqué sur son équivalent anglophone n'est qu'émergeant dans la littérature scientifique francophone. Il est peu ou mal connu des médias et du grand public (Berrebi, 2006), peut-être plus habitués à la version francophones : « les sciences de la Terre », lesquelles regroupent trois disciplines : la géographie, la géologie et la géomorphologie (Reynard et al., 2004), cette dernière occupant une place à l'interface des deux autres (Kozlik, 2014).

Pourtant, l'apport scientifique des géosciences entre en interaction avec la société à de nombreuses occasions. Si elles travaillent à une meilleure connaissance de l'histoire de la Terre en tâchant de répondre à des questions qui peuvent sembler loin des préoccupations quotidiennes: Comment la planète s'est-elle formée ? A quelle époque ? Quelle a été son évolution depuis ? Comment se forment et évoluent les chaînes de montagnes, les océans, les glaciers ? Les implications de ces recherches touchent cependant de nombreux domaines plus pratiques ou plus concernants, tels que la gestion de l'eau et l'évolution du climat, thématiques de haute actualité. On a souvent pu lire que les géosciences ou leurs objets d'étude souffrent d'un manque de visibilité (Martini, 1994; Strasser et al., 1995; Grandgirard, 1997a), que les éléments abiotiques ne sont pas ou peu reconnus par les administrations et par conséquent pas ou peu protégés (Stürm, 1994; Gentizon, 2004; Reynard & Coratza, 2007). Ce constat est accentué par le succès incontestable de la vulgarisation opérée par les sciences du vivant, dès les années 1970. Le foisonnement des réserves et parcs naturels, les directives nationales en faveur de la biodiversité, le programme scolaire et les associations de protection de la nature qui se focalisent sur les espèces faunistiques et floristiques en sont une preuve assez flagrante. On peut même se demander si la réponse assez favorable de la population aux valorisations récentes des sciences de la Terre ne trouverait pas un lien subtil avec la « célébration du vivant » comme le suggère G. Di Méo (2008), dans sa réflexion sur la signification du patrimoine en ce qu'il est dit « naturel » ?

Cette impopularité relative nous pousse à considérer les liens que la société entretient avec les objets d'étude des géosciences, c'est-à-dire, les constituants de la Terre (Encyclopédie Larousse, 2009) : roches, matériaux meubles, formes du relief, etc.. On peut grossièrement avancer que les rapports homme-roches sont au moins triples (Fig. 2.3). Le premier est un lien d'**usage**, dans lequel le relief terrestre est une ressource naturelle exploitable, par exemple dans le cas du tourisme (gorges) ou des matières premières (granulats). Le second est un lien de **vulnérabilité**, dans lequel les sociétés sont exposées aux aléas naturels qui représentent un risque pour l'intégrité des infrastructures, habitations et parfois des vies humaines. Nous pensons aux glissements de terrain et autres éboulements qui surviennent en zones habitées. Le troisième est un lien de **support symbolique et identitaire**, dans lequel les habitants d'une région peuvent se reconnaître ou fonder une partie de leur identité régionale, souvent inconsciemment. Entrent dans cette catégorie les sources d'inspiration artistique, les mythes et légendes impliquant un rocher ou une grotte ou encore les symboles régionaux empruntés à une montagne emblématique. Ces liens seront explicités par des exemples chablaisiens dans le chapitre 3.

Cette esquisse est un premier pas vers une réflexion sur les moyens de valoriser les patrimoines géologiques et géomorphologiques en tant que vecteur et/ou support de développement local, touristique ou éducatif. Rendre plus évidents les liens,

les interactions entre la société et les objets des géosciences serait une piste de recherche pour susciter un intérêt plus généralisé pour les géopatrimoines.

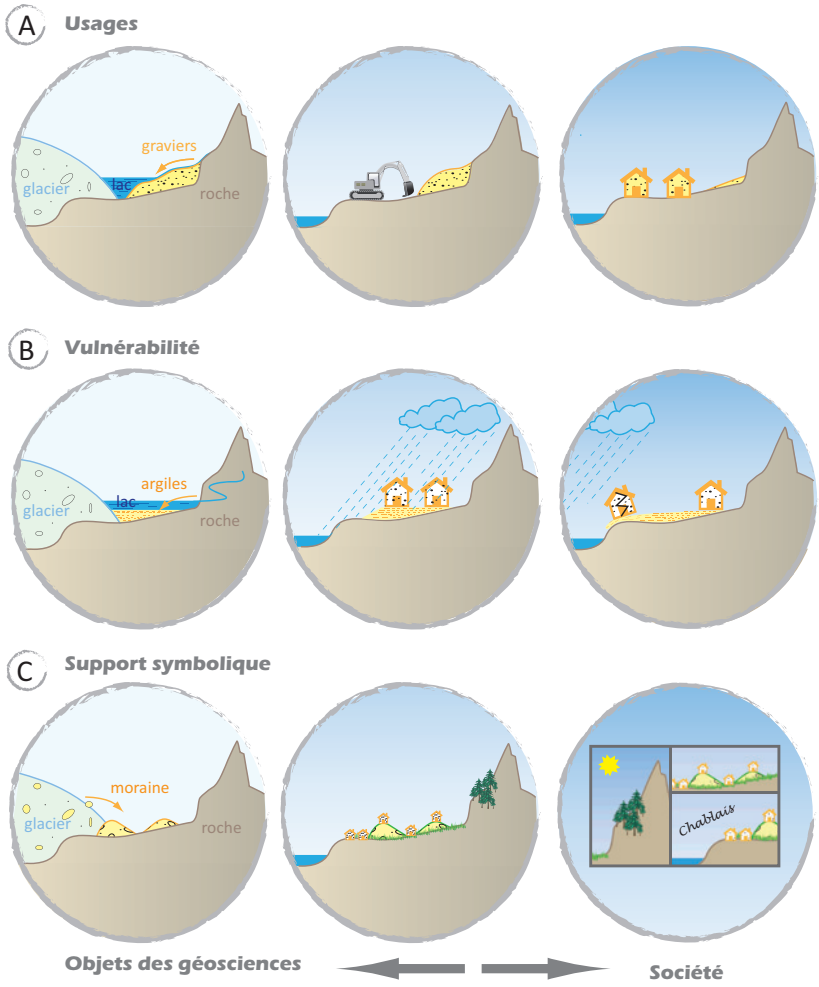


Fig. 2.3 : Les liens entre les objets des géosciences et la société. A. Lien d'usage : l'exploitation des graviers fluvioglaciaires pour les besoins de la construction (exemple local : les terrasses de Thonon). B. Lien de vulnérabilité : glissements de terrain sur des argiles lacustres (exemple local : le glissement de Vailly). C. Lien symbolique et identitaire : les formes du relief sont une composante du paysage et participent à la construction d'une identité régionale.

2.2.2. Géoconservation

« *L'institution première du patrimoine naturel a les mêmes racines que celle du patrimoine architectural et artistique* » (Vivien, 2005, p. 65). Que l'on interroge l'évolution de la protection (ou de la patrimonialisation) de la nature, du paysage ou des œuvres humaines, on constate des dynamiques similaires: de l'exceptionnel

à l'ordinaire, de l'objet à l'espace, du matériel à l'immatériel. Trouve-t-on des spécificités dans la protection des objets géologiques et géomorphologiques ? Quels en sont les développements conceptuels et pour quelles applications ? Quels en sont les acteurs ? Ces questions sont examinées par un certain nombre d'auteurs, dont les anglophones semblent être les précurseurs, le Royaume-Uni en tête de liste, avec une sensibilité originale (O'Halloran, 1994).

Un intérêt récent ?

En ce début de 21e siècle, l'intérêt du grand public pour les objets géologiques et géomorphologiques semble en plein essor. L'offre actuelle se décline en de nombreux supports : géoparcs[1] , géotourisme[2] , beaux livres[3] , film[4] , sites internet[5]. En réalité, il s'agit plutôt d'une redécouverte (Reynard et al., 2011), suscitée par de nouvelles préoccupations sociales. En effet, la protection des reliefs est relativement ancienne puisqu'elle constitue un des moteurs de l'émergence des parcs nationaux aux Etats-Unis (XIXe s.), en Angleterre et en Europe (début du 20e s.) (Merveilleux du Vignaux, 2003; Portal, 2010). Aux Etats-Unis, elle est basée sur une idéologie aux fondements chrétiens et colonialistes (Merveilleux du Vignaux, 2003; Vivien, 2005) : la nature sauvage, la *wilderness*, doit être maintenue dans des espaces qui lui sont destinés, en dehors de toute activité humaine (Héritier, 2002). Les parcs nationaux américains sont créés dans une double optique : offrir un lieu de ressourcement aux sociétés urbaines et garantir des espaces de nature vierge. C'est d'ailleurs cette conception du parc naturel qui servira de modèles aux parcs nationaux européens institués plus tardivement (Vivien, 2005). En Angleterre, c'est la pression démographique qui focalise l'attention sur la campagne environnant les villes en expansion. Les reliefs sont protégés parce qu'ils sont considérés comme fondamentaux pour le bien-être de la nation (Moindrot, 1961; Gray, 2004). En Suisse, au milieu du 19e siècle, ce sont les blocs erratiques qui feront l'objet d'une forte mobilisation nationale, à l'initiative de la communauté scientifique (Reynard, 2004). Cette dernière, alarmée par l'exploitation effrénée des gros blocs de granite, alors même que leur intérêt scientifique (théorie glaciaire) venait d'être démontré, lance un « appel aux Suisse » et mobilise des fonds pour le rachat des spécimens les plus intéressants et les plus menacées. Ce moment fort d'intérêt géologique est rapidement oublié et les blocs erratiques retombent dans l'anonymat (Reynard et al., 2011).

Suite à ces prémices, différentes mesures sont prises, variant selon les pays, pour inscrire dans leur constitution la protection de la nature, puis la protection des objets géologiques et géomorphologiques.

Préservation versus conservation ?

La protection de la nature (dont les objets géologiques et géomorphologiques) pose la question de l'attitude que la société choisit d'avoir face à cette nature. Cette question est loin d'être résolue aujourd'hui. Deux grands courants se distinguent dans les mouvements de protection de la nature de tradition intellectuelle anglo-saxonne (Vivien, 2005). La « **conservation** » de la nature privilégie une vision

1 http://www.europeangeoparks.org/ Consulté le 10.04.2013
2 http://teoros.revues.org/871 Consulté le 10.04.2013
3 http://www.nasa.gov/pdf/703154main_earth_art-ebook.pdf Consulté le 10.04.13
4 http://www.youtube.com/watch?v=YeTNJglInfc Consulté le 10.04.2013
5 http://www.glacierworks.org/ Consulté le 10.04.2013

d'exploitation raisonnable et suppose donc une approche gestionnaire active de la nature. Dans cette optique, il est envisageable de rafraichir un affleurement rocheux sur une falaise qui serait rendu moins lisible pas l'érosion naturelle due au travail des vagues (Burek & Prosser, 2008). La « **préservation** » est plus radicale. Il s'agit du maintien de l'objet dans son état d'origine, sans changement (Burek & Prosser, 2008). Dans certains cas, la conservation autant que la préservation se justifient. Les structures actuelles de protection et de gestion de la nature représentent ces deux tendances. Les parcs naturels régionaux européens et les géoparcs, favorisant le développement d'activités économiques autour du patrimoine naturel sont influencés par le courant de « conservation » de la nature, alors que les réserves naturelles (écologiques ou géologiques), dont la réglementation est bien plus restrictive envers les activités humaines s'insèrent dans une logique de « préservation ». Les Parcs nationaux ménagent les deux tendances en prévoyant différents degrés d'intervention en fonction de zones délimitées (réserve intégrale, zone cœur, zone optimale d'adhésion, etc.).

La géoconservation moderne ?

Actuellement, c'est le milieu scientifique qui pousse à la reconnaissance des objets géomorphologiques en tant que patrimoine, mais cette fois-ci, plus sous le seul angle du paysage. Le relief est vu avec un regard neuf, incluant la relation entre l'homme et les objets géomorphologiques (Portal, 2010), dans une acceptation large dépassant l'intérêt esthétique (Reynard, 2005), objets qui sont alors perçus comme des ressources (ressources naturelles, ressources touristiques, etc.). (Hobléa, 2008) et envisagés sous l'angle de leur gestion et de leur valorisation auprès du public (Burek & Prosser, 2008).

2.2.3. Géopatrimoine et géodiversité

Les géopatrimoines en tant qu'objets géologiques ou géomorphologiques, ont plusieurs particularités qui les distinguent des autres formes de patrimoine. Elles en font l'originalité mais parfois aussi complexifient la réflexion qui accompagne leur gestion. Nous ne faisons pas ici la distinction de ce qui relève de la géologie ou de la géomorphologie et nous reviendrons plus tard sur la notion de géosite ou géomorphosite ainsi que sur leurs caractéristiques (chapitre 5 Inventaire). Il est cependant intéressant de s'arrêter sur quelques traits spécifiques de ce patrimoine naturel, abiotique et dynamique (issus de processus).

Une vulnérabilité peu appréhendée

Les objets du géopatrimoine sont qualifiés de naturels. Nous avons discuté de cet aspect plus haut. Autre caractéristique primordiale, ils sont abiotiques. Le torrent, l'affleurement rocheux, la grotte ou le décrochement n'impliquent généralement pas d'élément vivant pour se constituer, évoluer, s'éroder et disparaître, ou alors de façon secondaire (par exemple, le karst dont la dissolution est accentué en présence de sol). Cet état de fait n'exclut pas pour autant les interactions que les formes du relief entretiennent avec la faune et la flore, interactions qu'étudie, entre autres, la biogéographie. Pour triviale qu'elle puisse paraître, cette précision n'en implique pas moins une certaine image, une sorte d'aura d'in**vulnérabilité**. En effet, la roche est perçue comme un élément résistant par le grand public (par exemple, les expressions, « solide comme un roc», « avoir un cœur de pierre »). Pourtant, les formes du relief peuvent être irrémédiablement détériorées,

notamment, par les aménagements anthropiques. Les transformations actuelles de nos sociétés de plus en plus gourmandes en espaces exercent mêmes une véritable pression sur les sites proches d'activités humaines telles que les centres urbains, les stations touristiques ou les terres agricoles. Biens perçus comme plus résistants que la faune ou la flore, les objets géologiques et géomorphologiques n'en sont pas moins potentiellement menacés. Cette réflexion en implique deux autres. Une partie du géopatrimoine peut-être considéré comme un patrimoine fini (Billet, 1994), au moins à l'échelle humaine. Il n'est généralement pas possible de le recréer (toujours à l'échelle humaine). Une forme détériorée ne se régénère pas, à moins de dépendre d'un processus actif (torrent de montagne) et s'exécutant à court terme. A l'inverse, certains objets géologiques sont menacés par leur propre dynamique. Il s'agit de formes qui dépendent de processus se renouvelant fréquemment pour ne pas dire constamment, par exemple, les dunes de sable du Sahara, le tracé tressé de la Durance. Les processus naturels se chargent de transformer les témoins qu'ils construisent au fils du temps en conservant certaines bribes et en effaçant totalement d'autres. D'autre le sont à une plus longue échéance : un cordon morainique s'affaisse, les blocs saillants tombent et le sol se développe, puis, la forêt. D'autres objets tout de même paraissent très peu vulnérables : le pli de la dent de Morcles, le sommet du Mont-Blanc ou le décrochement Vallorbe-Pontarlier.

Distance temporelle, distance spatiale

Les formes relativement anciennes ont un intérêt lié en partie à la distance temporelle qui sépare le moment de leur formation de l'état actuel du processus sur la surface terrestre. Parmi celles-ci, les témoins glaciaires peuvent être considérés comme proches de ce que Chastel décrit comme une « **œuvre dans le temps** » (Chastel, 1986). Un cordon morainique peut revêtir une valeur patrimoniale parce qu'il est identifiable comme une « œuvre » ancienne, qui fait le pont entre les époques. Le cordon exprime par le fait d'être reconnaissable et identifié par les spécialistes, et si possible même daté, l'écart (immense ou infime) qui nous sépare d'un temps révolu ou les glaciers occupaient la majeure partie des Alpes et une part de leurs piémonts. Il serait impensable de débarrasser un cordon morainique de sa végétation pour le rendre plus reconnaissable ou de remonter les blocs erratiques sur sa crête pour reconstituer son état initial, au moment de sa formation, parce qu'on ne pourrait alors plus le rattacher à cette époque éloignée de la nôtre.

Suivant une même conception, le relief porte les traces de processus que l'esprit humain peine à réaliser, tellement l'échelle de réalisation est disproportionnée. Outre le temps long, difficile à saisir, les contractions et dilatations de l'espace à la surface de la terre dépassent l'échelle humaine. On ne les voit pas en action, elles ne peuvent pas être expérimentées ; il faut donc les imaginer. Typiquement, les mouvements de l'écorce terrestre sont difficiles à concevoir (Marthaler, 2008). Les grands plis que l'on observe dans le paysage (Dent de Morcles, Rouleau de Bossetan) sont donc des ponts pour la conception. Ils nous aident à envisager un état de la roche plastique, des mouvements de grande ampleur capables de superposer une roche ancienne, appartenant à la croute terrestre, à une roche plus récente, sédimentée au fond d'un océan (Chevauchement principal de Glaris).

Dans la même veine, mais plus immédiats, les blocs erratiques sont un puissant évocateur des processus de transport. La présence de roches cristallines en terrain sédimentaire implique un processus puissant, qui a suscité un vif débat dans les

milieux scientifiques du début du 19e siècle. L'explication glaciaire a finalement convaincu, permettant de trouver le lien de plusieurs dizaines de kilomètres (les glaciers) qui manquait entre le massif du Mont Blanc et les flancs du Jura (de Charpentier, 1841). Grâce à ces **marqueurs spatiaux**, les frontières administratives et linguistiques sont bousculées. Ils nous forcent à envisager un espace plus vaste que celui que l'on expérimente au quotidien, à savoir celui de la chaîne alpine, du continent, voire de la planète entière. Les blocs erratiques ont un sens en tant que géopatrimoine à l'endroit de leur dépôt par le glacier, dans leur proportion et leur forme d'origine. C'est à ces conditions qu'ils peuvent remplir leur fonction de lien, de pont entre les époques et les territoires.

La diversité perçue comme un gage de qualité

Une autre ligne forte est présente dans l'argumentaire géopatrimonial : la protection des objets géologiques et géomorphologiques se justifie, entre autre, par le fait que ces actions favorisent la géodiversité[6] . Le concept de géodiversité se base sur une même vision du monde que celui de biodiversité. La diversité est une caractéristique fondamentale du vivant, autrement dit, « *la diversité, c'est la vie* » (Barbault, 2011). Du fait de l'imbrication du vivant et des éléments abiotiques, la **géodiversité** apparaît comme une condition sine qua non de la biodiversité.

Cependant, l'introduction du terme « géodiversité » dans la littérature scientifique au début des années 90 a suscité des critiques. Certains auteurs (Joyce, 1997; Stock, 1997) ont proposé de l'abandonner, parce que trop ressemblant à son homologue biologique (biodiversité). Le parallèle aurait pu passer pour de l'opportunisme (Gray, 2008). Que cette utilisation porte ou non une connotation politique, consciente ou inconsciente de la part des chercheurs en géosciences, le concept de géodiversité reste une base intéressante de réflexion dans le domaine des géopatrimoines. Il est d'ailleurs utilisé tour à tour comme outils pour guider les efforts de conservation (Gray, 2008) et comme principe de base pour justifier cette conservation (Sharples, 2002). Les arguments qui soutiennent la géodiversité comme étant un gage de qualité de vie sont de plusieurs ordres, tout comme les arguments en faveur de la biodiversité. Le premier est une question éthique : la vie a une valeur en elle-même et doit être conservée à ce titre. Le parallèle étant que les formations géologiques qui ont nécessité des milliers d'années pour se former ont une valeur intrinsèque qui doit être protégée, à ce titre (Bronowski, 1973; Sharples, 2002). Un autre argument tient plus d'une logique fonctionnelle. Chaque espèce comme chaque processus géologique entretient une série d'interactions avec d'autres espèces et processus de sorte qu'appauvrir leur nombre a un impact sur l'ensemble du fonctionnement de la planète (Lovelock, 1979). Une autre série d'arguments semble plus pragmatique. Les espèces animales et végétales, tout comme les matériaux et formations géologiques et géomorphologiques sont envisagés comme des ressources (Phillips & Mighall, 2000). Réservoir de matériaux pour la construction, terrain d'activité pour l'humanité, cadre de vie, support symbolique et identitaire, nous rejoignons ici les liens discutés plus haut (2.2.1 Les géosciences et la société). Enfin, le maintient de la géodiversité assure une vaste source de connaissance sur l'histoire de la planète et la possibilité de transmettre cette connaissance (Gray, 2004). Les objets géologiques et géomorphologiques

6 Définition de la géodiversité par M. Gray (2004 p. 8) « *The natural range (diversity) of geological (rocks, mineral, fossils), geomorphological (land form, processes) and soil features. Il includes their assemblages, relationships, properties, interpretations and systems* ».

sont des archives où l'on peut lire l'histoire de la Terre (et l'histoire de la vie) (Brocx, 2008).

Différentes échelles, différentes catégories

Les objets (au sens large) inclus dans le concept de géodiversité peuvent appartenir à des échelles très différentes (Fig. 2.4). De la micro forme au macro paysage, seront pris en compte des éléments aussi divers que certains minéraux invisibles à l'œil nu ou qu'un système glaciaire incluant cirques, vallons et piémonts. Le concept de géodiversité considère des roches, des sols et des formes du relief mais englobe également les processus qui entrent dans la formation de ces objets : leurs assemblages, relations, caractéristiques, interprétations et systèmes (Sharples, 2002). On retrouve là encore un parallèle avec les sciences du vivant qui se soucient des écosystèmes autant que des espèces contenues dans les écosystèmes. Ces considérations ont une importance non négligeable dans les processus de sélection géopatrimoniale et dans la gestion du géopatrimoine. Selon les auteurs, le concept de géodiversité peut encore englober les eaux de surface (Kozlowski, 2004), les mers, les océans et les processus qui leurs sont associés (González-Trueba, 2007).

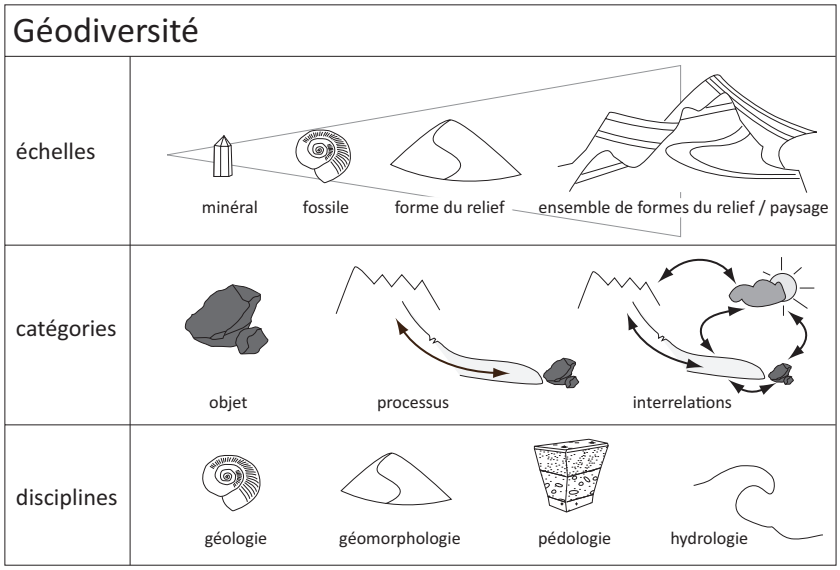


Fig. 2.4 : Les différents éléments qui peuvent entrer dans le concept de géodiversité. Tous ces éléments sont abiotiques.

2.2.4. Géotourisme et géoparcs

Si la communauté scientifique est particulièrement active depuis une vingtaine d'années dans le domaine de la vulgarisation des géosciences, cette implication correspond également à un certain engouement social. La population n'est peut-être pas plus intéressée par la géologie aujourd'hui qu'au siècle dernier – les voyages d'agrément sur des sites d'intérêt géologique (Grand Canyon, Chaussée des Géant, Ayers Rock) ne sont pas une pratique particulièrement récente (Doughty, 2008) – cependant, les initiatives actuelles de valorisation des géosciences rencontrent un public large et international.

Les contours actuels de cette niche touristique dénommée géotourisme offrent un cadre original et relativement précis, tout à fait intégré dans les préoccupations sociales actuelles. Les différentes définitions qui ont été proposées pour le géotourisme (Gray, 2004; Megerle, 2008; Dowling & Newsome, 2010) s'accordent pour inclure dans cette pratique des considérations environnementales, éducatives, en lien avec le développement durable, tournées vers le développement économique local, incitant aux démarches participatives et prenant en compte la protection du patrimoine géologique et géomorphologique.

Une manifestation territoriale de cet intérêt grandissant pour les objets des géosciences (et leur potentiel de développement touristique) est bien représentée par la constitution de géoparcs (Burek & Prosser, 2008). Le type de géoparc le plus représenté est celui qui s'insère dans le réseau mondial des géoparcs (*Global Geopark Network*, GGN, démarche soutenue par l'UNESCO)[7]. Il s'agit d'une structure peu contraignante et adaptable à tous les pays, qui ne suppose aucune législation particulière et n'entraine aucune subvention. L'essentiel des caractéristiques de ces géoparcs est de s'appuyer (1) sur un patrimoine géologique unique et exceptionnel (EGN, 2000), ou du moins, exceptionnellement valorisé sur le territoire et (2) une intégration des actions de valorisation et d'éducation dans le domaine des géosciences au sein des populations locales (EGN, 2000).

Une partie du territoire que nous étudions au travers de cette thèse, le Chablais haut savoyard, est devenu membre du réseau européen des géoparcs (et de fait, membre du GGN) en 2012. Nous verrons dans le chapitre 3 plus en détail les conditions qui ont permis cette reconnaissance officielle.

Le développement du géotourisme comme la création des géoparcs sont des indices de l'intégration des objets des sciences de la Terre dans les activités sociales. Ils présentent un intérêt particulier pour la recherche scientifique tant pour le développement d'axes de recherches en géosciences – il s'agit de « laboratoires » de recherche où l'on teste l'application de nouveaux concepts - que pour la valorisation des sciences de la Terre elles-mêmes. En effet, le géotourisme apparaît comme une activité dont une des spécificités est de s'apparenter à un tourisme thématique (Megerle, 2008) où l'approche didactique est présente (le « géotouriste » cherche à apprendre quelque chose en lien avec les géosciences). Les géoparcs apparaissent comme des lieux privilégiés du géotourisme, mais pas uniquement. Ils sont également des territoires où la recherche scientifique est largement encouragée, soit pour approfondir les connaissances techniques sur

7 D'autres types de géoparc existent dans différentes pays, en Suisse, par exemple. Ils ne sont pas membres du GGN.

les sites inclus dans le géoparc, soit pour élaborer des produits de valorisation cohérents et scientifiquement fondés.

Cette dynamique se traduit aujourd'hui et dans le monde entier par une offre diversifiée en formations universitaires dans le domaine des géopatrimoines (cursus, cours intensifs, thèses de doctorat). La thématique est perçue comme un nouvel enjeu de gestion répondant à des questions de société actuelles (Giusti et al., 2013). Il sera intéressant de voir si cette tendance se poursuit et si l'enthousiasme des universitaires parvient à gagner le public à la cause des géopatrimoines. Une meilleure prise en compte des éléments abiotiques dans les législations nationales pourrait être un indicateur de pérennisation de cet intérêt pour les objets des géosciences.

2.3. Témoins glaciaires ou patrimoine glaciaire?

Nous avons montré, dans ce chapitre, l'inscription particulière des objets des géosciences dans le champ patrimonial. Au début de ce travail, il nous semblait peu approprié de parler, sans s'en expliquer, de « patrimoine glaciaire ». Nous avons d'ailleurs préféré, dans un premier temps, présenter notre travail (colloques, séminaires) comme une étude des « témoins glaciaires chablaisiens ». Moins chargé d'un point de vue conceptuel, l'utilisation du terme de témoin résolvait le problème de la relative impopularité de ce type d'objet auprès du public, voire, des collègues de disciplines voisines, et de la contradiction apparente à parler de patrimoine pour des objets et des sites dont la majeure partie de la population ignore l'existence. A travers cette brève « enquête » théorique sur l'évolution du champ patrimonial, nous sommes plus à même de comprendre comment les géosciences s'inscrivent dans ce champ de recherche particulier. Nous avons également brossé un aperçu des développements conceptuels et des axes de recherche qui ont accompagné cette inscription. Enfin, il ressort de cette enquête que le moteur de la valorisation des géosciences, portée avant tout par la communauté scientifique (bien qu'en partie reprise par les populations locales dans le cas des géoparcs), est bien un climat ambiant de crise environnementale (climatique), voire identitaire (paysage, mode de vie, activités économiques), dont la finalité serait la transmission de connaissances, ou du moins d'une sensibilité, grâce à la protection des sites clefs pour la compréhension des sciences de la Terre.

3. Trois Chablais, un territoire

Dans ce chapitre, nous présentons le terrain d'étude et ses particularités du point de vue des témoins glaciaires. Nous abordons brièvement les dynamiques territoriales qui s'organisent autour des géosciences et de la valorisation des patrimoines, en particulier le projet *123 Chablais* au sein duquel cette thèse est pilotée, ainsi que le Geopark Chablais, accepté au sein du réseau des géoparcs européens (*European Geoparks Network* EGN) en 2012. Nous faisons le point sur la situation locale des témoins glaciaires d'un point de vue géographique, puis historique. La recherche actuelle sur le Quaternaire régional est abordée en préambule au chapitre suivant, focalisé sur « la chronologie glaciaire dans le Chablais ».

3.1. Le territoire

Le patrimoine géologique est plus ou moins reconnu selon les pays et selon les régions. Dans les Chablais et en particulier dans le Chablais haut-savoyard, les découvertes scientifiques de la fin du 19e siècle (théorie glaciaire, théorie des nappes de charriage) suivies par des décennies de recherches dans le domaine du Quaternaire (Evian, Thonon, plaine du Rhône, Léman) ont débouché, dès les années 2000 sur une volonté politique de s'appuyer sur le patrimoine géologique pour orienter une part du développent régional. Cette volonté se concrétise dans plusieurs projets locaux, européens et transfrontaliers (projets au sein des programmes LEADER : géoroute du Chablais, carte de randonnée « le Léman et ses sommets », itinéraires alpestres, balades acoustiques, festival Lind'Art ; projets Interreg : 123 Chablais). Cette thèse contribue, à sa manière à cette dynamique territoriale de valorisation du patrimoine géologique chablaisien.

3.1.1. Situation géographique

Notre terrain d'étude est communément appelé « Chablais ». Il s'étend sur le département de la Haute-Savoie (France), le canton du Valais (Suisse) et le canton de Vaud (Suisse) (Fig. 3.1). Les territoires concernés sont limités au nord et à l'ouest par le Léman, au sud par la vallée du Giffre, les Dents du Midi, le massif des Dents de Morcles et à l'est, par le massif des Diablerets (Fig. 3.2). La superficie de cette zone est estimée à 1650 km^2, dont 850 km^2 sur territoire français et 800 km^2 sur territoire helvétique.



Fig. 3.1 : Les Chablais administratifs : France, Suisse, Vaud et Valais. Carte produite par le SIAC, 2009.

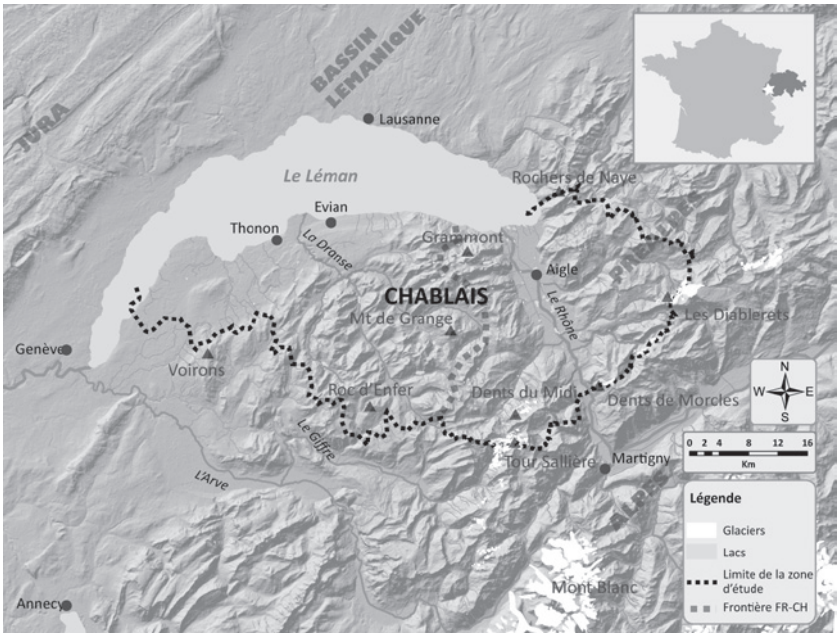


Fig. 3.2 : Terrain d'étude, situation. Les Chablais entre le Jura et les Alpes.

Précisions étymologiques et identitaires

Le vocable « Chablais » signifie, étymologiquement, « tête du lac ». Cette zone correspond approximativement aux Préalpes situées en bordure S et SE du Léman. Elle comprend la plaine du Rhône depuis l'aval de Martigny jusqu'à son embouchure dans le Léman, les vallées des Dranses (Abondance, Morzine, Brevon), le Bas-Chablais entre Douvaine et Saint-Gingolph, ainsi que les vallées de la rive droite du Rhône, entre les Dents de Morcles et les Rochers de Naye, et de la rive gauche entre la Tour Sallière et le Grammont (Fig. 3.2).

La dénomination régionale est relativement complexe et a évolué au cours du temps, notamment dans les articles géologiques. On rencontre une appellation commune « massif du Chablais » (Lamory, 2005) qui désigne l'ensemble du territoire montagneux compris entre le Léman, la vallée du Giffre et la plaine du Rhône, et qui correspond donc aux Chablais haut-savoyard et valaisan. Les auteurs géologues suisses utilisent le terme de « Préalpes romandes » (Mosar, 1991) qui désigne actuellement la partie suisse des Préalpes (vaudoises, valaisannes et fribourgeoises). Le terme de « Préalpes lémaniques » est utilisé pour l'ensemble du territoire alors que « Préalpes du Chablais » peut désigner la partie haut-savoyarde (Guyomard et al., 2009) ou l'ensemble du territoire (Charollais & Badoux, 1990). On rencontre encore « Préalpes chablaisiennes » (Plancherel, 1979), cette dernière appellation étant utilisée plutôt par les auteurs suisses.

Si la région bénéficie d'une certaine homogénéité géologique (couverture sédimentaire des Préalpes) et géomorphologique (sommets peu élevés, zone rapidement déglacée dès l'amorce du Tardiglaciaire), les limites fixées par le projet

« 123 Chablais » sont en partie administratives (Fig. 3.1). Toutes les communes adhérentes au projet sont prises en compte dans cette étude.

Les frontières nationales et cantonales qui compartimentent cette région impliquent également une séparation dans l'imaginaire des habitants. En effet, le « Chablais » envisagé par les citoyens français s'arrête en général à la frontière franco-suisse, alors qu'il existe pour les citoyens suisses un « Chablais suisse romand », voire un « Chablais vaudois » et un « Chablais valaisan ».

Ces identifications ont une origine historique liée à l'établissement des frontières politiques internationales et intranationales et ne sont, a priori, pas fondées sur une distinction émanant des données physiques du territoire. Cette remarque préliminaire est à mettre en lien avec le dernier chapitre de ce travail (cf. chapitre 6 Valorisation) et nous encourage à prendre en compte le fait qu'une portion de territoire dont le paysage présente une certaine homogénéité n'est pas nécessairement identifiée par ses habitants ou usagers comme un tout, malgré une histoire géologique, géomorphologique et glaciaire commune. Le moment de la valorisation venu, il sera d'autant plus important de présenter le terrain dans son ensemble, voire dans un cadre encore plus large, englobant au minimum les Préalpes lémaniques.

Nous proposons d'utiliser le terme de « Chablais » pour l'ensemble du terrain envisagé par cette étude, à la place du peu commode « trois Chablais » ou du pluriel « les Chablais ». Au besoin, nous préciserons « massif du Chablais », « Chablais vaudois », « Chablais valaisan » ou « Chablais haut-savoyard ». Pour le territoire français, nous faisons fréquemment la distinction entre le « Haut-Chablais » et le « Bas-Chablais ». En réalité, le découpage administratif est plus complexe (Fig. 3.1). Dans ce travail, nous entendons par « Haut-Chablais » les trois vallées des Dranses[1] et par « Bas-Chablais » le Pays d'Evian, les collines du Léman et le Bas-Chablais[2] (au sens administratif de « communauté de communes du Bas-Chablais »).

Contexte de développement territorial : urbanisation versus espaces naturels

La région du Chablais s'étend entre la moyenne montagne et le piémont à des altitudes comprises entre 400 et 3000 m. Elle est rendue très attractive par la présence du Léman, qui remplit de multiples fonctions : ressource naturelle, voie de communication, attraction touristique, etc. Situé en zone carrefour, entre Suisse, France et Italie, ce territoire est fortement anthropisé (Fig. 3.3) et sa population est en hausse. Le tissu urbain représente actuellement 9% de sa superficie (données Corine Land Cover 2006). Les zones habitées se concentrent sur les rives du Léman et dans la plaine du Rhône mais s'étendent également dans les vallées de montagne, occupation qu'il faut mettre en relation avec une activité de sports d'hiver bien développée et en pleine mutation. Les services, le tourisme en majorité, représentent le plus grand secteur économique avec 72%

1 Syndicat Intercommunal à la carte de la Vallée d'Abondance, communauté de communes de la Vallée d'Aulps, SYVOM du Haut-Chablais, communes des Gets et de Morzine.

2 Communauté de communes du Pays d'Evian, communauté de communes des collines du Léman, communauté de communes du Bas-Chablais, communes de Thonon-les-Bains, Lully, Fessy, Brenthonne.

des emplois dans ce domaine pour le Chablais français (SIAC, 2012), suivi par l'industrie (17%), la construction (8%) et l'agriculture (3%). Cette répartition de l'activité économique est assez similaire du côté suisse : une majorité de services (56%), une part importante d'industrie (40%) et une faible part d'exploitation des ressources naturelles (4%) (Chablais Région, 2013). La majeure partie du territoire est mise à profit pour les activités humaines, d'exploitation (carrières, agriculture, tourisme, eaux minérales), de transport, d'habitat ou de loisirs (plages, stations de sports d'hiver, thermalisme). Une certaine pression sur les espaces se fait donc sentir. Les divers usages, des terrains de montagne par exemple, donnent lieu à de véritables problématiques d'aménagement et de gestion des terrains mais également d'autres ressources telles que l'eau (Magnier, 2013). Parallèlement à l'urbanisation croissante, le territoire rencontre des problèmes dans la gestion des transports. Le Chablais, côté français, souffre de sa position enclavée et manque de voies de communication rapides. La situation des transports est moins problématique du côté suisse drainé par l'autoroute du Valais et soutenu par un service ferroviaire plus adapté.

Malgré cette forte empreinte humaine, le Chablais est riche en milieux naturels préservés : réserves Pro Natura (CH), Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF) (FR), réserves de chasse (CH), hauts-et bas-marais (CH), réserves naturelles régionales (CH, FR), etc. Les niveaux de protection se superposent, du patrimoine mondial de l'UNESCO aux arrêtés de classement cantonaux en passant par la convention de Ramsar. Les sites qui bénéficient d'une protection ou d'une simple inscription dans un inventaire sont presque aussi nombreux que diversifiés. Deux types de cible ressortent clairement : le maintien de la biodiversité (par exemple, les réserves biologiques, les réserves de biosphère ou les sites de reproduction des batraciens) et le maintien de la qualité des paysages (par exemple, les parcs naturels régionaux, l'inventaire fédéral des paysages ou l'inventaire des sites marécageux). Les objets géologiques ne sont pas protégés spécifiquement mais peuvent être inclus dans les inventaires de type « protection du paysage » (Jordan et al., 2004). En France comme en Suisse, des inventaires de géotopes ou de patrimoines géologiques sont en cours d'élaboration. Ils ne sont généralement pas contraignants, sauf dans certains cantons suisses (par ex. Hipp, 2004). Au niveau national, ces inventaires font figure de garde-fou. Le Chablais compte en outre, un important couvert forestier (41%) et des nombreux pâturages naturels dans sa partie montagneuse (Fig. 3.3).

Cette situation tendue entre préservation des ressources naturelles et des paysages et développement local pousse les Chablaisiens à élaborer des outils de gestion sur le long terme, cherchant à intégrer des concepts de développement durable dans l'aménagement du territoire.

Pour gérer son territoire efficacement et faire face à la pression démographique tout en conservant les paysages et milieux naturels qui font son attractivité, le Chablais français s'est doté de plusieurs outils administratifs : Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT), Contrat de Développement Durable Rhône-Alpes (CDDRA), programme européen « Liaison entre actions de développement de l'économie rurale » (LEADER), Geopark Chablais, Chablais Horizon 2020. Le Chablais suisse, quant à lui, cherche à développer la coopération intercantonale. Plusieurs projets sont en cours portant, par exemple, sur l'aménagement du territoire (Chablais Agglo, Rhône 3), l'amélioration du réseau de transport (ligne du Tonkin, ligne H144), l'amélioration des services médicaux (Hôpital Riviera-

Chablais), la communication (Agoris, conTAKT - net Chablais), la valorisation des patrimoines (123 Chablais).

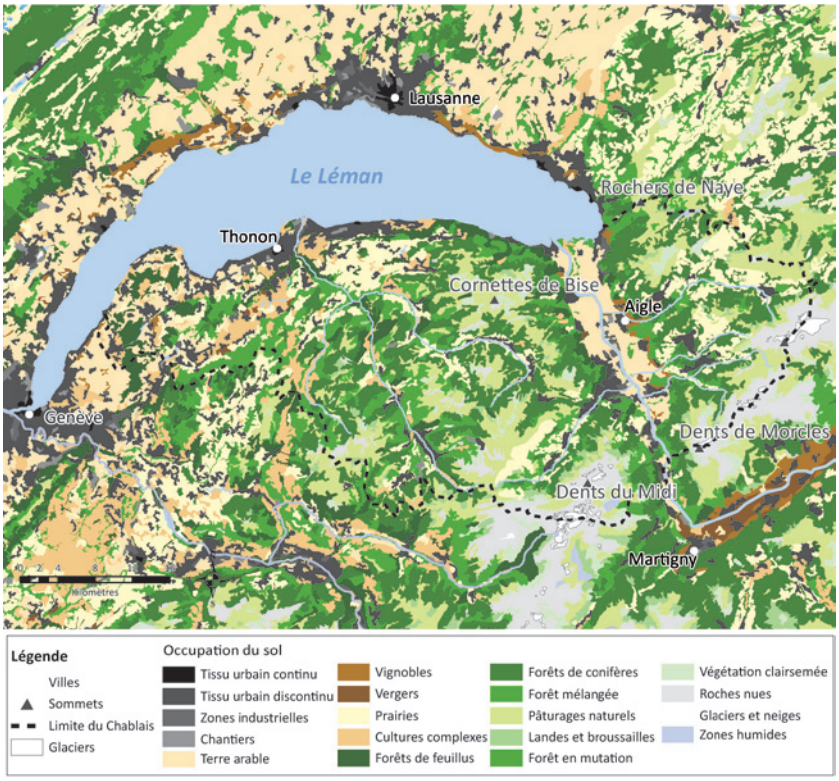


Fig. 3.3 : Occupation du sol : le Chablais compte 9% de terrains urbanisés et 41% de terrains forestiers. 50% de la surface est donc potentiellement modifiée par des travaux d'aménagement ou rendue invisible par la couverture forestière. Données Corine Land Cover 2006, traitées avec le logiciel ArcGis.

3.1.2. Une dynamique territoriale : le projet 123 Chablais

En 2009, les Chablais vaudois, valaisan et haut-savoyard s'associent dans un projet de coopération transfrontalière, pour la valorisation conjointe de leurs richesses patrimoniales culturelles et naturelles, projet qui porte le nom d'**123 Chablais**[3]. Cette coopération s'inscrit dans la lignée des programmes Interreg, financés entre autre par le Fonds européen de développement régional (FEDER). Le programme actuellement en cours est l'**Interreg IV** et couvre la période 2007-2013. Il a pour but de renforcer la coopération économique et sociale au sein de l'Union européenne et d'assurer un développement territorial équilibré. Parmi les trois déclinaisons d'Interreg, le Chablais s'inscrit dans la première catégorie de coopération (catégorie A) qui concerne les régions transfrontalières, appartenant à des pays différents (par exemple, France – Suisse) mais partageant une même

3 http://www.123chablais.com, consulté le 09.01.2013.

frontière. Au sein du programme Interreg IV A France-Suisse, 87 projets ont été soutenus depuis 2008, concernant des thématiques variées telles que les éco-stations, la durée de cycle de vie des produits ou la floraison tardive (Secrétariat technique conjoint INTERREG IV A France-Suisse, 2012). En plus de porter sur le développement conjoint de territoires transfrontaliers, les projets soutenus doivent s'inscrire dans une dynamique de développement durable. Les objectifs visés sont donc la compétitivité économique, la qualification des ressources humaines, l'aménagement coordonné du territoire, l'amélioration des transports publics, la préservation de l'environnement et de la qualité de vie en favorisant les offres de services, touristiques et culturelles[4].

Le projet 123 Chablais se focalise sur le développement d'un patrimoine collectif, hérité d'une histoire commune, que les frontières actuelles auraient tendance à masquer mais qui ne correspondent pas à des ruptures naturelles ni à des séparations durables. Plusieurs volets sont approfondis : **patrimoine naturel**, **patrimoine culturel** et **art de vivre**, en trois temps : 1. harmonisation des connaissances, incluant des phases d'inventaire ; 2. réalisation de supports au développement touristique, telles que la formation des guides interprètes du patrimoine et des accompagnateurs en moyenne montagne et la réalisation d'itinéraires culturels ; 3. vente, promotion et commercialisation des offres en lien avec les patrimoines, notamment un guide de randonnée (Collectif, 2011), et une exposition itinérante (Perret et Coutterand, 2012).

Le projet compte un porteur dans chaque pays : Chablais Léman Développement (CLD) en France et Chablais Région (CR) en Suisse. Ces deux organismes travaillent en partenariat étroit avec le Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Chablais (SIAC), les Universités de Savoie et de Lausanne et la Fondation Tissières. Plusieurs prestataires s'ajoutent au projet : le Musée Historique du Chablais, Chablais Gourmands et les Itinéraires Culturels en Suisse (ViaStoria).

Dans le volet « patrimoine naturel » du projet, un fort accent est porté sur la dimension **géologique** du territoire. Les Chablais présentent effectivement un intérêt du point de vue de leur géologie structurale et de leur histoire glaciaire (cf. 3.2 Contexte géomorphologique et 3.3 Les témoins glaciaires dans le Chablais). C'est notamment sur ces deux aspects qu'est fondé le Geopark Chablais (SIAC, 2010). Le travail de recherche présenté dans ce mémoire s'insère dans ce volet géologique. Il contribue à améliorer la connaissance des témoins glaciaires de la région en réalisant une synthèse des connaissances, au niveau du territoire global et en approfondissant certains secteurs peu étudiés. Il contribue également à la démarche d'inventaire des géopatrimoines en insérant des sites spécifiquement glaciaires à l'inventaire général de géosites géré par le SIAC (cet inventaire ne concerne que le territoire français). Enfin, il apporte une base scientifique pour l'élaboration de produits géotouristiques, notamment, l'exposition itinérante sur le patrimoine glaciaire.

4 http://www.interreg-francesuisse.org, consulté le 09.01.2013.

3.1.3. Un projet territorial tourné vers le patrimoine géologique : le Geopark Chablais

Les Géoparcs

Les géoparcs sont une nouvelle forme de gestion territoriale construite sur le concept des parcs naturels régionaux mais dont l'objet de gestion est le patrimoine géologique. Les premiers géoparcs sont nés vers la fin des années 1990 (Zouros, 2004; Cayla, 2009). Sous l'impulsion de quatre territoires précurseurs, un réseau de géoparcs européens est créé en 2000 (*European Geoparks Network*, EGN) puis étendu en réseau mondial quatre ans plus tard, sous l'égide de l'UNESCO (*Global Geoparks Network*, GGN). Selon une convention passée entre l'UNESCO et l'EGN, chaque géoparc intégré au réseau européen devient automatiquement membre du réseau mondial (UNESCO et EGN, 2001). En janvier 2013, le réseau mondial compte 91 membres dont 55 géoparcs européens issus de 18 pays différents[5]. C'est la Chine qui détient les plus grand nombre de territoires labellisés avec ses 27 géoparcs. La France en compte quatre, la Suisse, aucun (Fig. 3.4).

Il faut cependant relativiser ces chiffres puisque certains territoires utilisent le terme de géoparc sans pour autant appartenir au réseau européen ou mondial. C'est le cas notamment de deux parcs en Suisse (le *Parco delle Gole della Breggia* au Tessin et le *Geopark Sarganserland-Walensee-Glarnerland*, Suisse centrale, (Reynard et al., 2007).

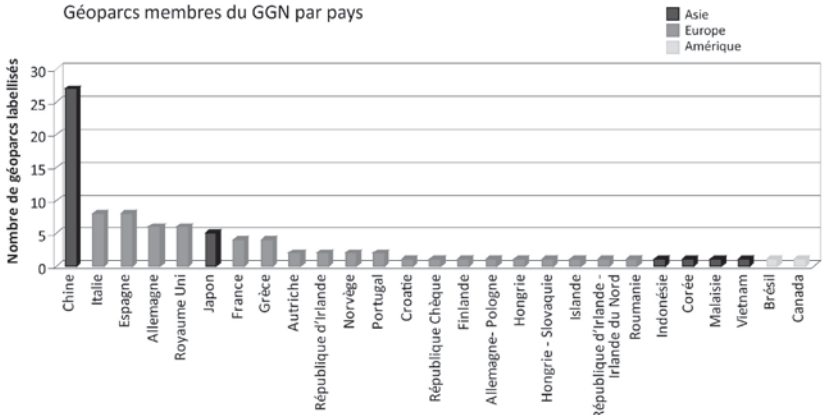


Fig. 3.4 : Les géoparcs membres du Global Geoparks Network (GGN) en janvier 2013. La majorité des géoparcs labellisés se situent en Europe. La Chine fait figure d'exception avec ses 27 territoires labellisés. Certains pays comme la Suisse ne sont pas représentés. Le concept de géoparc forgé en Europe s'exporte sur d'autres continents. Source : www.globalgeopark.org (consulté de 24 janvier 2013).

Un géoparc s'entend comme un territoire qui décide d'inclure dans sa dynamique territoriale la gestion de son patrimoine géologique. Il ne s'agit pas d'une réserve géologique mais bien d'un périmètre de développement d'activités en lien avec la géologie, incluant protection et valorisation des ressources patrimoniales. Cette

5 http://www.europeangeoparks.org, http://www.globalgeopark.org

structure ne repose sur aucune obligation légale. Son impact sur le territoire se situe dans la mise en réseau des initiatives locales et le développement d'activités impliquant une démarche d'utilisation concertée de la ressource. Le parc se construit seul ou en collaboration avec d'autres territoires mais il doit fonctionner en tant que géoparc avant de pouvoir se porter candidat au niveau européen. Cela signifie qu'il doit attester au préalable d'une dynamique durable dans la protection, la recherche, l'éducation et la valorisation des géopatrimoines.

Pour joindre de réseau européen, certaines conditions doivent donc être remplies (Zouros, 2004; UNESCO, 2010). Tout d'abord, le territoire, dont le périmètre a été clairement défini, s'appuie sur un **patrimoine géologique particulier** et identifié. Dans ce sens, les sites qui constituent ce patrimoine doivent être suffisamment étudiés pour qu'il soit possible de construire un argumentaire sur leur valeur scientifique. Ils doivent également comporter, outre leurs qualités scientifiques, un intérêt pour l'éducation, l'écologie et la culture. Un inventaire de ces géosites est un minimum nécessaire pour soutenir cet argumentaire. La deuxième condition d'obtention du label concerne la **dynamique territoriale**. Cette dernière doit inclure une stratégie de développement durable et, si possible, s'inscrire dans des projets européens de développement. Cette condition inclut le fait que le périmètre proposé doit être clairement défini et suffisamment étendu pour réaliser des projets cohérents et durables. En outre, le géoparc doit être soutenu par une structure viable et être capable de drainer des fonds pour assurer son fonctionnement. La troisième condition est l'existence d'une **activité géotouristique** qui soutient le développement économique local en parallèle du développement d'**outils didactiques** qui permettent de transmettre les connaissances géologiques, et plus largement environnementales, aux populations locales. Enfin, la **protection des géopatrimoines** fait partie intégrante des objectifs du réseau des géoparcs. Cette dernière est envisagée comme un processus expérimental qui doit être mis en place dans chaque territoire, pour contribuer à trouver de nouvelles formes de protection et assurer un accès aux ressources patrimoniales par la population locale et pour le géotourisme. Le document cadre produit par l'UNESCO (2010) insiste sur le fait que la démarche doit émerger de la population locale (type *bottum-up*) pour être viable. En effet, un projet de géoparc est une entreprise politique qui doit trouver un appui généralisé auprès des acteurs du territoire. Une candidature portée par le seul milieu scientifique, en plus de ne pas remplir les critères élaborés par le GGN n'aurait que peu de chance de parvenir ses fins (Hobléa et al., 2011).

Le « label Geopark » est obtenu pour quatre ans. Une réévaluation par un comité d'experts doit ensuite revalider le géoparc afin d'assurer le maintien de sa qualité (UNESCO, 2010). Les quelques lignes directrices proposées par le réseau mondial des géoparcs doivent être suivies par les membres et constamment améliorées pour que la reconnaissance EGN puisse être maintenue sur le territoire :

- **Education et vulgarisation** : la formation en géosciences est favorisée par le développement d'outils didactiques et l'exploitation de programmes d'enseignement de la géologie et de l'environnement en général à tous les niveaux.
- **Recherche en géosciences** : le géoparc s'associe avec les organismes de recherche locaux pour le développement de la recherche scientifique, la vulgarisation des sciences de la Terre auprès du public et la sensibilisation des populations aux risques naturels.

- **Culture** : le géoparc permet de valoriser les liens entre les cultures locales et le géopatrimoine. Il s'agit d'un projet global qui prend en compte l'ensemble des caractéristiques géographiques du territoire mais également ses particularités culturelles matérielles et immatérielles.
- **Communication et coopération** : la communication est un axe qui doit être particulièrement développé au sein du géoparc, entre les acteurs locaux. Les réseaux européens et mondiaux permettent également de soutenir des synergies entre territoires de différents pays.
- **Géotourisme et développement durable** : le développement économique local doit être pensé en termes de durabilité et d'implication des populations locales. Le géotourisme permet de diversifier l'offre touristique régionale, sur des bases de tourisme doux et durable.

Bref historique : de la démarche géoparc au « label » soutenu par l'UNESCO

Convaincus de posséder une véritable richesse géologique, certains acteurs du Chablais haut-savoyard se sont mobilisés au début des années 2000, en vue de valoriser le patrimoine géologique chablaisien. L'intégration à l'EGN a finalement été obtenue début 2012. Le bref historique ci-dessous est largement repris du dossier de candidature au réseau des géoparcs européens, réalisé par le SIAC (2010).

En 2003, à l'initiative du président de l'association du Groupe d'Action Locale (GAL) du Haut-Chablais, J.-C. Reynaud, la « démarche géoparc » est initiée par une première prise de contact avec la Réserve naturelle géologique de Haute-Provence, à Digne, suivie d'une visite du géoparc du même nom. Des fonds LEADER+ sont obtenus pour soutenir cette dynamique. Jusqu'en 2006, plusieurs études de faisabilité sont réalisées afin de mesurer le potentiel géotouristique régional. En parallèle, des travaux d'étudiants contribuent à l'amélioration de la connaissance de la géologie locale (Barlet & Gaudiot, 2003; Paccot, 2003). L'année 2007 voit un renforcement de la démarche par l'embauche d'une Docteure en géologie à temps plein, Anne Guyomard, chargée de mener à bien le dossier de candidature au titre « géoparc européen » soutenu par l'UNESCO. Un nouveau programme LEADER est obtenu en 2008 et pour 6 ans. Entre 2007 et 2008, de nombreux outils de médiation sont créés et proposés aux populations locales et touristiques. Le projet est ensuite étendu aux 62 communes du SIAC. 2009 voit le projet de géoparc s'intégrer aux différents programmes de gestion locale : ajout de la démarche géoparc à la charte de territoire Chablais Horizon 2020, actions géopatrimoniales dans le cadre du Contrat de Développement Durable Rhône-Alpes (CDDRA), publication d'un guide régional en cofinancement INTERREG. Des inventaires systématiques du patrimoine (naturel, géologique et culturel) sont mis en place. En novembre 2010, le Chablais devient candidat officiel aux *European and Global UNESCO Networks of Geoparks* et obtient son intégration en mars 2012. C'est le quatrième territoire français à obtenir cette reconnaissance après la Réserve naturelle géologique de Haute-Provence, membre fondatrice de l'*European Geoparks Network*, le Parc naturel régional du Lubéron et le Parc naturel régional du Massif des Bauges, porté candidat la même année.

L'intégration au réseau intervient après sept années d'actions sur le territoire, de démarches administratives, de séances d'information à l'intention des élus et de la population chablaisienne. L'ampleur du travail effectué est difficile à chiffrer.

Nous n'entrerons pas, dans le cadre de cette étude, dans une analyse des jeux d'acteurs impliqués ni des discours et représentations qu'a pu engendrer ce type de démarche sur le territoire. Ce n'est pas là le sujet de notre travail. Nous pouvons cependant souligner qu'un effort important a été réalisé sur un territoire où les enjeux économiques sont prégnants et où la pression sur les ressources foncières et naturelles est grandissante.

Une des particularité du Chablais dans cette entreprise – et peut-être son principal handicap - est de ne n'avoir pas été soutenu par une structure déjà engagée dans la protection du patrimoine naturel, comme cela était le cas des trois autres géoparcs acceptés au sein de l'EGN en France (PNR et réserve géologique) (Hobléa et al., 2011).

Les avantages apportés par l'intégration au réseau européen des géoparcs

L'intégration à l'EGN peut être apparentée à l'obtention d'un label. Il ne s'agit pas d'un outil législatif, mais plutôt d'une reconnaissance d'exceptionnalité (patrimoine géologique) et de qualité (services liés aux géopatrimoines). On peut supposer également qu'une reconnaissance soutenue par l'UNESCO est d'un poids non négligeable pour convaincre les derniers élus réfractaires du territoire.

Outre la reconnaissance internationale des patrimoines locaux, la « labellisation » assure une certaine visibilité du nouveau géoparc, par l'intermédiaire des sites internet officiels, notamment. Ce dernier est intégré à des programmes de coopération, fait partie d'un réseau. Par exemple, le Geopark Chablais est impliqué avec le parc des *Shetlands* (Royaume-Uni) dans un projet de développement des nouvelles technologies au sein de leurs territoires. La mise en réseau permet d'assurer une certaine dynamique à ces géoparcs, mis en contact avec leurs homologues. Enfin, la « labellisation » est envisagée comme un garant de la qualité de l'offre géotouristique proposée.

Figurer parmi les géoparcs européens, soutenus par l'UNESCO est une démarche volontaire et éminemment politique. La candidature impose de nombreuses contraintes, un canevas très précis ainsi que des exigences élevées en matière de connaissance du patrimoine et de gestion des géosites. En contrepartie, le territoire n'obtient aucune subvention, ni aide en personnel. L'intérêt de la démarche réside donc ailleurs. Sans autres informations, quelques questions restent ouvertes : Peut-on raisonnablement penser que le niveau de reconnaissance est suffisant pour motiver une telle démarche. A moins que ce ne soit la démarche en elle-même qui en soit le véritable intérêt ?

En France, trois projets de géoparc récents (Chablais, Bauges et Vercors) ont été suivis de près ou de loin par le laboratoire EDYTEM (Hobléa et al., 2011). Quelques points communs ressortent de ces initiatives. Les trois territoires souhaitent visiblement lier leurs avant-pays urbanisés et leurs arrière-pays plus ruraux. Dans les trois cas, il s'agit de territoires de moyenne montagne qui cherchent à diversifier leur activité touristique, alors que leurs stations de ski s'interrogent sur leur viabilité face aux modifications climatiques (Hobléa et al., 2011).

Dans un avenir proche - 1 à 2 ans - plusieurs candidatures françaises devraient être déposées. Des « démarches géoparcs » sont en cours en Ardèche (Parc naturel régional des Monts d'Ardèche) et dans le Beaujolais (Syndicat Mixte du Beaujolais).

Il s'agit des projets les plus avancés. D'autres territoires en Bretagne, dans les Pyrénées et dans les Alpes ont également déclaré leur intérêt vis-à-vis de cette démarche (Hobléa et al., 2011).

Les lignes directrices du Geopark Chablais

En adéquation avec les critères de l'UNESCO, chaque géoparc est unique. Il doit donc présenter un patrimoine bien défini et identifiable sur lequel se fonde son originalité. Fidèle à ses valeurs, l'UNESCO privilégie l'exceptionnel et l'esthétisme (Gauchon, 2010). Le choix des thématiques phares d'un géoparc se fait donc sur la base des candidatures au réseau, en fonction des caractéristiques des autres territoires candidats ainsi que des territoires déjà labellisés (Hobléa et al., 2011). Chaque géoparc doit se distinguer des autres et justifier d'une « identité géologique ».

Pour le Geopark Chablais, les thématiques choisies sont les **témoins glaciaires** et **l'eau**. La valeur de ce géoparc s'appuie également sur une histoire géologique « plus classique », en mettant en exergue la structure en nappes et la stratigraphie préalpine (SIAC, 2010).

On retrouve dans ces choix le poids historique de la recherche régionale : la consolidation de la théorie des nappes de charriage par Hans Schardt à la fin du 19e siècle (Schardt, 1898) et le développement de la stratigraphie préalpines (Favre, 1859, 1867), sont des éléments incontournables de la construction du savoir géologique (cf. point 3.3). Les deux thématiques dégagées par le Geopark Chablais sont plus proches de la recherche actuelle. Cette dernière est focalisée sur les terrains quaternaires, en grande partie grâce au pôle dynamique engendré par l'exploitation des eaux d'Evian. En Chablais, eau et témoins glaciaires sont des thématiques extrêmement liées sur le terrain. L'eau est présente sur le territoire par le biais de ses eaux minérales (l'eau minérale naturelle d'Evian®, les eaux minérales de Thonon-les-Bains, le parc naturel hydrogéologique du Mont Forchat) dépendantes des épaisses séries de sédiments quaternaires, mais aussi de ses nombreux lacs de montagne (Guyomard, 2007), dont l'origine est souvent liée à l'activité glaciaire, y compris dans le cas du Léman. Les Dranses enfin, présentes dans les trois vallées principales du Haut-Chablais, permettent de dégager par érosion certains témoins clefs de l'histoire glaciaire régionale (Conglomérat des Dranses, argiles lacustres, cheminées de fées).

En conclusion

L'originalité et la difficulté de la valorisation du patrimoine glaciaire sur ce territoire en particulier sont peut-être le fait que les glaciers actuels sont totalement retirés du Chablais haut-savoyard et ne sont plus présents que sur la bordure SE du Chablais helvétique (Fig. 3.6). Si cet état de fait n'était pas dérangeant pour les chercheurs de l'époque, il est certainement plus difficile à surmonter pour un projet de territoire circonscrit au Chablais français. Pour ajouter à cette difficulté, on peut encore mentionner que les paysages chablaisiens sont peu spectaculaires, souvent discrets dans le paysage (Gorges du Pont du Diable, moraines du plateau Gavot, vouas du Lyaud). Par contre, le territoire peut s'appuyer sur un grand nombre de sites qui permettent d'observer des témoins géologiques particulièrement riches une fois décryptés (Rouleau de Bossetan, lac du Vallon, terrasses de Thonon), dont certains sont bien entendu liés aux recherches historiques dans le Chablais. De plus, des liens forts peuvent être identifiés entre les activités humaines et les

témoins géologiques, que ce soit dans le domaine de l'extraction des matériaux, de la construction, des loisirs ou de l'histoire.

En définitive, le Chablais possède un patrimoine géologique riche et profondément ancré dans l'activité de ses habitants. Cette constatation ne suffit pourtant pas à présumer de la bonne connaissance de cet héritage par le public, ni d'assurer que ce dernier sera efficacement protégé. Le géoparc apparaît donc comme un outil de transmission des connaissances géologiques et environnementales, à travers lequel des stratégies de valorisation doivent être élaborées pour dépasser certaines difficultés inhérentes au terrain.

3.2. Contexte physique

Le Chablais est une région riche en témoins glaciaires. Ces derniers posent encore un certain nombre d'interrogations et sont organisés sur le terrain de façon complexe à plusieurs égards : ancienneté potentielle de certains dépôts encore non datés, organisation des flux de glace entre glaciers principaux et glaciers secondaires qui supposent des diffluences et transfluences, position latérale droite du Chablais par rapport au glacier principal (glacier du Rhône) dont la glace se scinde en deux langues au débouché de la vallée du Rhône dans la région lémanique. Toutes ces questions restent actuellement en suspens, malgré deux siècles de recherche géomorphologique et géologique. Avant d'aborder ces questions plus en détail dans le chapitre suivant (cf. chapitre 4), il est nécessaire de présenter les différents facteurs qui influencent la dynamique glaciaire et les processus qui lui sont associés.

3.2.1. Unités géographiques

La zone d'étude présente plusieurs unités morphostructurales. Par souci de cohérence avec notre sujet, nous décrivons ici les vallées principales et leurs bassins versants, puis les rives du Léman (Fig. 3.5).

La vallée principale qui structure le Chablais est parcourue par le **Rhône**. Elle est prise en compte dans ce travail entre le coude de Martigny (475 m) et son embouchure dans le Léman (372.6 m). C'est une profonde incision dans les Préalpes lémaniques, orientée SE-NW (Badoux, 1989). Les sommets environnants culminent entre 2172 (le Grammont) et 3257 m (les Dents du Midi). Sa largeur varie entre 1 km sur le tronçon Martigny-Saint-Maurice et 5 km sur le tronçon Saint-Maurice-Villeneuve. La plaine du Rhône est puissamment comblée de sédiments quaternaires dont l'épaisseur est estimée à un maximum de 1000 m au niveau du coude de Martigny et à Vouvry (Besson et al., 1991; Finckh & Frei, 1991, Rosselli & Olivier, 2003).

La rive droite du Rhône comporte trois vallées latérales, parcourues chacune par un cours d'eau. Du S au N, on rencontre : l'Avançon, la Gryonne et la Grande Eau. En rive gauche, seule la Vièze s'écoule dans une vallée bien développée. A l'amont de ces vallées se sont formés des cirques glaciaires, le plus souvent libres de glace aujourd'hui, excepté à l'extrémité SE de la zone d'étude, où de petits glaciers sont encore visibles à partir de 2000 mètres (Fig. 3.5).



Fig. 3.5 : Localisation des glaciers actuels, en bordure E du terrain d'étude. Fond de carte Aster Gdem V2, relief ombré et dégradé de couleur selon l'altitude.

Le **massif du Chablais** est entaillé par trois cours d'eau principaux qui confluent à un peu plus de 10 km du Léman. Ce réseau hydrographique constitue les Dranses en amont de leur confluence et la Dranse en aval. D'E en W se succèdent, la Dranse de Morzine, la Dranse d'Abondance et la Dranse de Bellevaux ou Brevon. Le réseau des Dranses, pris dans son ensemble, est orienté parallèlement au Rhône à l'aval du coude de Martigny (SE-NW). Ces trois vallées sont tapissées de dépôts quaternaires (Burri, 1963) (Fig. 3.9). Comme dans l'ensemble des Préalpes lémaniques, les altitudes décroissent du SE au NW (entre 2400 et 2100 m). Deux principaux cols permettent le passage vers l'extérieur du massif : le Pas de Morgins (1371 m), qui relie la vallée d'Abondance au val d'Illiez, et le col des Gets (1200 m), qui relie la vallée d'Aulps à la vallée du Giffre.

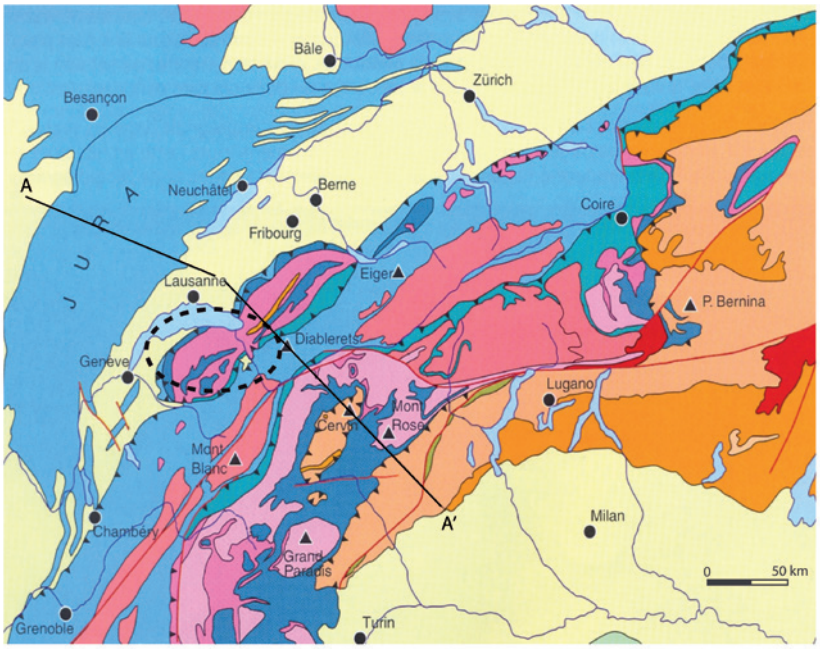
Sur la rive sud du Léman, dans sa portion orientale, se situe le **plateau Gavot**. Cette étendue, dont l'altitude décroît du S au N et d'E en W, comporte une importante couverture quaternaire, qui atteint 400 m d'épaisseur au S d'Evian (Vial, 1975; Blavoux, 1988).

Plus à l'W, en rive gauche de la Dranse, le **Bas-Chablais** s'étend au pied des Préalpes, sur le bassin molassique. Cette zone de faible altitude présente une topographie douce couverte par des sédiments quaternaires desquels émergent de rares affleurements rocheux comme au Mont de Boissy ou à la colline des Allinges.

3.2.2. Cadre géologique

Le Chablais s'étend principalement sur les Préalpes (massif du Chablais en France, Préalpes romandes en Suisse) mais aussi en partie sur l'Helvétique (massif des Dents du Midi, massif des Muverans, massif des Diablerets). Il est essentiellement

composé de roches sédimentaires : calcaires, marnes, brèches et flyschs. En bordure du bassin lémanique, le substratum est constitué par la Molasse. Une importante couverture quaternaire recouvre toute une partie de cette zone (environ un tiers des terrains).



Ages stratigraphique	Roches principales	Unité tectoniques	Domaine paléogéographique
Oligocène- Miocène-Pléistocène	sédiments détritiques alluvions	Molasse	Europe au N et Apulie au S
Trias-Eocène	sédiments marins: calcaires dolomies, brèches	Austro et Sud-Alpin	Apulie
Paléozoïque	socle: gneiss, granites, gabbros (croûte continentale)		
Jurassique-Crétacé	métasédiments océaniques et lambeaux d'ophiolites (croûte océanique)	Pennique supérieur	Piémontais
Trias-Eocène	sédiments marins: calcaires, marnes, flysch	Pennique moyen	Briançonnais
Paléozoïque	socle: gneiss, granites, gabbros (croûte continentale)		
Crétacé-Eocène	métasédiments océaniques flyschs, rares ophiolites	Pennique inférieur	Valaisan
Trias-Ologicène	sédiments marins: calcaires, marnes	Hélvétique, Jura, Dauphinois, Provence	Europe
Paléozoïque	socle: gneiss, granites, (croûte continentale)	Massifs externes Pennique inférieur cristallin	
Oligocène	granites intrusifs post-océaniques	Austro et Sud-Alpin	Origine magmatique profonde
	périodites	Lithoshpère inférieure	
	failles principales		principaux chevauchements

Fig. 3.6 : Carte géologique et légende simplifiée des Alpes occidentales. Modifié d'après Marthaler 2008. La situation des Chablais est indiquée en tirets noir.

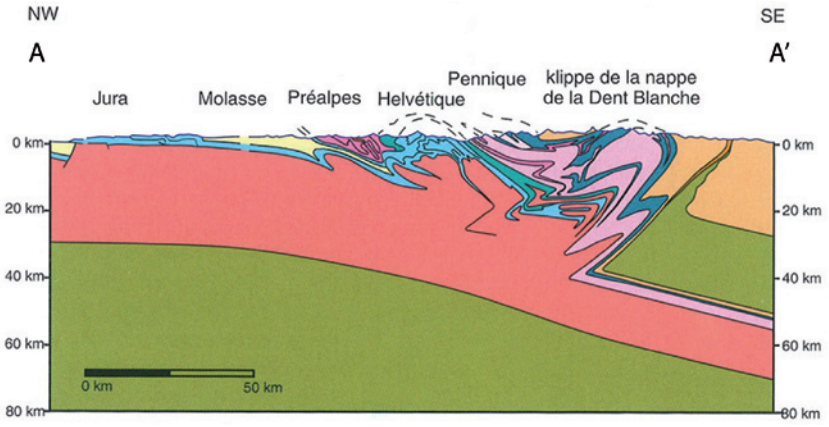


Fig. 3.7 : Coupe géologique simplifiée des Alpes occidentales. Modifié d'après Marthaler (2008). Légende identique à la figure 3.6.

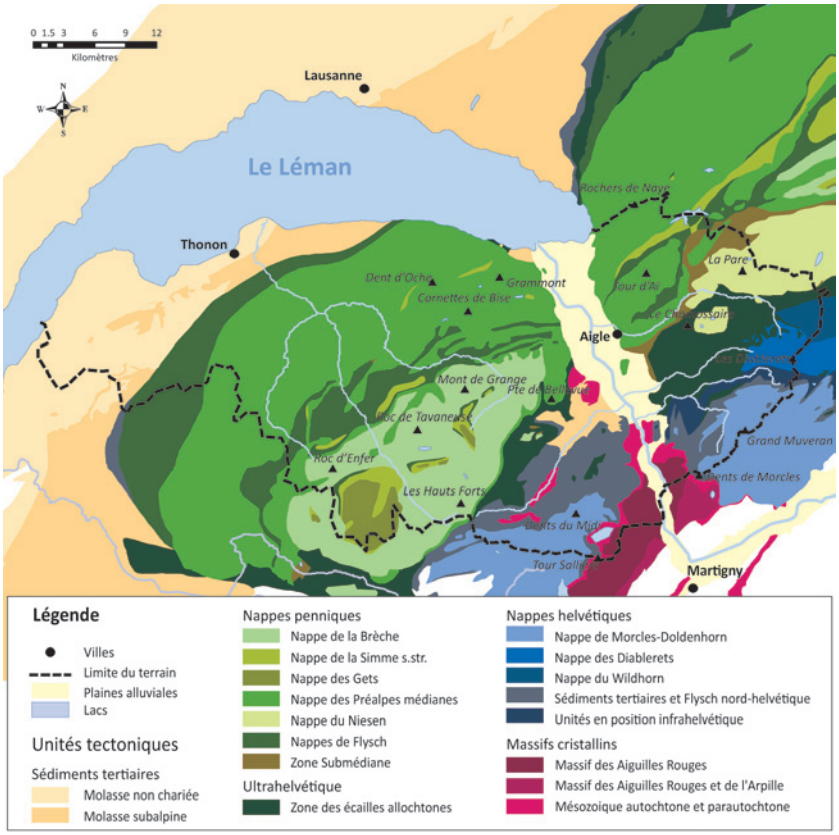


Fig. 3.8 : Carte tectonique simplifiée du terrain d'étude. Données swisstopo : cartes géologique et tectonique de la Suisse au 1:500'000.

La Molasse

Le substratum de la bordure SW du Chablais appartient au bassin molassique. Dans l'ensemble du bassin molassique, on distingue quatre unités paléogéographiques : la Molasse marine inférieure (UMM), la Molasse d'eau douce inférieure (USM), la Molasse marine supérieure (OMM) et la Molasse d'eau douce supérieure (OSM). Ces roches proviennent de l'érosion de la chaîne alpine en cours de surrection et se sont déposées dès le début de l'Oligocène sur plusieurs kilomètres d'épaisseur et dans des environnements tour à tour marins et continentaux. Dans la zone d'étude, seule la Molasse d'eau douce inférieure affleure (30-22.5 ma). Les lithologies sont des *marnes*, des *grès*, des *calcaires* et des *dolomies*. La subduction du continent européen sous la plaque africaine a provoqué un enfoncement d'une partie de la Molasse sous les nappes alpines et préalpines (Fig. 3.8). Actuellement, les différentes unités sont empilées et se chevauchent du SE au NW, une partie de la Molasse, dite parautochtone, ayant subi des déformations, au contraire de la Molasse autochtone, peu déformée.

Les Préalpes

La bordure des Alpes externes est ponctuée de massifs dits préalpins. Il s'agit de klippes, soit, de terrains déplacés, empilés et isolés sur des unités originairement distantes. L'ensemble le plus important des Préalpes est constitué par deux arcs montagneux en tête du Léman, délimités par les vallées de l'Arve, du Rhône et de l'Aar (Fig. 3.7). Les différentes unités préalpines proviennent de la marge continentale européenne et, surtout, des domaines valaisans et téthysiens. Ce sont principalement les couvertures sédimentaires des nappes penniques et austroalpines qui se sont déplacées (Marthaler, 2008). Ces unités reposent à l'W sur la Molasse et l'Ultrahelvétique et à l'E, sur les nappes helvétiques.

On distingue quatre nappes préalpines (Plancherel, 1990) (Fig. 3.8), dans l'ordre actuel de la succession des unités structurales : (1) la *nappe Supérieure* (qui comprend, la *nappe des Gets*, la *nappe de la Simme*, la *nappe des Dranses* et la *nappe du Gurnigel*), (2) la *nappe de la Brèche*, (3) la *nappe des Préalpes médianes* et (4) la *nappe du Niesen* (présente dans les Préalpes romandes uniquement).

- Les **nappes Supérieures** sont en grande partie érodées. Il en subsiste d'étroites bandes au centre du massif. La **nappe des Gets** est composée de *schistes*, *grès* et *calcaires fins* mais aussi *d'olistostromes d'ophiolites* contenus dans les *flyschs*. On la rencontre dans la région de la Pointe de Chéry et du Col de la Joux Plane. La **nappe de la Simme** comporte principalement des *conglomérats* et *schistes argileux* et compose la partie médiane des Dranses de Morzine et d'Abondance. La **nappe des Dranses** est formée principalement de *flyschs à hélminthoïdes*. Elle affleure surtout dans les Préalpes romandes entre la plaine du Rhône et le lac de L'Hongrin. La **nappe du Gurnigel** comporte des *conglomérat*s et des *grès* et affleure sur la bordure externe des Préalpes. En direction du Léman, elle est recouverte par les dépôts quaternaires.
- La **nappe de la Brèche** se situe sous la nappe de la Simme dans la région des Hautes Dranses. Elle est composée en majorité de *brèches* mais aussi de *calcaires* et de *marnes* (dont les « *Couches rouges* »).
- La **nappe des Préalpes médianes** est présente de part et d'autre de la plaine du Rhône, dans la moitié externe des Préalpes. Elle est composée

essentiellement de *calcaires massifs* (Trias et Malm) et de *marnocalcaires* (Dogger), mais aussi de *gypse* et de *cornieule*. Les Préalpes médianes se scindent en termes de faciès et selon des critères macrotectoniques en médianes plastiques, où l'abondance de niveaux marneux a favorisé un style de plis souples avec de rares chevauchements, et en médianes rigides, formées d'un empilement d'écailles (Lugeon & Gagnebin, 1941; Mosar, 1991).

- La **nappe du Niesen** est présente dans les Préalpes romandes en une bande relativement large allant de la pointe de Fornet au Pic Chaussy. Elle est composée des *flyschs du Niesen* : *grès*, *schistes* et *conglomérats*.

Les nappes helvétiques

La bordure SE du Chablais dépasse les terrains préalpins pour s'étendre sur une partie des nappes helvétiques. Ces dernières proviennent d'un domaine paléogéographique différent de celui des Préalpes, la plateforme continentale européenne, en marge de la Téthys (Marthaler, 2008). Ce sont les couvertures sédimentaires des massifs cristallins (massif des Aiguilles Rouges et du Mont Blanc) que l'on trouve en bordure du Chablais. On rencontre deux nappes helvétiques sur le terrain, la **nappe de Morcles** (Epard, 1990) et la **nappe des Diablerets** (Masson et al., 1980; Badoux & Gabus, 1990). Entre ces deux nappes sont intercalés des lambeaux de nombreuses **nappes ultrahelvétiques** (Fig. 3.8).

- Les terrains **ultrahelvétiques** sont composés de *flyschs*, *marnes*, *gypse* et *schistes*. Ils forment principalement la « zone des cols » : une longue diagonale qui traverse les Préalpes du SW au NE (col de Cou, val d'Illiez, Bex, col de la Croix, col du Pillon).
- La **nappe de Morcles** (présente de façon incomplète sur le terrain) est composée de *marnes* et *calcaires* jurassiques et crétacés, dont des bancs massifs du Malm. Elle forme les sommets de la Dent de Morcles.
- La **nappe des Diablerets** est composée de *schistes*, *marnes*, *calcaires* et *grès*. On la rencontre dans la région des Diablerets.

Le Quaternaire

Les dépôts quaternaires recouvrent un tiers des surfaces du Chablais. Leur épaisseur varie entre le kilomètre (plaine du Rhône) et le mètre (cirques glaciaires, versants). Les auteurs s'accordent pour considérer que les terrains observables les plus anciens remontent au Riss, voire au Mindel (Arn, 1984; Pugin et al., 1993; Wildi & Pugin, 1998), les traces des glaciations quaternaires antérieures ayant été érodées par les processus glaciaires lors des avancées ultérieures et par les processus fluviatiles lors des interglaciaires.

Les formations quaternaires rencontrées représentent un vaste panel de morphologies, de structures, de compositions, d'âges, etc. Nous reprenons ici les catégories distinguées dans les cartes géologiques. Les morphologies glaciaires (de dépôt et d'érosion) sont présentées en détail dans la partie « géomorphologie ».

Formations glaciaires :

- **Glaciaire strict**. Les dépôts morainiques appartiennent soit au glacier du Rhône, soit aux glaciers secondaires ou locaux (Grande Eau, Dranses) (Fig. 3.10). Il s'agit de *moraine de fond*, de *cordons morainiques* et de

blocs erratiques. La moraine de fond est visible dans toutes les vallées du Chablais. Elle est parfois entrecoupée de dépôts liés à des épisodes interstadiaires ou interglaciaires (développement de sols, dépôts lacustres). Les cordons morainiques sont présents dans le Bas-Chablais et plus sporadiquement dans la plaine du Rhône, et également dans la plupart des vallées secondaires. Les plus récents peuvent être attribués au Petit Age Glaciaire (PAG) et les plus anciens ne doivent pas remonter au-delà de la dernière période glaciaire ou, selon la terminologie de Penck et Brückner (1909), le Würm. Les blocs erratiques sont disséminés sur l'ensemble du Chablais et ont des lithologies diverses (roches sédimentaires ou cristallines). On les observe à toutes les altitudes jusqu'à un maximum de 1600 m dans la région de Saint-Maurice (Burri, 1961) pour les blocs transportés par le glacier du Rhône.

- **Glaciolacustre**. Les lacs de barrage occasionnés par le stationnement d'une langue glaciaire au débouché d'une vallée ont laissé des *dépôts stratifiés* horizontaux que l'on observe, par exemple, à l'embouchure de la Grande-Eau (Schoeneich, 1998a) ou dans les basses vallées des Dranses entre 650 et 850 m d'altitude (Burri 1963) (Fig. 3.9). Dans la région genevoise, des dépôts proglaciaires déposés dans des lacs en tête d'un glacier du Rhône flottant et en retrait ont été recoupés par sondage (Moscariello, 1996; Moscariello et al., 1998). La rive sud du Léman a également connu la formation de lacs paraglaciaires, notamment dans la région de Planbois (Chazal & Grange, 2002).
- **Fluvioglaciaire**. Les cours d'eau para- et proglaciaires ont produit des *épandages fluvioglaciaires* (Hermance). Les cours d'eau de versant ont laissé des formations de type deltaïque dans les lacs de barrages, étagés en terrasses au fur et à mesure du retrait glaciaire (kame), notamment à Thonon (Dray, 1993) et Yvorne (Schoeneich, 1998a). On rencontre également ces *terrasses de kame* dans les vallées secondaires.
- **Glaciaire actuel** : cantonnés aux altitudes élevées (au-dessus de 2000 m en versant nord et 2500 m en versant sud) (Fig. 3.7), ce sont principalement quelques petits *glaciers* en bordure SE du terrain (massifs des Diablerets, Muveran, Dents de Morcles, Dents du Midi et Tour Sallière) (Lambiel et al., 2008). Il faut également signaler quelques *glaciers rocheux* actifs (Entre la Reille) et fossiles (le Larzey) (Schoeneich, 1992).

Formations fluviatiles, lacustres et torrentielles :

- Entrent dans cette catégorie les *alluvions récentes* de la plaine du Rhône et de certains cours d'eau latéraux lorsqu'ils ne sont pas endigués, mais également les *cônes de déjection* comme ceux que l'on observe dans la plaine du Rhône (Evouettes, Yvorne, Aigle, Ollon, Monthey, etc.). Ces derniers sont des cônes tronqués, étant donné leur formation dans un Léman légèrement plus haut (400 m) qu'actuellement (Burri, 1961). Le « *conglomérat des Dranse* » (Fig. 3.9) est un niveau de sédiments fluviatiles attribué au dernier interglaciaire. Cette puissante accumulation de graviers consolidés a été repérée dans la vallée de la Dranse dans un paléocours entre 450 et 600 m (Gagnebin, 1937).



Fig. 3.9 : Carte schématique des formations quaternaires de la région d'Evian. Modifié d'après Burri (1963).

Formations gravitaires :

- Les *éboulis*, *éboulements*, *écroulements*, *tassements* et *glissements* sont autant de mouvements gravitaires qui modèlent les versants. On les observe dans l'ensemble du Chablais. Les glissements affectent préférentiellement les zones de flyschs (glissement de La Frasse, val d'Illiez) et de schistes, les formations morainiques et les sédiments glaciolacustres (glissement de Vailly). Les éboulements et écroulements modifient durablement le paysage. On observe leurs résultats dans la plaine du Rhône aux collines de Chessel-Noville (Schoeneich, 2004) et aux collines de Chièvres (Burri, 1961) ou dans les vallées des Dranses, comme au lac de Montriond (vallée d'Aulps).

3.2.3. Hydrographie : le Rhône et ses affluents

Trois bassins versants principaux peuvent être distingués. Le **bassin du Rhône** n'est considéré qu'en partie, entre le coude de Martigny et son embouchure dans le Léman. Il reçoit un certain nombre d'affluents tant en rive gauche (Vièze) qu'en rive droite (Avançon, Gryonne, Grande Eau, Eau Froide), auxquels il faut ajouter un certains nombre de bassins torrentiels (Torrent de Saint-Barthélemy, Torrent de Torgon, etc.). Le **bassin des Dranses** inclut les terrains du Haut-Chablais jusqu'au Léman. Il occupe la partie centrale du Chablais. Ce bassin est constitué de trois cours d'eau principaux qui convergent à une dizaine de kilomètres du Léman, d'E en W, la Dranse d'Abondance, la Dranse de Morzine et le Brevon (Dranse de Bellevaux). S'ajoute aux trois Dranse l'Ugine ou Dranse de Bernex qui s'écoule parallèlement au Léman et se jette dans la Dranse d'Abondance trois kilomètres avant sa confluence avec la Dranse de Morzine. Les Dranses possèdent toutes trois de nombreux affluents dont un certain nombre de systèmes torrentiels. Le dernier bassin versant concerne la partie W du terrain et appartient au **Foron** ainsi qu'à quelques petits cours d'eau qui se jettent directement dans le Léman.

Les **réseaux actuels** semblent avoir peu migré au cours des dernières périodes glaciaires sauf peut-être le Rhône qui se serait d'abord écoulé essentiellement vers le N, en direction du Rhin, par la vallée de la Broye, puis par la dépression de la Venoge (Gagnebin, 1937), avant d'emprunter un écoulement vers l'W, par la cuvette lémanique, lorsque cette dernière, surcreusée par les glaciations successives, eut atteint une profondeur suffisante. Quant à la Dranse, on trouve les traces d'un paléocours légèrement plus encaissé mais semblable dans sa configuration d'ensemble (Gagnebin, 1937; Burri, 1963).

Traits constitutifs de la région, de nombreux **lacs** parsèment le Chablais (Guyomard, 2007). Certains sont naturels, d'autres résultent d'aménagement hydroélectriques (l'Hongrin, la Salanfe, le Jotty). Les lacs naturels se situent dans des ombilics glaciaires (Léman, Arvouin, Lioson, etc.), sont barrés par des cordons morainiques (Pertuis, Bretaye) ou encore résultent d'écroulements, éboulements et glissements (Montriond, Vallon). Différents niveaux du Léman ont pu être reconstitués grâce aux terrasses lacustres repérées de façon continue le long de ses berges. Le Léman aurait ainsi varié de – 3 m à + 30 m par rapport au niveau actuel durant l'Holocène (Lahouze, 1981; Schoeneich, 1999).

3.2.4. Cadre climatique

Le climat du Chablais est de type intermédiaire entre océanique et continental avec des contrastes marqués en fonction de l'altitude, de l'exposition aux vents d'ouest ainsi que de l'influence du Léman (SIAC, 2012b). Il est généralement froid et neigeux en hiver et doux et orageux en été, avec des intersaisons plus sèches. Les températures sont très variables en raison des importantes dénivellations qui séparent les sommets montagneux du bassin lémanique. On relève des amplitudes thermiques marquées dans le Haut-Chablais alors que les rives du lac sont plus tempérées. Les moyennes mensuelles atteignent leur minimum en janvier-février et leur maximum en juillet-août. Les températures sont généralement plus froides en altitude avec des moyennes annuelles de 6° aux Gets (1172 m) contre 8.7° à Aigle (381 m) (Fig. 3.10).

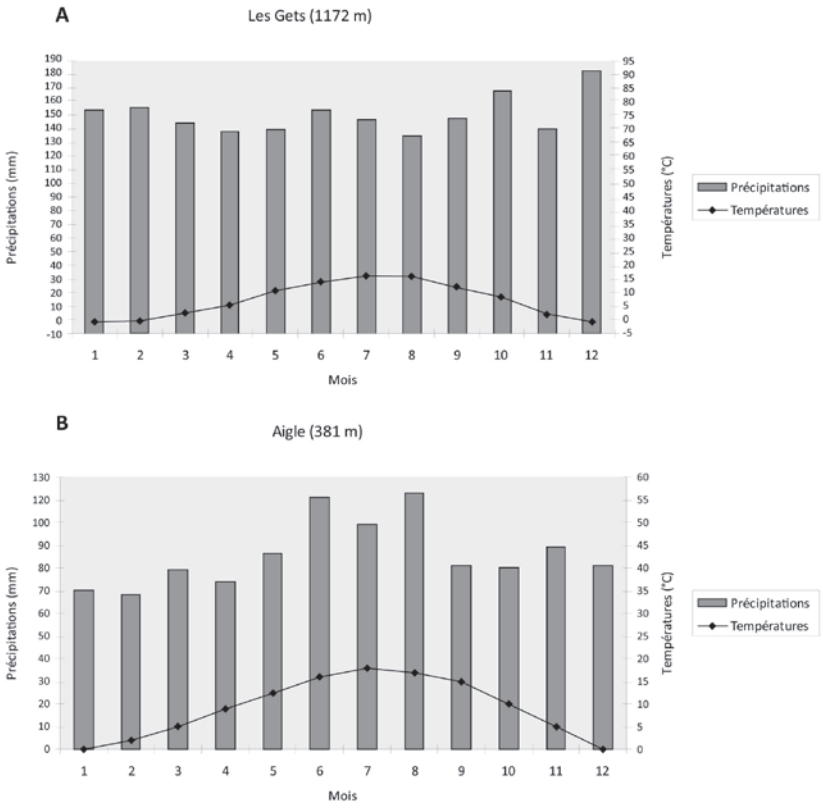


Fig. 3.10 : Diagrammes ombrothermiques : A. Aux Gets (74) pour la période 1988-2008 (données Météo France). B. A Aigle (VD) pour la période 1961-1990 (données Météo Suisse).

Les précipitations varient entre 900 et 2100 mm, du delta de la Dranse au massif des Dents du Midi. Elles sont plus abondantes dans les zones les plus élevées et également réparties sur l'ensemble des massifs, alors que les rives du Léman et la plaine du Rhône sont moins arrosées (Fig. 3.11).

L'enneigement est important en raison des fortes précipitations et des basses températures hivernales. Il persiste entre octobre-novembre et avril-mai à 2000 m. Au-dessus de 2500-3000 m, on rencontre encore des glaciers (Bravard et al., 1991).

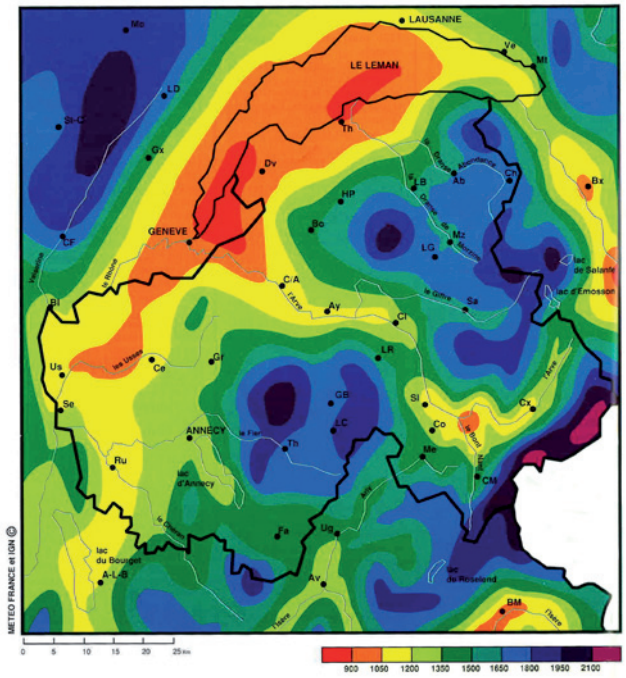


Fig. 3.11 : Carte des moyennes annuelles des précipitations (en mm) en Haute Savoie (Bravard et al., 1991).

3.2.5. Géomorphologie : processus glaciaires et associés

Le relief du Chablais est fortement influencé par sa géologie (roches sédimentaires, structure en plis complexes), son réseau hydrographique (Rhône et Dranses) et son histoire glaciaire (érosion et dépôts). Le but de ce chapitre n'est pas de passer en revue l'ensemble des processus géomorphologiques impliqués dans la morphogenèse du Chablais mais de mentionner les principaux agents ayant modelé le relief durant le Quaternaire et de recenser les formes glaciaires - et associées - observées dans la zone d'étude.

La **structure géologique** du Chablais est celle d'un relief plissé assez complexe, affecté de failles (Lugeon & Gagnebin, 1941). En bordure NW, on observe des empilements de nappes. Ces structures sont profondément entaillées par le réseau **hydrographique,** accentué par différentes phases d'érosion glaciaire, principalement celui du Rhône et des trois Dranses, mais également d'innombrables cours d'eau de versants. Ces cours d'eau transportent de grandes quantités de matériaux en direction du Léman. Les processus **glaciaires** ont été actifs dans la région durant tout le Quaternaire en alternance avec des phases interstadiaires et interglaciaires durant lesquelles l'action fluviatile redevenait prépondérante. Ils ont contribué à l'approfondissement des vallées tout en abandonnant d'épaisses masses de sédiments. Il subsiste de nombreux témoins des mouvements glaciaires qui ont affecté le Chablais. Actuellement, ce sont surtout les processus **fluviatiles** et **gravitaires** qui modifient le modelé du relief.

Morphologie glaciaire

Les formes d'érosion en relation directe avec le glacier (formes glaciaires) sont (Tab.3.1) :

type de témoins géomorphologiques	**érosion**	**accumulation**
glaciaire	cirque verrou - ombilic vallée en auge gradin de confluence roches moutonnées stries cannelures	till de fond, d'ablation, subaquatique cordon morainique frontal, latéral, latéro-frontal amphithéâtre morainique bloc erratique drumlin
fluvioglaciaire	marmite chenal gorge de raccordement gorge sous-glaciaire	épandage sandur kame
glaciolacustre		dépôts fins laminés lac de barrage morainique lac de verrou - ombilic
gravitaire	niche d'arrachement	glissement de terrain éboulement écroulement éboulement supraglaciaire
périglaciaire		glacier rocheux protalus rampart moraine de poussée kettle
fluviatile		conglomérat des Danses
organogène		marais - tourbière

Tab. 3.1 : Formations d'origine glaciaire et associées présentes sur le terrain d'étude, classées en formes d'érosion et formes d'accumulation. Les couleurs correspondent à la légende géomorphologique de l'UNIL (Schoeneich, 1993).

- Les **cirques glaciaires** (Fig. 3.12) se situent à l'amont d'une vallée ou sur ses versants. En période de péjoration climatique, l'accumulation neigeuse (névé) s'y transforme en glace et peut donner naissance à un appareil glaciaire. La morphologie des cirques résulte du surcreusement exercé par le glacier (Château d'Oche, Creux de Champs). Cette forme est souvent accentuée par l'érosion différentielle entre le fond du cirque et un verrou plus résistant à l'aval (Salanfe, Arvouin).
- Le glacier peut être freiné dans son écoulement par un obstacle, par exemple une barre rocheuse résistante. Il se forme alors un **verrou** (Fig. 3.12) qui reste en saillie dans le paysage. La dynamique glaciaire implique un surcreusement à l'aval du verrou : l'**ombilic** (Fig. 3.12). Les ombilics peuvent abriter un lac (Tavaneuse, Lioson) qui se comblera d'alluvions (les Plagnes, la Barme). Les verrous sont souvent entaillés par les cours d'eau sous-glaciaires (gorges du Pont du Diable) et/ou postérieurement par les cours d'eau postglaciaires (Saint-Maurice).

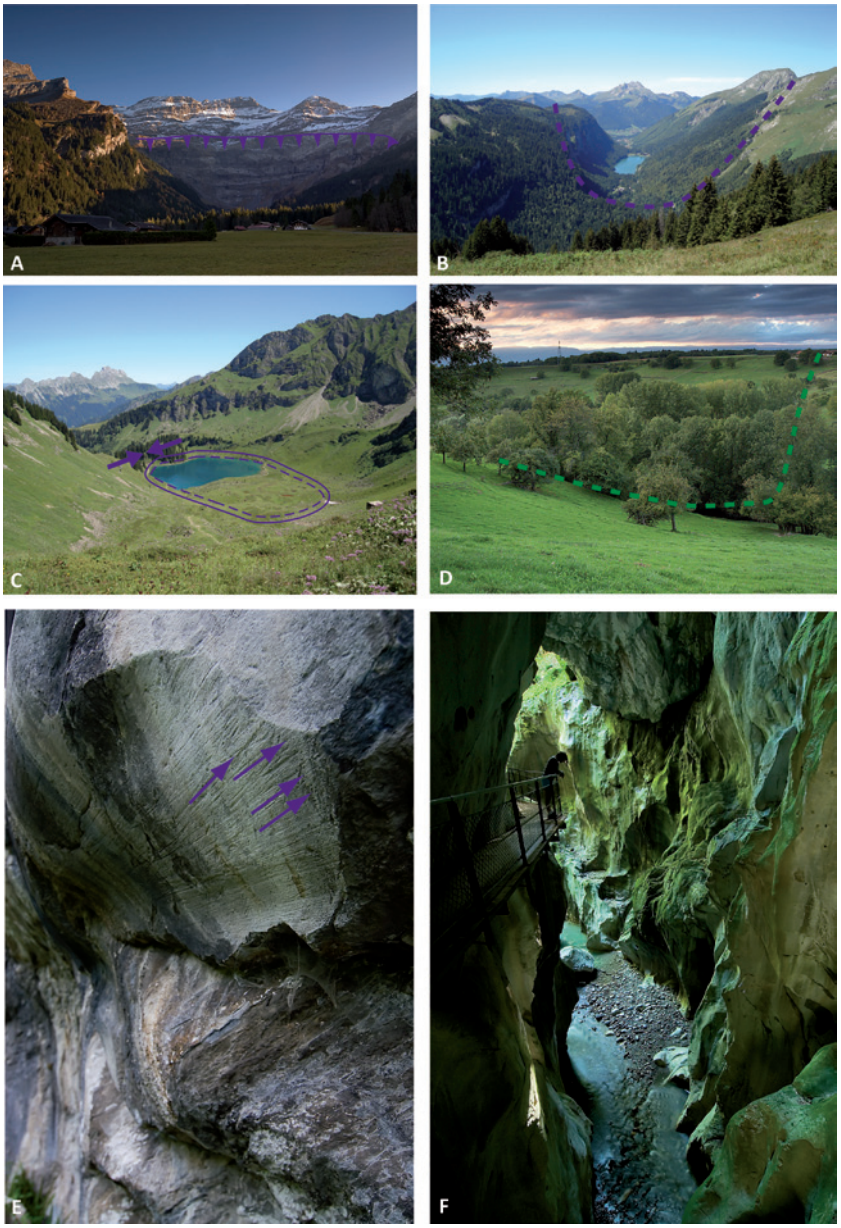


Fig. 3.12 : Formes d'érosion glaciaire et fluvioglaciaire chablaisiennes : A. Cirque glaciaire de Creux de Champs (VD) ; B. Vallée en auge de Montriond (HS) ; C. Ombilic et verrou glaciaire dans le cirque de Lioson (VD) ; D. Chenal fluvioglaciaire de Bons en Chablais (HS) ; E. Stries glaciaires à Massongex (VS) ; F. Gorges sous-glaciaires du Pont du Diable (HS). Les morphologies sont soulignées à l'aide de la légende géomorphologique de l'UNIL, sauf sur l'image F. Photos : A, D, E, F, A. Berger. B et C, A. Perret.

- Ainsi, le profil caractéristique d'une **vallée glaciaire** comprend des contrepentes, ce qui serait impossible pour une vallée d'origine exclusivement fluviatile. Une autre caractéristique des vallées glaciaires est l'existence de vallées latérales perchées. Les vallées latérales ne sont souvent pas raccordées à la vallée principale à une même altitude comme dans le cas de vallées fluviatiles. Cette différence est due aux puissances d'érosion plus faibles des petits glaciers latéraux, par rapport aux grands glaciers de vallée. Un **gradin de confluence** est donc observable, d'une importance inversement proportionnelle à la taille du glacier affluent. Une gorge de raccordement est parfois entaillée dans le gradin de confluence (gorges du Trient, voir plus bas) ; si ce n'est pas le cas, il peut se former une cascade (Pissevache). La vallée glaciaire présente en outre une morphologie dite en « u » ou en « **auge** » (Fig. 3.12), imprimée par l'érosion glaciaire latérale. En comparaison, la vallée fluviatile présente généralement un profil latéral en « v », dû à l'incision verticale du cours d'eau. Sur le terrain, on rencontre divers entre-deux entre profil en « auge » et profil en « v ». Le plus souvent les grandes vallées glaciaires sont comblées de sédiments et il est impossible de reconnaitre leur profil vertical ou horizontal à moins d'avoir recours à des mesures géophysiques (par exemple, la plaine du Rhône et sa confluence avec la vallée de la Grande Eau) (Schoeneich, 1998a).
- Par l'intermédiaire des matériaux intégrés à la glace (sables, graviers, blocs), le glacier provoque un polissage sur le lit rocheux dont résultent des **roches moutonnées** (Massongex). Les mouvements du glacier se repèrent également grâce aux **stries** (Fig. 3.12) imprimées par les mêmes matériaux sur le substrat rocheux. Elles indiquent en outre la direction des flux de glace. Les galets contenus dans la masse glaciaire peuvent aussi présenter des stries. Ils sont reconnaissables à leur forme en fer à repasser qu'ils acquièrent lors de leur transport sous la glace, à l'interface avec le *bedrock*. D'autres formes d'érosion sont caractéristiques de l'action glaciaire, comme les **cannelures** qui sont de larges rigoles d'érosion formées par l'eau sous-glaciaire sous pression.

Formes d'érosion en relation indirecte avec le glacier (fluvio-glaciaires) :

- Les **marmites glaciaires** sont une forme de surcreusement circulaire, parfois profondes de plusieurs dizaines de mètres. Elles sont occasionnées par les écoulements sous-glaciaires, souvent sous pression, chargés de gravats et rendus ainsi abrasifs (Les Caillettes).
- Les torrents juxta- ou proglaciaires peuvent éroder des **chenaux** (Fig. 3.12) dans la moraine de fond ou dans le substratum, chenaux qui sont rapidement comblés par des sédiments fluvioglaciaires. Ils peuvent être encore visibles dans le paysage (Draillant) ou sont reconnus par sondage et prospection géophysique.
- Les vallées secondaires suspendues sont parfois entaillées par le cours d'eau proglaciaire. Une **gorge de raccordement** (gorges du Trient) se forme par érosion régressive, le cours d'eau tendant à retrouver son profil d'équilibre. Lorsque l'eau n'a pas suffisamment entaillé le gradin de confluence, elle rejoint la vallée principale en formant une **cascade** (Pissevache).
- Les glaciers tempérés sont accompagnés d'écoulements sous-glaciaires, issus de la fusion d'une partie de leur masse de glace, sous l'effet de la pression exercée par leur propre poids ou infiltrées depuis la surface au moyen de moulins glaciaires. Ces eaux peuvent être chargées en sédiments

charriés par la glace, ce qui les rend très abrasives et capables de creuser des **gorges sous-glaciaires** (gorges du Pont du Diable) (Fig. 3.12).



Fig. 3.13 : Formes d'accumulation glaciaire, fluvioglaciaire et périglaciaire chablaisiennes : A. Bloc erratique, alpage du Sciard (HS) ; B. Cordons morainiques, cirque de Soi (VS) ; C. Glacier suspendu, glacier régénéré, amphithéâtre morainique et sandur, Glacier Noir, Salanfe (VS) ; D. Amphithéâtre morainique, Chalets de Pertuis (HS) ; E. Cordon morainique et terrasse de kame, Vacheresse (HS) ; F. Sandur, Cirque d'Antème (VS) ; G. Glacier rocheux fossile, lac Darbon (HS) ; Protalus rampart, Bises (HS). Photos : A, D et E, A. Berger ; B,C,F,G,H, A. Perret.

Formes d'accumulation en relation directe avec le glacier (glaciaires) :

- Le **till de fond** (Fig. 3.14) est omniprésent, répandu en accumulation informe, couvrant le substrat rocheux ou des dépôts préexistants et tapissant les versants. Il se met en place à la base du glacier lors de sa progression. Il est composé de matériaux de nature et de taille variables, emballés dans une matrice fine. Les galets sont généralement striés et présentent un profil en fer à repasser avec des angles émoussés. Ces matériaux proviennent des parois rocheuses – ils tombent sur l'appareil glaciaire et sont intégrés à la masse de glace au fur et à mesure du fluage – et de l'arrachement sur le substratum rocheux. Cette formation est souvent appelée « argile à blocaux » et présente une couleur gris bleu dans la région d'Evian. Le passage du glacier et la pression de la glace ont imposé au till de fond une surconsolidation. Le till de fond, accumulé parfois sur quelques dizaines voire quelques centaines de mètres, peut, dans certains cas subir une érosion particulière, par de petits systèmes de ravins. L'eau emporte les matériaux les plus fins alors que les gros blocs protègent le sédiment immédiatement sous-jacent. Il se forme alors des **cheminées de fées** (Pont de la Douceur).
- Le **till d'ablation** est déposé lors du retrait glaciaire. Sa fraction fine est plus restreinte que dans le till de fond car il est entrainé par les eaux de fonte. Les galets y sont plus anguleux que dans le till de fond car ils ont été transportés sur ou dans la glace.
- Les **moraines frontales** et **latérales** (Fig. 3.13) résultent de l'accumulation des matériaux à l'avant et sur les rebords du glacier. Lorsque le glacier stationne suffisamment longtemps à un même endroit (situation de bilan de masse nul, soit, d'équilibre entre l'accumulation neigeuse et l'ablation glaciaire), il se forme des **cordons** dont la taille peut atteindre plusieurs centaines de mètres. Le matériel de ces moraines est constitué de sables, graviers, galets et blocs.
- Les **blocs erratiques** (Fig. 13 A) sont transportés à la surface ou dans la masse du glacier. Ils sont déposés lors de la fusion. Ils sont reconnaissables par leur lithologie – différente de celle du substratum – et leur position – sur les versants, hors de portée des écoulements fluviatiles – qui supposent un transport glaciaire. Tant les cordons morainiques que les blocs erratiques sont très répandus dans le Chablais (plateau Gavot, Bas-Chablais, moraine de Monthey, la majorité des vallées latérales).
- Les **moraines subaquatiques** (cordon de Laconnex) se déposent au front du glacier dans un lac proglaciaire et comprennent donc une forte proportion de limons (Moscariello et al., 1998).
- Les **drumlins** sont des collines allongées dans la direction du glacier dont l'altitude et la largeur décroissent d'amont en aval. Elles sont composées de matériaux morainiques et peuvent avoir un cœur rocheux. Ces formations sont parfois organisées en groupes ou «champs de drumlins» (environs de Messery).

Formes d'accumulation en relation indirecte avec le glacier (fluvioglaciaires, glaciolacustres, gravitaires):

Ces accumulations prennent place à proximité d'un appareil glaciaire. Leur composante glaciaire est indiquée par des éléments de taille démesurée, souvent striés, dans les sédiments. Dans cette catégorie, il est encore possible de distinguer

des formes synsédimentaires, contemporaines de la présence des glaciers et des formes résultant de leur remaniement ou de l'évolution des versants. Ces dernières sont en relation étroite avec la crise paraglaciaire consécutive à la déglaciation (Scapozza, 2013) et qui affecte encore actuellement les versants alpins et préalpins.

- Les **épandages fluvioglaciaires** ont lieu soit au front du glacier, soit sur sa bordure et forment des surfaces d'accumulation appelées **sandurs** (Fig. 3.13) (Salanfe, Antème). Ce sont des matériaux apportés par les glaciers et repris en charge par les eaux de fonte. Ils présentent les mêmes caractéristiques que les dépôts fluviatiles, grossièrement granoclassés et stratifiés et sont composés de sables, galets et graviers. On les rencontre également en remplissage des chenaux glaciaires.
- Les dépôts de **kame** (Fig. 3.14) sont un cas particulier de sédimentation dans un lac de barrage juxtaglaciaire (sur les côtés du glacier). Ils mêlent les apports du glacier et parfois des moraines latérales aux apports fluvioglaciaires, fluviatiles et torrentiels sous forme de delta. Après le retrait du glacier, ces dépôts subissent des déformations dues au réajustement morphologique du versant (failles normales). Au fur et à mesure du retrait, ils s'organisent en terrasses. La surface des terrasses de kame est parfois criblée de dépressions, les kettles (voir plus bas). Ces creux résultent de la fonte de noyaux de glace morte délaissés par le glacier.
- Les torrents glaciaires peuvent alimenter des lacs de la marge proglaciaire dans lesquels se déposent des sédiments en systèmes de delta : matériel grossier en stratification oblique sur le front du delta *(foreset beds)* et matériaux fins et laminés sur le fond *(bottomset beds)*. Une fois le plan d'eau comblé, la **sédimentation glaciolacustre** (Fig. 3.14) devient fluvioglaciaire puis fluviatile. La formation d'un lac au débouché d'une vallée secondaire peut-être occasionnée par une langue glaciaire principale (situation de barrage). Dans ce cas, l'alimentation peut-être fluvioglaciaire (l'origine est l'émissaire d'un glacier encore présent dans la vallée) ou fluviatile, voire torrentielle, si l'alimentation provient du cours d'eau d'une vallée déglacée.
- Les **lacs** de montagne ont souvent une origine glaciaire. Ils peuvent être **barrés par un cordon** morainique ou s'installer dans la dépression d'un ombilic glaciaire, **retenus par un verrou** rocheux (Fig. 3.12).
- Les terrains argileux, typiquement s'ils résultent de l'accumulation de dépôts fins laminées dans les lacs proglaciaires et s'ils sont mis en porte-à-faux par l'érosion, sont sujets à glisser. Dans les vallées des Dranses, ils provoquent de vastes et destructeurs **glissements de terrain** (Vailly, Ecotex).
- Les versants des vallées subissent une décompression suite au retrait des glaciers dont la masse de glace exerçait une pression latérale. Des **éboulements**, voire des **écroulements** se produisent alors (Chessel-Noville).
- La surface des matériaux glaciaires peut-être irrégulière et présenter des **dépressions thermokarstiques**, causées par la fonte tardive de blocs de glace à l'intérieur des sédiments glaciaires (le Lyaud). Les **kettles** sont des dépressions thermokarstiques situées à la surface de terrasses de kame, des cordons morainiques ou des sandurs (de tout dépôt glaciaire ou associé).



Fig. 3.14 : Accumulations glaciaires et fluvioglaciaires chablaisiennes : A. Galet calcaire strié dans une matrice de till de fond, Pont de la Douceur (HS) ; B. Till de fond ou argile à blocaux, Pont de la Douceur (HS) ; C. Till, Vacheresse, (HS) ; D. Argiles glaciolacustres, Ecotex (HS) ; E. Terrasses fluvioglaciaires, Thonon (HS) ; F. Conglomérat des Dranses, Pont de l'Eglise (HS). Photos : A. Perret.

Formes périglaciaires

Les formes périglaciaires se développement dans des conditions climatiques froides. Elles sont déterminées par la présence de sol gelé (pérenne ou temporaire), de phases de gel-dégel et de neige (Reynard, 1997). Dans le Chablais, elles sont le plus souvent fossiles, sauf dans les zones d'altitude (massif des Diablerets, massif des Dent de Morcles). Ces formes ne sont pas directement liées à la présence de

glaciers. A la suite de Ph. Schoeneich (1998a), nous les prenons en compte en tant qu'indicateurs de climat froids passés.

- Sur les terrains délaissés par les glaciers mais parfois à proximité et simultanément, les processus périglaciaires modèlent les dépôts grossiers, soit du till, soit des éboulis. Se forment alors des **glaciers rocheux** (Fig. 3.13) qui fluent sous l'effet de la glace de permafrost qu'ils contiennent. Les glaciers rocheux embryonnaires sont appelés **protalus ramparts** (Fig. 3.13). Ils se forment la plupart du temps au pied des éboulis et peuvent rester à l'état d'embryon. Le Chablais compte des glaciers rocheux actifs (Entre la Reille, Martinets) et des glaciers rocheux fossiles (Darbon, le Larzey). Les protalus ramparts chablaisiens sont pour la plupart fossiles (Bises, Lovenex).
- Les **moraines de poussée** (Paneirosse) sont provoquées par l'action d'une crue glaciaire sur des sédiments meubles gelés, souvent du till d'ablation laissé par le même glacier lors d'un retrait préalable. Leur morphologie est reconnaissable à leurs crêtes émoussées, divisées en plusieurs bourrelets. Elles peuvent être latérales, frontales ou latérofrontales.

Formations non glaciaires en relation avec la chronologie des phases glaciaires (organogène, fluviatile, lacustre)

- Les **dépôts organiques** (Roseire d'Aval, Maravant) ont la particularité d'offrir des indices sur les conditions environnementales qui prévalent lors de leur mise en place. L'étude des pollens offre des repères chronologiques relatifs (biozones). Les matières organiques peuvent parfois être « datées » par la méthode du Carbone 14 et offrent alors des repères numériques qui approchent la datation absolue. Ces dépôts peuvent être des paléosols, des tourbières, des lignites, des sédiments lacustres, etc. Ils marquent l'existence d'interstades voire d'interglaciaires. Des troncs d'arbres peuvent également être piégés dans les sédiments (Duzillet). Grâce à la dendrochronologie, ils offrent des repères chronologiques absolus.
- Les **dépôts fluviatiles** (Fig. 3.14) renseignent sur les périodes interglaciaires (Conglomérat des Dranses).
- Les **terrasses lacustres** présentent des caractéristiques différentes des terrasses glaciolacustres et indiquent que le lac n'était plus sous influence glaciaire (terrasses lémaniques).

3.2.6. Les glaciers

Le Chablais se trouve dans une position particulière face aux flux glaciaires qui se sont succédés durant le Quaternaire. Etroitement lié au bassin lémanique, dont il constitue la bordure sud et sud-est, il hérite d'une partie de sa caractéristique de « zone carrefour » entre lobe « français » et lobe « suisse » du glacier du Rhône. Le Chablais est également une « zone de passage », située en partie dans l'aire d'accumulation lors du dernier maximum glaciaire (Haeberli & Penz, 1985). Il porte les traces de plusieurs fluctuations et on peut y retracer partiellement les étapes du dernier retrait du glacier du Rhône (terrasses de kame, cordons morainiques). Cependant, les dépôts enregistrés sont très complexes et permettent rarement de préciser des positions de fronts. A l'intérieur des massifs, la situation des témoins glaciaire est différente. Les altitudes modestes du Chablais ont provoqué une fonte rapide des glaciers latéraux dès l'amorce du Tardiglaciaire. Cette déglaciation

précoce, renforcée par une érosion postglaciaire relativement faible a laissé de nombreuses traces des fluctuations de la transition Pléniglaciaire/Tardiglaciaire ainsi que du début du Tardiglaciaire (Schoeneich, 2008a). Actuellement, les rares appareils encore présents dans la zone d'étude sont cantonnés au fond des vallées, retranchés dans leur cirque au-dessus de 2500 m.

La prise en compte de la dynamique glaciaire est certainement un élément clé de la compréhension de ces appareils disparus. Selon Florineth et Schlüchter (1998), les glaciers qui se sont développés lors des dernières périodes d'englacement important étaient de type « calotte » et supposent d'importantes diffluences. Selon Coutterand (2010), il faut tenir compte du fait que ces glaciers devaient fonctionner en régime thermique froid, ce qui change totalement la dynamique possible d'érosion et de dépôt (peu de mouvements, entrecoupés de *surges*) par rapport aux glaciers tempérés.

En conclusion

Les témoins glaciaires chablaisiens sont omniprésents mais souvent difficiles à appréhender. L'abondance de forêts rend délicate l'observation des formes de surface, tout comme les interventions anthropiques qui les modifient. Il est cependant possible de contourner le problème du couvert forestier, par exemple par l'utilisation de modèles numériques de terrain (MNT). La relative ancienneté des formes rend également leur identification malaisée. Pour s'assurer d'une morphologie, il est nécessaire, la plupart du temps (moraine, terrasse), d'avoir accès à une coupe qui permette l'observation des matériaux. Enfin, l'exploitation systématique des blocs erratiques pour la construction est responsable de leur disparition presque totale. Cette perte fausse en partie notre jugement sur l'importance des flux de glace en provenance de l'extérieur du Chablais (Valais, massif du Mont Blanc). Malgré ces difficultés, les vestiges chablaisiens restent d'un intérêt certain, au-delà de l'aspect géohistorique (l'avènement de la théorie glaciaire). Le Chablais jouit d'une grande variété de formes d'érosion et d'accumulation. Ces formes appartenant à des âges différents (pour les cordons morainiques du stade de Genève à l'actuel), il est possible d'observer l'évolution des morphologies glaciaires à travers le temps, en combinaison avec d'autres processus (gravitaires, fluviatiles). De plus, cette région comporte des formations phares, soit par leur ampleur (les terrasses de Thonon), soit par leur exemplarité (certains cirques glaciaires), soit encore par le rôle qu'elles jouent dans l'activité de processus actifs (les argiles lacustres des vallées des Dranses associés aux lacs, selon Burri (1963)). Une constante ressort de l'étude de ces formations : elles gardent encore une partie de leurs mystères, notamment leur chronologie absolue, difficile à établir et à concilier avec un schéma glaciaire global (Alpes).

3.3. Connaissance et utilisation des témoins glaciaires dans le Chablais

La recherche en géologie est active depuis plus de deux siècles en Chablais (Fig. 3.15). Aujourd'hui encore, les scientifiques de spécialités différentes mènent des investigations sur ce terrain afin d'améliorer la connaissance en géologie, géophysique, hydrogéologie et géomorphologie. Un bref historique de cette recherche jusqu'aux années 2000 permet de mieux comprendre comment la connaissance des témoins glaciaires de cette région a évolué, quelles sont les

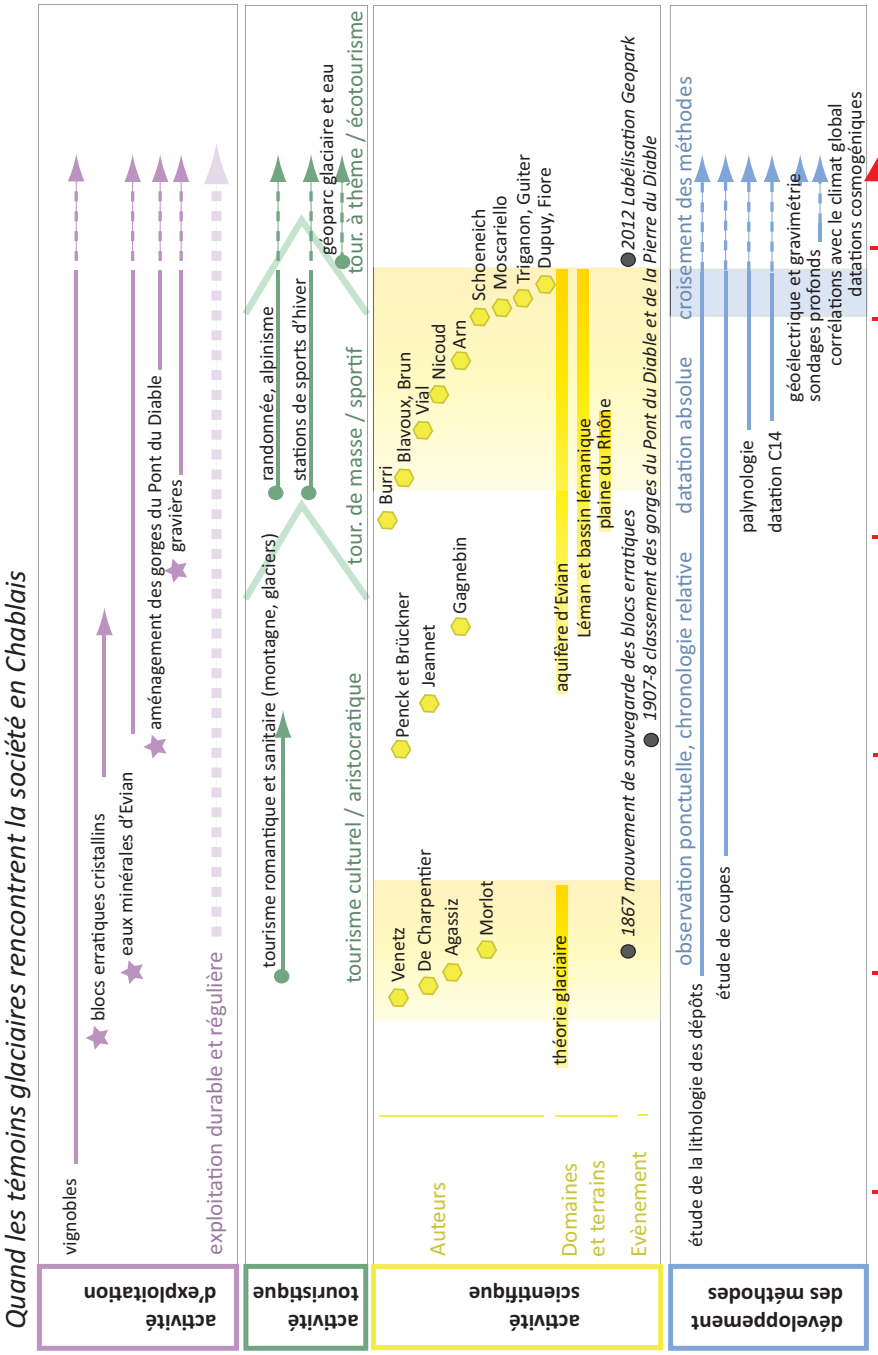


Fig. 3.15 : Frise chronologique des interactions entre témoins glaciaires et société dans le Chablais.

zones d'ombre qui subsistent et quelles sont les questions qui devraient être fouillées en particulier pour améliorer cette connaissance. Une revue partielle des liens entre témoins glaciaires et société (hors domaine scientifique) étoffe cette revue et montre qu'il existe des interactions multiples entre vie quotidienne et géologie quaternaire.

3.3.1. Les travaux pionniers : la théorie glaciaire

Des mystérieux blocs erratiques aux mouvements des glaciers

A la fin du 18e siècle, l'histoire de la Terre est encore envisagée selon le schéma biblique : création « éclair », refroidissement constant consécutif, évènements catastrophiques. La présence d'énormes blocs que l'on observe à plusieurs endroits de la planète et qui n'appartiennent visiblement pas à la lithologie locale est attribuée au déluge, à des explosions de gaz, à des radeaux de glace ou encore à de gigantesques plans de glissement (Reynard, 2004). Les scientifiques du début du 19e siècle sont pourtant de bons observateurs et certains aspects des ces blocs « erratiques » ajoutés à une compréhension grandissante des lois de la physique vont finir par discréditer la théorie du « *diluvium* ». En 1795, James Hutton est le premier à proposer une extension de la glace plus importante que l'actuelle, transportant de gros blocs loin de leur massif originel. A ce moment là, l'observation des glaciers ne fait que débuter et il faudra attendre les travaux d'Ignaz **Venetz** (Venetz, 1861, 1833), Jean **de Charpentier** (1841), puis Louis **Agassiz** (Agassiz, 1840)[6] dans les Alpes valaisannes et le Chablais pour que la théorie glaciaire commence à émerger (Schaer, 2000; Coutterand & Jouty, 2009). Il est vrai que la période est propice à l'observation des glaciers puisque ces derniers entrent dans une phase de crue vers 1820, l'un des derniers pics d'avancée du Petit Age Glaciaire (~1350-1850).

En 1818, suite à la catastrophe du Giétro (Coutterand & Jouty, 2009), Venetz, mis sur la voie par Jean-Pierre Perraudin, propose une ancienne extension des glaciers alpins atteignant la vallée du Rhône. Sur la base d'observations de terrain, il étendra cette expansion jusqu'au Jura. Par la suite, des découvertes convergentes dans différentes parties du globe (Ecosse, Irlande, Angleterre, Etats-Unis) viendront étayer la théorie glaciaire naissante. Des mesures sont alors entreprises sur les glaciers afin de mieux comprendre leurs mouvements (Hugi, 1830; Agassiz, 1840). Le milieu du 19e siècle voit ainsi apparaître une nouvelle discipline : la glaciologie.

D'un concept monoglacialiste à la pluralité des glaciations

En 1844, Rodophe Blanchet (Blanchet, 1844) cartographie deux extensions dans le bassin lémanique. Quelques années plus tard, en 1858, André **Morlot** (Morlot, 1858) publie une note dans laquelle il met en évidence la pluralité des glaciations sur la base d'un affleurement dans la vallée de la Dranse. Une coupe naturelle offre à l'observation deux dépôts morainiques entrecoupés d'une épaisse formation fluviatile (appelée « *diluvium* »). Se basant sur d'autres éléments en Suisse et dans la vallée du Pô, Morlot propose un schéma général de la glaciation lémanique : une première avancée de grande ampleur, suivie d'un retrait prononcé des glaces

6 C'est bien Venetz qui convainc de Charpentier qui, à son tour, convainc Agassiz, même si l'ordre des publications est inversé. Venetz exposera le premier ses idées lors d'un discours à la réunion annuelle de la SHSN en 1927 au Col du Grand St Bernard. A cette date, son mémoire publié en 1833 est déjà rédigé.

dans le fond des vallées alpines, puis d'une nouvelle avancée glaciaire moins importante que la précédente et finalement une ultime débâcle glaciaire jusqu'à la position actuelle. Cette proposition est confortée par la découverte de lignites par Favre en 1867 (Favre, 1867). Par la suite, l'affleurement de la Dranse interpellera de nombreux chercheurs comme Douxami (1904), Penck et Brückner (1909) et Kilian (1924).

3.3.2. Les recherches sur le Quaternaire du Chablais

Les travaux des géologues et hydrogéologues

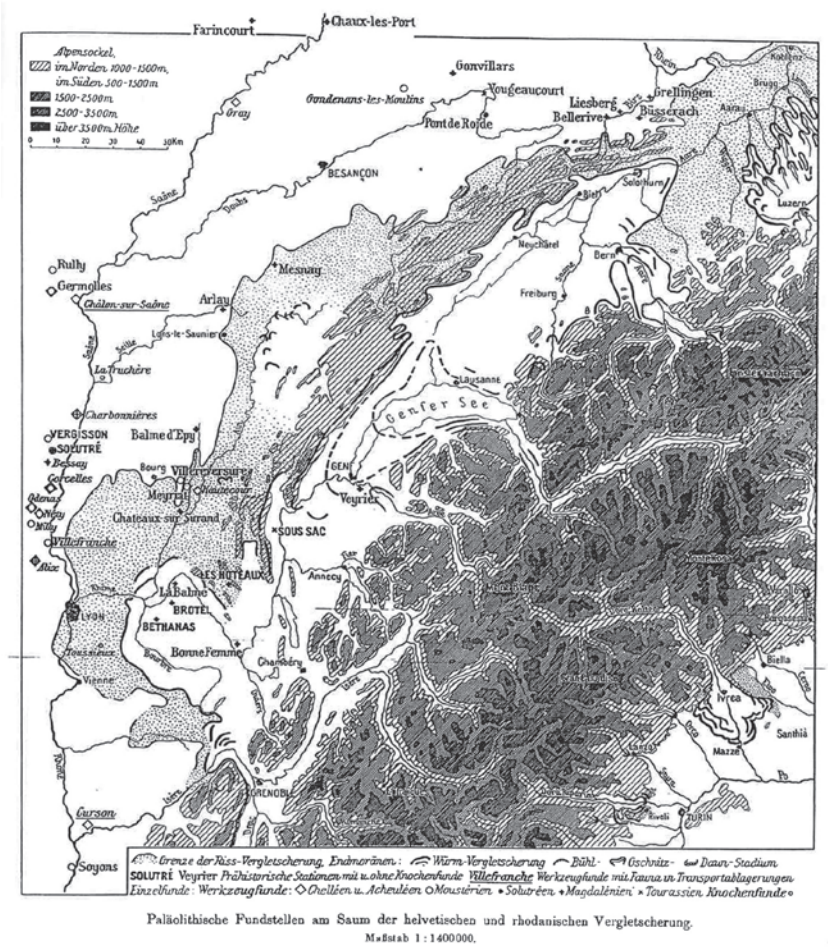
Depuis le début du 20e siècle, les quaternaristes s'appliquent à définir une chronologie détaillée des évènements glaciaires. Le schéma établi par **Penck et Brückner** (1909) sera largement admis. Ainsi, pendant plusieurs décennies, on considérera que le Pléistocène a connu quatre grandes glaciations : le Günz, le Mindel, le Riss et le Würm, auxquelles ont été ajoutés par la suite le Donau et le Biber (Fig. 3.16). Cette chronologie est établie sur la base de l'étude de terrasses fluvioglaciaires de Bavière et la nomenclature est régionale. Cette vision quadri-glacialiste est encore parfois en usage actuellement, mais elle a été relayée par une conception pluriglacialiste essayant de mettre en relation les épisodes locaux avec les grandes variations isotopiques que l'on observe grâce aux forages glaciaires groenlandais (Schoeneich, 1998b).

Un peu plus tard et dans le bassin lémanique, **Gagnebin** (1937) distingue les traces des deux dernières glaciations et intercale dans le Würm des dépôts attribués à un interstade. Son étude de terrain détaillée et notamment celle de l'affleurement des Dranses en fait une référence régionale toujours utilisée. En 1950, une nouvelle couche organique dite « tourbe d'Armoy » est découverte par Lemée et Bourdier et attribuée à nouveau à un interstade würmien. Par la suite, les travaux de **Brun** (1966) et Brun et Delibrias (1967) identifient une nouvelle couche organique de la lignite et, ce faisant, un nouvel interstade würmien. Une analyse pollinique couplée avec une datation ^{14}C pousse les auteurs à différencier ce niveau à lignite de la « tourbe d'Armoy » de Lemée et Bourdier. Toutes ces découvertes militent pour un schéma croissant en complexité et il faut désormais compter avec plusieurs fluctuations ou « interstades » dont on ne sait presque rien.

L'apparition de chronologies divergentes

Dès le début des années 60, Marcel **Burri** (1961, 1963, 1977) entreprend une étude détaillée des terrains quaternaires du bassin lémanique. Sur les pas d'E. Gagnebin, il étudie à son tour les affleurements des Dranses préalablement identifiés, mais également les terrains situés plus en amont, dans les trois vallées des Dranses. Dans le schéma qu'il propose, le conglomérat des Dranses est un horizon repère qu'il place à l'interglaciaire Riss-Würm ou Eémien. Il identifie une moraine inférieure au conglomérat attribuée au Riss et des dépôts de deux pulsations majeures pour le Würm. La première avancée, la plus importante, est placée dans la moitié inférieure du Würm, grâce à des datations relatives amenées par des analyses polliniques. La seconde est attribuée au Würm récent et ne dépasse pas 850 m d'altitude. Cette cote maximale est établie sur la base de la présence d'argiles lacustres non recouvertes par la moraine à la confluence des Dranses (Burri, 1963). Selon ces observations, le glacier würmien n'aurait pas pu s'étendre au-delà de la

région genevoise lors de cette réavancée et n'aurait donc pas pu atteindre Lyon au Würm récent, comme cela était alors généralement admis.



Paläolithische Fundstellen am Saum der helvetischen und rhodanischen Vergletscherung.
Maßstab 1 : 1400000.

Fig. 3.16 : Carte des extensions glaciaires helvétiques et rhodaniennes. Tiré de Penck et Brückner (1909 vol.2).

Plus tard, Robert **Arn** (1984) entreprend à son tour l'étude du Quaternaire lémanique et en particulier celle des régions des Dranses et de la Côte, soit les deux rives du Léman. Ses conclusions, bien que basées sur les mêmes observations que celles de ses prédécesseurs, sont très divergentes. Il identifie les témoins de trois périodes glaciaires (Mindel, Riss et Würm) et propose une dynamique würmienne en trois phases : une première avancée glaciaire au début du Würm, un interstade (tourbe de Senarclens), une deuxième avancée dès 34'600 ^{14}C BP[7], avec un stade à Bioley-Orjulaz, et finalement un maximum glaciaire au Würm récent (~20'000 BP).

7 Le repère chronologique est donné par une datation ^{14}C sur une défense d'*Elephas primigenius* trouvée dans des graviers fluvioglaciaires à Bioley-Orjulaz (Burri et al. 1968).

L'étude des fronts glaciaires et l'établissement de chronologies fines

Parallèlement aux recherches dans le Chablais, l'étude des fronts glaciaires de la région lyonnaise aboutit à un même constat de complexité. Bourdier propose cinq pulsations majeures du lobe lyonnais pour la période du Würm (Bourdier, 1958). Le maximum d'extension est évalué à 30'000 – 28'000 BP[8] (Burri et al., 1968), soit durant la deuxième moitié du Würm. Plus tard, Mandier (1984) reprendra l'étude des moraines de la région lyonnaise et proposera à nouveau cinq pulsations würmiennes mais deux avancées majeures et un maximum plus ancien, au début du Würm. Des datations postérieures et contradictoires viendront encore déranger ces schémas, sans proposer de chronologie vraiment convaincante. Plus récemment, les travaux de Coutterand (Coutterand & Buoncristiani, 2006; Coutterand, 2010) apportent un nouveau regard sur l'organisation du réseau glaciaire des Alpes nord-occidentales en précisant, par exemple, les limites des lignes d'équilibres au WGM (maximum d'englacement du dernier cycle glaciaire) et remettant en question l'importance attribuée à certains appareils glaciaires.

Dans le Moyen Pays suisse, les fronts glaciaires du cycle würmien sont bien identifiés, en deux positions principales (Schlüchter, 1988), le stade de Wangen, correspondant à une extension maximale, suivi du stade de Soleure, correspondant à une position de retrait puis du « stade lémanique », ne débordant pas de la cuvette lémanique (Schoeneich 2008b).

L'étude des glaciers quaternaires se poursuit également dans d'autres parties des Alpes. Les stades des glaciers du Rhin et de la Linth sont reconstitués respectivement par Keller et Krayss (1993) et Schlüchter et Röthlisberger (1995). Les stades tardiglaciaires des Grisons sont passés au peigne fin par Maisch (Maisch, 1981, 1982) qui établit un modèle de déglaciation en 9 stades pour les Alpes orientales (Bühl, Steinach, Gschnitz, Clavadel, Daun, Egesen, Bockten, Kromer et stades récents). Dorthe-Monachon (1986) et **Schoeneich** (1998a) étudient respectivement la vallée de l'Arve et les vallées du Chablais vaudois à la lumière de ce modèle.

L'apport des forages et datations de la région d'Evian

La région d'Evian bénéficie de nombreuses études qui, d'abord cantonnées aux abords des sources, vont s'étendre à l'ensemble du plateau Gavot. Ces travaux ont de particulier qu'ils sont effectués sur des données de forage et permettent une vision plus précise de l'organisation des dépôts quaternaires traditionnellement étudiés grâce aux coupes naturelles. Les études de forages débutent dans les années 1960 avec les travaux de B. **Blavoux** (1965, 1988), B. Blavoux et A. Brun (1966) et A. Brun (1966). La chronologie élaborée par B. Blavoux rejoint celle de M. Burri (deux pulsations) et c'est à nouveau un maximum d'extension ancien qui

Cette datation a été publiée par Weidmann (1974) et indique un âge de 34'600 + 2700/-1800 BP. Arn (1984) l'interprète comme le jalon chronologique de la première excursion glaciaire hors de la cuvette lémanique, après le creusement du sillon qui les contient, ne dépassant pas 600 m (sédiments palustres à l'amont). Dans ce manuscrit, les datations carbone 14 sont indiquées ^{14}C BP ou ^{14}C cal BP selon qu'elles ont été ou non calibrées.

8 Cette fourchette s'entend en âge ^{14}C non calibré.

est proposé (> 35'000 BP[9]). Les travaux de **Nicoud** et al. (1993) poursuivent et renforcent cette chronologie.

Les études se poursuivent encore aujourd'hui aux alentours d'Evian et de nouveaux forages ont été étudiés par A. **Triganon** (2002). En parallèle, F. **Guiter** (2003) s'est penché sur les divers niveaux organiques recensés dans la littérature et a proposé de nouveaux sites d'investigation. Grâce aux techniques éprouvées des datations ^{14}C et de la palynologie, ces auteurs parviennent à affiner encore la chronologie quaternaire régionale. D'importantes divergences subsistent pourtant avec les études menées dans différentes parties des Alpes (Guiter et al., 2005, 2006; Preusser et al., 2006). Nous reviendrons plus en détails sur cette question dans le chapitre 4.

Les apports des palynologues et archéologues

Les botanistes utilisent les pollens fossiles pour reconstituer les associations végétales passées et, ce faisant, les paléoclimats. Depuis les années 1950, des profils polliniques très complets sont publiés, principalement tirés de sédiments lacustres et palustres. Les quaternaristes peuvent se baser sur des courbes de référence pour replacer certains dépôts dans une chronologie relative. Différents auteurs ont contribué à la connaissance des terrains quaternaires du Chablais par le biais de cette méthode (Lemée & Bourdier, 1950; Sauvage, 1967; Olive, 1972; Lahouze, 1981; Welten, 1982; Ammann & Lotter, 1989; Guiter, 2003; Bezat, 2008).

Dans une même dynamique, les travaux des archéologues dans le bassin lémanique et la plaine du Rhône ont étudié des terrains proches des préoccupations des géologues et géomorphologues. Ces domaines qui utilisent des méthodes comparables pourraient échanger avec profit leurs connaissances. L'étude des terrasses lémaniques a bénéficié efficacement de l'apport complémentaire des travaux archéologiques et en sciences de la Terre (Villaret & Burri, 1965; Gallay, 1981; Gabus et al., 1987; Olive, 1972; Weidmann, 1974; Schoeneich, 1999; Schoeneich & Corboud, 1999).

Les méthodes de prospection géophysique

Depuis l'avènement des méthodes géophysiques, la prospection du fond rocheux des vallées et du Léman se fait par gravimétrie, sismique et géoélectricité. Ces données sont complétées par des forages carottés, parfois profonds. Les profils obtenus ainsi que les cartes des isohypses extrapolées permettent de mieux appréhender l'agencement des dépôts quaternaires. Ces méthodes ont surtout été appliquées dans la plaine du Rhône (Meyer De Stadelhofen, 1966, 1964; Freymond, 1971; Finckh & Frei, 1991; Rosselli & Olivier 2003), mais également dans le Léman (Moscariello et al., 1998; Girardclos, 2001; Dupuy, 2006; Fiore et al., 2011) et dans la région de Thonon-Evian (Blavoux & Dray, 1971; Dray, 1975; Raymond et al., 1996; Triganon et al., 2005).

---

9 Ce jalon chronologique fait référence à deux datations ^{14}C (GIF 491 et 739) publiées par Delibrias et al. (Delibrias et al., 1969, p. 331) sur des « sédiments lacustres à débris ligniteux d'Armoy à 480 m » (Blavoux, 1988, p. 74). Blavoux mentionne un âge obtenu « plus vieux ou égal à » 35'000 ans BP et l'interprète comme la limite inférieure à laquelle le glacier du Rhône s'est retiré du versant d'Evian (et probablement de la cuvette lémanique) après son dernier maximum d'extension régional.

Les cartes géologiques

L'ensemble du Chablais est couvert par les cartes géologiques nationales, à l'échelle 1/25'000 pour la Suisse et 1/50'000 pour la France. Ces documents ont été édités entre 1934 (Gagnebin, 1934) et 1998 (Plancherel, 1998). Le Quaternaire y est toujours indiqué mais les informations sont parfois imprécises et doivent être confirmées par des observations de terrain (Schoeneich, 1998a).

3.3.3. Utilisation des témoins glaciaires dans le Chablais

Sans que la population chablaisienne n'en soit toujours consciente, de nombreuses activités de sa vie quotidienne sont liées à l'utilisation, sous une forme ou une autre, des témoins glaciaires. Un bref panorama de ces interactions permet de mieux comprendre l'ampleur du phénomène et tout l'enjeu de la gestion concertée de cette ressource naturelle.

Matière première

Les dépôts glaciaires sont largement utilisés en tant que matière première, plus ou moins transformée ou indirectement liée à une production locale. Dans le domaine de la construction par exemple, deux activités s'échelonnant dans le temps concernent les témoins glaciaires.

Au début du 19e siècle, les ouvriers italiens importent dans le Chablais la technique de débitage des roches cristallines, particulièrement dures, notamment, le granite (Coutterand & Jouty, 2009). S'en suit une exploitation intensive des blocs erratiques en provenance du massif du Mont Blanc. Cet héritage est visible actuellement sous forme de bassins, de meules ou sur les murs des maisons anciennes (Fig. 3.18). La conséquence de cette exploitation a été la disparition rapide de nombreux blocs erratiques (Fig. 3.17) avec tous les problèmes que cela implique du point de vue de l'histoire des sciences de la Terre (Schardt, 1908a; Aubert, 1989) (cf. chapitre 2).

Plus récemment, l'extraction des granulats pour la fabrication de béton, occupe plusieurs entreprises locales (Sagradrance, Bochaton, Descombes père et fils, Sagrave). Ces dernières exploitent les deltas de la Dranse et du Rhône mais également des dépôts plus anciens comme les terrasses de Thonon. Des emprunts ponctuels sont parfois réalisés pour la construction d'une petite route par une commune, sur son territoire. Les dépôts glaciaires et associés (fluvioglaciaires) sont exploités et donc progressivement déplacés de leur lieu d'origine pour servir à la construction de bâtiments et autres infrastructures urbaines. Cette exploitation a un effet positif sur la connaissance des témoins glaciaires en permettant l'apparition de coupes artificielles offrant au chercheur un point de vue sur la structure interne des dépôts qui peuvent, sans cette intervention anthropique, rester indéfiniment hors de portée de l'observation humaine (Fig. 3.18).

De façon plus indirecte mais non moins déterminante, les différentes eaux minérales chablaisiennes sont filtrées et enrichies par quelques centaines de mètres de dépôts quaternaires, dont, de la moraine de fond, horizons imperméables qui permettent à l'eau de résurger sous forme de sources exploitables (Fig. 3.18). La compréhension de l'agencement des dépôts et des circulations de ces eaux est déterminante pour la garantie de leur qualité et de la prévention de pollutions

éventuelles. C'est grâce à cette forme d'exploitation que de nombreuses recherches quartenaires sont financées en Chablais (Triganon, 2002; Guyomard, 2006).

Les actions anthropiques entrent parfois (voire souvent) en conflit avec la préservation de témoins particulièrement importants du point de vue des sciences de la Terre. En Chablais, deux exemples sont particulièrement intéressants.



Fig. 3.17 : Exploitation des blocs erratiques des Dranses pour la construction de barrage en 1938. Cette activité à provoqué la disparition d'un grand nombre de marqueurs de l'extension rhodanienne dans la massif du Chablais. Photographie : J. Messines.

Les **terrasses de Thonon** sont des formes géomorphologiques particulièrement étendues (Fig. 3.9), riches en éléments et complexes dans leur mise en place. Elles ont été repérées de longue date par les chercheurs quaternaristes, plusieurs fois observées, décrites, dessinées (Gagnebin, 1934; Vial, 1975; Chazal & Grange, 2002). Pourtant, les terrasses de Thonon conservent leur part de mystère. On ignore encore à quelle date et sur quel laps de temps ces impressionnantes masses de matériaux ont été déposées. Elles représentent en outre un témoin clef de la position du glacier du Valais dans cette région, en constituant sa bordure latérale gauche durant son retrait.

Actuellement, l'extension de la ville de Thonon a tendance à niveler la surface des terrasses et à démanteler leurs rebords pourtant caractéristiques. En contrepartie, les fronts de taille des gravières sont régulièrement visités et investigués par les chercheurs en quête de nouvelles observations (Breton, 2009; Pomel, 2009). Ce type de site pose ainsi des questions très complexes de gestion face aux multiples utilisations qui en sont faites et à leur localisation en bordure du Léman.

Les **collines de Chessel Noville** (Fig. 3.18) posent à peu près le même type de dilemme. Cette formation a une longue et passionnante histoire scientifique à

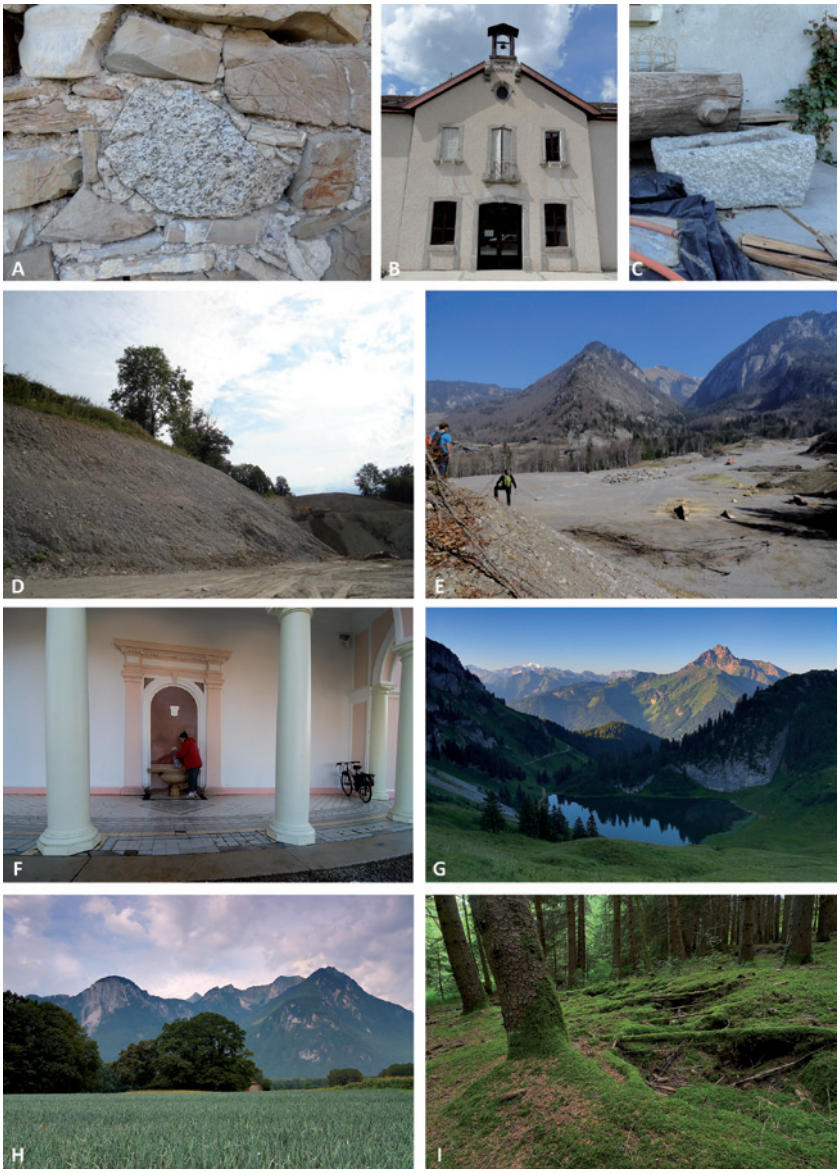


Fig. 3.18 : Usages des témoins glaciaires en Chablais. A. Mur d'habitation, intégrant roches locales (calcaires) et matériaux erratiques (granite, au centre), Le Seytroux (HS) ; B. Façade de la Mairie de Cervens (HS), encadrures en granite ; C. Petit bassin domestique en granite, Le Seytroux (HS) ; D. Coupe artificielle dans une gravière : la « carrière chablaisienne », Le Lyaud (HS) ; E. Vue sur la gravière de Vacheresse (HS) ; F. Source Cachat, Evian (HS) ; G. Lac d'Arvouin, utilisé pour la pêche à la ligne, Vacheresse (HS) ; H. Collines de Chessel-Noville, en arrière plan, La Suche, départ présumé de l'éboulement, plaine du Rhône (VD) ; I. Glissement de terrain dû aux argiles lacustres sous-jacentes, Vailly (HS). Photos : A-E A. Perret, F-I, A. Berger.

rebondissements (Schoeneich, 2004). Elles ont été tour à tour interprétées comme des moraines frontales du glacier du Rhône (Venetz, 1861; Penck & Brückner, 1909), des dépôts d'écroulement (Schardt, 1908b) puis des moraines du glacier local des Evouettes (Bersier, 1954; Gagnebin, 1937; Burri, 1961) avant d'être à nouveau interprétées comme le résultat d'un dépôt d'écroulement (Schoeneich, 2004; Reynard et al., 2009). Récemment, ces collines se sont vues menacer par le tracé de la route nationale H144. Face à cet aménagement d'envergure, l'inscription des collines dans l'inventaire des géosites du canton de Vaud (Pieracci et al., 2008) n'a eu aucun impact sur le tracé de la route. Ceci s'explique en partie par le fait que cet inventaire n'a aucune portée légale et que les travaux de prospection de la H144 ont été réalisés avant sa rédaction. On peut même souligner que la coupe de certaines de ces formations a permis à une équipe d'archéologues d'investiguer le site et aux quaternaristes de constater des belles figures de déformation des sédiments sableux qui les composent. Ces coupes sont bien évidement éphémères et le chercheur doit se trouver disponible au bon moment pour y effectuer des relevés et prélèvements avant que les aménagements prévus ne les recouvrent.

Loisirs et culture

Une part non négligeable de l'attractivité régionale réside dans ses paysages de moyenne montagne, notamment, l'abondance des lacs. Outre, les nombreuses formes d'érosion glaciaire que sont les vallées, les cirques et les verrous, les glaciers locaux ont laissé derrière eux des obstacles aux écoulements, retenant des points d'eau de tailles variées. Toutes sortent d'activités se développent autour de ces éléments particuliers du paysage. Les pêcheurs profitent des poissons qui y sont introduits principalement pour cet usage (Fig. 3.19). Les baigneurs et autres adeptes des sports nautiques y trouvent un support à leur activité. Les randonneurs en font des buts d'excursion et les artistes aiment reproduire les tableaux pittoresques qu'ils composent.

Une activité touristique se développe autour de tels sites, diffuse dans le cas de la randonnée mais souvent canalisée autours de sites particulièrement impressionnants ou esthétiques. Les Gorges du Pont du Diable dans la Dranse de Morzine offrent un exemple typique de formation géomorphologique exploitée pour le tourisme (Fig. 3.12). Ces gorges étroites ont été creusées par les écoulements sous-glaciaires de l'appareil qui occupait cette vallée des Dranses lors du dernier maximum glaciaire. Elles offrent un point de vue saisissant sur le fond de la vallée et sont aménagées pour que le visiteur puisse observer des détails intéressants, notamment en lien avec d'anciennes pratiques (voies de communication) et croyances locales (légende liée au Diable).

On note encore la pratique de la grimpe (type bloc) sur les blocs erratiques les plus volumineux et ayant échappé à l'exploitation des graniteurs. Ce ne sont d'ailleurs généralement pas des granites mais d'autres roches cristallines moins propices à la taille (Pierre à Martin, Pierre du Diable). Certains de ces rescapés (et d'autres moins volumineux) sont également dotés de cupules anthropiques (Pierre à Carroz, Pierre des Gaulois), probablement façonnées durant la période néolithique, mystérieuses marques de nos ancêtres dont nous avons perdu la signification et que les chercheurs n'ont pas encore réussi à élucider (Lugon et al., 2006).

Risques naturels

Un troisième volet permet d'apprécier les liens entre témoins glaciaires et vie chablaisienne. Les glissements de terrain du printemps 2001 ont provoqué d'impressionnants dégâts sur les infrastructures dans les vallées des Dranses, endommageant routes et maisons la commune de Féternes (HS). Ces instabilités sont dues à d'importants dépôts de sédiments lacustres, accumulés dans la partie aval des vallées des Dranses alors que le glacier du Valais occupait le bassin lémanique, bloquant les écoulements de rive droite (Fig. 3.09). Ces sédiments lacustres sont particulièrement plastiques et réagissent fortement aux variations de teneur en eau. Ils sont susceptibles de glisser, même sur une faible pente. Cette particularité géomorphologique qui se répète dans les trois vallées des Dranses (Fig. 3.18) détermine des zones à risque pour l'établissement d'infrastructures ou d'habitations. Une bonne connaissance de leur extension spatiale est donc fondamentale à l'aménagement de ces vallées.

Dans la même thématique, les éboulements et écroulements qui affectent certains versants de vallée sont à mettre en relation avec le retrait glaciaire et la décompression des parois rocheuses consécutive à ce retrait (décompression post-glaciaire). La prévision de ce type d'aléas est plus difficile puisqu'il affecte potentiellement l'ensemble des versants de vallées déglacées depuis le dernier maximum glaciaire, c'est-à-dire en Chablais, l'entier de la vallée du Rhône et des vallées des Dranses. L'écroulement qui a provoqué la formation des collines de Chessel-Noville et que les chercheurs actuels tendent à rapprocher de l'évènement historique du Tauredunum entrerait dans cette catégorie d'écroulement (Schoeneich, 2004).

En conclusion

Le Chablais a une longue tradition de recherche dans le domaine du Quaternaire. Elle est caractérisée par la diversité des disciplines concernées et des méthodes utilisées. La question la plus débattue est sans conteste celle de la chronologie glaciaire. En parallèle de cette activité scientifique soutenue, un certain nombre d'activités en lien avec les témoins glaciaires peuvent être identifiées sans qu'il soit possible de dire à quel point les habitants et acteurs du territoire sont en mesure de reconnaître ce lien. On pourrait s'étonner, par exemple, que les habitants du Chablais ignorent le rôle des glaciers dans l'apport de graviers sur les rives du Léman. Plusieurs éléments de réponse peuvent cependant être avancés. Les exploitations sont souvent dissimulées à la vue des habitants et touristes, pour des raisons esthétiques. Les gravières entaillent le relief et laissent apparaître des trous béants et des étendues sans végétation qui tranchent avec les pâturages et forêts environnantes. Cette activité est perçue comme un mal nécessaire et personne ne cherche véritablement à en comprendre les détails. Même les carriers de métier travaillent de façon étonnement intuitive, faisant peu appel aux prévisions des géologues (A. Guyomard, comm. pers. et entretien avec Alain Butet, Sagradranse). De façon générale, nous pensons que cette ignorance est due à un manque de communication entre les sciences de la Terre et le public. En Suisse, le système scolaire omet simplement la géologie de son programme, alors qu'en France, les étudiants gardent des souvenirs peu enthousiastes de leurs leçons. Il est très probable qu'une fois atteint l'âge adulte, les anciens élèves aient définitivement chassés de leur esprits cette composante de l'environnement, même s'ils en utilisent quotidiennement les éléments.

3.4. Caractéristiques des témoins glaciaires chablaisiens

Le tour d'horizon des témoins glaciaires effectués dans ce chapitre fait apparaître des points forts et des points faibles pour la valorisation du géopatrimoine régional. Parmi les points faibles, nous avons souligné la difficulté de parler d'histoire glaciaire dans une région quasi entièrement déglacée et qui l'était déjà en grande partie lors du Petit Age Glaciaire (contrairement aux environs de Chamonix, par exemple). Le lien entre l'agent de transformation du relief et les témoins conservés dans le paysage n'est plus visible. Il faut donc le reconstruire, de façon à le faire exister à nouveau dans l'imaginaire collectif. Nous pensons que cette entreprise nécessite d'une part l'amélioration de la connaissance objective des fluctuations glaciaires régionales notamment par effort de synthèse de l'abondante littérature disponible, au niveau régional mais également à une échelle plus vaste, englobant si ne n'est le massif alpin, au moins l'ensemble des régions occupées par le glacier du Rhône par le passé. Elle nécessite d'autre part, des efforts d'interprétation, dans le choix des sites mis en avant pour la valorisation de ce type de patrimoine et dans la conception des produits didactiques et touristiques. Nous verrons plus en détail dans les chapitres suivants par quels biais cette lacune spatiale et temporelle peut être atténuée. La région souffre également d'obstacles à l'observation des morphologies glaciaires (couverture forestière, urbanisation). Ces difficultés pourraient à notre sens être contournées par l'utilisation d'outils de visualisation innovants tels que les modèles numériques de terrain. Parmi les points forts du patrimoine glaciaire chablaisien, il faut souligner la forte imbrication des témoins glaciaires dans différents domaines de l'activité économique et sociale, voire du point de vue de l'identité locale, même si cette dernière est particulièrement difficile à cerner. L'importance de la production scientifique et en particulier les épisodes géohistoriques liés à l'avènement de la théorie glaciaire nous semblent être des points d'ancrage intéressants et qui devraient être exploités dans toute entreprise d'interprétation du patrimoine glaciaire.

En conclusion, nous pensons que le Chablais possède un potentiel intéressant pour la valorisation des géosciences par l'intermédiaire de ses témoins glaciaires. Pour acquérir un statut de géopatrimoine aux yeux du public, ces derniers devraient cependant faire l'objet d'une interprétation soigneusement élaborée de façon à dépasser certaines difficultés conceptuelles, liées aux particularités du terrain.

4. Quaternaire

Le patrimoine glaciaire, particulièrement sur le territoire du Chablais est constitué de témoins glaciaires plus que de glaciers. Que sait-on des appareils à l'origine des témoins qui constituent aujourd'hui le patrimoine glaciaire chablaisien ? Ce quatrième chapitre représente le volet de connaissance « objective » du patrimoine. Les formations glaciaires y sont questionnées sous l'angle et avec les méthodes de la géologie du Quaternaire et de la géomorphologie alpine, afin de caractériser leur morphogenèse (processus et chronologie). Le travail est articulé en deux phases. En premier lieu, nous établissons une synthèse des connaissances depuis l'avènement de la théorie glaciaire, prenant la forme d'une base de données bibliographique. Dans un second temps, nous tentons une contribution à la chronologie glaciaire régionale par l'établissement de cartographies géomorphologiques dans les cirques glaciaires et de datations cosmogéniques produites *in situ* sur blocs erratiques. Cette connaissance objective, bien que partielle et souvent sujette à caution, nous permettra, par la suite, d'élaborer et d'appuyer les méthodologies de sélection et de valorisation du patrimoine (voir les chapitres suivants 5. Inventaire de géosites glaciaires et 6. Valorisation : l'exposition sur le patrimoine glaciaire des Chablais).

4.1. Etat des connaissances sur le Quaternaire des Chablais

Nous avons établi, dans le chapitre précédent (partie 3.3. Prospection et utilisation des témoins glaciaires dans le Chablais), un bref historique de la recherche scientifique sur le Quaternaire du Chablais. Cet historique débute vers la fin du 18e siècle et se poursuit jusqu'à aujourd'hui. Il introduit les principaux auteurs impliqués dans cette recherche ainsi que les diverses disciplines dont les méthodes ont pu apporter des éléments à la compréhension des témoins glaciaires régionaux (archéologie, palynologie, géophysique). Nous ne reviendrons pas sur cette présentation chronologique des étapes de la connaissance du Quaternaire et procéderons dorénavant par thématiques. Certains éléments seront mentionnés à plusieurs reprises, selon la manière dont ils interviennent dans la compréhension de ces thématiques. Nous pensons que la complexité de la réflexion sur les dépôts quaternaires rend ces répétitions nécessaires.

Nos deux questions centrales seront 1) de préciser la chronologie des fluctuations glaciaires dans le Chablais depuis le dernier maximum glaciaire jusqu'à aujourd'hui ; 2) de recenser et caractériser les témoins glaciaires présents sur le territoire chablaisien (démarche initiée dans le chapitre précédent 3.2. Contexte physique).

Pour ménager la clarté de la réflexion, nous allons retarder le plus possible l'introduction de jalons chiffrés et présenter d'abord les éléments morpho-stratigraphiques de reconstitution de la dynamique et des stades glaciaires. Nous introduirons les éléments de datation détaillés dans la partie 4.3. Datation du retrait glaciaire.

4.1.1. Une base de données bibliographiques spatialisées

La bibliographie concernant le Quaternaire chablaisien est riche et abondante. Elle s'étire dans le temps entre les débuts de la théorie glaciaire (par ex. de Charpentier, 1841) et aujourd'hui (par ex. Fiore et al., 2011), mais également dans l'espace, concernant des terrains spécifiques (par ex. Burri, 1981) aussi bien que des synthèses régionales (par ex. Burri, 1963). Face aux nombreux ouvrages que nous allions consulter, représentant autant de disciplines, de méthodes et de terrains différents, nous avons choisi d'élaborer une base de données, prenant la forme d'une bibliographie gérée par l'intermédiaire d'un logiciel spécialisé (EndNote®). Ce support nous a permis d'ajouter aux références bibliographiques consultées des strates d'information classiques (mots clefs) et personnalisées (par ex. des notes de lecture). Il propose également de créer des groupes intelligents (incluant ou excluant certains critères) et d'attacher des fichiers numériques (articles complets ou illustrations). Cette manière de procéder nous a aidé à rassembler une information disparate et éparpillée, puis nous a assuré un accès rapide à l'information contenue dans la base de données, à l'aide de requêtes ciblées.

324 références bibliographiques concernant de près ou de loin le Quaternaire du Chablais, ont été intégrées à cette base de données. 82 références ont fait l'objet d'une fiche détaillée. En plus des éléments de référence bibliographique, nous avons ajouté des résumés, mots clefs, commentaires de recherche, datations effectuées, datations citées, informations spatio-temporelles, sondages, coupes et illustrations (Perret, 2010). Nous avons ensuite « spatialisé » une partie de cette base de données (44 des 82 fiches détaillées), c'est-à-dire, les références dont

l'emprise spatiale pouvait être représentée sous forme d'un polygone sur une carte du Chablais (Fig. 4.1). Par l'intermédiaire de la carte ainsi obtenue, nous avons pu identifier assez rapidement les zones qui avaient déjà fait l'objet de nombreuses études (rives du Léman, Thonon et Evian, plaine du Rhône) et *a contrario*, les « zones d'ombre » (vallée de la Vièze, hautes Dranses, vallée de l'Avançon), pour lesquelles des missions de terrain devaient être envisagées.

Pour aller plus loin dans cette démarche, il serait intéressant de représenter sur une même carte, les données de datations (méthode, matériaux, âge, erreur, position stratigraphique, etc.). En effet, la recherche dans le domaine du Quaternaire est devenue extrêmement complexe en raison de la multiplication des méthodes de datation mais également de l'évolution de ces méthodes dans le temps (nous y reviendrons). Il devient de plus en plus nécessaire de s'aider de systèmes de représentation des données pour être en mesure d'interpréter les nouveaux éléments à la lumières des travaux existants. Cette démarche est d'ailleurs en cours de réalisation, coordonnée par Ph. Schoeneich (comm. pers.). Elle vise à créer une base de données spécifiquement adaptée aux datations. Ce travail de grande envergure a déjà permis une première synthèse (Schoeneich et al., 2011). Cette base de datations demande à être complétée au fur et à mesure des nouvelles mesures en parallèle de l'intégration de données plus anciennes dont la publication est parfois lacunaire.

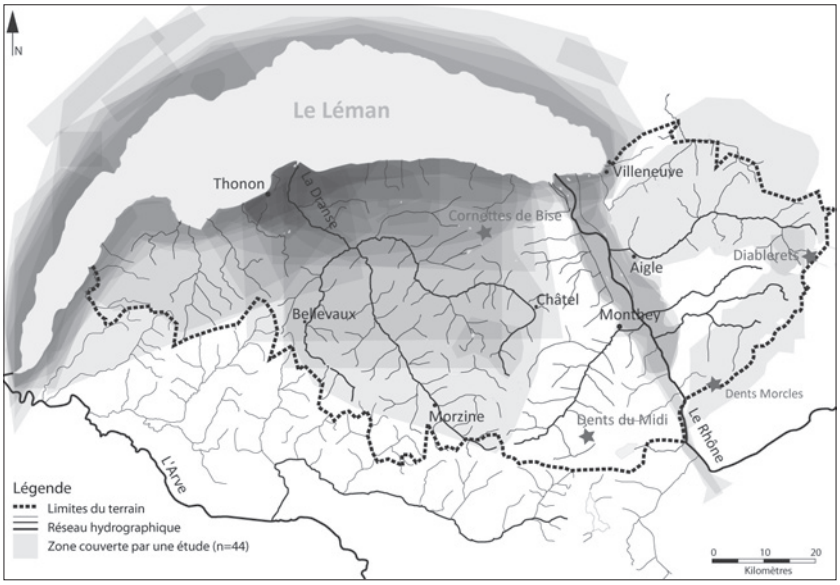


Fig. 4.1 : Spatialisation de la base de données bibliographiques. Chaque polygone représente un ouvrage scientifique. La superposition des polygones indique les zones les plus densément concernées par les études (en noir) et les zones où aucune étude n'a été réalisée (en blanc). Cette représentation s'appuie sur 44 ouvrages (articles, thèses, rapports de stages, etc.) de géologie et/ou géomorphologie (la liste des ouvrages représentés par un polygone se trouve en annexe 1).

4.1.2. Méthodes pour la reconstruction géométrique des fluctuations glaciaires

Notre base de données bibliographique intègre des ouvrages dont les méthodes peuvent varier fortement. Nous proposons une brève revue de ces méthodes rencontrées au fil de nos lectures. Cette revue n'a pas vocation à couvrir l'ensemble des méthodes utilisées pour la recherche sur le Quaternaire. Respectant un ordre méthodologique que nous tenons pour important dans l'étude du Quaternaire, nous présentons d'abord les méthodes et outils de compréhension de la nature et de la géométrie des témoins glaciaires (accumulations et formes) et ensuite les méthodes et outils de datation. L'observation des formes et des matériaux permet de repérer des évènements. Ils ne sont pas pour autant datés mais l'agencement des éléments permet d'inférer des chronologies relatives. L'érosion et la remobilisation des matériaux sont des éléments à prendre en compte dans ces reconstitutions.

Un tableau récapitulatif permet de voir quelles méthodes ont été utilisées dans ce travail (Tab. 4.1).

Etudes de coupes naturelles

Les premiers chercheurs se sont basés sur l'étude de coupes naturelles que l'on trouve par exemple, dans la basse vallée de la Dranse (Morlot, 1859; Gagnebin, 1937) (Fig. 4.2). Ce site, devenu célèbre, a été utilisé par plusieurs générations de chercheurs (Morlot, 1859; Gagnebin, 1937; Burri, 1963; Arn, 1984; Guiter, 2003). Certains de ces affleurements (par ex. les tourbes d'Armoy) disparaissent périodiquement, au gré des mouvements de terrain et des travaux d'aménagement. Il est donc parfois difficile, voire impossible, de les retrouver. Les dépôts sédimentaires peuvent faire l'objet d'études détaillées (granulométrie, émoussé, pétrographie), afin de déterminer leur origine (processus dominant, aire d'origine des dépôts, importance du transport) (Blavoux, 1965; Dray, 1970; Vial, 1976; Schoeneich, 1998a). L'observation des coupes naturelles chablaisiennes a notamment mis en évidence la présence de niveaux organiques et de niveaux de cendres au sein des sédiments glaciaires. Les chercheurs en ont déduit des périodes de réchauffement climatique proposant, sur la base d'études polliniques, des corrélations avec des interstades reconnus sur d'autres terrains (Brun, 1966; Arn, 1984; Guiter, 2003).

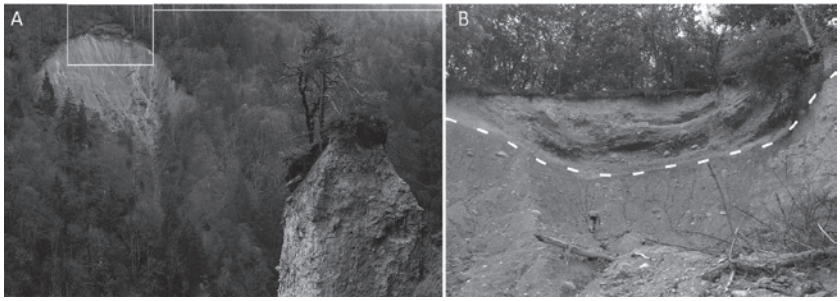


Fig. 4.2 : Coupes naturelles observables en 2013 dans la vallée de la Dranse, à la hauteur du Pont de la Douceur. A. Au premier plan (rive droite), une cheminée de fée dans le till. Au second plan (rive gauche), une niche d'arrachement dans le till surmonté d'un niveau de graviers appartenant aux terrasses de Thonon. B. Détail de la niche d'arrachement en rive gauche. On aperçoit le passage du till (non stratifié) aux niveaux graveleux (stratification horizontale) des terrasses de Thonon. Photographies : (A) A. Berger et (B) A. Perret.

Etudes de coupes d'origine anthropique et de sondages, prospection géophysique

Les chantiers (bâtiments, parkings souterrains, etc.) occasionnent des excavations qui font apparaître la nature des terrains enfouis (Schoeneich, 1998a). Il en va de même pour les gravières et carrières (Chazal & Grange, 2002). Ces sources d'informations sont vouées à disparaître plus ou moins rapidement (fin des chantiers, désaffectation des gravières).

Les sondages sont effectués pour la construction, la prospection des matières premières et, plus rarement, dans le domaine de la recherche, du fait de leurs coûts élevés. Certains auteurs récupèrent des données de forages pour en extraire des informations sur l'agencement des terrains sondés. Ce type d'information peut cependant être lacunaire ou manquer de détail, lorsqu'ils ne sont pas effectués dans le cadre d'une étude scientifique (Freymond, 1971). D'autres auteurs travaillent avec des entreprises exploitantes, comme dans la zone des sources d'Evian. Leurs recherches servent à mieux connaître l'ensemble de la ressource naturelle et apportent des connaissances détaillées sur le Quaternaire régional (Blavoux & Brun, 1966; Triganon, 2002).

La prospection géophysique (profils électriques, gravimétrie, sismique réflexion, etc.) est souvent entreprise en vue de travaux de construction, pour la prospection hydrologique et pétrolière ou à des fins de recherche (Meyer De Stadelhofen, 1966; Weidmann, 1974; Finckh & Frei, 1991; Finckh & Klingele, 1991). Elle donne des informations sur la structure et l'épaisseur des matériaux enfouis (Rosselli & Olivier, 2003; Dupuy, 2006; Fiore, 2007).

Les informations notables apportées par ce type de prospection à l'étude du Quaternaire régional sont une meilleure connaissance du remplissage de la plaine du Rhône mais surtout de la morphologie et de la profondeur du substratum rocheux (Finckh & Klingele, 1991; Rosselli, 2003). Ce dernier est estimé à plus de 1000 m sous le niveau de la plaine entre Aigle et Monthey. Il est, en outre, ponctué de puissants verrous à hauteur de St-Maurice et de St-Triphon. Le remplissage sédimentaire semble être essentiellement fluvioglaciaire et glaciolacustre, le till ne représentant qu'une cinquantaine de mètres d'épaisseur. Ces précisions ont une implication importante sur l'interprétation de la dynamique glaciaire et sur l'importance des appareils secondaires. Dans le Léman, la mise en évidence de fronts glaciaires sous-lacustres apporte des précisions sur les étapes de récurrence du glacier du Rhône et leur dynamique (Fiore, 2007). Sur la rive gauche du Léman à la hauteur d'Evian, les sédiments glaciaires et glaciolacustres enregistrent également des variations d'altitude du glacier du Rhône (Triganon, 2002).

La cartographie géologique et géomorphologique

Les cartes géologiques et géomorphologiques permettent de visualiser l'agencement des dépôts et des formes. L'utilisation d'une légende détaillée est utile pour la compréhension des relations entre processus (par exemple, dans une marge proglaciaire, entre les processus glaciaires, périglaciaires, fluviatiles, gravitaires, etc.). Des auteurs comme Burri (1963), Blavoux et Dray (1971), Vial (1975) et Triganon et al. (2005) ont publié des cartes géologiques simplifiées, centrées sur le Quaternaire (voir Fig. 3.9, chapitre 3), sur lesquelles sont indiqués l'emplacement des cordons morainiques, l'extension des dépôts glaciolacustres, l'extension des placages morainiques locaux, etc. Dans la thèse de

Schoeneich (1998a), l'ensemble du terrain d'étude fait l'objet d'une cartographie géomorphologique à l'échelle 1:10'000. La cartographie se base essentiellement sur des observations de terrain mais peut également s'appuyer sur la consultation de cartes topographiques, de photographies aériennes, de Modèles Numériques de Terrain (MNT) par l'intermédiaire des reliefs ombrés (Fig. 4.3) et même de la consultation de l'imagerie 3D proposée par Google Earth®.

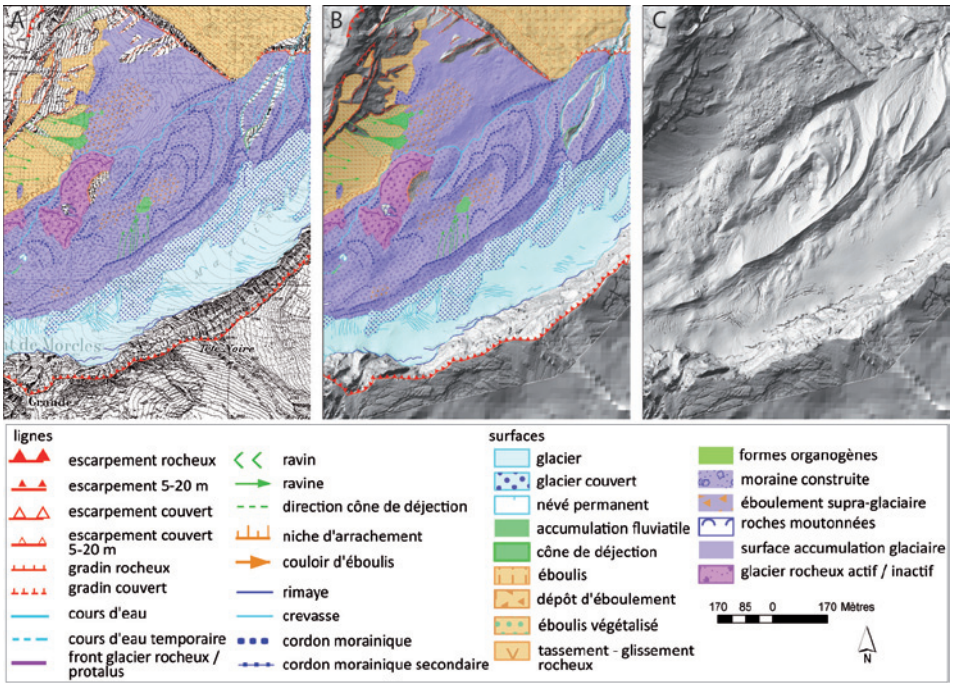


Fig. 4.3 : Extrait de la carte géomorphologique du vallon de Nant. A. Carte géomorphologique sur fond de carte. B. Carte géomorphologique sur fond de carte MNT ombré. C. Fond MNT ombré. Cartographie : G. Petremand, S. Martin et A. Perret. Fond de carte Swisstopo.

4.1.3. Méthodes de datation relative, numérique et absolue

La datation des matériaux permet d'attribuer des âges à certaines formations. Les méthodes anciennes (^{14}C, dendrochronologie) permettent de dater la matière organique alors que les méthodes plus récentes permettent de dater des minéraux (thermoluminescence, isotopes cosmogéniques). On utilise également des courbes de référence (isotopes stables des glaces groenlandaises ou des sédiments lacustres, paléomagnétisme des sédiments lacustres) pour caler les observations régionales sur des signaux climatiques globaux.

Les repères relatifs

L'approche morpho-stratigraphique : L'agencement des morphologies glaciaires (et périglaciaires) dans l'espace et selon leur altitude est largement utilisée dans les reconstitutions des fluctuations glaciaires, en particulier pour les

périodes du Tardiglaciaire et de l'Holocène (Maisch, 1982; Schoeneich, 1998a; Le Roy, 2012; Scapozza, 2013). Cette méthode consiste à identifier puis à hiérarchiser les marqueurs de position glaciaire afin de reconstituer les fluctuations glaciaires. Cette approche peut-être complétée par le calcul de la dépression de la ligne d'équilibre glaciaire depuis le Petit Age Glaciaire, pour chacune des fluctuations reconstituées. On infère de la valeur ainsi obtenue la correspondance de la position considérée à un stade glaciaire de référence pour la zone d'étude. Le calcul de la DLEG peut se baser sur plusieurs formules, par exemple, celle qui considère la surface glaciaire (*Accumulation Area Ratio* (AAR)) (Gross et al., 1976). La géométrie glaciaire quand à elle est reconstituée sur la base de la position de cordons morainiques frontaux, dans le meilleur des cas.

Cette méthode présente l'avantage d'être peu coûteuse et relativement facile à utiliser. Elle connaît cependant plusieurs inconvénients. Par exemple, les morphologies glaciaires doivent être reconnues avec certitude pour éviter de reconstituer des glaciers qui n'ont jamais existé ou encore les limites attribuées aux glaciers reconstitués sont toujours estimées sur la base de la topographie actuelle, etc.

Les chronologies isotopiques marines, groenlandaises et lacustres : Depuis les années 1970, la mesure du rapport entre les isotopes stables d'oxygène ^{16}O et ^{18}O permet de reconstituer les variations du volume des glaces continentales. Des carottes de sédiments marins profonds ont livré des courbes isotopiques montrant non pas quatre mais un minimum de 12 glaciations quaternaires (Prell et al., 1986). Plus récemment, l'analyse des isotopes d'oxygène a été appliquée aux glaces de la calotte groenlandaise, très stables, qui donnent une résolution à l'année ou à la décennie. Depuis, la notation des périodes glaciaires et interglaciaires se fait de plus en plus en référence aux stades isotopiques (SIO) et moins aux quatre glaciations définies par Penck et Brückner (1909). Dans ce système, les périodes froides obtiennent des nombres pairs et les périodes chaudes des nombres impairs. Certains stades sont divisés en fluctuations secondaires.

Les mêmes isotopes ont été mesurés dans les sédiments lacustres. L'intérêt de cette méthode est la très bonne concordance obtenue entre ces trois environnements (mer, calotte, lac), ce qui permet d'interpréter les courbes isotopiques comme des signaux valables pour l'ensemble du globe.

La téphrochronologie : Les éruptions volcaniques qui provoquent la formation de grandes quantités de cendres peuvent être repérées sur de très grandes distances. La signature chimique des chaque volcan est identifiable. Les éruptions importantes sont donc enregistrées dans certains sédiments lacustres et palustres. Un indicateur européen bien repérable est l'éruption du Laacher See (Allemagne) qui s'est produite vers 11'000 BP. La découverte de ce niveau de cendres permet de fixer un âge repère dans une série sédimentaire (Vial, 1976; Schoeneich, 1998a).

Les chronologies palynologiques : Les palynologues reconstituent les paléoenvironnements climatiques grâce aux assemblages de pollens fossiles contenus dans les sédiments. Outre les profils polliniques qui peuvent être utilisés pour corréler des séries sédimentaires, des biozones ont été définies en ce qui concerne l'évolution du climat au Tardiglaciaire (Welten, 1982; Ammann & Lotter, 1989). Cette nomenclature est également utilisée dans les travaux de reconstitution des stades glaciaires (Blavoux & Brun, 1966; Guiter, 2003).

Le paléomagnétisme : Certains types de sédiments enregistrent, au moment de leur dépôt, la position du nord magnétique. Ce dernier variant dans le temps en intensité et en inclinaison, des courbes de référence ont pu être reconstituées sur certaines séquences lacustres. Elles offrent des possibilités de corrélation et de datation (Schoeneich, 1998a).

Les repères numériques

Le carbone 14 : Cette méthode permet de mesurer l'âge des matériaux organiques grâce à la désintégration du ^{14}C qui suit la mort de l'organisme. Elle est pratiquée depuis les années 1960 et largement utilisée pour dater les interglaciaires et interstadiaires alpins (par ex. Blavoux, 1965; Arn, 1984; Triganon, 2002). Plusieurs modifications y ont été apportées au fur et à mesure du développement d'autres méthodes de datation, comme la dendrochronologie. Les âges bruts sont maintenant calibrés (Stuiver & van der Plicht, 1998) pour approcher plus précisément des âges calendaires mais certaines périodes sont encore affligées d'une marge d'erreur importante (par exemple la période comprise entre 10'500 et 8'000 BP). Une meilleure technologie à rendu possible des mesures sur de très petites quantités de matière organique (*Accelerator Mass Spectrometry* AMS). Certains matériaux et environnements sont considérés comme pouvant induire un biais dans la mesure comme le collagène que l'on retrouve dans les os fossiles (Schoeneich, 1998b) et les milieux riches en carbonates (effet d'eau dure). Il faut également prêter attention au fait que les âges sont indiqués en années BP (*before present*), le « présent » étant fixé par convention à 1950. Finalement, cette méthode ne permet pas de remonter au-delà de 40'000 BP.

Les isotopes cosmogéniques (*Surface Exposure Dating* (SED)): Cette méthode plus récente (Gosse & Phillips, 2001) propose de dater la décroissance des isotopes cosmogéniques contenus dans certains minéraux comme le quartz. Le signal émis permet de dater l'âge d'exposition de la roche au rayonnement cosmique. Elle se pratique sur des parois rocheuses, des blocs ou des sables. De nombreux paramètres sont pris en compte dans les calculs de datation et la méthode d'échantillonnage est déterminante pour l'obtention d'une valeur cohérente. Relativement difficile à mettre en œuvre, c'est l'une des seules méthodes, avec l'OSL (*Optically Stimulated Luminescence*), qui permette de dater des matières minérales, ce qui est extrêmement intéressant pour l'étude du Quaternaire. Les valeurs obtenues doivent être interprétées en fonction de l'exposition héritée et du taux d'érosion (facteurs estimés) en âges minimaux ou maximaux, selon les cas. Des blocs erratiques (Ivy-Ochs, 1996) et des surfaces d'érosion (Delunel, 2010) ont été datés grâce aux isotopes cosmogéniques.

La luminescence stimulée optiquement (*Optically Stimulated Luminescence* (OSL)) : Cette méthode est dérivée de la thermoluminescence, utilisée dès les années 1950 et a été développée pour être appliquée aux sédiments (cf. Mercier, 2008). Elle consiste à mesurer l'énergie emmagasinée par le sédiment depuis sa dernière exposition à la lumière du soleil. Cette méthode s'applique particulièrement bien aux lœss, mais peut être utilisée pour dater des terrasses fluvioglaciaires (Preusser, 2004).

Les repères absolus

La dendrochronologie : le comptage des cernes d'arbres offre la possibilité de déterminer l'année, voire la saison de la mort de l'arbre étudié. Cette méthode

nécessite l'établissement d'une courbe de référence pour l'essence et la région prospectée. Tout évènement qui implique une modification de la croissance de l'arbre est potentiellement datable (glissement de terrain, poussée glaciaire).

Méthodes	Non utilisées	Partiellement Utilisées	Utilisées
Méthodes géométriques			
Etude de coupe naturelle et anthropique		x	
Cartographie			x
Méthodes de datation relative			
Approche morphostratigraphique (DLEG)		x	
Chronologie isotopique	x		
Téphrochronologie	x		
Palynologie	x		
Paléomagnétisme	x		
Méthodes de datation numérique			
Carbone 14	x		
Isotopes cosmogéniques (SED)			x
Luminescence stimulée optiquement (OSL)	x		
Méthodes de datation absolue			
Dendrochronologie	x		

Tab. 4.1 : Méthodes utilisées dans ce travail.

4.1.4. Le glacier du Rhône et ses relations avec les appareils secondaires

Le glacier du Rhône, du fait de son très large bassin d'accumulation et de la position de sa zone d'origine par rapport à la répartition des précipitations durant le LGGM[1] (*last global glacial maximum*) est l'un des appareils majeurs des Alpes occidentales à cette période (Florineth & Schlüchter, 1998, 2000). C'est le glacier le plus important à être impliqué dans l'édification du relief chablaisien, puisqu'il s'étend sur la plaine du Rhône et le bassin lémanique. Il est en relation avec plusieurs glaciers secondaires : dans le massif du Chablais, le glacier des Dranses (formé par les glaciers des trois Dranses : Morzine, Abondance, Brevon) ; en rive droite du Rhône, les glaciers de la Grande Eau, de l'Avançon, de la Gryonne et en rive gauche, celui de la Vièze. Dans ce chapitre « Quaternaire », il sera donc beaucoup question du glacier du Rhône et nous opérerons quelques détours hors du Chablais pour essayer d'en comprendre la dynamique.

Glacier du Rhône : extensions et positions dans le contexte alpin

Aujourd'hui, le glacier du Rhône est retranché dans la vallée de Conches, à l'amont de la plaine du Rhône, dans le canton du Valais. Son émissaire donne naissance au fleuve du même nom. Lors des dernières périodes froides du Pléniglaciaire (SIO4, SIO2), ce glacier s'est considérablement étendu. Au plus fort de son extension, il couvrait toute la plaine du Rhône, décrivant un important lobe de piémont au niveau du bassin lémanique, séparé en deux flux de glaces divergents (Fig. 4.4). Plusieurs autres appareils glaciaires se sont développés parallèlement au glacier

1 Le LGGM (last global glacial maximum) est une appellation proposée par Gillespie et Molnar (1995) pour faire référence à la période d'englacement maximum mondial, entre 25'000 à 15'000 ans BP, par opposition au LLGM (last local glacial maximum), désignant un maximum local pouvant être asynchrone par rapport au LGGM.

du Rhône pour couvrir une grande partie des Alpes et de leur piémont d'une épaisse couche de glace : au nord, les glaciers de la Reuss, de la Linth et du Rhin, au sud, les glaciers de l'Arve et de l'Isère (Bini et al., 2009; Coutterand, 2010). Le Jura était également occupé par une importante calotte qui empêchait le glacier du Rhône de pénétrer au-delà de ce massif dans sa partie sud-ouest (Aubert, 1965; Arn, 1984; Campy, 1985; Arn & Campy, 1990) (Fig. 4.4). Lors de ces périodes particulièrement froides, le glacier du Rhône est envisagé par Florineth et Schlüchter (1998) comme une calotte dont l'épicentre se situait dans la haute vallée du Rhône et dont le prolongement s'organisait en glacier de vallée. Il était alors alimenté par de nombreux glaciers affluents, tant en rive gauche qu'en rive droite (glacier d'Aletsch) jusque dans le Chablais (glacier « de la Vièze », glacier « de la Grande Eau », glacier « des Dranses »). Il semble que des diffluences ont eu lieu par certains cols (Pas de Morgins, col des Mosses), bien que leur appartenance au LGM ne soit pas confirmée (Schoeneich, 1998a). Plus en aval, le flux NE recevait un important apport du glacier de l'Aar, alors que le flux SW a pu être alimenté par le glacier de l'Arve (Fig. 4.4).

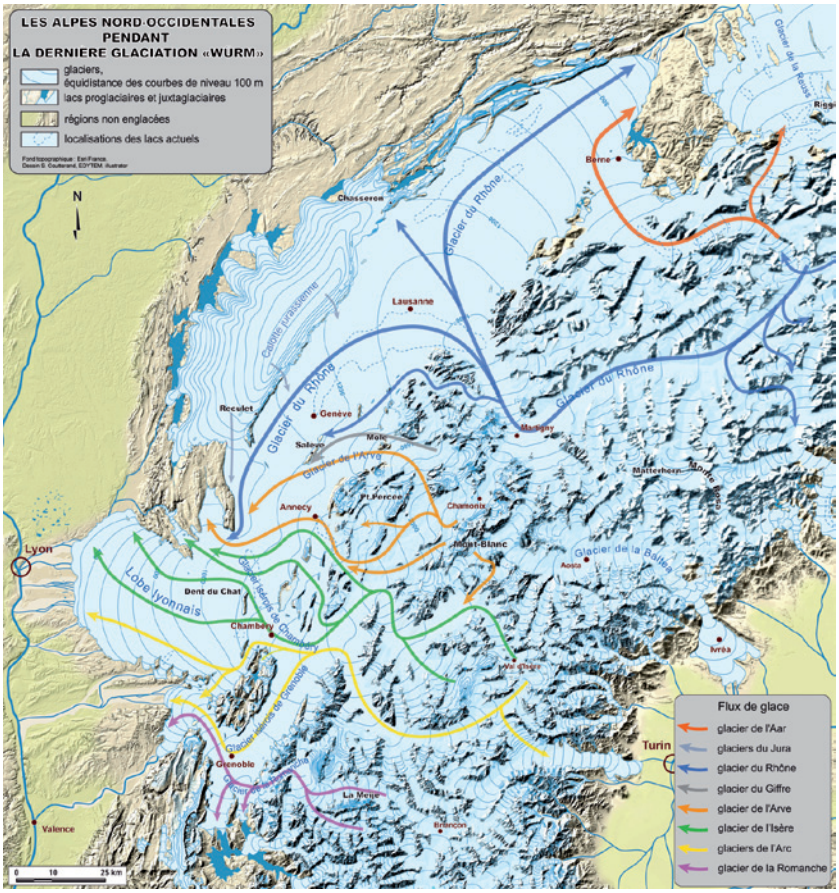


Fig. 4.4 : Carte des Alpes nord-occidentales durant le dernier maximum glaciaire (LGM). S. Coutterand.

La limite d'extension SW du glacier du Rhône a été récemment remise en question par Coutterand et al. (2009) et Coutterand (2010). Pendant plusieurs décennies, le lobe glaciaire identifié au nord de Lyon (le « lobe lyonnais ») a été assimilé au « front » SW du glacier du Rhône (Mandier, 2003). Autrement dit, la glace composant le lobe lyonnais était considérée comme provenant en grande partie du glacier du Rhône. Rejoignant l'hypothèse de Falsan et Chantre (1879), Coutterand propose une nouvelle reconstitution des flux glaciaires dans les Alpes du Nord. Selon cet auteur, le lobe de piémont du glacier du Rhône s'étend de manière équilibrée entre son flux NE et son flux SW. Sa limite d'extension SW se situe quelque part entre Genève et Lyon, barrée par les glaciers savoyards (Fig. 4.4) (voir plus loin « Du glacier du Rhône au glacier du Valais »). Il ne s'agit pas d'un front glaciaire à proprement parler, puisqu'aucun dépôt morainique n'en marque la position.

Malgré cette distinction importante, plusieurs caractéristiques du glacier du Rhône ne sont pas élucidées, en particulier la question de ses extensions maximales et des modalités de son retrait, notamment, du point de vue de leur chronologie : les observations sur le maximum d'extension glaciaire sont interprétées différemment selon les auteurs et les régions et leurs hypothèses peuvent entrer en contradiction, indiquant tantôt une extension maximale puis une extension plus restreinte (Burri, 1963) tantôt une extension restreinte puis une extension maximale (Arn, 1984) (Fig. 4.6). Les datations obtenues sur les deux flux glaciaires (NW, SW) ne correspondent pas et donnent des âges différents pour le maximum d'extension (Guiter et al., 2005; Preusser et al., 2006). La relation du glacier du Rhône avec les glaciers secondaires est encore discutée, notamment en ce qui concerne l'importance de la récurrence des glaciers locaux (Gagnebin, 1937; Burri, 1963; Arn, 1984; Schoeneich, n.d.). Les modalités de la déglaciation finale sont de mieux en mieux cernées (Moscariello et al., 1998a; Reynard et al., 2009) mais sa chronologie est encore incertaine. L'hypothèse du culot de glace morte (Moscariello et al., 1998a; Schoeneich, s.d.-b) est, quant à elle, efficacement rejetée par les données de géophysique obtenues par Fiore (2007) et Fiore et al. (2011), dans le Léman.

Le niveau maximum d'extension dans le Chablais

Le niveau maximum atteint par le glacier du Rhône dans le Chablais a été retracé par différents auteurs. Ces derniers ne s'avancent pas toujours sur l'attribution à la dernière ou à l'avant-dernière période glaciaire (antérieur au SIO 5) des témoins reconnus les plus élevés.

- Dans les **Préalpes vaudoises**, Favre et Schardt (1887) et Jeannet (1918) mentionnent des blocs erratiques rhodaniens[2] à 1550 m (Panex), 1430 m (Leysin), 1500 m (Les Agites) et 1475 m (Hauts de Caux). Ces dépôts discontinus sont considérés par Schoeneich (1998a) comme peu fiables et susceptibles d'appartenir à des stades glaciaires antérieurs (SIO6). Le plus ancien stade continu pouvant être reconstitué serait alors l'équivalent d'un stade lémanique (Arn et al., 1996; Schoeneich et Nicoud, 1998; Schoeneich et al., 1998) dont le front ne dépasserait pas le bassin lémanique, ni au SW, ni au NW, à 1250 m au niveau de Corbeyrier (terrasses de kame de Luan et Corbeyrier). En rive gauche, nous n'avons pas trouvé d'informations sur

2 Pour ces auteurs, les indicateurs rhodaniens régionaux sont les blocs de conglomérat carbonifère et les blocs cristallins, principalement des gneiss. A partir d'Aigle, la « Brèche des Ormonts » est considérée comme caractéristique du flux rhodannien.

le niveau maximum autres que celles des cartes géologiques. Sur la feuille de Monthey (Badoux, 1960), le glaciaire rhodanien est indiqué jusqu'à une altitude de 1120 m au-dessus de Monthey et 1320 m au-dessus de Vionnaz.

- Dans le **massif du Chablais**, Burri (1963) passe en revue le matériel rhodanien signalé par différents auteurs. Il en mentionne par exemple à 1550 m, au cœur du synclinal des Mémises[3] (selon une communication verbale de H. Badoux), 1300 m (vallon de Bernex et vallée d'Abondance), 1250 m au col de Corbier. Selon Burri, il s'agit souvent de blocs cristallins isolés qu'il attribue, pour les plus élevés, à une diffluence du glacier du Rhône par le Pas de Morgins (vallée d'Abondance) et du glacier de l'Arve par le col des Gets (vallée de Morzine). Il propose une reconstitution de l'extension maximale du « Würm (Würm I) » en fonction de la fréquence des éléments rhodaniens. Sa carte montre un glacier du Rhône connecté avec les glaciers des Dranses (Fig. 4.5).
- L'altitude de 1250 m est globalement retenue pour le dernier maximum « würmien » dans le **bassin lémanique** sur la base des observations de Burri (1963). Il s'agit principalement de la limite supérieure de la moraine de fond rhodanienne (Triganon et al., 2005). Cette limite pourrait être élevée à 1300-1350 m sur la plateau Gavot, suite aux travaux de Coutterand (2010).
- La position du **front glaciaire** correspondant à ce dernier maximum est connue avec exactitude, à Wangen, en ce qui concerne le flux NW du lobe de piémont. La limite d'extension SW du glacier du Rhône, quand à elle, n'est pas identifiée. Aucune crête morainique ni terrasse correspondante n'a été découverte. Elle est envisagée dans les environs de Culoz, sur la bordure SW du Jura (Coutterand et al., 2009; Coutterand, 2010) (Fig. 4.4).

Les stades et récurrences du bassin lémanique

Plusieurs stades ou récurrences du glacier du Rhône ont été reconnus dans le bassin lémanique. Dans le meilleur des cas, leur identification repose sur des moraines frontales sous-lacustres. Plusieurs reconstitutions ont été proposées, sur la base des témoins conservés en rive gauche du Léman dans le Bas-Chablais (cordons, chenaux, terrasses, dépôts glaciolacustres) (Vial, 1976; Chazal & Grange, 2002). Faute d'indices, les auteurs se prononcent rarement sur l'ampleur du retrait précédant les récurrences. Nous reportons ici les étapes les mieux documentées.

- Le premier stade de retrait conservé du flux SW du glacier du Rhône situe son front à **Laconnex** (Moscariello et al., 1998a). Il s'agit d'un arc morainique frontal déposé dans un environnement lacustre, associé à différents dépôts de la région genevoise. La superposition de deux tills basaux démontre le caractère de récurrence de ce stade.
- Le second stade de retrait est identifié par un dépôt frontal correspondant à la colline de la vielle ville de **Genève**. Ce dépôt est interprété par Moscariello et al. (1998a, p. 190) comme « un lobe sédimentaire lacustre à structure deltaïque formé au front ou en position légèrement latérale du glacier du Rhône ».

3 Le bloc erratique en question a été observé par A. Guyomard. Il est aujourd'hui disparu, suite à des travaux d'entretien des pistes de ski de la station de Thollon-les-Mémises (comm. pers.).

- Au niveau du sillon lémanique, deux épisodes de récurrence sont clairement identifiés (Fiore et al., 2011). Il s'agit de deux moraines frontales et sous-lacustres à l'aval de **Coppet** (Céligny) et à l'aval de **Nyon**.

Un certain nombre d'observations latérales, marquant des niveaux de glace peuvent être corrélées plus ou moins fermement avec les positions de front précitées.

- Un niveau de glace est estimé à 850 - 900 m d'altitude dans le bassin lémanique. Il coïnciderait avec la formation des lacs de barrage repérés par Burri (1963) dans les vallées des Dranses (Nicoud et al., 1993). Les dépôts associés à ce stade sont reconnus dans la région d'Evian sous la forme de till et d'alluvions glaciolacustres et forment le «**complexe du plateau Gavot**» (Triganon et al., 2005). A la hauteur de Thonon, une première génération de terrasses fluvioglaciaires, affleurant entre 770 et 500 m et enfouie entre 500 et 430 m, est attribuée au retrait de ce même stade (Chazal & Grange, 2002). L'importance de certaines accumulations et leur relativement bonne représentation sur le territoire indique que cette position a pu être de longue durée, incluant des variations latérales de la glace (Triganon, 2002). Ces témoins latéraux pourraient correspondre au stade de Genève (Moscariello et al., 1998a).
- Un second niveau latéral a été mise en évidence par différents auteurs (Moscariello et al., 1998a; Triganon, 2002; Chazal & Grange, 2002; Guiter, 2003). Il correspond à une altitude de glace de 650 m environ à hauteur d'Evian et se traduit par des dépôts glaciolacustres puis glaciaire (till), rassemblés sous l'appellation de « **complexe emboîté** » (Triganon et al., 2005). Les terrasses fluvioglaciaires de Thonon portent également la trace de ce niveau de glace, qui peut-être qualifié de récurrence, comme l'indique la présence till recouvrant une première génération de terrasses, recouvert lui-même d'une deuxième génération de terrasses entre 500 et 430 m (Chazal & Grange, 2002). Ce niveau peut-être corrélé aux deux fronts situés dans le Petit Lac, soit, les stades de Coppet et de Nyon.
- Il faut en outre mentionner l'hypothèse d'un « **stade lémanique** » envisagé par différents auteurs (Monjuvent & Nicoud, 1988a; Arn et al., s.d.) et définis sur la base des accumulations latérales du Chablais et de la Riviera (Arn et al., 1996; Schoeneich et Nicoud, 1998; Schoeneich et al., 1998; Schoeneich et al. 2007). Ce stade a pu être de longue durée et correspondre à plusieurs positions du front dans la région genevoise, en particulier, Laconnex et Genève.

Les stades de la vallée du Rhône

Les témoins attribués aux glaciers du Rhône sont répartis sur le territoire du Chablais de façon hétérogène. Nous mentionnons ici des études menées sur des terrains voisins. En effet, certains repères de la vallée du Rhône ou des piémonts alpins permettent des corrélations avec des stades identifiés dans le Chablais. Les références sont citées d'amont en aval.

- Dorthe-Monachon (1993), sur la **rive droite du Rhône en amont de Martigny**, ne repère aucun témoin d'un englacement maximal à attribuer au glacier du Rhône. Elle met par contre en évidence un stade de retrait, sous le nom de stade de Rumeling qui, selon cette auteure, aurait pu correspondre géométriquement au « stade lémanique » (900 m à la Dala, 750 m à Fully), estimé du début du Tardiglaciaire.
- Plusieurs travaux sont menés dans les vallées de la **rive gauche du Rhône en l'amont de Martigny** notamment par les chercheurs de l'Université

de Lausanne, à partir des années 1970. Burri (1974) étudie les vallées des Dranses valaisannes. Il ne repère pas de traces d'une extension maximale du glacier du Rhône. Il s'attache à décrire les stades tardiglaciaires des vallées latérales qu'il regroupe en quatre stades (moraines basses, à l'extérieur des vallées ; moraines basses, à l'intérieur des vallées ; moraines intermédiaires, moraines historiques). Ce schéma morphostratigraphique sera réutilisé et affiné par la suite dans d'autres vallées (pour une revue complète de cette littérature, voir Scapozza, 2013).

- Dans la **région de Monthey**, une moraine rhodanienne est identifiée, avec ses imposants blocs erratiques cristallins à une altitude comprise entre de 650 et 550 m (de Charpentier, 1841). Il s'agirait d'un stade de retrait.
- Schoeneich (1998a) retrace avec précision les relations du glacier du Rhône avec son affluent de la **Grande Eau** et propose une chronologie de déglaciation pour la période tardiglaciaire.
- Reynard et al. (2009) proposent une reconstitution des niveaux lacustres (Léman) dans la **plaine du Rhône** depuis le début du Tardiglaciaire. Cette synthèse s'appuie sur de nombreux travaux (Burri, 1961, 1981; Gabus et al., 1987; Schoeneich, 1998c). Le premier épisode mentionne un glacier du Rhône qui franchit encore le verrou de Saint-Maurice mais se termine en une langue amincie et flottante dans un Léman atteignant la cote de 400 m. Plusieurs cônes tronqués pourraient correspondre à cette position, notamment le delta d'Ollon, déposés par les cours de l'Avançon et de la Gryonne, déviés par la présence du glacier dans le plaine.

Les glaciers secondaires

Si le glacier du Rhône est abondement étudié, les glaciers secondaires n'ont pas bénéficié d'autant d'attention. Pour replacer cette situation dans son contexte, il faut préciser que le Rhône « englobe » une partie des flux secondaires au plus fort de son extension. Les glaciers latéraux se situent alors au-dessus de la ligne d'équilibre et hormis l'érosion du fond des vallées et des dépôts latéraux, il ne se passe pas grand-chose au niveau de ces appareils. Ce n'est qu'en période de déglaciation avancée du massif que des traces d'activité peuvent être repérées.

Les glaciers des Dranses

A notre connaissance et hormis pour la préparation des cartes géologiques (Badoux, 1965a; Plancherel et al., 1998), Burri (1963), Arn (1984) et secondairement Guffroy (1988) sont les seuls auteurs qui aient étudié le Quaternaire des vallées des Dranses.

Les premières traces laissées par ces glaciers secondaires sont placées au « Würm II » par Burri, c'est-à-dire lors de la deuxième avancée du glacier du Rhône, proposée par cet auteur (Fig. 4.5 et 4.7 A.). Les appareils locaux seraient alors les premiers à avancer, déposant des cordons latéraux entre 1400 et 800 m. Par la suite, le glacier du Rhône, en crue, stoppe l'écoulement des cours d'eau proglaciaires des Dranses, ce qui provoque la formation de lacs de barrage dans les parties inférieures des vallées. Le glacier du Rhône recouvrira ces sédiments glaciolacustres au fur et à mesure de son expansion, jusqu'à une altitude maximale de 850 m. Les glaciers locaux ont alors déjà entamé leur décrue (Fig. 4.5). Les cordons frontaux des glaciers locaux ne sont pas conservés étant donné que ces glaciers se terminaient dans les lacs de barrage, empêchant la constitution de cordons reconnaissables.

Une vingtaine d'années plus tard, Arn (1984) reprend méticuleusement l'étude des affleurements quaternaires des vallées des Dranses. Ses observations et interprétations complexifient le modèle proposé par Burri. Arn fait intervenir plusieurs générations de lacs de barrage. Certains de ces lacs seraient provoqués par les glaciers locaux dont les extensions ne seraient pas synchrones ou par des barrages morainiques.

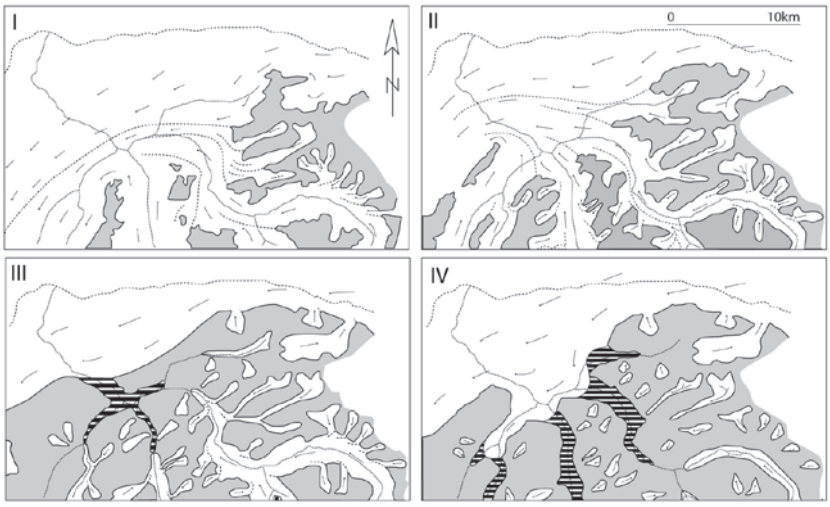


Fig. 4.5 : Essai de reconstitution de divers stades de glaciation : I Riss. II Würm 1. III Würm 2 (glacier du Rhône en expansion, glaciers locaux à leur maximum). IV Würm 2 (glacier du Rhône à la fin de son maximum, glaciers locaux déjà en régression) (Burri, 1963).

Les hautes vallées ne sont que très peu prospectées. Conformément à ce qu'indiquent les cartes géologiques (Badoux, 1965a; Plancherel et al., 1998), de nombreux cordons y sont conservés. Leurs altitudes élevées et leurs positions proches des cirques les rattachent aux stades tardiglaciaires. Guffroy (1991) mentionne certaines de ces morphologies dans son travail de mémoire pour la région du Mont de Grange.

Deux particularités régionales sont discutées par l'ensemble des auteurs. Une **récurrence importante et tardive** des glaciers locaux après la disparition du glacier du Rhône du bassin lémanique et de la plaine du Rhône est postulée par certains auteurs (de Charpentier, 1841; Jeannet, 1918; Burri, 1961). Cette conception est consignée sur les cartes géologiques régionales suisses et françaises (Badoux, 1965a, 1965b; Badoux & Burri, 1971; Badoux et al., 1990). Elle sera pourtant modifiée par Burri (1963) et Arn (1984), puis Schoeneich (1998a, n.d.). Cette récurrence, d'extension réduite est alors placée au tout début du Tardiglaciaire, alors que le glacier du Rhône occupe encore la plaine du Rhône.

Du **matériel cristallin**, sous la forme de blocs erratiques de granite, de gneiss ou de quartzite est largement disséminé à l'intérieur du massif du Chablais (Fig. 4.6). Etant donné que le glacier du Rhône rencontrait un barrage de la part des glaciers des Dranses au plus fort de ses extensions, il n'a, par conséquent pas pu envahir le massif depuis le nord. Cet apport en blocs rhodaniens est donc attribué à des

diffluences par le Pas de Morgins et/ou le col des Gets (Burri, 1963; Plancherel, 1998).

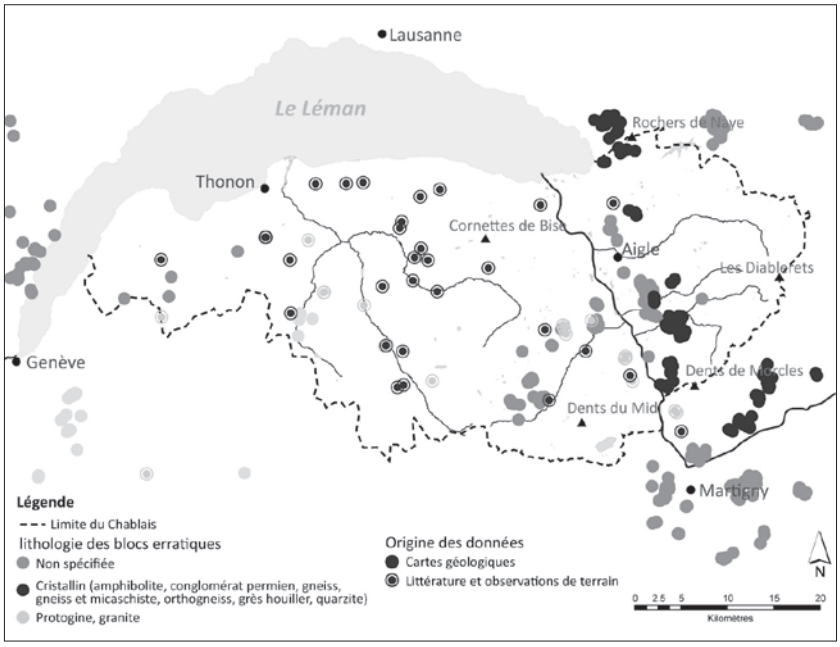


Fig. 4.6 : Carte de la répartition et de l'origine des blocs erratiques représentés sur les cartes géologiques (1:25'000 en Suisse ; 1:50'000 en France), mentionnés dans la littérature et observés sur le terrain.

Les glaciers de la rive droite du Rhône

Schoeneich (1998a) a étudié en détail une partie de la rive droite du Rhône afin d'y reconstituer le retrait glaciaire, en relation avec l'appareil principal du Rhône. L'auteur propose des cartes qui retracent les différentes étapes de déglaciation. Les glaciers locaux se seraient retirés avant le glacier du Rhône. Certains d'entre eux auraient connu une réavancée plus tardive, sans déborder de leur vallée. La zone d'étude (vallées des Ormonts, de l'Hongrin et de l'Etivaz) est déglacée au plus tard depuis le Bølling. De nombreux témoins sont répertoriés, dont des séries de cordons particulièrement bien conservés, attribués aux différents stades tardiglaciaires (Lioson, Forclaz).

Le glacier de l'Avançon n'a pas été étudié avec autant de soin. A notre connaissance, deux auteurs traitent de la région. Ce sont les travaux de Gabus (1958) pour l'élaboration de la carte géologique de la Suisse cités par Burri (1961) et une étude non publiée de Wetter (1987).

Les relations entre le glacier du Rhône et son affluent sont pour ainsi dire inconnues, tout comme l'organisation des flux glaciaires dans les vallées de l'Avançon et de la Gryonne.

Les glaciers de la rive gauche du Rhône

Nous n'avons pas trouvé d'étude sur les glaciers de la rive gauche du Rhône en aval de Martigny. La seule vallée bien développée est celle de la Vièze en amont de Monthey. Cette dernière semble avoir été rapidement déglacée puisque l'importante moraine latérale de Monthey est attribuée exclusivement au glacier du Rhône (Burri, 1961) et suppose donc que le glacier de la Vièze n'était plus en confluence à ce moment-là. Malgré nos recherches et conformément aux indications de la carte géologique (Gagnebin et al., 1934), nous n'avons repéré aucun sédiment lacustre ou fluviatile qui aurait pu résulter de la formation d'un lac de barrage provoqué par la présence du glacier du Rhône à l'embouchure de la vallée de la Vièze. Il faut préciser ici que les versants de cette vallée, composés principalement de flyschs, sont assez peu propices à la conservation de témoins glaciaires, du fait des nombreux glissements qui l'affectent.

On ne sait quasiment rien des petits glaciers qui ont formé le lac Tanay ou stationné dans la combe de Savalène, exception faite de quelques levés géomorphologiques qui nous ont été fournis par Ph. Schoeneich. Deux vallons sont un peu mieux documentés. Le cirque de Salanfe a fait l'objet d'un travail de mémoire (Rouiller, 2002) et la combe de Dreveneuse a été étudiée pour ses glaciers rocheux fossiles et éboulis froids (Dvorak, 2008; Dvorak et al., 2011; Morard, 2011).

4.1.5. Les scenarii de fluctuation glaciaire dans le bassin lémanique

Les différents auteurs qui ont travaillé sur le Quaternaire chablaisien ont proposé des chronologies glaciaires, sur la base de leurs observations de terrain ou de synthèses régionales. Pour les articles les plus récents, ces chronologies sont assorties de datations ^{14}C. Si certaines de ces reconstitutions tentent de détailler les interstades (appelés parfois interglaciaires), les plus récentes proposent des schémas plus globaux d'avancées et de retraits. Les comparaisons entre les reconstitutions sont rendues difficiles par l'emploi de référentiels différents. Nous présentons ici des travaux qui ne vont pas au-delà du début du Tardiglaciaire.

Burri (1963) propose une chronologie en accord avec celle de Gagnebin (1937). Elle débute au Riss et comprend deux avancées glaciaires würmiennes séparées par un interglaciaire. La première de ces avancées est celle qui atteint l'altitude la plus élevée (Fig. 4.7 A). **Blavoux** et **Brun** (1966) puis **Blavoux et al.** (1980), sur la base de la coupe de la Dranse et des données de forage de Sionnex (^{14}C et analyses polliniques), proposent un schéma en quatre phases glaciaires qui appartiennent toutes au Würm ou débutent au Riss selon l'interprétation qui est faite du premier interglaciaire (Fig. 4.7 B). **Arn** (1984) étudie plusieurs terrains en rive droite et en rive gauche du Léman. Cet auteur ne tient compte que des dépôts observables et non de leur absence dans une séquence sédimentaire. Il aboutit donc systématiquement à un plus grand nombre d'évènements que ses confrères. Arn propose une chronologie débutant au Mindel et un maximum d'extension tardif (Fig. 4.7 C). **Monjuvent et Nicoud** (1988b) entreprennent une synthèse de la glaciation würmienne dans l'arc alpin occidental et les massifs français. Leur interprétation générale suit celle de Burri (1963)**. Moscariello** et al. (1998a) étudient la région genevoise. La déglaciation s'y effectue dans un environnement lacustre. Quatre stades de retraits sont mis en évidence sur la base de dépôts frontaux. Le premier et les deux derniers apparaissent comme des récurrences (Fig. 4.7E). Pour ces auteurs, la déglaciation, complexe et de longue durée, débute

après la première extension (Fig. 4.7 C). **Triganon** et al. (2002) et **Guiter** et al. (2005) reprennent l'étude des sédiments du plateau Gavot et précisent encore l'agencement du complexe glaciaire d'Evian grâce à de nouvelles données de forage (Fig. 4.7 F). Le schéma de Burri y reste d'actualité.

Cette revue des reconstitutions glaciaires régionales met en évidence la longévité du modèle proposé par Burri (1963), inspiré du travail de Gagnebin (1937). Ce scénario propose une crue maximale initiale du glacier du Rhône, suivie d'un retrait généralisé des glaciers. Le retrait s'effectue en étapes de moins en moins importantes autant du point de vue de l'altitude de la glace que de la position du front. Ces étapes peuvent apparaître comme des stades de stagnation du glacier aussi bien que des récurrences. Bien que les rives gauche et droite du Léman, à hauteur de Thonon enregistrent des interstades (développement de la végétation) et donc, un retrait temporaire de la glace, Moscariello et al. (1998a) soulignent que le glacier n'a probablement pas quitté le bassin lémanique durant cette période de retrait et envisagent des variations principalement latérales durant les interstades. Le glacier du Rhône apparaît être resté longtemps alimenté par le bassin versant alpin, comme en témoigne l'abondance et la nature des sédiments lacustres. Deux auteurs seulement ont proposé des reconstitutions correspondantes (Pléniglaciaire uniquement) pour les glaciers des Dranses (Burri, 1963; Arn, 1984).

Si le schéma global de la dynamique glaciaire fait l'objet d'un relatif consensus, il n'en est pas de même pour la contrainte chronologique des fluctuations glaciaires. Les éléments de datations utilisés par les auteurs cités plus haut sont principalement des profils polliniques (datations relatives) et des datations ^{14}C (datation absolues). Nous reviendrons sur cette question un peu plus loin.

Dans la suite de ce travail, nous allons nous restreindre à la dynamique du dernier cycle glaciaire (SIO4 – SIO2). Bien qu'il semble plausible que des témoins antérieurs aient été conservés, dans la région genevoise (Moscariello et al., 1998a), la vallée des Dranses (Burri, 1963) ou aux pieds du Jura (Arn, 1984), les témoins sont rares et relativement mal connus. N'ayant fait aucune observation nouvelle sur ces périodes anciennes, nous ne les prendrons pas en compte dans notre reconstitution des flux glaciaires. Nous débuterons donc cette reconstitution au dernier maximum glaciaire local (LLGM (Smith et al., 2005)), considérant, avec la majorité des auteurs locaux, que cette avancée est maximale pour le dernier cycle glaciaire. Nous considérerons ensuite des phases de stagnation et de récurrences successives, aboutissant à la déglaciation totale du bassin lémanique puis de la plaine du Rhône en amont du verrou de Saint-Maurice, dans des conditions lacustres.

4.1.6. Reconstitutions glaciaires : les problématiques actuelles

Comme nous avons pu le constater en effectuant cette brève synthèse bibliographique, les éléments de connaissance des fluctuations glaciaires chablaisiennes sont à la fois riches et pauvres, anciennes et récentes, précises et vagues. Nous voyons plusieurs facteurs possibles à cette ambiguïté. Tout d'abord, le bassin lémanique est une zone intermédiaire sur le passage du glacier du Rhône lors de son extension maximale. Il est très proche de la ligne d'équilibre estimée par Coutterand (2010) à 1350 m lorsque que le volume de glace est important. Dans ces conditions, cette région n'enregistre que des formes d'érosion. Ce n'est que lors de phase de retrait ou de récurrence que des accumulations de

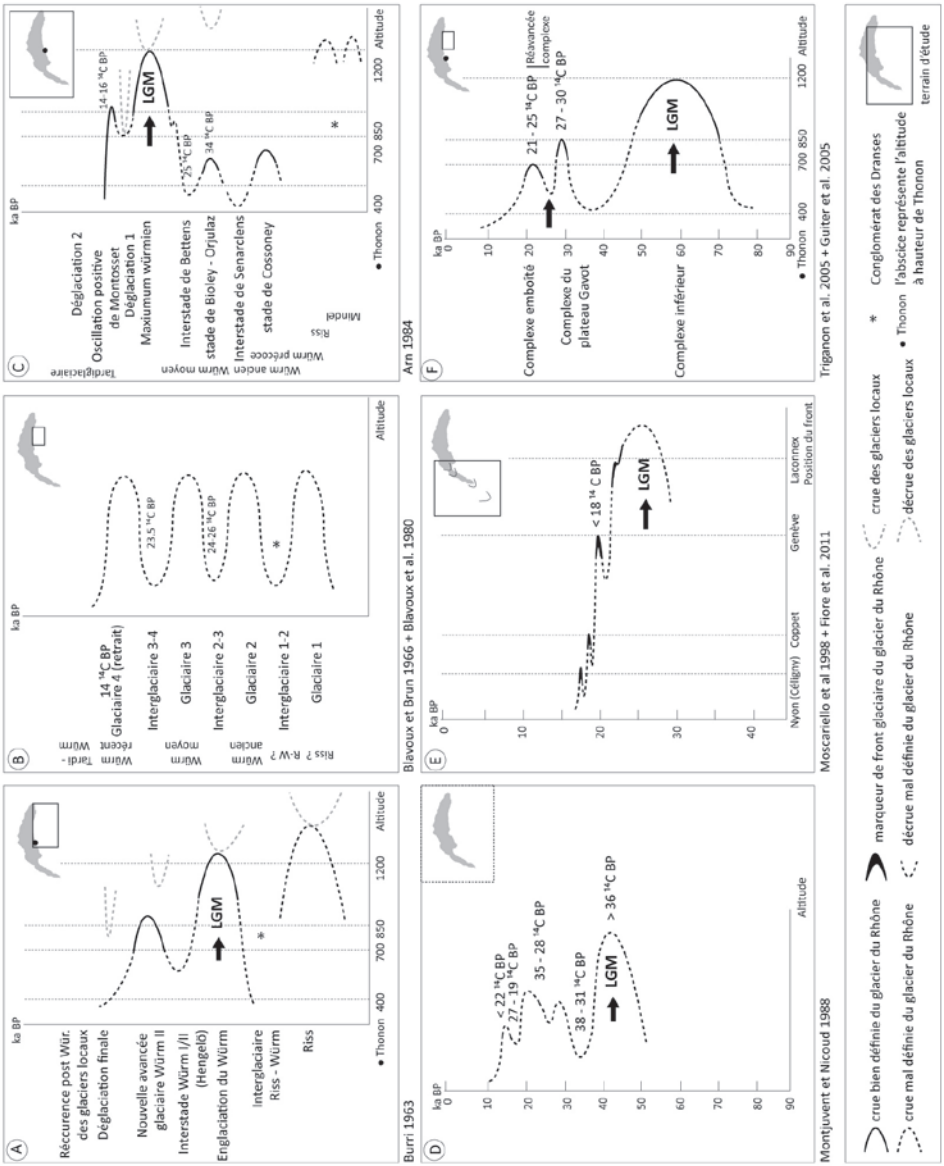


Fig. 4.7 : Représentation des différentes chronologies glaciaires proposées dans la région du Chablais. Les ordonnées et les abscisses varient en fonction des études. Les dates indiquées sont reprises des publications originales (^{14}C non calibrées). Seuls les encadrés C et F sont calqués sur des présentations proposées sous cette forme par les auteurs. Les autres ont été dessinés par nos soins sur la base d'articles et sont donc extrapolés.

matériaux erratiques sont possibles. Ensuite, cette zone intermédiaire est située à la bifurcation des flux de glace SW et NE du glacier du Rhône. Une dissymétrie des dépôts de la rive gauche et de la rive droite du Léman ne serait pas surprenante. La comparaison des différentes chronologies fait apparaître certaines concordances, comme l'existence de récurrences glaciaires. Les discordances quant à elles

nous semblent plus reposer sur l'absence de certains marqueurs que sur des informations véritablement incompatibles. Les témoins quaternaires sont pourtant bien connus pour leur sporadicité, leur variabilité dans l'espace et leur vulnérabilité face à l'érosion. L'absence de till ne devrait pas, selon nous, exclure la possibilité d'une progression glaciaire, surtout en cas d'observations ponctuelles. Outre ces incertitudes, une deuxième thématique alimente le débat des fluctuations glaciaires. Les éléments de datation sont apportés à la réflexion sur le Quaternaire depuis les années 1950, d'abord par l'intermédiaire des profils polliniques, puis grâce aux datations radiocarbones. Ces marqueurs chronologiques sont utilisés pour établir des chronologies locales mais également pour établir des corrélations avec des terrains voisins. Avec l'établissement des courbes isotopiques océaniques et antarctiques, et l'émergence de signaux climatiques globaux, les corrélations se font maintenant à l'échelle mondiale. De manière générale, nous pouvons noter, au fil du temps et des nouveaux travaux, une augmentation du nombre de fluctuations envisagées. Les périodes de retrait semblent pouvoir être accélérées alors que les périodes d'avancée sont considérées comme plus lentes que les retraits.

La question non élucidée de la chronologie glaciaire

La chronologie des avancées et retraits glaciaires alpins est étudiée depuis le début du siècle dernier (Penck & Brückner, 1909). Le flux NE du complexe glaciaire Isère - Rhône est examiné par les Universités du Nord de la Suisse (Schlüchter, 1988), le bassin lémanique par les Universités de Genève (Moscariello et al., 1998b) et du sud de la France (Blavoux, 1988), les environs de Lyon par les Universités de l'Est de la France (Mandier, 1984). Dès les années 1950, des datations numériques sont proposées par certains auteurs pour caler dans le temps certains témoins quaternaires. Cependant, les données qui concernent directement le bassin lémanique restent peu abondantes et sont parfois soumises à caution par leurs auteurs (Guiter et al., 2005; Moscariello et al., 1998b). Il s'agit exclusivement des dates ^{14}C qui sont publiées, souvent sans calibration.

La question principalement débattue par les chercheurs est celle de la période du dernier maximum d'extension glaciaire et ce, à l'échelle du globe (Clapperton, 1995; Gillespie & Molnar, 1995). Pour résumer très brièvement la situation, la majorité des régions alpines semble avoir connu un maximum d'extension glaciaire correspondant au LGGM (*Last Global Glacial Maximum*) tel que défini à un niveau mondial sur la bases des carottes antarctiques et océaniques, vers 20 ka BP. Ce constat est essentiellement basé sur des âges d'exposition (SED) des cordons morainiques frontaux par l'intermédiaire de blocs erratiques. Quelques régions cependant fournissent des indications différentes. Au niveau du lobe lyonnais et dans la région d'Evian, les datations ^{14}C témoignent d'une extension maximale antérieure au LGGM. Dans la région d'Evian cette extension maximale pourrait avoir eu lieu vers 40 ka BP (âges ^{14}C calibrés) suivie d'extensions plus réduites (27 ka BP, âges ^{14}C calibrés) (Triganon et al., 2005). Il découle de ces résultats contradictoires un postulat : le maximum d'extension glaciaire à l'échelle mondiale pourrait être - largement - asynchrone selon les massifs (Schoeneich, 1998b). L'asynchronisme pourrait également concerner la chaîne alpine (Brun, 2000). Cette hypothèse est avancée sur le constat que certaines régions des Alpes connaissent actuellement des différences climatiques notables. Cependant, à l'échelle d'un même appareil glaciaire comme celui du glacier du Rhône et bien que séparé en deux flux formant un important lobe de piémont, l'asynchronisme reste difficile à

envisager. Le Chablais se situant en position intermédiaire entre le terminus SW (région genevoise) et le terminus NE (Wangen) du glacier du Rhône, la recherche sur ce territoire doit tenir compte des éléments des deux flux glaciaires. En effet, la glace doit passer par le bassin lémanique pour s'étendre sur le plateau suisse (Guiter et al., 2006). On peut encore mentionner que les dépôts chablaisiens enregistrent les fluctuations latérales du glacier alors que les dépôts du NE de la Suisse enregistrent les fluctuations frontales du même glacier. Le terminus SW quant à lui ne semble pas avoir laissé de traces reconnaissables.

Le LGGM semble être suivi, toujours d'un point de vue global, d'une déglaciation généralisée ponctuée de récurrences dont certaines ont pu être importantes. De ce point de vue, la situation lémanique pourrait correspondre au schéma général. En ce qui concerne le Tardiglaciaire, les études se sont concentrées sur les glaciers secondaires, qui présentaient le plus de témoins observables. Le comportement du glacier du Rhône pendant cette période est mal cerné.

De tous ces éléments, l'enjeu principal des recherches actuelles nous semble être la confirmation ou l'infirmation de la correspondance des dynamiques glaciaires locales par rapport au signal climatique global enregistré par les calottes et océans. Cet enjeu souligne une question également débattue : le comportement des glaciers peut-il être utilisé comme un outil de reconstruction des paléoclimats ?

Du glacier du Rhône au glacier du Valais

La déglaciation du bassin lémanique implique essentiellement le glacier du Rhône, secondairement, la calotte jurassienne et les glaciers locaux (Dranse, Grande Eau, etc.). L'abondance des matériaux erratiques, dont de volumineux blocs cristallins, a permis d'établir rapidement - une fois les bases de la théorie glaciaire acceptées - le contour des anciens appareils glaciaires lors de leurs extensions maximales. Les représentations qui en ont été faites ont contribué à figer une image des Alpes recouvertes de glace dans une temporalité imaginaire. Cette représentation est due à la simplification obligatoire que sous-entend le processus cartographique. Elle est rarement soulignée par les chercheurs (Bini et al., 2009). Suite à des travaux récents, les quaternaristes se rendent compte que la dénomination de glacier du « Rhône » mériterait d'être modifiée tant elle induit une conception biaisée des flux glaciaires (Bini et al., 2009). Lors de périodes de fort développement de la glace, cette dernière semble s'affranchir des réseaux de vallées qui préexistent à son installation et poursuivre une croissance en dômes plus qu'en glaciers de vallée. C'est ce qui a été constaté dans les Alpes helvétiques, sur la base de relevés des traces d'érosion glaciaire enregistrant la direction des flux (Florineth & Schlüchter, 1998; Kelly et al., 2004). Les grands appareils reconstitués à l'aide de modèles numériques apparaissent, lors du LGM (*Last Glacial Maximum*), comme des glaciers de transsection, dont la direction des écoulements n'a plus grand-chose à voir avec le réseau hydrographique actuel, les « dômes » provoquant des diffluences et transfluences. Dans le cas du glacier du « Rhône », les flux de glace proviennent essentiellement du sud du Valais (dôme du Mattertal) alors que la glace formée dans la région de Conches, soit le bassin du glacier du Rhône actuel « perd » de la glace en direction du sud-est (col du Nufenen), du nord-est (col de la Furka) et du nord (col du Grimsel) (Kelly et al., 2004). Ces découvertes ont poussé le collectif quaternariste en charge de la publication de la nouvelle version de la carte « La Suisse durant le dernier maximum glaciaire (LGM) » à modifier la dénomination de glacier du Rhône en glacier de Valais. Toujours selon Kelly

et al. (2004), il faut envisager une grande complexité des flux glaciaires qui ont transporté le matériel erratique valaisan (de rive droite et de rive gauche) jusqu'à Wangen, terminus enregistré du glacier du Valais au NE, sur le plateau helvétique. Des événements de *surge* sont probables.

Des nouveautés sont également enregistrées au niveau des lobes de piémont. L'une des plus intéressantes découvertes de ces dernières années est d'avoir pu distinguer les différents flux formant le qui s'avançait jusqu'à Lyon. Depuis la synthèse de Penck et Brückner (1909) et malgré les travaux de Falsan et Chantres (1879), le lobe lyonnais est attribué aux glaces des Alpes centrales, selon la dénomination de « glacier du Rhône » (*Rhodanischer Gletscher*). Cette conception est longuement reprise par les auteurs postérieurs (Campy, 1985; Buoncristiani & Campy, 2002) jusqu'à ce que Mandier (2003) soulève la question de l'alimentation des lobes de piémont. La remise en question du modèle est lancée et interrogée par Schoeneich (1998b, 2002), Coutterand et al. (2009) et Coutterand (2010). Ces recherches ont montré que le lobe lyonnais est essentiellement alimenté, lors du LGM, par les glaces de l'Isère et de l'Arc. Ces recherches se fondent sur une reconsidération des zones d'alimentation glaciaire et de la ligne d'équilibre ainsi que sur une étude détaillée des matériaux erratiques par l'intermédiaire des minéraux lourds. Ramenant, les appareils à des proportions plus équilibrées, le glacier de l'Arve, séparé entre vallée de l'Arve et val d'Arly, arrive à hauteur de Belley alors que la branche SE du glacier du Valais ne dépasse par la montagne du Grand Colombier (Fig. 4.4). Il est intéressant de noter que selon cette nouvelle vision du glacier du Valais, le flux méridional n'est plus associé à aucune moraine frontale au LGM. Il devient en outre envisageable que le front de Wangen puisse présenter une assynchronie par rapport au front de Lyon, puisqu'en dissociant les flux glaciaires, ce sont également les zones d'accumulation glaciaire qui sont dissociées.

Asynchronisme des maximums d'extension glaciaire dans le monde

La reconstitution des fluctuations glaciaires concerne trois niveaux de littérature différents. Les articles régionaux apportent généralement de nouveaux éléments dans la réflexion tels que des datations, des profils polliniques ou des logs sédimentaires (par ex. Triganon et al., 2005). La bibliographie de ces articles renseigne sur le champ global de réflexion envisagé par l'article et des corrélations avec les données climatiques mondiales sont parfois tentées (Preusser & Schlüchter, 2004; Ivy-Ochs et al., 2006), parfois non (Guiter et al., 2005). Des articles de synthèse reprennent différentes données et tentent d'organiser la réflexion en posant des jalons. Ces articles peuvent fournir des éléments théoriques (Monjuvent & Nicoud, 1988a). Ils ne donnent aucune nouvelles dates mais choisissent celles qui leur semblent les plus fiables. Ils s'efforcent en général d'asseoir une chronologie régionale (Monjuvent & Nicoud, 1988a, 1988b). Enfin, les synthèses au niveau mondial rendent compte de sérieux problèmes de synchronicité (Clapperton, 1995; Gillespie & Molnar, 1995).

Une des caractéristiques des témoins quaternaires, nous l'avons mentionné, est leur sporadicité et leur fragilité et paradoxalement, dans certains contextes, leur longévité. D'importantes lacunes peuvent être constatées dans les coupes, forages et autres séquences sédimentaires étudiées (Blavoux et al., 1980; Nicoud et al., 1993; Triganon, 2002). Ces lacunes peuvent être dues au fait que le sédiment (till,

épandages fluvioglaciaires, etc.) ne s'est pas déposé. Par exemple, certains glaciers sont, selon leurs stades de développement, riches ou pauvres en sédiments inclus dans la masse de glace. Il peut donc arriver qu'un glacier se retire sans laisser de till derrière lui. Ces mêmes lacunes peuvent également être dues au fait que le sédiment a été érodé par un épisode postérieur et ne laisse qu'une empreinte partielle ou aucune empreinte. Par exemple, une faible épaisseur de till peut correspondre à un épisode de grande ampleur. Dans ces conditions, l'asynchronicité constatée est-elle due à des impulsions climatiques ou est-ce qu'il s'agit d'un problème de dépôt et de conservation des témoins quaternaires ?

Des régions relativement éloignées peuvent connaître des différences climatiques notables. Même au niveau des Alpes, les influences des courants Nord ou Sud impliquent des particularités climatiques importantes. Cependant, dans le cas du glacier du Valais dont le lobe de piémont possédait deux flux divergents (NE et SW), il est difficile de concevoir des maximums d'extension éloignés de dizaines de milliers d'années. Plus troublants, les témoins quaternaires du bassin lémanique, qui se trouvent sur le « chemin obligé » (Monjuvent & Nicoud, 1988b) du flux septentrional du glacier du Valais enregistrent un maximum ancien et même, une suspicion de conservation de l'interstade éemien (ISO 5) à une altitude de 860 m (Guiter, 2003; Guiter et al., 2005) recouvert par un seul till conservé (tourbière de Maravant, plateau Gavot, identifié par analyse pollinique), estimée par l'auteur au Würm ancien (MIS4). Quelles sont les causes possibles de cette asymétrie ? Faut-il envisager deux maximums dont les témoins ne se retrouvent pas de manière uniforme au SW et au NE ? A notre connaissance, aucun auteur (sauf S. Coutterand) n'envisage sérieusement les possibilités de *surge* glaciaire, alors que ce processus est maintenant clairement identifié et observé sur les grands glaciers actuels (Himalaya, Alaska). Il serait surprenant que ce type d'avancée éclair, si elle a pu affecter les glaciers alpins, n'ait pas eu une incidence sur l'organisation des dépôts glaciaires, dépôts qui sont aujourd'hui utilisés pour contraindre la chronologie des fluctuations.

En conclusion

Le Chablais apparaît, à travers les nombreuses études qui y ont été réalisées comme un terrain à la fois riche en connaissances (la région d'Evian, par exemple) et encore plein de lacunes (le massif du Chablais, notamment). Ces zones d'ombre se situent à deux échelles, l'une spatiale et l'autre temporelle. D'un point de vue spatial, on constate la nécessité d'investiguer les zones d'altitude ainsi que les vallées secondaires (massif du Chablais, vallée de la Vièze, massif des Dents du Midi, vallées de la Gryonne et de l'Avançon). D'un point de vue temporel, les données régionales nécessitent d'être placées dans un schéma de compréhension plus global, au minimum à l'échelle du glacier du Rhône, tels qu'il a été redéfini par les travaux récents (Schoeneich, 2002; Coutterand et al. 2009 ; Coutterand, 2010).

4.2. Reconstitution des stades glaciaires

4.2.1. Problématique

Nous avons montré, en introduction de ce chapitre, que les recherches sur le Quaternaire du Chablais s'étaient focalisées sur certains secteurs, alors que

d'autres restaient quasiment inexplorés. Dans la mesure où nous travaillions dans un processus d'identification et de valorisation du géopatrimoine, une partie de notre recherche a été consacrée à compléter le repérage des morphologies glaciaires dans les secteurs les moins prospectés, dans le but d'identifier le type de morphologies glaciaires présentes dans le Chablais et leurs caractéristiques. Une bonne connaissance de ces morphologies nous a paru nécessaire pour l'élaboration d'un inventaire de géosites (chapitre 5) ainsi que pour la préparation d'un produit de valorisation géotouristique (chapitre 6). Ce travail de terrain avait également pour but de contribuer à l'établissement de cartes de stades glaciaires, focalisées sur le Chablais. Ces cartes de stades on été considérées comme des éléments clefs, propres à représenter une synthèse des connaissances actuelles sur les fluctuations glaciaires régionales et ce, notamment à destination du public. Nous exposons ici brièvement notre méthode de travail et résumons les résultats obtenus.

4.2.2. Méthodes

Etant donné le très grand périmètre concerné par cette étude (l'ensemble des trois Chablais), nous avons dû concentrer nos recherches sur un nombre limité de terrains et selon deux méthodes spécifiques, la cartographie géomorphologique et la datation relative des extensions glaciaires à l'aide du calcul des dépressions des lignes d'équilibre glaciaire (DLEG).

Sur la base de notre étude bibliographique (Fig. 4.1), nous avons choisi de prospecter en particulier les cirques glaciaires du massif du Chablais, des Dents du Midi et des Dents de Morcles. Nous avons apporté un soin particulier aux sites qui nous semblaient pouvoir être intégrés dans l'inventaire des géosites glaciaires, bien que la sélection des géosites n'aient été effectuée que postérieurement aux missions de terrain. Il en va de même pour les reconstitutions des DLEG, que nous avons effectuées en particulier sur les géosites potentiels, afin d'apporter des éléments de connaissance objective aux sites inventoriés.

Cartographie géomorphologique

Les cartes géomorphologiques ont été réalisées avec la légende de l'UNIL (Schoeneich, 1993; Schoeneich et al., 1998 ; Reynard et al., 2005), particulièrement adaptée aux terrains alpins. Cette légende se base sur la différenciation des formes selon leurs processus. Elle est particulièrement détaillée en ce qui concerne les processus glaciaires et périglaciaires (Schoeneich, 1998a). Nous avons effectué des levés géomorphologiques lors de plusieurs missions de terrain entre l'été 2009 et l'automne 2012. Nous avons été aidée par un stagiaire de l'UNIL, Gaël Petremand, qui s'est également chargé d'une grande partie de la numérisation des données. La cartographie du vallon de Nant a été réalisée en collaboration avec Simon Martin (2013). Elle a servi de base à l'élaboration de médias visuels à destination du public. Nous nous somme également appuyée sur des levés de terrains réalisés par Philippe Schoeneich, dans le Chablais valaisan (Recon – Chétillon – Croix, Eusin, Savalène).

Les cartographies ont été saisies sur un système d'information géographique (SIG) (ArcGis®), ce qui permet d'utiliser efficacement divers éléments complémentaires aux observations de terrain. Pour les besoins spécifiques du Chablais nous avons souvent utilisé les images aériennes et les modèles numériques de terrain (MNT). Ce type de document sert à préparer les observations *in situ* et à préciser les

limites des formes cartographiées au moment de leur saisie. Les MNT sont très utiles lorsque le couvert forestier est dense, s'ils sont d'une précision suffisante. Le MNT disponible pour la Suisse permet, par exemple, de distinguer des systèmes de cordons morainiques (glaciers des Martinets, Lac Lioson, vallée de l'Avançon) grâce à une précision au mètre. En France, le MNT que nous avons utilisé (Aster Gdem) n'offrait qu'une résolution à trente mètres, ce qui ne permet pas de distinguer certaines morphologies. L'utilisation d'un SIG offre la possibilité de croiser les supports d'information et assure la réutilisation des données qui se trouvent non seulement pourvues d'une légende standardisée, mais sont également géolocalisées.

Dépression de la ligne d'équilibre glaciaire

Cette méthode a été appliquée de manière relativement grossière et sur quatre sites jusqu'à son terme. Nous souhaitions avant tout vérifier l'âge possible des cordons morainiques laissés par les glaciers locaux dans les cirques d'altitude, en particulier dans le massif du Chablais pour lequel aucune étude de ce type n'avait été entreprise. Ces données étaient particulièrement utiles pour l'établissement de cartes de stade glaciaires précises au niveau des glaciers secondaires chablaisiens. Nous les avons également exploitées dans la partie inventaire (chapitre 5), à des fins de sélection des géosites, de manière à attribuer un « stade glaciaire » à chacun des géosites potentiels (cf. 5.3 Une méthode de sélection des géosites). Le site que nous avons utilisé est le vallon des Plagnes-Cubourré, qui comporte une série de cordons morainiques bien dessinés, dont deux positions principales identifiables à 1100 m (position du front : Greppy) et à 1300 m (position du front : Cubourré). Pour la reconstitution des surfaces glaciaires, nous avons utilisé un SIG, selon la méthode classique du partage des surfaces et en utilisant une valeur d'AAR de 0.67. Les valeurs obtenues (LEG Greppy 1300 m, LEG Cubourré 1625 m) ont été comparées avec les données des Préalpes vaudoises (Dorthe-Monachon & Schoeneich, 1993) pour en déduire des dépressions des lignes d'équilibre glaciaire pour ces deux positions. Nous obtenons, pour Greppy, une DLEG de 950 m et pour Cubourré une DLEG de 875 m, ce qui nous oriente vers les stades de Bühl pour la position de Greppy et de Steinach – Gschnitz pour la position de Cubourré. Pour comparaison, les valeurs estimées sur la base de l'enracinement des cordons morainiques montrent une différence de la LEG de + 70 m (Greppy) et de - 50 m (Cubourré).

4.2.3. Résultats

Les sites qui ont fait l'objet d'une cartographie complète sont (Fig. 4.8) : le vallon de Plagnes-Cubourré (HS), le cirque des Chalets de Pertuis (HS), les cirques de Recon-Chétillon-Croix et d'Eusin (VS), le cirque de Savalène (VS), les cirques d'Antème et de Soi (VS), le vallon de Nant (VD), le cirque de Paneirosse (VD). Certains sites ont fait l'objet d'une cartographie partielle : le cirque de Salanfe (VS), le vallon de Dreveneuse (VS), les cirques de Bise et de Darbon (HS), le cirque de Novel (VS), le glacier rocheux d'Entre la Reille et le vallon des Fonds de L'Hongrin (VD). Ces deux derniers sites ont été saisis sur la base des cartes établies respectivement pas J.-B. Bosson (2012) et Ph. Schoeneich (1998a). Les cartes géomorphologiques sont rassemblées dans l'annexe 2.

De nombreux autres sites ont fait l'objet de missions de terrain (cf. Fig. 5.4 chapitre 5) et bien que des morphologies glaciaires et périglaciaires y aient été repérées,

ces informations, souvent sporadiques sont restées à l'état de notes. Les sites de Graydon (HS), d'Ubine (HS), des Combes (HS), de Jambaz (HS), du Biot (HS), du Seythroux (HS), notamment, mériteraient une cartographie géomorphologique détaillée. Les vallées des Dranses nous ont semblé particulièrement riches en formations glaciaires, fluvioglaciaires et glaciolacustres. Un travail de cartographie et de sédimentologie viendrait combler un vaste flou sur l'origine et la mise en

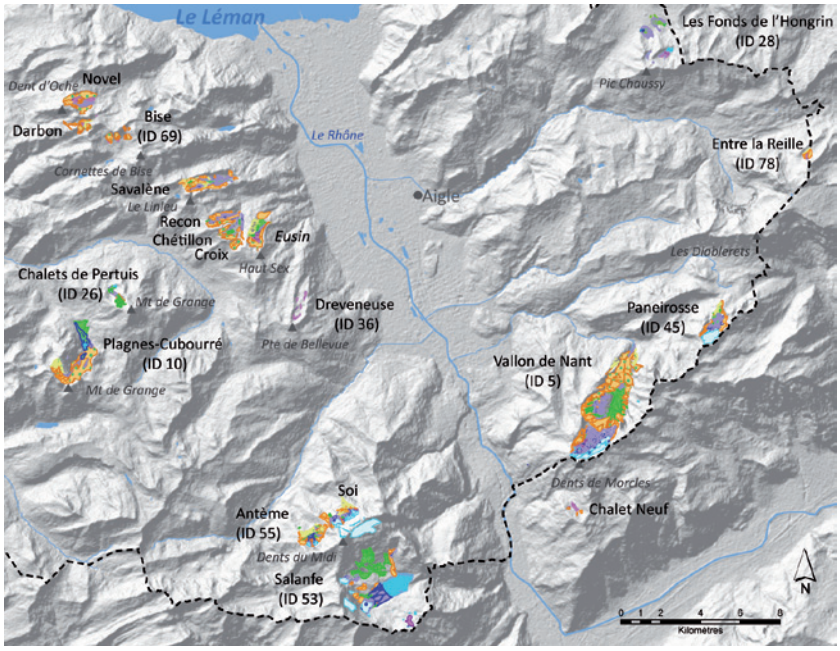


Fig. 4.8 : Localisation des cartographies géomorphologiques réalisées dans le cadre de ce travail (zones colorées). Les sites associés à un numéro d'identification (ID) sont intégrés à l'inventaire des géosites glaciaires présenté au chapitre 5. Fond de carte : relief ombré (Aster Gdem V2).

place de ces dépôts. Enfin, une cartographie plus générale de la composition des tills et de l'origine des blocs erratiques à l'intérieur des vallées des Dranses reste un travail à accomplir. Ces indications pourraient nous renseigner sur l'ampleur de la diffluence supposée du glacier du Rhône par le Pas de Morgins ainsi que sur le comportement des glaciers locaux par rapport à ces flux exogènes.

Ce travail de cartographie est donc resté relativement restreint par rapport à l'ensemble de notre région d'étude. Nous avons par exemple très peu exploré les vallées de Morzine et du Brevon. Il nous a cependant permis de repérer un certain nombre de morphologies glaciaires et de les prendre en compte dans l'inventaire des géosites glaciaires. Nous avons ainsi constaté que les cirques étaient riches en cordons morainiques, souvent bien conservés. Par exemple, les phases finales des glaciers situés dans les vallons affluents à la vallée du Rhône présentent des similitudes assez frappantes. Ces appareils semblent avoir été protégés par de hautes parois rocheuses orientées grossièrement SW-NE et avoir connu des stagnations prolongées qui se traduisent par la construction de très nets bastions

morainiques (Novel, Savalène, Recon, Eusin, Antème, Soi). Cette situation est particulièrement bien illustrée au vallon de Nant, par le glacier des Martinets.

Les observations que nous avons réalisées au niveau de cirques viennent compléter les informations présentes dans la littérature. Le Chablais apparaît ainsi comme une région où se côtoient des morphologies fossiles relativement anciennes (antérieures au dernier cycle glaciaire) et des formes actives (glaciers actuels), avec toute une série de formations intermédiaires. Elle est également caractérisée par la variété de ses témoins glaciaires et associés (Tab. 3.3 chapitre 3 et Tab. 5.2 chapitre 5). Au niveau des cirques, les cordons morainiques, glaciers rocheux et protalus ramparts dominent alors que les vallées sont riches en terrasses fluvioglaciaires ou fluviatiles et en dépôts glaciolacustres. Le Bas-Chablais est caractérisé par ses chenaux fluvioglaciaires, associés aux complexes de terrasses de kame et cordons morainiques du glacier du Rhône. La plaine du Rhône, quant à elle, rassemble des formes fluviatiles et gravitaires.

Les valeurs de la DLEG obtenues sur le site des Plagnes-Cubourré (voir plus haut, 4.2.4 Méthodes) constituent un premier pas vers une meilleure connaissance des stades tardiglaciaires du massif du Chablais. L'application de cette méthode nécessite une cartographie des formations glaciaires et périglaciaires détaillée qui reste encore à établir pour la majeure partie du Chablais. Nous avons cependant pu utiliser ces premiers résultats comme base d'estimation d'autres sites chablaisiens dans le contexte de notre inventaire des géosites glaciaires (chapitre 5).

Enfin, les cartes de stades réalisées pour l'exposition sur le patrimoine glaciaire (cf. chapitre 6) s'appuient sur quatre lots d'observations : 1) les travaux de S. Coutterand (2010) (synthèse sur le glacier du Rhône) ; 2) les travaux de Ph. Schoeneich (1998a) (cartographie géomorphologique et reconstitution glaciaire détaillée des vallées des Ormonts) ; 3) l'étude de Wetter (1987) (prospection dans les vallées des Avançons) ; 4) ce travail (synthèse régionale, cartographie géomorphologique, observation de terrain, datation cosmogénique). Une partie de ces cartes sont présentées au chapitre 6 « Exposition glaciaire ». Nous les utilisons également tout au long de ce travail, comme support, pour présenter nos données.

En conclusion

Ce travail de cartographie et de reconstitution nous a permis de mieux cerner les morphologies glaciaires dans les cirques et vallons d'altitude. En complément des éléments mentionnés par la littérature (articles et cartes géologiques), cet apport permet d'obtenir une vue d'ensemble des témoins glaciaires chablaisiens (types et caractéristiques). Il nous a surtout convaincue de l'intérêt d'une véritable exploration, en particulier, dans les vallées des Dranses. Un travail exclusivement consacré au Quaternaire et limité à des zones plus restreintes reste donc a réaliser. Cette partie de notre recherche nous a aidée à établir les bases d'une méthode de sélection spécifique pour les géosites glaciaires chablaisiens. Nous avons également pu intégrer un certain nombre d'éléments nouveaux dans l'inventaire des géosites glaciaires, en particulier dans les sections « morphogenèses » de l'inventaire. Enfin, nous avons pu contribuer à l'établissement des cartes de stades glaciaires préparées pour l'exposition itinérante sur le patrimoine glaciaire.

4.3. Datation du retrait glaciaire

Afin d'apporter quelques nouveaux éléments de discussion à la chronologie glaciaire régionale, le comité de pilotage scientifique de cette thèse et nous même avons décidé d'étudier principalement deux méthodes de datation et leurs applications possibles sur le terrain d'étude: la méthode OSL (*optically stimulated luminescence*) et la méthode SED (*surface exposure dating*). Nous avons été aidée par Philippe Schoeneich et Sylvain Coutterand pour élaborer une stratégie de datation. Sur la base de notre synthèse bibliographique (Perret, 2010), d'une campagne de reconnaissance sur le terrain et une première prise de contact avec les spécialistes des différentes méthodes, nous avons décidé d'effectuer des datations sur blocs erratiques à l'aide des **isotopes cosmogéniques produits in situ**. Une première série de datations se concentre sur le niveau maximum du glacier du Rhône dans le Chablais. Elle est suivie d'une deuxième série de datations qui tente de cerner un stade de retrait du même glacier au niveau de la plaine du Rhône.

4.3.1. Problématique générale

Le Chablais compte relativement peu de datations numériques et aucune datation absolue. Les publications proposent plusieurs types de chronologies relatives : palynologie, sédimentologie (carottages, étude de coupe naturelles ou de coupes de chantier), géomorphologique (détermination selon les positions des témoins, leur morphologie et leur état de conservation). La comparaison de ces chronologies est souvent difficile et hasardeuse (Schoeneich, 1998a). Les nomenclatures sont propres à chaque chronologie. Chaque stade ou période est assimilé à une unité climatique mais correspond en fait à des unités déduites d'observations fondées sur un type de marqueur. Ces unités ne sont pas nécessairement synchrones. Chaque discipline évoluant en parallèle, il est difficile de suivre les mises à jour de chacune. Comparer des unités résultant d'interprétations reste délicat. Pour ne rien arranger, des problèmes de vocabulaire viennent s'ajouter à des interprétations différentes selon les auteurs et les époques (Schoeneich, 1998a).

Les datations numériques sont obtenues généralement sur matière organique (^{14}C). Elles fournissent donc des âges pour les épisodes interstadiaires ou interglaciaires, sauf dans les très rares cas où de la matière organique est découverte dans des dépôts glaciaires (Jorda et al., 2000). Les âges radiocarbones doivent également être regardés avec un certain recul. Parmi les difficultés rencontrées, on doit envisager (1) les incertitudes liées à la position stratigraphique de l'élément daté (cette donnée cruciale n'est parfois pas disponible dans les publications ou n'a pas été relevée par l'auteur), (2) les limites supérieures de la méthode à 30 ka pour les dates anciennes et entre 40 ka et 50 ka pour les dates récentes, (3) l'adaptation des chronologies suite à la calibration de l'échelle ^{14}C (les âges indiqués ne sont pas toujours calibrés, la calibration doit être faite pour les mesures les plus anciennes), (4) des contaminations par les carbonates (effet eaux dures) dans les terrains calcaires.

Méthodes rejetées

L'utilisation du **^{14}C** a été envisagée puis rejetée. Aucun matériel nouveau n'a été prélevé dans le cadre de cette étude. Il se serait donc agi de réutiliser du

matériel anciennement prélevé avec toutes les incertitudes liées aux conditions de prélèvement et de conservation des échantillons. Les pistes proposées par Ph. Schoeneich menaient à des éléments hors Chablais (par exemple la gravière de Bioley-Orjulaz). L'importante collection de carottes des Eaux d'Evian était également envisagée mais aurait représenté un très lourd travail de dépouillement qui n'a pas été entrepris.

L'utilisation de l'**OSL** a été rejetée par manque de contact avec les experts envisagés. Il est également apparu que les dépôts chablaisiens pouvaient présenter une certaine incertitude du point de vue de cette méthode. En effet, les sédiments doivent être exposés à la lumière avant leur enfouissement, par exemple, lors de leur transport dans un cours d'eau (Preusser, 2004). Dans le cas des terrasses fluvioglaciaires de Thonon-les-Bains - seul site chablaisien envisagé - considérées comme des dépôts proximaux, il était peu sûr que les sables aient été exposés préalablement à leur dépôt.

Méthode retenue

Les isotopes cosmogéniques (**SED**) sont produits in situ et s'accumulent dans les réseaux cristallins. On mesure leur quantité dans les minéraux afin de déterminer le laps de temps écoulé depuis l'exposition de la surface prélevée au rayonnement cosmogénique. Plusieurs types de surfaces rocheuses sont utilisés, principalement les roches moutonnées et les blocs erratiques. Dans le cadre de cette étude, il a été convenu de prélever des échantillons contenant du quartz et donc, des roches cristallines, afin de mesurer l'isotope 10 du béryllium. Cet isotope est le plus anciennement et couramment utilisé pour ce type de datation et les méthodes d'extraction sont maintenant bien établies.

Le traitement des échantillons a été réalisé au laboratoire de *Ion Beam Physics* à l'ETH (*Eidgenössische Technische Hochschule)* de Zürich, sous la direction de Susan Ivy-Ochs.

La méthode des isotopes cosmogéniques produits in situ, appliquée à la région des Chablais comporte plusieurs points d'intérêt :

- La datation concerne des éléments rocheux, dans notre cas, des blocs erratiques. Elle peut donc être mise en relation directe avec une phase glaciaire (avancée, stagnation ou retrait), alors que les dates sur matières organiques renseignaient sur les périodes interglaciaires.
- La datation concerne des éléments directement visibles et qui peuvent être mis en lien avec des témoins géomorphologiques interprétables préalablement selon une chronologie relative. Quand le bloc est associé à un cordon morainique, on peut en déduire que son âge d'exposition est aussi celui du cordon morainique.
- Les dépôts cristallins présents dans les Chablais sont véhiculés par le glacier du Rhône et ses diffluences supposées par les cols les moins élevés ou éventuellement par le glacier de l'Arve par l'intermédiaire du glacier du Giffre. Les stratégies de prélèvement se sont donc concentrées sur les stades du glacier principal, le glacier du Rhône (ou glacier du Valais).

Cette même méthode rencontre également des difficultés :

- La conservation des cordons morainiques et autres morphologies qui supportent les blocs erratiques. Dans de nombreux cas, il est difficile de

se rendre compte de l'évolution des formes à travers le temps notamment l'érosion de surface et la réorganisation des pentes des cordons morainiques. Une exhumation récente du bloc est souvent présumée lorsque l'on obtient un âge particulièrement jeune par rapport à l'âge attendu.

- Les blocs cristallins, en particulier les granites, ont été exploités avec intensité à partir du 19e siècle par les carriers. Un grand nombre de ces blocs, dont certains sont parfois cités dans la littérature, ont totalement disparu, ce qui réduit considérablement le choix pour les prélèvements.
- Les âges obtenus font partie d'une chronologie particulière, celle des isotopes cosmogéniques, qui n'est pas directement comparable avec les autres chronologies (celles du ^{14}C par exemple), pour des problèmes inhérents à chaque méthode, en constante évolution et dont les courbes de référence ne cessent d'être modifiées.

Les principes physiques de base de la méthode ne sont pas exposés ici. On en trouve des descriptions très détaillées dans les différentes thèses consacrées aux méthodes de datation (Delunel, 2010; Le Roy, 2012) ainsi que dans l'ouvrage de Dunai (2010).

4.3.2. La datation du LLGM et du stade de Genève

Méthodologie

La première stratégie de datation se concentre sur les blocs erratiques cristallins présents dans le Chablais (Fig. 4.9). Les matériaux cristallins disséminés sur le territoire proviennent du massif du Mont Blanc et du Valais. Ils sont donc des marqueurs des extensions du glacier du Rhône[4]. Ce dernier a produit les flux de glace principaux dans cette région. Il a très certainement occupé une partie du massif intérieur (massif du Chablais, Haute-Savoie) grâce à une diffluence par le Pas de Morgins (Burri, 1963; Plancherel, 1998), ce qui explique, en partie, la présence de certains blocs de granite ou de gneiss dans les vallées des Dranses (Fig. 4.6). Deux périodes d'extension sont ciblées par les datations : le dernier maximum glaciaire (LLGM : *last local glacial maximum*) et un stade dont le front est situé en ville de Genève (stade de Genève) (Fig. 4.10).

Les blocs cristallins et en particulier les granites ont subi une exploitation intense dès le 19e siècle. Il ne reste donc aujourd'hui qu'un nombre restreint de ces marqueurs sur le territoire. Pour les trouver, il est nécessaire d'effectuer des recherches sur le terrain, parfois à l'aveugle puisque les blocs erratiques ne figurent pas systématiquement sur les cartes géologiques. Ces dernières peuvent également être assez imprécises quant à la répartition des différents tills (till local versus till rhodanien, par exemple sur la carte Monthey (Badoux & Chessex, 1960)). Les entretiens avec les habitants ont donné de bons résultats. Nous avons ainsi découvert des blocs souvent hauts en altitude et non répertoriés (bloc du Sciard CHA 02). Les blocs prélevés ont été choisis en fonction de leur taille afin de minimiser le risque qu'ils aient été déplacés par des processus naturels ou anthropiques. Les blocs les plus volumineux sont considérés comme stables. L'altitude a été déterminante pour s'assurer que la datation donnerait

4 Nous continuons à parler du « glacier du Rhône » dans ce manuscrit, par souci de cohérence avec les parties précédentes bien que Bini et al. (2009) aient proposé une nouvelle appellation de « glacier du Valais » que nous estimons être plus adéquate par rapport à la zone d'alimentation et à l'extension de ce glacier.

une information proche du dernier maximum ou du stade de Genève. Ainsi, tous les blocs du bord du Léman ont été écartés. Finalement, le choix s'est porté sur sept blocs erratiques cristallins, de granite du Mont Blanc pour une moitié et de gneiss pour l'autre. Malheureusement, il n'a été possible de prélever deux blocs sur une même morphologie que sur un site et nous verrons que cet essai a été infructueux (CHA 041 et CHA 042). Pour les autres sites, un seul bloc remplissait les conditions de prélèvement (taille supérieure à 1 m, environnement stable, position susceptible d'avoir été exposée au rayonnement cosmogénique dès le dépôt, absence de marque visible d'exploitation, etc.).

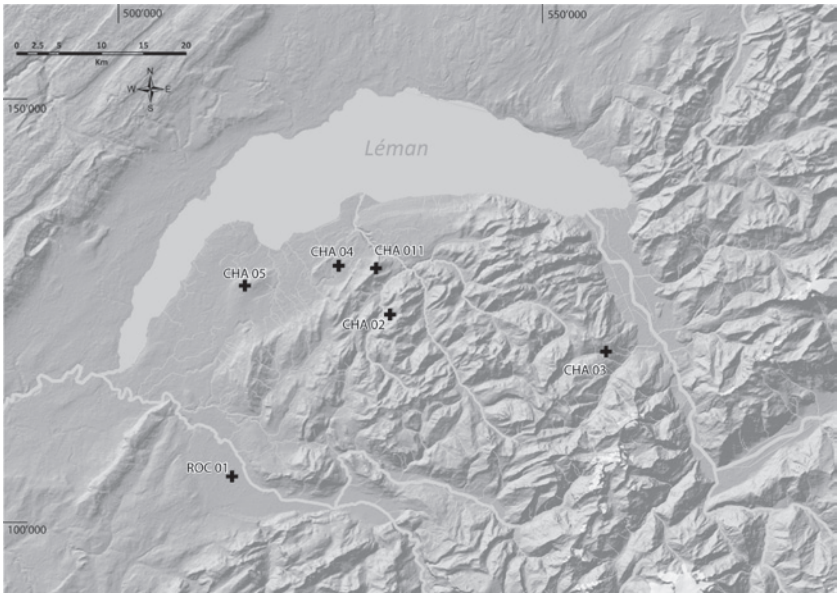


Fig. 4.9 : Cartes de situation des blocs erratiques prélevés pour la première série de datations. Fond de carte : relief ombré (Aster Gdem V2).

Méthode de prélèvement

Les sept échantillons ont été prélevés en deux séances d'une journée, la première avec l'aide de Gilles Broccard et de S. Coutterand (28.10.2010 / CHA 011a, CHA 011b, CHA 02, CHA 03), la seconde avec l'aide de S. Coutterand (03.11.2010 / CHA 041, CHA 042, CHA 05 + ROC 01). Les précautions d'usage ont été respectées : prélèvement sur le sommet des blocs, d'une épaisseur maximum de 5 cm, sur une surface homogène et si possible, plane. Les outils utilisés sont une massette et deux burins. Les relevés d'écrantage ont été effectués avec des instruments *Suunto*® (boussole et clinomètre*)*. Un bloc a été prélevé en deux endroits pour vérification (CHA011 a et b), une fois sur le sommet et une fois sur la tranche. Cette précaution a été conseillée par G. Broccard, au vu de la configuration « en amas » des blocs présents sur cet alpage et potentiellement déplacés pour les plus petits ou exploités pour les plus volumineux.

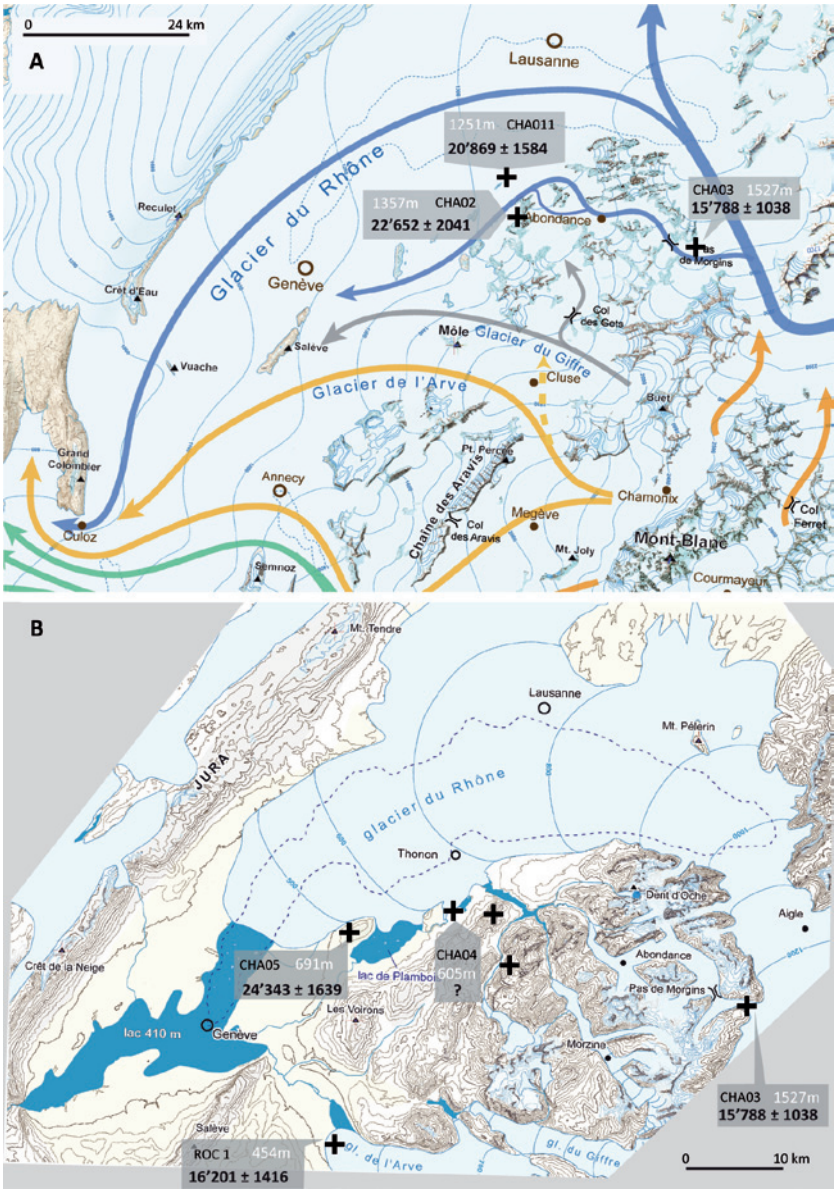


Fig. 4.10 : Extraits de carte du dernier maximum glaciaire (A) et du stade de Genève (B). Les résultats de la première série de datation y on été représentés. Modifié d'après S. Coutterand.

Extraction du ^{10}Be

Le traitement mécanique puis chimique des échantillons a été effectué selon une méthodologie élaborée par S. Ivy-Ochs. Le broyage et le tamisage pour réduction en fraction fine (200-500 µm) ont été réalisés au laboratoire EDYTEM avec un concasseur à mâchoires et deux tamis manuels. La dissolution de l'échantillon pour récupération du quartz (Kohl & Nishiizumi, 1992) a été préparée au laboratoire

d'*Ion Beam Physics* (ETH Zürich) par S. Ivy-Ochs et Michael Rüttimann. Enfin, le traitement chimique pour l'extraction du béryllium a été réalisé au laboratoire d'*Ion Beam Physics,* sous la direction de S. Ivy-Ochs, avec l'aide de M. Rüttimann (Ochs & Ivy-Ochs, 1997).

Mesure et calcul des âges d'exposition

La mesure de la quantité de Béryllium 10 a été effectuée sur l'accélérateur de masse Tamdem de l'ETHZ. L'erreur analytique est comprise entre 6.94 et 4.02%. Les âges d'exposition ont été calculés grâce au calculateur en ligne CRONUS-Earth v2.2. (Balco et al., 2008). Le taux de production des isotopes utilisé est celui proposé par Balco et al. (2009) pour l'Amérique du Nord (NE North America calibration (3.88 ± 0.19 at./g/yr)), qui est le taux actuellement employé pour les Alpes suisses par l'équipe de S. Ivy-Ochs. L'amélioration des taux de production locaux est un axe de recherche en développement. Les âges présentés pourraient donc encore évoluer (faiblement) en fonction des avancées de cette recherche.

Les valeurs proposées pour les âges d'exposition ne tiennent pas compte de la couverture neigeuse ni d'un éventuel couvert forestier. Le taux d'érosion retenu est de 3 mm/ka ce qui est considéré comme une valeur minimale pour les roches cristallines sous nos latitudes (Ivy-Ochs et al., 2004). Les âges obtenus sont donc à considérer comme des âges minimaux.

Résultats

Le tableau ci-dessous (Tab. 4.2) présente les concentrations mesurées par AMS et les âges d'exposition sans et avec un taux d'érosion de 3 mm/ka.

Nom de l'échantillon	Alt. (m)	Hauteur du bloc (cm)	Epaisseur du prélèvement (cm)	Facteur d'écrantage	10^4 atomes/g	Erreur %	Age d'exposition (ka) (érosion nulle)	Age d'exposition (ka) (érosion : 3 mm/ka)
CHA011a	1251	1.17	3	0.999	5.18 ± 0.2	5.31	4.6 ± 0.3	4.6 ± 0.3
CHA011b	1251	0.75	3	0.499	11.52 ± 0.6	5.28	19.9 ± 1.4	20.9 ± 1.5
CHA02	1357	1.1	4	0.976	25.29 ± 1.7	6.94	21.5 ± 1.8	22.6 ± 2
CHA03	1520	2.6	4	0.991	20.76 ± 0.9	4.52	15.2 ± 1	15.8 ± 1
CHA05	691	3	3	0.998	16.17 ± 0.6	4.02	23 ± 1.4	24.3 ± 1.6
ROC01	454	2.5	4	0.999	9.02 ± 0.6	6.81	16 ± 1.3	16.2 ± 1.4

Tab. 4.2 : Concentrations en ^{10}Be et âges d'exposition calculés sans et avec un taux d'érosion de 3 mm/ka.

CHA 011 - Ensemble de blocs de l'alpage des Sœurs – 1251 m

Lieu:	Alpage des Sœurs, Reveroz, Haute-Savoie
Date du prélèvement:	28.10.2010
Nom du bloc:	**CHA 011** (CHA011a : sommet + CHA011b : côté)
Altitude (m):	1251
Lithologie :	Granite du Mont Blanc
Coordonnées :	(WGS 84 UTM 32 N) 32 T 310796 5133132 / 46.3253 6.5421
Situation :	Sur la crête du Mt d'Hermone (extrémité NE) dans une petite dépression de la ligne de crête. Géologie du Mt d'Hermone : calcaire siliceux du Lias moyen recouvert de moraine à éléments cristallins et préalpins (brèche, calcaire) jusqu'à ~1260 m. De nombreux petits (moins d'1m^3) blocs cristallins et calcaires parsèment le pâturage.
Description du bloc :	Ensemble de quatre blocs de taille moyenne, dont certains ont peut-être été déplacés par l'homme. Granite du Mont Blanc porphyrique (quartz, biotite, feldspaths).
Chronologie suppo-sée :	Position de retrait du dernier maximum local hors cuvette lémanique (l'altitude des blocs semble un peu faible pour correspondre au dernier niveau maximum).
Observations :	Les blocs sont petits. Il n'est pas certain qu'ils n'aient pas été pris dans la masse morainique avant d'émerger étant donné leur situation dans une faible cuvette.
Prélèvement :	Granite à gros cristaux (orthose: 3-4 cm; quartz: 1-1.5 cm). Lithologie homogène sur l'ensemble du bloc, riche en quartz. Roche humide. Epais-seur : 3 cm max. Facteur d'écrantage : CHA011a : 0.999 / CHA011b : 0.499.
Résultat CHA011a :	4'668 ± 340 ^{10}Be = 5'000 – 4'300 (taux d'érosion : 3mm/ka)
Résultat CHA011b :	**20'869 ± 1584** ^{10}Be = 22'500 – 19'300 (taux d'érosion : 3mm/ka)

Tab. 4.3 : Caractéristiques et résultats du bloc CHA 011.

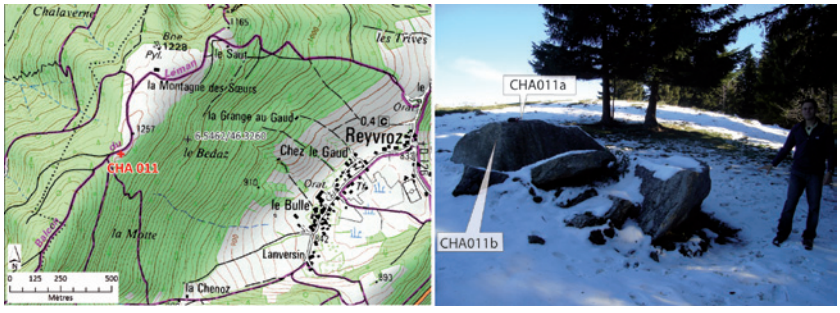


Fig. 4.11 : Situation de l'amas de blocs de l'alpage des Sœurs (CHA 011) et des prélèvements CH 011a et b (vue depuis le SW). Photo : A. Perret.

CHA 02 – Bloc de l'alpage du Sciard (Buchille) – 1357 m

Lieu:	Alpage du Sciard, Buchille, Vailly
Date du prélèvement:	28.10.2010
Nom du bloc:	**CHA 02**
Altitude (m):	1357
Lithologie :	Granite du Mont Blanc
Coordonnées :	(WGS 84 UTM 32 N) 32 T 312419 5127626 / 46.2763 6.5653
Situation :	Sur la rive droite du Brevon, à la hauteur des Plagnes, dans une forte pente. La carte géologique indique à proximité une fine bande de placage morainique partant du fond de la vallée jusqu'à 1350 m d'altitude. Le pâturage est parsemé de blocs cristallins de petite taille. La roche en place est affleurante, au-dessus de la route, en contrebas du bloc CHA 02.
Description du bloc :	Granite avec biotite en saillie.
Chronologie supposée :	Etant donné son altitude élevée, ce bloc peut avoir été déposé au dernier maximum hors cuvette lémanique.
Observations :	Le bloc est situé dans une combe holocène. Un glissement de versant forme une légère combe concave. Il a pu perdre de l'altitude depuis son dépôt.
Prélèvement :	Granite et biotite en saillie. Epaisseur : 4 cm max. Facteur d'écrantage : 0.976
Résultat CHA02 :	**22'652 ± 2041** ^{10}Be = 24'700 - 20'600 (taux d'érosion : 3mm/ka)

Tab. 4.4 : Caractéristiques et résultats du bloc de l'alpage du Sciard (CHA 02).

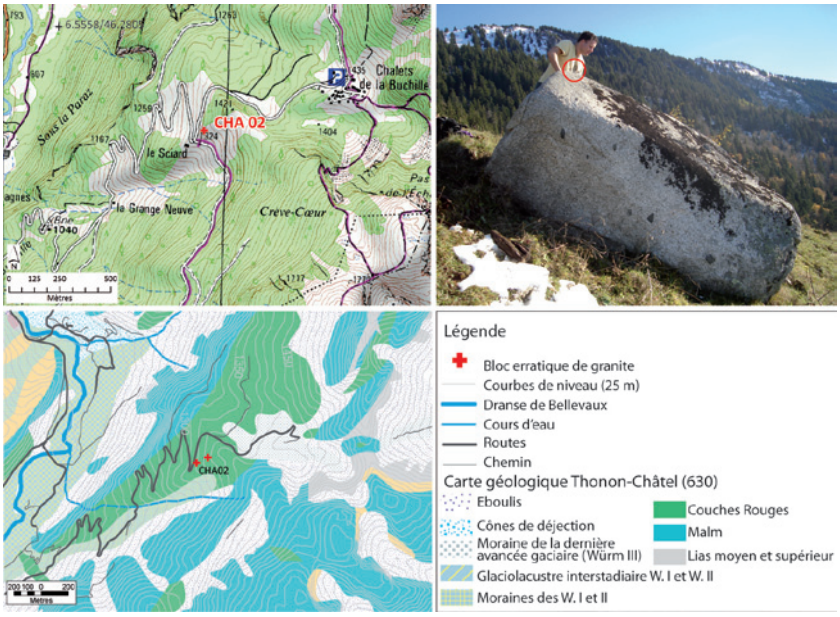


Fig. 4.12 : Situation du bloc de l'alpage du Sciard (CHA 02) sur la carte topographique et sur la carte géologique. Modifié d'après Badoux (1965a). Situation du prélèvement (vue depuis le Nord). Photo : A. Perret.

CHA 03 – Bloc du Champsot – 1520 m

Lieu:	Le Champsot, Morgins, Pointe de Bellevue
Date du prélèvement:	28.10.2010
Nom du bloc:	**CHA 03**
Altitude (m):	1520
Lithologie :	Granite du Mont Blanc
Coordonnées :	(WGS 84 UTM 32 N) 32 T 337963 5123248 / 46.2432 6.8981
Situation :	Sur la rive gauche du Val de Morgins, sous la pointe de Bellevue. Le bloc est entouré, dans un rayon de 2 m de petits blocs de lithologie identique. Il est situé dans une pente en mouvement. Bien qu'indiquée en moraine locale par la carte géologique, la zone est visiblement tapissée de moraine à éléments cristallins, jusqu'à l'altitude de 1750 m.
Description du bloc :	La foliation du bloc est bien visible, parallèle à la pente. Elle a favorisé la pénétration de l'eau atmosphérique et accentué la dégradation du granite. Les petits blocs alentours de même lithologie proviennent certainement de ce gros bloc.
Chronologie supposée :	A cette altitude, le bloc a dû être déposé lors du retrait d'une langue diffluente du glacier du Rhône (donc un peu avant le retrait du glacier principal) après son extension maximale hors cuvette lémanique.
Observations :	Le bloc est situé dans une zone actuellement en glissement. Il porte une plaque gravée à la mémoire d'Ephrem et Denise Guérin-Raboud.
Prélèvement :	Roche altérée en surface, le prélèvement s'est fait sur une zone de roche dense. Epaisseur : 4 cm max. Facteur d'écrantage : 0.991
Résultat CHA03 :	**15'788 ± 1038** ^{10}Be = 16'800 – 14'800 (taux d'érosion : 3mm/ka)

Tab. 4.5 : Caractéristiques et résultats du bloc du Champsot (CHA 03).

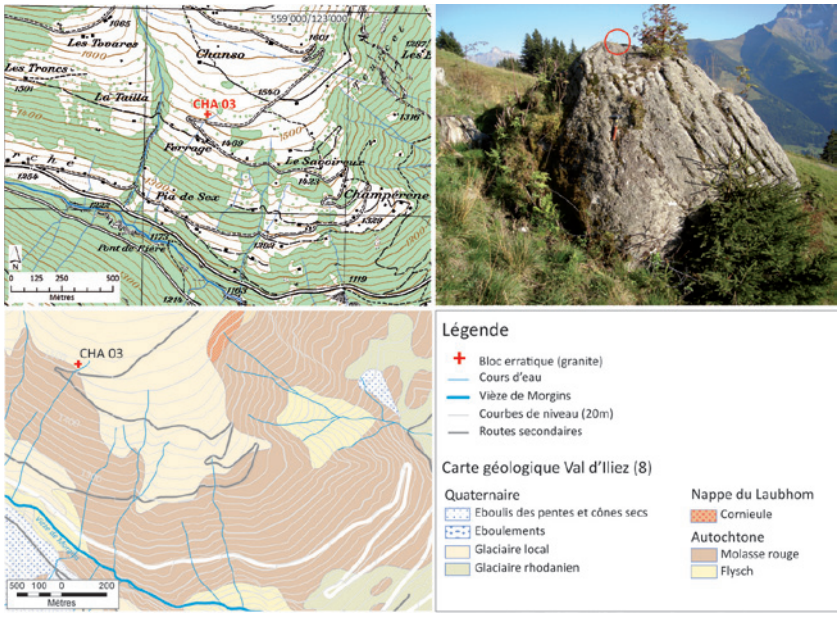


Fig. 4.13 : Situation du bloc du Champsot (CHA 03) sur la carte topographique et la carte géologique. Modifié d'après Gagnebin et al. (1934). Situation du prélèvement (vue depuis l'Ouest). Photo : A. Perret.

CHA 041 + 042 – Pierre du Diable – 605 m

Lieu:	Allinges, Pierre du Diable ou pierre à Passet
Date du prélèvement:	03.11.2010
Nom du bloc:	**CHA 041 – CHA 042**
Altitude (m):	605
Lithologie :	Orthogneiss (rive gauche du Rhône valaisan, zone de Siviez-Mischabel)
Coordonnées :	(WGS 84 UTM 32 N) 32 T 306355 5133417 - 32 T 306263 5133413
Situation :	CHA 041: terrasses supérieures de Thonon, sur une vaste étendue plane, à proximité d'un cordon morainique peu élevé, mais assez long. La carte géologique indique de la moraine directement sous le bloc. CHA 042: à 100 m à l'ouest de CHA 041, sur le tracé du cordon susmentionné. Le sol aux alentours des deux blocs est jonché d'éléments cristallins.
Description du bloc :	CHA 041 : gros bloc (~60 m^3) en partie enfoui dans le till. CHA 042 : gros bloc (~20 m^3) de même lithologie que CHA 042. Bloc très ruiniforme.
Chronologie supposée :	Période de retrait du stade de Genève (situation au niveau des terrasses supérieures de Thonon, chenal de Draillant à proximité).
Observations :	CHA 041 est utilisé pour l'escalade. Quelques spits ont été plantés au sommet. Pas de trace d'exploitation. Cupules anthropiques peu visibles et peu profondes au sommet. Le bloc a très peu de chance d'avoir été pris dans la masse morainique lors du dépôt, il est de bonne taille et situé sur une étendue très plane.
Prélèvement :	CHA 042 : pente 25°. Epaisseur 4 cm max.
Résultat CHA 041	ø l'échantillon ne contenait pas de quartz
Résultat CHA 042	ø l'échantillon ne contenait pas de quartz

Tab. 4.6 : Caractéristiques et résultats de la Pierre du Diable et du bloc voisin (CHA 04, CHA 042).



Fig. 4.14 : Situation de la Pierre du Diable et du bloc voisin (CHA 041, CHA 042). Vue des deux blocs depuis l'Ouest (CHA 041) et depuis le Nord (CHA 042). Photo : A. Pica

CHA 05 – Pierre à Martin – 691 m

Lieu:	Mont de Boisy, Ballaison, pierre à Martin
Date du prélèvement:	03.11.2010
Nom du bloc:	**CHA 05**
Altitude (m):	691
Lithologie :	Gneiss
Coordonnées :	(WGS 84 UTM 32 N) 32 T 295265 5131073
Situation :	Sur le flanc SW du Mont Boisy, sur une faible pente, dans un champ. Repose sur une faible couverture morainique à éléments cristallins et préalpins (calcaire du Lias, molasse). Le bloc semble isolé.
Description du bloc :	Gros bloc (~100 m³) de gneiss (biotite, orthose, quartz). Provient de la rive gauche du Rhône valaisan, région de Nendaz.
Chronologie supposée :	Stade de Genève.
Observations :	Le bloc figure à l'inventaire des monuments naturels. Il est utilisé pour l'escalade. Aucune trace d'exploitation visible. Des cupules anthropiques sont mentionnées au sommet (inventaire), mais elles sont peu marquées. Le bloc a très peu de chance d'avoir été pris dans la masse morainique lors de son dépôt. Il est de bonne taille, est situé dans une faible pente et repose sur une faible couverture morainique de type argile à blocaux. Malheureusement, ce bloc n'est pas situé sur une morphologie marquant un stationnement glaciaire (cordon, terrasse).
Prélèvement :	Sur l'arête sommitale. Epaisseur : 3 cm max. La roche présente de belles veines de quartz. La surface n'est pas altérée.
Résultat CHA 05	**24'343 ± 1639** ^{10}Be = 26'000 – 22'700 (taux d'érosion : 3 mm/ka)

Tab. 4.7 : Caractéristiques et résultats de la Pierre à Martin (CHA 05).



Fig. 4.15 : Situation de la Pierre à Martin (CHA 05). Situation du prélèvement (vue depuis le Nord). Photo : A. Berger.

ROC 01 – Pierre aux serpents – 454 m

Lieu:	Vallée de l'Arve, Aranthon
Date du prélèvement:	03.11.2010
Nom du bloc:	**ROC 01**
Altitude (m):	454
Lithologie :	Granite du Mont Blanc
Coordonnées :	(WGS 84 UTM 32 N) 32 T 293742 5108489 / 46.09882 6.33149
Situation :	En rive gauche de la vallée de l'Arve, environ 20 km avant la jonction de l'Arve avec le Rhône. Le bloc est déposé sur une terrasse fluvioglaciaire. Le sol est très plan sur plusieurs centaines de mètres. Le bloc semble isolé, on ne remarque pas de blocs plus petits et de même lithologie à proximité.
Description du bloc :	Gros bloc pyramidal de 2.5 m de haut pour 9-7-6 m de côté. Il semble à moitié enfoui dans la terrasse. Il est fendu à l'est mais n'est pas ruiniforme. L'érosion semble l'avoir attaqué de façon régulière.
Chronologie supposée :	Pourrait être contemporain du stade des Rocailles du glacier de l'Arve.
Observations :	On se demande pour quelle raison ce bloc a été épargné par les graniteurs. Nous n'avons pas d'information sur l'appellation. Le bloc se trouve actuellement dans une forêt privée, ce qui pourrait expliquer qu'il ait été conservé. Le bloc est en position stratigraphique claire : à la surface d'une terrasse glaciolacustre.
Prélèvement :	Sur l'arête sommitale. Epaisseur : 4 cm max. Facteur d'écrantage : 0.999
Résultat ROC 01 :	**16'201 ± 1416** ^{10}Be = 17'600 – 14'800 (taux d'érosion : 3mm/ka)

Tab. 4.8 : Caractéristiques et résultats de la Pierre aux serpents (ROC 1).

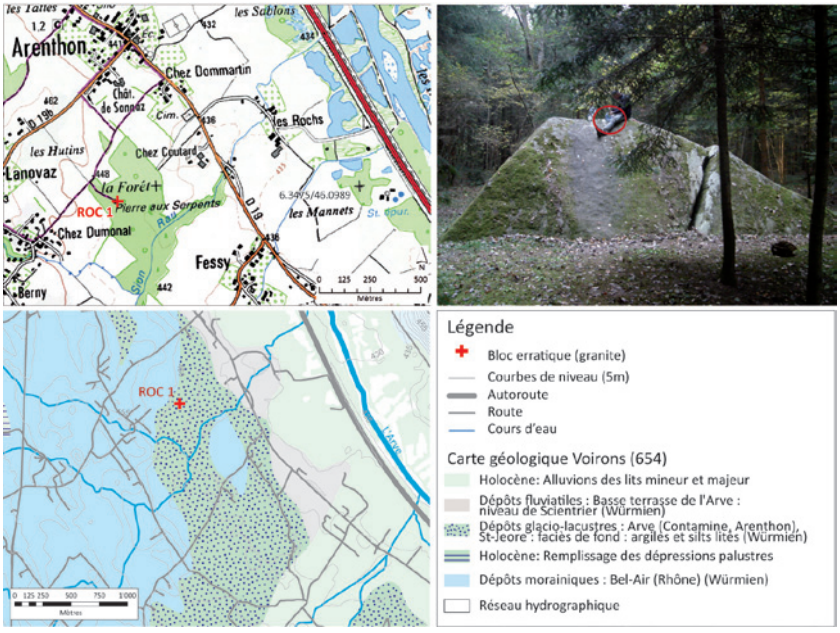


Fig. 4.16 : Situation de la Pierre aux serpents (ROC 01) sur carte topographique et carte géologique. Modifié d'après Kerrien (1998). Situation du prélèvement (vue depuis le SW). Photo : A. Perret.

Discussion

Le bloc CHA 011, prélèvements a et b

L'amas de blocs cristallins de l'alpage des Sœurs n'est pas situé sur une morphologie glaciaire distincte mais sur le replat - et même une légère cuvette – de la crête structurale du Mt d'Hermone (Fig. 4.11). Il repose sur une faible épaisseur de till rhodanien, sus-jacent à la roche en place. Cette position, associée à une altitude légèrement plus faible que celle admise pour le LLGM (Fig. 4.10 : 1320 - 1251 = 79 m) situe a priori le dépôt de ces blocs durant le retrait du dernier maximum hors cuvette lémanique.

La configuration en amas indiquait une exploitation possible du bloc CHA 011 (récupération du granite pour la construction) et/ou à un déplacement probable par l'homme des blocs les plus petits (manœuvre d'épierrement du pâturage). Deux échantillons ont été prélevés, l'un sur le sommet du bloc, l'autre sur la tranche (Fig. 4.11). Les résultats obtenus (Tab. 4.3) indiquent que le sommet du bloc est exposé depuis environ 4'700 ± 340 ^{10}Be BP (CHA 011a), ce qui correspond à la fin du Néolithique, voire, au début de l'Age du Bronze ancien. Le sommet du bloc CHA 011 pourrait donc être une surface rajeunie. L'échantillon pris sur le côté du bloc indique quant à lui, une exposition d'environ 20'900 ± 1584 ^{10}Be BP (CHA 011b), ce qui correspond aux âges cosmogéniques considérés comme correspondant au LGGM sur les flancs du Jura ainsi que sur le plateau suisse (Ivy-Ochs et al., 2004, 2009). Cette chronologie est par contre en contradiction avec les âges ^{14}C obtenus dans les environs d'Evian (Guiter et al., 2005; Triganon et al., 2005) (voir plus loin : « Région d'Evian : plateau Gavot »).

Nous proposons de considérer que le bloc CHA 011 a été en partie exploité. Le sommet présente donc une surface sensiblement rajeunie alors que le côté du bloc indique un âge plus proche de son dépôt au cours du retrait du LLGM.

Le boc CHA 02

Le bloc CHA 02 est situé sur une pente couverte d'une fine couche de till à éléments cristallins. Le till semble donc plus étendu que ce qui est indiqué sur la carte géologique (Badoux, 1965a) (Fig. 4.12). Son dépôt ne marque pas un stationnement du glacier mais a dû survenir dans une phase de décrue. Son altitude est équivalente à celle du niveau de glace admis pour le dernier maximum (LLGM) à cet endroit (Fig. 4.10 : entre 1350 et 1400 m). La pente sur laquelle il repose est parsemée d'autres blocs cristallins dont certains sont situés plus haut en altitude, d'une vingtaine de mètres. Il est possible que le dépôt de ce bloc et des autres matériaux cristallins ait eu lieu dans les premières phases de retrait du dernier maximum glaciaire (LLGM).

Etant donnée sa position, il est peu probable que le dépôt cristallin de la Buchille provienne de la langue principale du glacier du Rhône. La glace arrivant au débouché des Dranses devait être trop importante pour laisser accès en rive gauche, aux flux en provenance du Valais. Il s'agit plus probablement d'une langue diffluant par le Pas de Morgins, puis par le col du Corbier, dont l'altitude serait nécessairement plus élevée que le niveau de glace à hauteur du Léman (1320 m environ), la langue diffluente fonctionnant comme un glacier de vallée. Si l'on considère un niveau de glace à 1700 m au niveau du Pas de Morgins et un niveau de glace à 1400 m au niveau de l'Alpage de la Buchille, la pente générale de cette langue diffluente serait de 0.75% (300 m / 40'000 m). Dans cette configuration, la diffluence du glacier

du Rhône disposerait d'environ 300 m de glace pour passer le Pas de Morgins (1700 – 1371 = 329 m) puis, à nouveau d'environ 300 m de glace pour passer le col du Corbier (1700 - (0.075 x 25'000) = 1512.5 m) (1512.5 – 1237 = 275 m). Cette proposition suppose que les flux en provenance du Valais n'ont pas été suffisamment contrés par les glaces locales en particulier, celles du Val d'Illiez, du vallon « d'Abondance » et de la vallée de Morzine (cette dernière étant également gonflée par une diffluence du Giffre par le col des Gets) pour que les matériaux cristallins ne puissent atteindre la rive gauche du glacier et se déposer sur la pente de la Buchille. Une autre hypothèse serait que les blocs cristallins ont pu transiter du glacier de l'Arve au glacier du Giffre, puis passant le col des Gets, être déposés en rive gauche du « glacier de Morzine ». Le col des Gets est suffisamment large et bas (1170 m) pour qu'une importante masse de glace ait pu y transiter depuis la vallée du Giffre. On explique mal cependant comment les blocs de granite ont pu passer du glacier de l'Arve au glacier du Giffre (peut-être par déversement). Dans tous les cas, la présence de ce dépôt à la Buchille fait partie de l'énigme non résolue de la présence d'éléments cristallins à l'intérieur du massif du Chablais, la spécificité des ces blocs étant qu'ils sont clairement identifiés comme des éléments de granite du Mont-Blanc et non pas comme des résidus possibles de lentilles de granite contenus dans les flyschs affleurant au col des Gets (nappe des Gets). En outre, leur position au sein d'un dépôt de till montre que ce ne sont probablement pas des blocs remaniés et que leur altitude ne devrait pas avoir fortement varié depuis le retrait du flux de glace qui les a déposés.

L'âge obtenu pour le dépôt du bloc CHA 02 (22'600 ± 2041 ^{10}Be BP) (Tab. 4.4) correspond au LLGM dans son acceptation en chronologie courte (25-20'000 BP).

Le bloc CHA03

Le bloc du Champsot est isolé sur une pente tapissée de till rhodanien, contrairement à ce qui est indiqué sur la carte géologique (Fig. 4.13). Son altitude (1520 m) est légèrement plus faible que celle acceptée pour le LLGM (environ 1600 m, selon la carte de Bini et al. (2009)). Cependant, les éléments cristallins sont présents sur cette même pente, sous la pointe de Bellevue jusqu'à une altitude de 1750 m, ce qui pourrait indiquer que l'altitude de 1600 m est sous estimée. Il s'agit néanmoins du seul bloc de ce versant qui présentait des proportions acceptables pour être échantillonné.

Lors des séances de prospection, nous avons recherché en vain un volumineux bloc de grès houiller mentionné par Lugeon : « *l'observation la plus singulière que j'aie à noter sur la répartition des matériaux du grand glacier valaisan est la présence d'un gros bloc erratique de grès houiller, mesurant plusieurs mètres cubes, à l'altitude de 1620 m au-dessus de Champ-Perrenaz, sur la rive gauche du vallon de Morgins, à environ 400 m à l'est de la traversée du Nant du Vernaz par le sentier de Tovayre à Champsoz* » (Lugeon, 1896, p. 440). Soit nous ne l'avons pas trouvé, soit ce bloc a aujourd'hui disparu. Les habitants que nous avons interrogés n'ont pas pu nous renseigner. Cet exemple fait partie d'une longue liste de blocs erratiques dont nous avons perdu le témoignage.

D'aspect légèrement ruiniforme (la foliation orientée verticalement a dû favoriser la pénétration de l'eau et dans une certaine mesure, l'action du gel), le bloc ne semble pas avoir subi de rotation mais peut-être un glissement vers l'aval, ce qui impliquerait une altitude légèrement inférieure à celle de son dépôt. Tous ces éléments ne suffisent pourtant pas à expliquer l'âge récent obtenu (CHA 03 =

15'393 ± 1038 ^{10}Be BP) (Tab. 4.5). Cet âge s'approche d'une période relativement bien contrainte dans les Alpes du Nord (Ivy-Ochs et al., 2006; Federici et al., 2012), c'est-à-dire le refroidissement brutal qui a occasionné une forte réavancée des glaciers locaux dont la localité type est Gschnitz, avec des fronts glaciaires locaux atteignant environ 1600 à 1700 m, selon les configurations. Il semble très peu probable que le glacier du Rhône se soit maintenu à une telle altitude à cette date. En effet, la position du bloc suppose que le flux du Valais atteignait encore la zone du Pas de Morgins. Pour que les éléments de granite puissent atteindre la rive gauche de la vallée, il faut supposer que les glaciers de la Vièze et du val de Morgins constituaient le flanc gauche de la diffluence par le Pas de Morgins, bien que l'altitude du bloc soit un peu basse pour que la glace du Rhône puisse encore effectuer cette diffluence. Si tous ces points son exacts, il faut conclure que le bloc a perdu en altitude depuis son dépôt. Il a pu dans ce cas, avoir des périodes de moins bonne exposition au rayonnement cosmogénique. Il semble peu probable que le bloc ait été remobilisé lors d'une récurrence du début du Tardiglaciaire de glacier locaux. Le seul glacier susceptible d'émettre de la glace à cet endroit serait le glacier du val de Morgins mais l'attitude supposerait une épaisseur de glace de 500 m ce qui est trop importante pour la taille de cet appareil. Malgré nos soins lors du choix de la zone de prélèvement, cet âge récent pourrait également être lié à une trop forte altération de la roche. Dans tous les cas, cet âge ne peut-être considéré que comme un âge minimum. Il reste incohérent dans le schéma global des âges cosmogéniques obtenus pour le LGGM et pour notre série de datations.

Les blocs CHA041 et CHA042

La première dissolution chimique des minéraux n'a pas permis de récupérer assez de matière pour poursuivre les étapes d'extraction du Béryllium. Les deux échantillons ne contenaient quasiment pas de quartz. Par conséquent, nous n'avons obtenu aucune donnée pour ces deux blocs (Tab. 4.6). Cette absence de résultat est d'autant plus dommage qu'il s'agissait des deux seuls blocs dont les âges d'exposition auraient pu être directement comparés étant donné leur situation sur une même morphologie glaciaire (Fig. 4.14).

Le bloc CHA05

La Pierre à Martin est située à une altitude (691 m) qui exclut a priori son dépôt lors du LLGM. Le Mont de Boisy (739 m) est couvert d'environ 500 m de glace à cette période (Fig. 4.10), ce qui représente une altitude du glacier du Rhône d'environ 1200 m. Ce bloc devrait donc correspondre plutôt à une période de retrait. Plusieurs stades du glacier du Rhône ont été identifiés dans le bassin lémanique (voir point précédent 4.1.4.). Lors du stade de Genève, la glace atteint une altitude comprise entre 700 et 600 m au niveau du Mont de Boisy, le front du glacier du Rhône étant situé en vieille ville de Genève. Cependant, l'âge obtenu pour le bloc CHA 05 (24'343 ± 1639 ^{10}Be BP) (Tab. 4.7) est relativement ancien, du moins si on le compare aux blocs analysés ci-dessus (CHA 011, CHA 02). Il est en revanche trop récent pour correspondre aux âges ^{14}C obtenus dans les sédiments du complexe du Plateau Gavot (Triganon, 2002; Triganon et al., 2005), dépôts dont l'altitude pourrait coïncider avec le stade de Genève. Etant donné l'excellent état de conservation de la roche (absence d'altération) et la position relativement claire du bloc CHA 05 du point de vue de son exposition au rayonnement cosmogénique (absence de facteur d'enfouissement post dépôt) (Fig. 4.15), nous proposons de le rattacher à une période de retrait du glacier du Rhône postérieurement au LLGM. La position du bloc sur un léger relief pourrait

même l'avoir protégé d'une remobilisation lors des récurrences postérieures au LLGM. Il s'agit de l'âge d'exposition le plus élevé de cette série de datations.

Le bloc ROC 01

Le bloc Roc 01 est situé sur une terrasse glaciolacustre de la vallée de l'Arve (Fig. 4.16). Sa position et sa morphologie indiquent qu'il a été déposé à la surface de cette terrasse et n'a plus bougé depuis. Son emplacement à environ 5 km en aval des terrasses et moraines des Rocailles (Fig. 4.10) laisse présager d'un dépôt lors du retrait du stade des Rocailles (Dorthe-Monachon, 1986; Charollais et al., 1998; Coutterand, 2010). Ce volumineux bloc de granite du Mont Blanc, mentionné sur la carte topographique sous le nom de « Pierre aux serpents » n'est pas indiqué sur la carte géologique.Le stade des Rocailles, reconnu très anciennement dans la littérature, est attribué au début du Tardiglaciaire (stade de Bühl) par Penck et Brückner (1909). Sur leur carte des témoins glaciaires rhodaniens et helvétiques (Fig. 3.16, chapitre 3), le stade des Rocailles correspond à une position du glacier du Rhône retranché dans la vallée du Rhône en amont du Léman. Cette interprétation est reprise par Dorthe-Monachon (1986), assortie d'une valeur d'abaissement de la ligne d'équilibre du glacier de l'Arve estimée à 1250 m. Plus récemment, Monjuvent (Charollais et al., 1998) effectue une étude détaillée de la confluence Rhône-Arve pour les besoins de la carte géologique au 1:50'000. Sans donner d'élément de corrélation précis avec la position du glacier du Rhône, le stade des Rocailles est présenté comme la troisième étape de séparation du glacier de l'Arve avec le glacier du Rhône, individualisée par des dépôts distincts (glaciolacustres, fluvioglaciaires et morainiques). Un schéma dont l'emprise correspond à celle de la carte géologique montre le front du glacier du Rhône à hauteur de la ville de Genève. L'ensemble des étapes décrites dans la notice (5 de confluence, 4 indépendantes) sont présentées comme des étapes de retrait. A propos des formations glaciolacustres qui leur sont attribuées, l'auteur précise que « *leur chronologie est liée à leur altitude décroissante qui traduit évidemment l'abaissement du glacier faisant barrage* » (Charollais et al., 1998, p. 79). Enfin, Coutterand (2010) réétudie la déglaciation de la basse vallée de l'Arve. Il propose des corrélations, basées sur la géométrie des dépôts quaternaires. La moraine de Cranves-Sales (– Loex) (530 m), réattribuée à une étape de séparation des deux glaciers, est corrélée avec l'arc morainique frontal du glacier du Rhône à Laconnex. Ce stade est présenté comme une étape de retrait. Le stade des Rocailles, délimité par de nombreuses formes et accumulations particulièrement développées est corrélé avec le stade de Genève (Moscariello et al., 1998a)).

A notre connaissance, aucune datation n'est disponible pour le stade des Rocailles du glacier de l'Arve. Cependant, une datation SED a été effectuée par S. Coutterand sur un bloc plus en amont dans la vallée, (870 m, cordon de Combloux-Cordon, stade de la Tour-Noire-Les Villars (Magland)) (Coutterand & Nicoud, 2005). Les paramètres utilisés (taux de production 5.8 atomes/g de quartz/an, taux d'érosion 10 mm/ka) diffèrent des nôtres, ce qui rend cet âge non comparable directement avec nos résultats (17'540 ± 500 ^{10}Be BP). Un accès aux données de base permettrait un calcul rapide et une comparaison à titre indicatif.

Un certain nombre de datations ^{14}C ont été effectuées dans la région de Genève et plus en amont, dans la région d'Evian. Si on accepte la corrélation du stade de Genève avec celui des Rocailles, la fourchette proposée pour les datations d'Evian, et qui concerne le progression de ce stade, serait de 45 - 30 ka cal BP

(n° labo : LYON-876 (OXA), LYON-878 (OXA)) (Triganon et al., 2005). La seule datation disponible pour la région de Genève est soumise à caution par l'auteur. Elle indique un retrait du glacier au plus tard vers 23 - 22 ka cal BP (n° labo : ETH-14524) (Moscariello et al., 1998a).

Dans ce contexte, l'âge obtenu (ROC 01 16'201 ± 1416) sur la Pierre aux serpents est très récent. Dans la chronologie en vigueur pour les datations cosmogéniques à travers les Alpes, cet âge correspondrait au stade du Gschnitz, comme pour le bloc CHA 03. Dans le cas du bloc ROC 01, il faut tout de même rappeler que son dépôt doit correspondre à une position de retrait du stade des Rocailles. Il faut encore préciser que, pour ce bloc, nous n'avons pas effectué personnellement d'étude détaillée du site de prélèvement et que nous nous appuyons sur la carte géologique pour considérer la terrasse comme glaciolacustre. Un transport fluvioglaciaire ou torrentiel est peut-être envisageable, bien que le bloc soit particulièrement volumineux.

Discussion générale sur la première série de prélèvements

Cette série de datations est particulièrement difficile à interpréter, comme le laissait présager un échantillonnage éparpillé et restreint. Sans vouloir exagérer la portée des résultats obtenus, nous pouvons néanmoins proposer quelques pistes pour l'interprétation de ces premières datations cosmogéniques sur blocs erratiques dans la région des Chablais.

En première constatation, nous pouvons signaler qu'aucun bloc n'a obtenu d'âge supérieur à 25 ka BP) (Tab. 4.2). Nous n'avons a priori pas échantillonné de bloc antérieur au LLGM, ce qui est tout à fait plausible étant donné que l'altitude d'au-moins deux spécimens est très proche du maximum considéré pour la région, mais légèrement inférieure. Si l'on replace le Chablais dans son bassin glaciaire général, on peut considérer, d'après les travaux de S. Coutterand (2010), que la région est proche de la ligne d'équilibre glaciaire au LLGM. Il n'y a, a priori que très peu de dépôts dans la zone d'accumulation durant cette période. Les blocs se sont donc déposés lors du retrait et non pas lors du paroxysme de froid. Leurs âges d'exposition sont donc globalement plus récents.

Les deux blocs les plus hauts placés (CHA011, CHA02) peuvent être considérés comme des marqueurs du retrait du LLGM, de même que la Pierre à Martin (CHA05). Ils indiquent des âges proches de ceux obtenus sur le flux suisse du glacier du Rhône (glacier du Valais) (Ivy-Ochs, 1996). Ces âges penchent pour un LLGM contemporain du LGGM (Fig. 4.17).

Nous mentionnons ici à titre exploratoire, que les résultats calculés avec un taux d'érosion plus élevé que ce que nous avons considéré, soit un taux d'érosion de 9 mm/ka, pour les blocs situés le plus haut en altitude (CH011, CH02 et CH03), vieillissent les âges de dépôt de 2000 à 3000 ans. Nous obtenons, pour CH011 un âge de 23'300 ± 2000 ^{10}Be B, pour CH02 un âge de 25'700 ± 2'700 ^{10}Be B et pour CH03 un âge de 17'200 ± 1'300 ^{10}Be B. Les marges d'erreur correspondantes en sont accentuées.

Nos essais pour contraindre le stade de Genève n'offrent pas d'indication solide. Deux des échantillons prélevés pour ce stade se sont avérés inutilisables (CHA 041 et CHA 042) alors que le troisième nous oriente vers un dépôt lors du retrait du LLGM (Fig. 4.17). Aucun autre bloc pouvant correspondre à cette position n'a pu

être repéré dans la région. Une explication possible à cette difficulté est peut-être à chercher du côté de l'ampleur de cette réavancée qui s'est probablement déclinée en une série de pulsations successives, ce qui rend les témoins reconnaissables dans le paysage peu nets – les formes sont mal dessinées - mais importants du point de vue de l'accumulation de sédiments (terrasses fluvioglaciaires de la plaine du Rhône, complexe du plateau Gavot, delta proglaciaire de la ville de Genève).

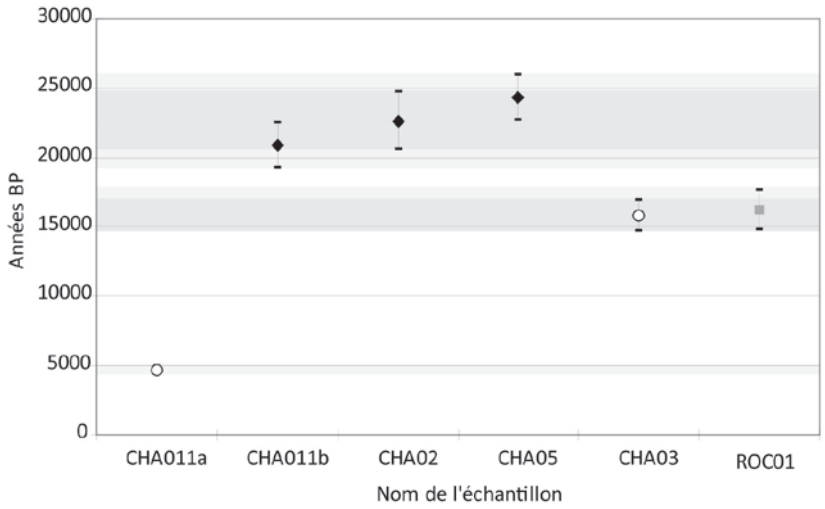


Fig. 4.17 : Comparaison des âges d'exposition obtenus pour le LLGM et le stade de Genève, montrant les marges d'erreur analytiques. Les ronds blancs indiquent les résultats rejetés. Les losanges noirs indiquent les résultats considérés comme LLGM. Le carré gris indique le résultat considéré comme appartenant au retrait du stade des Rocailles (Roc 01).

4.3.3. La datation du stade de Monthey

La deuxième tentative pour améliorer la connaissance sur la chronologie du retrait glaciaire dans le Chablais se focalise sur un stade supposé du glacier du Rhône : le stade de Monthey. L'hypothèse du stade de Monthey, est basée sur la « redécouverte » de plusieurs crêtes morainiques des deux côtés de la vallée du Rhône en amont et en aval du verrou de Saint-Maurice (Fig. 4.18). Le front glaciaire correspondant à ces moraines latérales est estimé aux environs d'Aigle (voir ci-dessous : L'hypothèse d'un « stade de Monthey »). Le témoin le plus documenté de ce stade est la moraine à blocs de Monthey, dont la Pierre des Marmettes (561'675/122'455) représente un vestige imposant.

L'hypothèse d'un « stade de Monthey »

Notre deuxième série de datations est un essai pour confirmer ou infirmer l'hypothèse d'un stade du glacier du Rhône dont le front reposerait aux environs d'Aigle, probablement-semi flottant dans un paléo-Léman plus étendu que l'actuel (Fig. 4.18). Cette hypothèse repose sur une série de cordons morainiques plus ou moins riches en éléments cristallins, situés en rives gauche et droite de la vallée du Rhône entre Martigny et Monthey, dont l'altitude est fortement décroissante d'amont en aval (la Cergna 1280-1260 m, Plex 1250-1220 m, les Près 1060-1000 m, la Daille 930-920 m, la Daviaz 830-720 m, Monthey 530 m (?), Collombey 440m (?)) (Fig. 4.18). Tous ces cordons sont signalés sur les cartes de l'Atlas géologique de la Suisse (feuilles 8, 37, 58) (Gagnebin, 1934; Badoux et al., 1960; Badoux & Burri, 1971). Ce « stade » supposé est en partie indiqué sur la carte de Penck et Brückner (1909) (Fig. 3.16, chapitre 3), barrant la vallée de la Vièze. Il est alors attribué au stade de Bühl, selon la conception des auteurs. Cependant, la littérature ne le relève plus par la suite.

Aucun cordon frontal (ni du glacier du Rhône, ni des glaciers locaux) n'est conservé à la surface de la plaine du Rhône. Si une morphologie glaciaire s'est formée dans cette plaine au front du glacier, cette dernière est recouverte d'une forte épaisseur de sédiments lacustres et fluviatiles, comme le montrent les différentes études sur le remplissage sédimentaire de la plaine (Finckh & Frei, 1991; Finckh & Klingele, 1991; Schoeneich, 1998a, 1999; Reynard et al., 2009). Il est également probable que, dans le cas d'un stade de retrait, le glacier se soit trouvé en situation de front flottant dans un paléo-Léman et n'ait pas déposé de cordon reconnaissable, sauf à l'aide de mesures géophysiques, telles que la sismique-réflexion, comme cela a été réalisé avec succès dans le Léman par les équipes de l'Université de Genève (Moscariello et al., 1998a; Dupuy, 2006; Fiore et al., 2011). La position du front glaciaire correspondant au stade hypothétique de Monthey ne peut donc être – en fonction des connaissances actuelles - que calculée et donc, estimée.

Le « stade de Monthey » tel que tracé par cette succession de cordons latéraux, pourrait correspondre à un seul évènement marquant probablement un stade de retrait du glacier du Rhône. La pente de ce glacier serait alors de 5% entre Dorénaz et Collombey, ce qui est plausible étant donné que cette zone est entrecoupée par le puissant verrou de Saint-Maurice. La présence cet obstacle, dont le surcreusement glaciaire, à l'aval, est estimé à 800 m sous le niveau de la plaine, soit environ 400 m au-dessous du niveau de la mer (Finckh et Frei, 1991), a certainement eu une influence importante sur l'altitude de la glace à ce niveau de la vallée (Schoeneich, 1998a). Par ailleurs, le glacier est confiné, à l'amont du verrou, dans une vallée étroite d'environ 1.4 km à Dorénaz contre 5 km à Collombey, propre à accentuer sa pente à l'aval du verrou. Les cordons sont, considérés individuellement, fortement inclinés, ce qui ajoute un argument au stade « unique ».

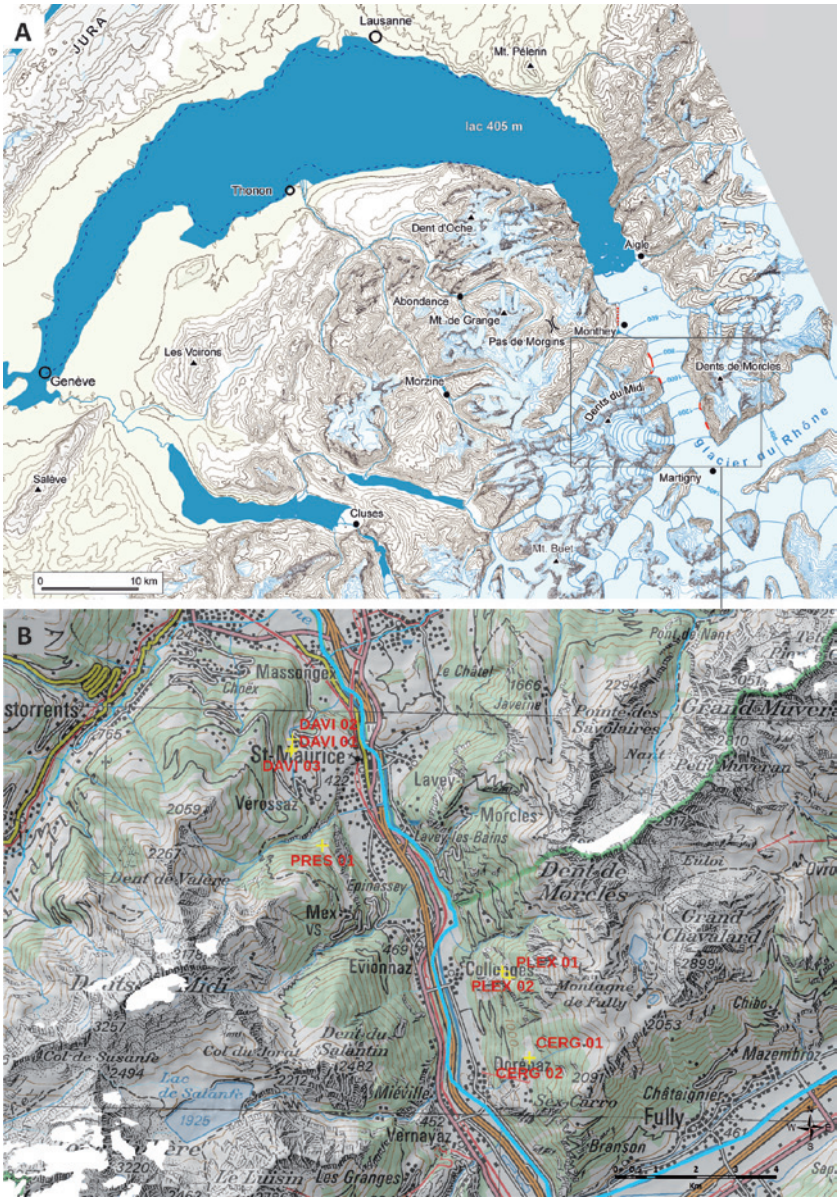


Fig. 4.18 : A. Carte de représentation d'un Stade de Monthey correspondant aux cordons morainiques conservés entre Saint Maurice et Martigny. Carte : S. Coutterand. B. Détail des blocs prélevés pour la deuxième série de datation.

On ne peut bien sûr pas exclure que ces cordons appartiennent à des états différents du glacier du Rhône. A titre de comparaison, un rapide calcul pour déterminer le front glaciaire qui pourrait correspondre à chaque niveau de cordon donnerait des distances comprises entre 43 km pour la Cergna et 11 km pour la Daviaz (Tab. 4.9).

Pour ce calcul, nous utilisons la formule de Nye-Llibourty (1975) (**h = h° + √ 20d**) où **h** est l'altitude du glacier à une distance **d** du front dont l'altitude est de **h°**. Cette formule, tenant compte des propriétés physiques de la glace s'applique à un corps de glace non contraint et glissant sur un substrat lisse. Elle est donc à prendre avec précaution dans le cas d'un glacier de vallée alpine. Cependant, Beaudevin (2000) montre que cette dernière est applicable à des vallées dont la largeur est supérieure à 3-4 kilomètres mais qu'elle donne des résultats sous-estimés en cas de resserrement, typiquement, les verrous glaciaires. Elle peut donc être considérée comme donnant des valeurs maximales d'éloignement du front, dans le cas de glaciers de vallée. Le tableau ci-dessous (Tab. 4.9) indique la formule appliquée ainsi que la position du front correspondant. Pour l'altitude **h** nous avons considéré l'altitude maximale du cordon plus 50 mètres pour le niveau de la glace. Pour l'altitude du front, ce dernier évoluant probablement dans la plaine du Rhône et le Grand Lac, nous avons considéré une altitude unique de 400 m. Cette altitude serait compatible avec un glacier du Rhône dont le front flotte dans un paléo-Léman.

Position latérale	Calcul	Distance au front	Position du front
La Daviaz min	$(720 + 50 - 400)^2 / 20$	6.8 km	Ollon
La Daviaz max	$(830 + 50 - 400)^2 / 20$	11 km	Yvorne
La Daille min	$(920 + 50 - 400)^2 / 20$	16.2 km	Versvey
La Daille max	$(930 + 50 - 400)^2 / 20$	16.8 km	Roche
Les Prés min	$(1000 + 50 - 400)^2 / 20$	21 km	Rennaz
Les Prés max	$(1060 + 50 - 400)^2 / 20$	25 km	Villeneuve
Plex min	$(1220 + 50 - 400)^2 / 20$	37.8 km	Saint-Saphorin
Plex max	$(1250 + 50 - 400)^2 / 20$	40 km	Rivaz
La Cergna min	$(1260 + 50 - 400)^2 / 20$	41.4 km	Saint-Saphorin
La Cergna max	$(1280 + 50 - 400)^2 / 20$	43 km	Rivaz

Tab. 4.9 : Tableau des distances estimées au front glaciaire des cordons attribués au « stade de Monthey » selon la formule de Nye-Lliboutry.

Ce tableau montre que les cordons situés en amont du verrou (le Cergna et Plex) peuvent avoir correspondu à un front donnant dans le Grand Lac, à proximité de Vevey (Rivaz), si l'on ne tient pas compte du verrou de Saint-Maurice, ni du fait que le glacier évolue dans une vallée étroite (1.5 km) entre Dorénaz et Saint-Maurice. Ce front est donc plus probablement situé dans la plaine du Rhône. Le fait que chaque cordon indique un front différent selon que l'on considère son altitude maximale ou son altitude minimale, soulève le fait qu'ils sont trop inclinés pour correspondre au postulat de la formule de Nye-Lliboutry et que le verrou entre très probablement en compte dans la configuration du glacier qui les a construits.

Sur la base de cette réflexion théorique, nous souhaitions tester l'hypothèse d'un stade unique de Monthey, à l'aide des datations cosmogéniques. Des âges similaires obtenus sur l'ensemble de ces cordons pourraient indiquer un évènement unique alors que des âges différents et décroissants d'amont en aval se réfèreraient à des évènements différents mais successifs. Dans un second temps, sur la base des âges d'exposition, nous espérions être en mesure d'indiquer une corrélation possible avec l'un des stades du début du Tardiglaciaire, identifiés dans les Alpes orientales et dont des travaux récents, utilisant des données cosmogéniques, parviennent

petit à petit à délimiter la période (Ivy-Ochs et al., 2006, 2008; Federici et al., 2012).

Le « stade de Monthey » dans la littérature : position et datation

Le calage chronologique des témoins glaciaires dans le bassin lémanique est encore pleinement en discussion. Malgré de nombreuses années de recherche, les datations non équivoques sont rares. Nous présentons ci-dessous les éléments qui peuvent contribuer à une réflexion globale autour du « stade de Monthey » du point de vue de son type (récurrence, retrait, stade unique, stades multiples) et de son âge supposé.

Région genevoise

On sait relativement peu de choses des éventuelles phases de retrait du glacier du Rhône tout au long de la déglaciation. Selon les auteurs qui ont travaillé dans la région de Genève et des différentes parties du Léman «*rien ne permet de croire que le glacier du Rhône ait abandonné le Petit-Lac au cours du Würmien*» (Moscariello et al., 1998a, p. 198). Cependant, deux évènements de réavancée apparaissent dans les données de sismique-réflexion au niveau de Nyon et de Coppet. Le front y est décrit non pas comme un glacier flottant, vêlant dans un lac mais comme un front à pente raide remaniant les sédiments sous jacents et formant des moraines de poussée sous-lacustres (Dupuy, 2006; Fiore et al., 2011). Ces évènements de récurrence ne sont pas datés. Selon l'étude de Moscariello et al. (1998a), le glacier du Rhône est encore présent dans la vallée du Rhône (en Valais, sans indication de position) au Dryas ancien (15.5 – 14.6 ka cal BP), puisque les sédiments lacustres de la rade de Genève enregistrent des rythmites glaciaires. Toujours selon le même auteur, « *(…) il est possible d'argumenter que le Léman a pu être libéré de glace en quelques siècles* » (1998a, p. 199). La datation souvent citée de 22-23 ka cal BP (18'940 ± 210 ^{14}C BP (ETH-14524) (Moscariello et al., 1998a)) pour le début de la déglaciation de la région de Genève est à considérer avec précaution, l'auteur précisant lui-même que le matériel organique pourrait être remanié, ce qui induirait un âge possiblement plus récent pour le sédiment encaissant et donc un âge de déglaciation plus récent.

Région d'Evian : plateau Gavot

Dans le bassin lémanique toujours, mais en rive gauche, à la hauteur d'Evian, la stratigraphie des dépôts quartenaires est connue avec précision grâce à une série de forages (Brun & Delibrias, 1967; Dray, 1975; Blavoux, 1988; Nicoud et al., 1993; Triganon et al., 2005). Dans le schéma établi par Triganon et al. (2005), les sédiments qui constituent le plateau Gavot enregistrent trois complexes de dépôts correspondant à trois phases glaciaires, toutes attribuées au dernier cycle glaciaire. Une première phase paroxysmale est représentée par une épaisse moraine de fond ainsi que des dépôts glaciolacustres. Une seconde phase moins étendue (alt. max. des dépôts 850 m) correspond à un stade du glacier du Rhône. Elle est composée d'une alternance de till et de niveaux organiques entre 550 et 850 m qui traduit de nombreuses fluctuations, au moins latérales, du glacier. Une troisième phase apparaît localement, emboitée dans la phase précédente. Le glacier opère donc une nouvelle récurrence dont les dépôts (till de fond, sédiments glaciolacustres et till d'ablation) atteignent une altitude maximale de 650 m. Ces trois phases d'activité glaciaire sont calées chronologiquement à l'aide d'une vingtaine de datations ^{14}C non calibrées, dont malheureusement, la plupart sont relativement

anciennes (1960) ou présentent de larges marges d'erreur. Il est cependant possible d'avancer que l'extension maximale se situe avant 35 ka cal BP. Le premier stade observé est situé dans une fourchette de 41 à 33 ka BP et le second entre 31 et 26 ka BP.

Pour résumer la situation à Evian, il semblerait que les dépôts reconnus correspondent relativement bien aux différents témoins du bassin lémanique et de la plaine du Rhône. Par contre, les datations ^{14}C qui viennent soutenir cette géométrie sont toutes plus anciennes que le LGGM et placent l'extension maximale vers 42-35 ka cal BP (Blavoux, 1965; Guiter et al., 2005; Triganon et al., 2005). Cependant, les trois complexes identifiés par Triganon et al. (2005) sont antérieurs à une position du front du glacier du Rhône aux environs de Monthey.

Plaine du Rhône en amont du Léman

Plus en amont, dans les Chablais suisse, la déglaciation semble s'opérer dans une ambiance lacustre (Reynard et al., 2009) sans qu'il ne soit détecté de phase de retrait important, ni de phase de réavancée marquée du glacier principal (Schoeneich, 1998a). Les flancs de la vallée du Rhône portent les traces d'un niveau de stationnement prolongé du glacier du Rhône à une altitude décroissante d'amont en aval, enregistré par des terrasses fluvioglaciaires bien développées à Gryon-Villars-Chesière et Luan puis, dans le bassin lémanique, aux Avants, dans le vallon de Villard et à Châtel Saint-Denis (Schoeneich, 1998a).

Un équivalent possible du « stade de Monthey » figure dans le travail de Schoeneich (1998a) et Reynard et al. (2009). Cette position est envisagée comme une étape de retrait du glacier du Rhône, ce dernier débordant encore au-delà du verrou de Saint-Maurice. Elle est proposée sur une reconstitution impliquant une accumulation de graviers en provenance des cours de l'Avançon et de la Gryonne, à front net : le delta glaciolacustre d'Ollon.

Ailleurs dans les Alpes

Le stade de Gschnitz (Maisch, 1982) a été identifié dans plusieurs vallées alpines puis daté avec succès à l'aide des nucléides cosmogéniques venant soutenir des datations ^{14}C plus anciennes (Ivy-Ochs et al., 2006). Cette avancée glaciaire est maintenant envisagée comme une récurrence importante des glaciers de vallée de taille moyenne sur un terrain largement déglacé, ayant laissé des cordons morainiques bien dessinés, souvent constitués de blocs volumineux avec une matrice fine plutôt rare. Ces travaux concernent des vallées secondaires vis-à-vis des grands appareils qui se sont développés lors du dernier cycle glaciaire (SIO5-SIO2). En ce qui concerne les grands glaciers de vallée tels que le glacier du Rhin, de la Linth ou du Rhône, les témoins attribués à ce stade du début du Tardiglaciaire sont plus rares. Selon Ivy-Ochs (2006), il est possible que la glace ait alors représenté encore de vastes systèmes dendritiques et que les plus gros glaciers se soient encore trouvés en position avancée dans leur vallée avec des fronts pouvant atteindre 500 à 600 mètres d'altitude. Faut-il considérer que les grands appareils, une fois confinés dans leurs vallées ont connu un retrait plus lent que celui qui a suivi le LGGM et la disparition des lobes de piémont ? On pourrait imaginer que les glaciers affluents ont subi un retrait plus important que les glaciers principaux. Ils se seraient alors détachés des corps de glace principaux puis, auraient subi une récurrence prononcée lors d'une forte dégradation climatique postérieure. Ils auraient alors réavancé sur des terrains libres de glace alors que les glaciers

principaux occupaient encore les vallées principales. Le recouvrement des dépôts de l'écroulement supraglaciaire de Sierre par une récurrence du glacier d'Anniviers plaide pour une telle hypothèse (Burri, 1997).

Méthode d'échantillonnage

Plusieurs prospections ont été effectuées afin de s'assurer que les cordons détectés possédaient des blocs erratiques susceptibles d'êtres « datés » à l'aide du Béryllium. Neuf blocs ont été repérés dont plusieurs pour un même cordon : 3 à la Daviaz, 1 aux Près, 2 à Plex, 2 à la Cergna. Les prélèvements ont été effectués en plusieurs étapes avec l'aide de Gaël Petremand et Jean Vandergooten durant l'hiver 2011-2012. Les outils classiques ont été utilisés : prélèvement avec burin et massette, mesure de l'écrantage avec un clinomètre et une boussole *Sunnto*®.

Préparation des échantillons

La préparation mécanique des échantillons a été effectuée à l'Université de Lausanne, dans les locaux techniques de l'Institut de géologie. Nous avons utilisé une presse hydraulique puis un broyeur à disque oscillant en carbure de tungstène et deux tailles de tamis (200-500 µm). Cette procédure s'est avérée plus rapide que l'utilisation du broyeur à mâchoires du laboratoire EDYTEM (cf. point 4.3.2). La préparation chimique à été effectuée au laboratoire d'*Ion Beam Physics* (ETH Zürich) selon le même protocole que pour la première série d'échantillons, sous la direction de S. Ivy-Ochs et avec l'aide de Santiago Padilla (Université de Séville). L'erreur analytique est plus élevée que pour la première série de datations. Ceci s'explique par les relativement faibles concentrations en ^{10}Be de nos échantillons (ils sont relativement jeunes) et par la qualité des traitements chimiques. Elle est comprise entre 15.10% et 7.27%.

Remarques générales sur les cordons morainiques de la Cergna, Plex, les Pré, la Daille et Vérossaz

Ces cordons sont des reliquats, conservés là où le terrain initial le permettait, à la faveur d'étroites banquettes structurales. La majeure partie des dépôts glaciaires de la vallée a subi une forte érosion, accentuée par la verticalité des parois. La composition des éléments contenus dans le till donne des informations sur les situations de confluence des glaciers locaux correspondant à chaque cordon. Par exemple, le cordon des Prés (Fig. 4.19) est pauvre en matériaux cristallins, ce qui suppose que le glacier de Plan Névé était encore présent dans le vallon du torrent de Saint Barthélémy (au-dessus d'Evionnaz). A la Daille, deux cordons parallèles mal définis, orientés SSW-NNE sont totalement dépourvus de matériaux cristallins. Ils sont attribués par Gagnebin et al. (1934) au glacier local qui devait occuper le vallon de Mauvoisin. A quelques mètres à l'aval, deux cordons parallèles et bien conservés, très riches en granites et roches vertes sont attribués au glacier du Rhône. Si ces deux séries de cordons sont contemporaines, on en déduit que le glacier local ne conflue quasiment pas avec le glacier du Rhône. Dans l'hypothèse d'un stade unique incluant les cordons de Plex, le glacier de Plan Névé n'est pas suffisamment puissant pour accompagner le glacier du Rhône au-delà de la Daille.

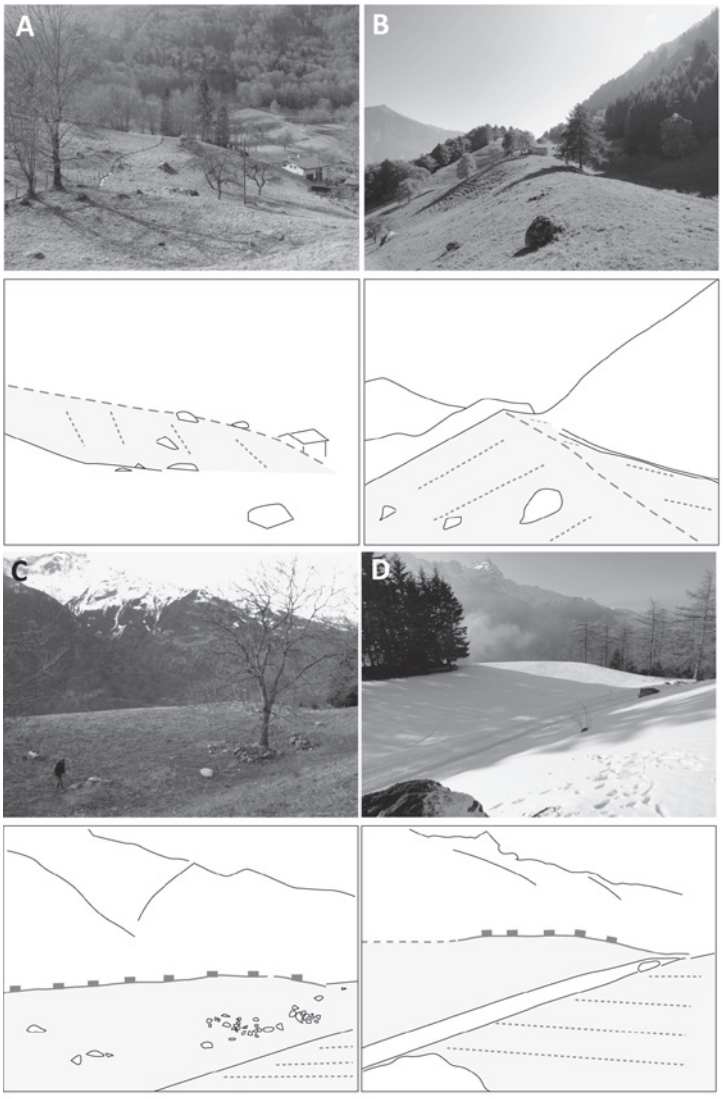


Fig. 4.19 : Morphologie glaciaire des cordons de la Daviaz (A), des Prés (B), de Plex (C) et de la Cergna (D).

Il est intéressant de noter que les cordons de la Cergna et de Plex sont doublés d'une terrasse composée de till, située quelques dizaines de mètres sous la crête du cordon (10 m à la Cergna, 40 m à Plex, terrasses qui ne sont pas mentionnées sur la carte géologique (Badoux & Burri, 1971)) (Fig. 4.19). Ces terrasses semblent indiquer un niveau de stationnement secondaire du glacier, moins élevé. Dans le cas des Prés et de la Daille, le cordon principal est doublé d'un cordon moins bien défini, situé également quelques dizaines de mètres en contrebas (20 m aux Prés, 10 m à la Daille). Le cordon morainique qui s'étend sur le plateau de Vérossaz est moins évident. Il se présente comme une accumulation morainique allongée d'un kilomètre et demi, épaisse d'au moins 20 mètres à Vésenau, mais

ramenée à une faible couverture éparse au niveau de la Daviaz. Les matériaux morainiques sont très variés et riches en éléments cristallins et de nombreux blocs relativement volumineux sont répartis aux environs du « cordon » principal, mais également sur l'ensemble de la pente, en contrebas de ce cordon. Entre Vers chez Coquet et la Daviaz, la morphologie glaciaire est difficile à distinguer de la morphologie karstique sous-jacente, d'autant plus que toutes les lignes sont de même orientation (SSE-NNE) (Fig. 4.19). Il semble tout de même que le cordon s'individualise en trois crêtes à hauteur de Vers chez Coquet.

Les blocs erratiques prélevés sont tous situés sur les crêtes mentionnées, soit sur leur flanc interne, soit sur leur flanc externe, soit sur leur sommet. Pour la plupart, des cordons, il est impossible de caractériser le matériel qui les compose en profondeur, en l'absence de coupes naturelles ou anthropiques. Ils sont très largement végétalisés avec quelques blocs épars en surface à la Cergna, à Plex et aux Prés. Seuls deux blocs par cordon étaient « échantillonnables » selon les critères de lithologie, taille et position. Les cordons de la Daille sont, par contre, très riches en blocs cristallins mais ils sont tous de très petite taille. Un seul bloc volumineux a été repéré sur le cordon secondaire. Incapable de déterminer s'il contenait du quartz ou non, nous avons choisi de ne pas l'échantillonner. A la Daviaz, un grand nombre de blocs cristallins de belle taille sont disponibles, bien que certains aient été visiblement exploités. Nous en avons choisi trois qui paraissaient intacts et en position stable.

Cordon morainique de la Daviaz (DAVI 01 – DAVI 02 – DAVI 03)

Description du cordon de la Daviaz (830 – 720 m)

Le cordon morainique de la Daviaz est construit sur un plateau calcaire incliné au NNE. La pente de ce plateau est relativement faible par rapport à celle qui caractérise les versants de la plaine du Rhône entre Martigny et Saint-Maurice. La morphologie glaciaire prend ici une configuration moins nette qu'à la Daille ou à Plex, ce qui peut s'expliquer par le fait que la position du glacier a pu varier latéralement sur le plateau de Vérossaz alors que cette variation s'est répercutée moins fortement à l'amont du verrou, là où la vallée est plus étroite. Le matériel qui constitue cette moraine est riche en éléments cristallins variés. Un large affleurement situé derrière un garage (à la sortie des Vésenaux : 564'674/118'831) permet d'en observer la composition. Le cordon, tel que représenté sur la carte géologique (Gagnebin, 1934) est fortement incliné d'amont en aval. Il débute vers 830 m et se termine vers 720 m sur une distance d'un kilomètre, ce qui représente une pente moyenne de 11% (110/1000). Sur toute la surface du plateau, on trouve des blocs rhodaniens isolés reposant directement sur la roche en place.

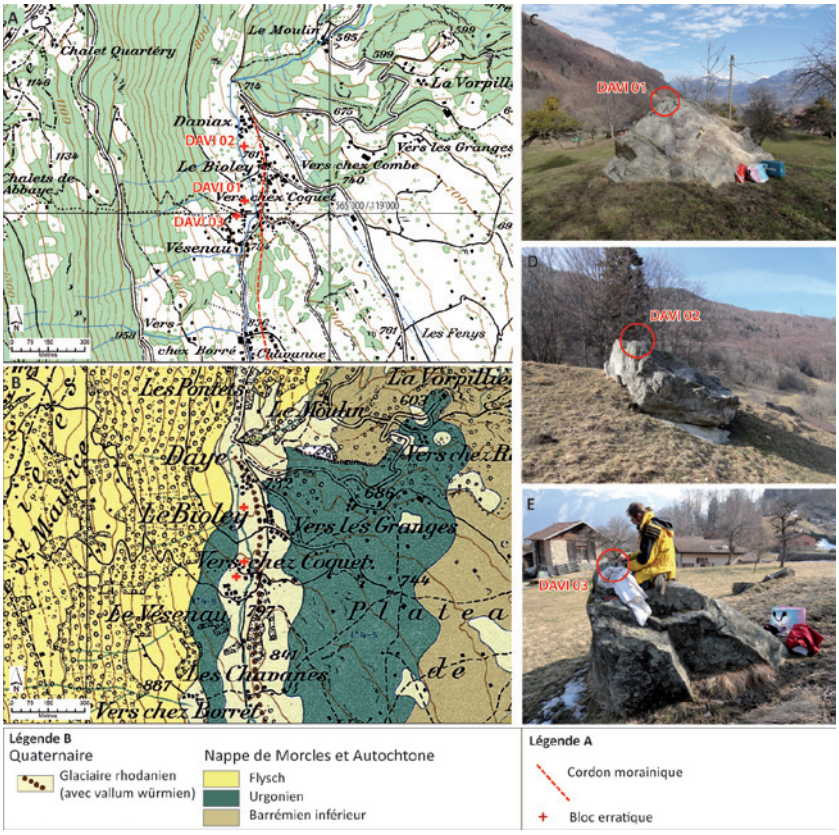


Fig. 4.20 : Situation des blocs de la Daviaz sur carte topographique et carte géologique. Modifié d'après Gagnebin et al. (1934). Situation des prélèvements et morphologies des blocs. Photos : A. Perret.

DAVI 01

Lieu:	Le Bioley, Vérossaz, Valais
Date du prélèvement:	03.03.2012
Nom du bloc:	**DAVI 01**
Altitude (m):	791
Lithologie :	Leucogranite (?)
Coordonnées :	(WGS 84 UTM 32 N) 32 T 344253 5120694 / 46.221983,6.980496
Situation :	Sur la face externe de la crête morainique, sur un terrain plat. La crête morainique est très émoussée et semble divisée en plusieurs crêtes. Le matériel cristallin est très abondant aux alentours.
Description du bloc :	Bloc moyen (~ 4 m^3) bien conservé. Roche : granite avec une forte proportion de minéraux blancs et de rares minéraux noirs. Tendance rose orangée. Un petit arbre pousse au sommet.
Prélèvement :	Effectué en deux jours. Une faible partie de l'échantillon contient des minéraux altérés. Epaisseur : 4 cm max. Facteur d'écrantage : 0.964
Résultat DAVI 01 :	ø trop de bore La mesure a été rendue impossible par une trop grande concentration de bore, lequel devrait normalement être évacué durant les différentes phases de traitement de l'échantillon.

Tab. 4.10 : Caractéristiques et résultats de DAVI 01.

DAVI 02

Lieu:	La Daviaz, Vérossaz, Valais
Date du prélèvement:	04.05.2012
Nom du bloc:	**DAVI 02**
Altitude (m):	744
Lithologie :	Leucogranite (?)
Coordonnées :	(WGS 84 UTM 32 N) 32 T 344256 5120920 / 46.224016, 6.980461
Situation :	Sur la face externe de la crête morainique. La crête morainique est très émoussée et semble divisée en plusieurs crêtes. DAVI02 est situé sur le sommet d'une petite crête. La roche en place est visible directement sous le bloc. Les environs immédiats sont couverts de matériel rhodanien.
Description du bloc :	Bloc moyen (~ 4 m^3) bien conservé. Roche très semblable à DAVI01: granite avec une forte proportion de minéraux blancs et de rares minéraux noirs. Traces de transport glaciaire (moutonnement et stries).
Prélèvement :	Epaisseur : 3 cm max. Facteur d'écrantage : 0.962.
Résultat DAVI 02 :	**23'214 ± 3'719** ^{10}Be = 27'000 – 19'500 (taux d'érosion : 3mm/ka)

Tab. 4.11 : Caractéristiques et résultats de DAVI 02.

DAVI 03

Lieu:	Le Bioley, Vérossaz, Valais
Date du prélèvement:	04.05.2012
Nom du bloc:	**DAVI 03**
Altitude (m):	794
Lithologie :	Granite
Coordonnées :	(WGS 84 UTM 32 N) 32 T 344219 5120633 / 46.221426, 6.980076
Situation :	Sur le côté extérieur de la crête morainique. DAVI03 est situé dans une courte pente. Un autre bloc de granite probablement exploité gît à environ 50 m au SSE.
Description du bloc :	Bloc de taille moyenne (~ 2 m^3) bien conservé. Des angles francs sur le côté du bloc pourraient indiquer des zones taillées.
Prélèvement :	Roche très résistante. Pente = 20° sud. Epaisseur : 3 cm max. Facteur d'écrantage : 0.962.
Résultat DAVI 03 :	**14'356 ± 2'368** ^{10}Be = 16'700 – 12'000 (taux d'érosion : 3mm/ka)

Tab. 4.12 : Caractéristiques et résultats de DAVI 03.

Cordon morainique des Près (PRES 01)

Description du cordon des Prés (1060 – 1000 m)

Le cordon des Prés (Les Praz sur les cartes topographiques les plus récentes) est très nettement reconnaissable par sa forme de longue crête légèrement émoussée. Il est situé sur un étroit replat d'origine structurale (contact flysch – calcaires) qui se poursuit en amont, jusqu'à Mex. Un second cordon, parallèle au premier mais un peu moins marqué est situé 20 m en contrebas (Fig. 4.21). Il n'est pas indiqué sur la carte géologique en tant que cordon mais en tant que patch morainique

rhodanien. De nombreux blocs affleurent à la surface des deux cordons. Ce sont des calcaires pour la plupart. Le seul bloc cristallin assez volumineux a été prélevé. Nous avons trouvé très peu de matériaux cristallins sur l'ensemble du replat entre les Prés et Mex. Cette abondance de matériel local pourrait s'expliquer par la présence d'un glacier secondaire (le glacier de Plan Névé), en rive gauche du glacier du Rhône lors de la construction de ces deux cordons morainiques. La pente moyenne du cordon le plus élevé est de 9% (60 m/ 650 m).

Description du cordon de la Daille (930 – 920 m)

A la Daille, sur le versant gauche du torrent de Mauvoisin (Fig. 4.21), la carte géologique indique quatre cordons morainiques, deux cordons locaux orientés parallèlement au torrent et deux cordons rhodaniens orientés parallèlement à la plaine du Rhône. Si les deux cordons locaux sont mal marqués sur le terrain, les cordons rhodaniens sont bien visibles. Nous en avons identifié trois, disposés parallèlement. Ils sont relativement courts tous les trois et espacés verticalement d'une dizaine de mètres. Le cordon le plus haut en altitude est particulièrement riche en blocs granitiques de petite taille. Malheureusement, nous n'avons trouvé qu'un seul bloc assez volumineux pour convenir à une datation cosmogénique (565'080/117'213). Ce bloc n'a pas été prélevé parce que sa position ne permettait pas de déterminer s'il avait été exhumé récemment ou non. De plus, nous n'avons pas su nous prononcer sur sa lithologie et ne pouvions garantir qu'il contenait une proportion de quartz suffisante. La pente moyenne de ces cordons est plus faible que celle du cordon des Près (5% (10 m / 200 m)).

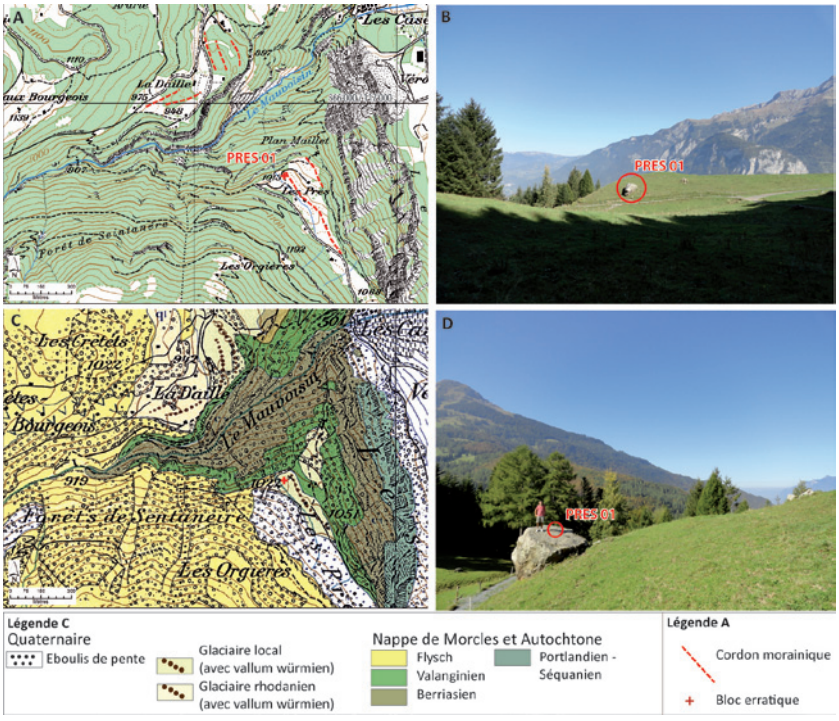


Fig. 4.21 : Situation des blocs des Prés sur la carte topographique et la carte géologique. Modifié d'après Gagnebin et al. (1934). Situation du prélèvement et morphologie du bloc. Photos : A. Perret.

PRES01

Lieu:	Les Prés, Mex, Valais
Date du prélèvement:	13.02.2012
Nom du bloc:	**PRES 01**
Altitude (m):	1012
Lithologie :	Granite
Coordonnées :	(WGS 84 UTM 32 N) 32 T 345001 5118268 / 46.200333, 6.990985
Situation :	Sur la face externe d'une crête morainique. PRES01 est le seul bloc cristallin affleurant sur cette crête morainique.
Description du bloc :	Le bloc est volumineux et présente une surface plane et inclinée au NW sur son sommet.
Prélèvement :	Roche résistante. Pente = 20° NW. Epaisseur : 4 cm max.
Résultat PRES 01 :	**ø** échantillon trop petit Nous avons prélevé 775 g de roche sur ce bloc, ce qui représentait 250 g de fraction fine après broyage. Cette quantité n'a pas permis d'obtenir suffisamment de quartz après les premières étapes de dissolution en laboratoire et nous avons dû abandonner cet échantillon.

Tab. 4.13 : Caractéristiques et résultats de PRES 01.

Cordon morainique de Plex (PLEX 01 – PLEX 02)

Description du cordon de Plex (1250 – 1220 m)

L'alpage de Plex est situé sur un replat à l'arrière d'un cordon morainique bien dessiné. Un marais s'est installé dans une petite dépression entre le versant et le cordon au sud. Il s'agit de la Maraîche de Plex sur Collonges, site protégé par une ordonnance cantonale. La surface du cordon est riche en blocs cristallins de lithologies variées (granite, roches vertes, gneiss, etc.). Ils sont pour la plupart trop petits pour être échantillonnés ou semblent avoir été exploités. Le cordon est suivi par un niveau de terrasse morainique situé à 1900 m, soit environ 40 m en contrebas. Quelques blocs particulièrement volumineux nous ont semblé provenir de l'éboulement qui a affecté la paroi au NNE, au-dessus de l'alpage dans les conglomérats stéphaniens (Fig. 4.23). La pente du cordon est de 7.5% (30 m / 400 m).

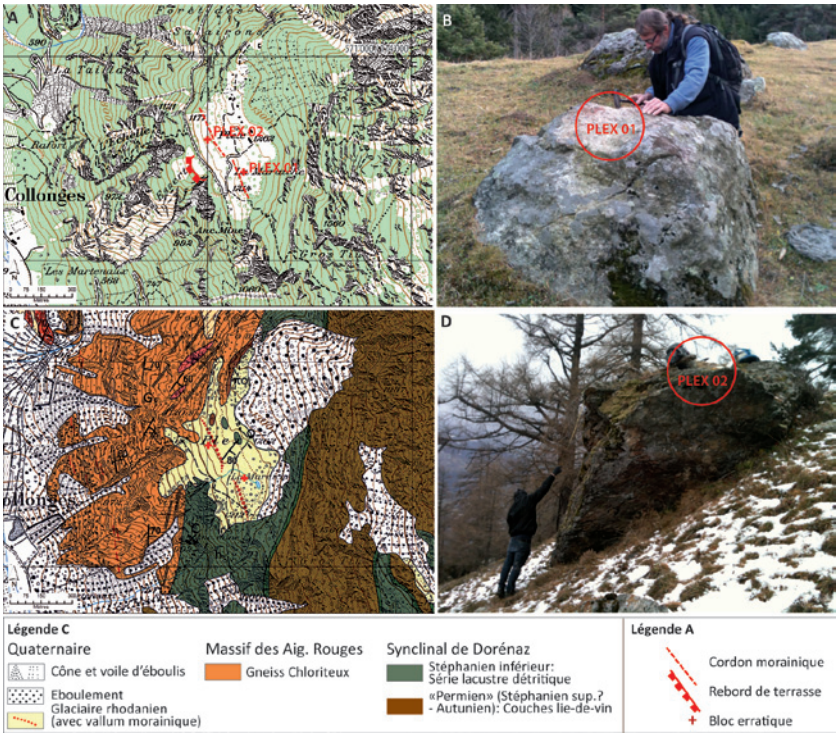


Fig. 4.22 : Situation des blocs de Plex sur la carte topographique et la carte géologique. Modifié d'après Badoux et Burri (1971). Situation des prélèvements et morphologie des blocs. Photos : A. Perret.

PLEX 01

Lieu:	Alpage de Plex, Collonges, Valais
Date du prélèvement:	13.12.2011
Nom du bloc:	**PLEX 01**
Altitude (m):	1240
Lithologie :	Granite
Coordonnées :	(WGS 84 UTM 32 N) 32 T 349667 5114969 / 46.171706, 7.052476
Situation :	Sur le flanc externe de la crête morainique. PLEX 01 est situé sur une petite butte juste à l'arrière de la crête.
Description du bloc :	Petit bloc (moins d' 1m^3, hauteur : 60 cm) arrondi.
Prélèvement :	Roche très résistante. Pente = 20° ouest. Epaisseur : plus de 4 cm. Facteur d'écrantage : 0.941.
Résultat PLEX 01 :	**15'877 ± 1'450** ^{10}Be = 17'300 – 14'400 (taux d'érosion : 3mm/ka)

Tab. 4.14 : Caractéristiques et résultats de PLEX 01.

PLEX 02

Lieu:	Alpage de Plex, Collonges, Valais
Date du prélèvement:	13.12.2011
Nom du bloc:	**PLEX 02**
Altitude (m):	1230
Lithologie :	Granite (?)
Coordonnées :	(WGS 84 UTM 32 N) 32 T 349494 5115132 / 46.173134, 7.050184
Situation :	Sur le flanc interne de la crête morainique. Environ 5 mètres sous la crête.
Description du bloc :	Le bloc est volumineux mais à moitié enfoui dans la moraine.
Prélèvement :	En une pièce. Epaisseur : 5 cm max. Facteur d'écrantage : 0.949
Résultat PLEX 02 :	**ø** pas assez de quartz Malgré les 500 g de fraction fine que nous avons obtenus après broyage, les premières étapes de dissolution ne nous ont pas permis d'obtenir suffisamment de quartz pour poursuivre les traitements.

Tab. 4.15 : Caractéristiques et résultats de PLEX 02.

Cordon morainique de la Cergna (CERG 01 – CERG 02)

Description du cordon de la Cergna (1280 – 1260 m)

Le cordon de la Cergna (la Sargnia sur les cartes topographiques les plus récentes) est situé 1'500 m à l'amont de Plex, sur le même versant de la vallée du Rhône. Il est également situé sur un petit replat du versant et doublé d'une étroite terrasse morainique placée environ 10 m sous le sommet du cordon. Si la terrasse est exempte de blocs, le cordon en comporte un bon nombre, dont de nombreux petits blocs de granite. Les plus petits blocs semblent avoir été regroupés en amas (épierrement ?). Malgré cette abondance de blocs cristallins, seuls deux spécimens étaient suffisamment volumineux pour être échantillonnés.

Notre principal souci en échantillonnant ces blocs erratiques était d'éviter de choisir un bloc local déposé ultérieurement à la construction du cordon rhodanien (par un glacier local) ou tombé des parois environnantes. Nous avons donc comparé les informations apportées par la carte géologique (Badoux & Burri, 1971) et nos observations sur le terrain. La carte géologique (Fig. 4.23) indique un cordon morainique rhodanien à 1240 m ainsi qu'un second cordon d'altitude plus élevée (1340 m), quelque 200 mètres en amont. Ces deux éléments ont été retrouvés sur le terrain. Par contre, les cordons locaux, dessinés perpendiculairement au versant nous semblent être des formes résultant plutôt de l'érosion du till que des témoins de stades glaciaires. L'attribution à tort, de morphologies glaciaires est régulièrement constatée sur les cartes géologiques de la période 1970-1990, particulièrement sur la carte n°88 (Badoux et al., 1990) lorsque du till fortement raviné fait apparaître des crêtes parfaitement perpendiculaires à la pente. Si ces « crêtes » ne sont généralement pas synonymes de crêtes morainiques elles sont, par contre, de bons indicateurs de la présence de till sur les versants de vallée. Dans le cas de la région de la Cergna, les auteurs ont cartographié avec exactitude des morphologies quaternaires sur le faible replat de l'Au d'Alesse (2100 - 1940 m), situé au-dessus de l'alpage de la Cergna. Ces morphologies sont, sans aucun doute, des amas de blocs dont le dépôt est à attribuer à l'interface des processus glaciaires et périglaciaires. Des formes similaires (petit glacier rocheux et cordons

morainiques enchevêtrés) se sont également développées au sommet du vallon de Chalet Neuf (le Dzéman 2100 - 2000 m), au-dessus de l'alpage de Plex. Il est par contre assez douteux que des cordons morainiques aient été conservés en contrebas, entre l'Au d'Alesse et la Cergna, sur une pente aussi raide et dans cette position. Nous considérons que, s'il y a eu développement d'un petit glacier local postérieurement au dépôt du cordon rhodanien de la Cergna, ce dernier n'a pas atteint ce cordon et par conséquent n'en a pas dérangé les matériaux.

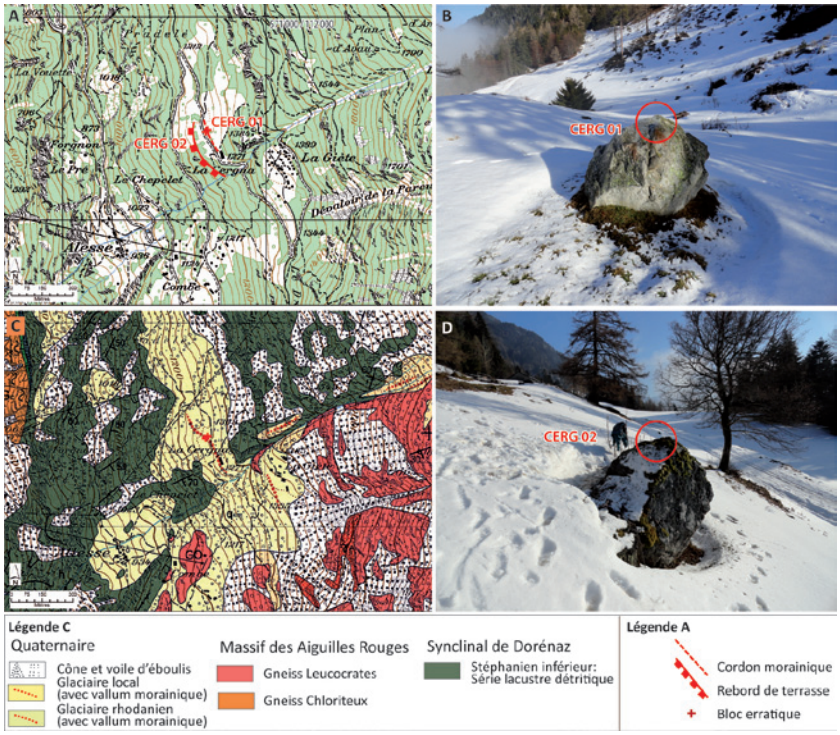


Fig. 4.23 : Situation des blocs de la Cergna sur la carte topographique et la carte géologique. Modifié d'après Badoux et Burri (1971). Situation des prélèvements et morphologie des blocs. Photos : A. Perret.

CERG 01

Lieu:	Alpage de la Cergna, Dorénaz, Valais
Date du prélèvement:	26.01.2012
Nom du bloc:	**CERG 01**
Altitude (m):	1257
Lithologie :	Granite (?)
Coordonnées :	(WGS 84 UTM 32 N) 32 T 350164 5112969 / 46.153825, 7.059544
Situation :	Sur la crête du cordon morainique.
Description du bloc :	Bloc d'allure arrondie, de petite taille, dense. La surface du bloc pourrait être polie par le frottement des vaches.
Prélèvement :	Roche résistante. Epaisseur : 3 cm max. Facteur d'écrantage : 0.982.
Résultat CERG 01 :	**8'626 ± 882** ^{10}Be = 9'500 – 7'700 (taux d'érosion : 3mm/ka)

Tab. 4.16 : Caractéristiques et résultats de CERG 01.

CERG 02

Lieu:	Alpage de la Cergna, Dorénaz, Valais
Date du prélèvement:	26.01.2012
Nom du bloc:	**CERG 02**
Altitude (m):	1256
Lithologie :	Roche verte (?)
Coordonnées :	(WGS 84 UTM 32 N) 32 T 350154 5112960 / 46.153742, 7.059417
Situation :	Sur le flanc interne de la crête morainique.
Description du bloc :	Roche verte altérée avec des lichens et de la mousse.
Prélèvement :	En trois grosses pièces. Epaisseur : 7 cm max. Facteur d'écrantage : 0.978.
Résultat CERG 02 :	**12'854 ± 1'575** 10Be = 14'400 – 11'300 (taux d'érosion : 3 mm/ka)

Tab. 4.17 : Caractéristiques et résultats de CERG 02.

Résultats

Sur les huit échantillons prélevés, deux se sont avérés inutilisables lors de la préparation en laboratoire. **PRES 01** était de poids trop réduit (775 g prélevés pour 250 g de fraction fine), la dose de quartz extraite de l'échantillon était insuffisante pour poursuivre les traitements chimiques. **PLEX 02** ne contenait pas suffisamment de quartz, bien que le poids du prélèvement ait été de plus de 1 kg (730 g de fraction fine). Un troisième échantillon, **DAVI 01**, contenait une trop forte proportion de bore, ce qui a été détecté lors de la mesure. Bien que traité, cet échantillon n'a pas pu être mesuré et n'a donc pas produit de résultat.

Les âges d'exposition ont été calculés avec une érosion nulle et avec un taux d'érosion de 3 mm par millier d'années, ce qui est généralement considéré comme un taux minimal pour ce type de roche et sous nos latitudes (Ivy-Ochs et al., 2004). Dans la discussion, nous utilisons les données avec le taux d'érosion de 3 mm/ka. L'erreur reportée reflète uniquement l'erreur analytique. Nous n'avons appliqué

aucune correction liée à la présence d'un couvert neigeux ou forestier. Les âges proposés doivent donc être considérés comme des valeurs minimales.

Nom de l'échantillon	Alt. (m)	Hauteur du bloc (cm)	Epaisseur du prélèvement (cm)	Facteur d'écrantage	10^4 atomes/g	Erreur %	Age d'exposition (ka) (érosion nulle)	Age d'exposition (ka) (érosion : 3 mm/ka)
DAVI02	744	1.3	3	0.962	15.88 ± 2.2	14.22	21.9 ± 3.3	23.2 ± 3.7
DAVI03	794	1.6	3	0.962	10.39 ± 1.5	15.10	13.8 ± 2.2	14.4 ± 2.3
PLEX01	1240	0.6	4	0.941	15.96 ± 1.1	7.27	15.2 ± 1.3	15.9 ± 1.4
CERG01	1257	1	3	0.982	9.41 ± 0.8	8.73	8.4 ± 0.8	8.6 ± 0.8
CERG02	1256	0.8	8	0.978	13.23 ± 1.4	10.79	12.4 ± 1.5	12.9 ± 1.6

Tab. 4.18 : Concentrations en ^{10}Be et âges d'exposition calculés sans et avec un taux d'érosion de 3 mm/ka.

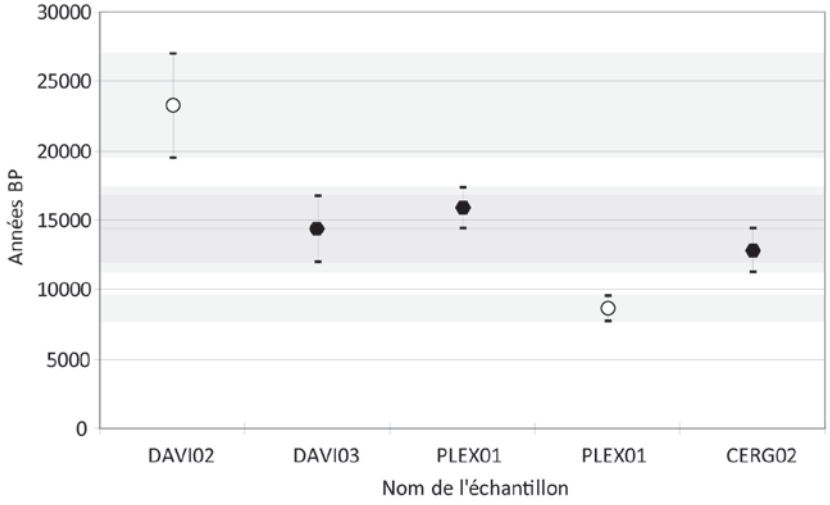


Fig. 4.24 : Comparaison des âges d'exposition obtenus sur les blocs attribués au stade de Monthey, montrant les marges d'erreur analytiques. Les ronds blancs indiquent les résultats rejetés. Les hexagones noirs indiquent les résultats considérés comme cohérents.

Cinq échantillons sur huit ont donc fourni une donnée chiffrée. Partant de l'hypothèse que les blocs erratiques prélevés sont tous attribuables à un même stade (le stade de Monthey), un des échantillons peut être a priori écarté pour son faible âge d'exposition : **CERG 01** (8'626 ± 882 ^{10}Be BP (3 mm e/ka)). Cet âge « trop jeune » est difficile à expliquer. La taille du bloc est suffisante. L'érosion constatée par le frottement du bétail ne semble pas avoir affecté le sommet du bloc, mais plutôt ses côtés. La lithologie (granite) indique que le bloc a été déposé en même temps que le cordon morainique et non lors d'un éboulement postérieur (parois de gneiss leucocrate à proximité mais légèrement en amont). Le rajeunissement de la surface pourrait éventuellement être attribué à la perte d'un morceau de roche

sur le sommet du bloc (gel ?) qui présente une morphologie générale anguleuse à bords arrondis (Fig. 4.23). Cependant, on ne repère aucune trace de fragment de granite aux environs immédiats. Un prélèvement pour confirmation aurait pu être tenté sur un des côtés, comme cela avait été réalisé pour le bloc CHA011. Lors du prélèvement, nous n'avions cependant pas jugé utile de doubler la mesure, le bloc présentant une morphologie générale arrondie. Un second échantillon présente un âge d'exposition anormal par rapport à la série considérée : **DAVI 02** (23'200 ± 3719 ^{10}Be BP (3 mm e/ka)). Ce résultat présente une difficulté d'interprétation. L'erreur analytique de ± 3719 ans détermine une fourchette de près de 8'000 ans, ce qui nous apparait être difficilement utilisable compte tenu que les variations climatiques globales enregistrées par les sédiments océaniques (par exemple) et illustrées par les différentes courbes isotopiques actuellement disponibles indiquent que l'on peut passer d'une situation stadiaire à interstadiaire en un laps de temps bien plus court. Etant donné sa position, légèrement à l'extérieur du cordon de la Daviaz, il n'est pas exclu que ce bloc ait été déposé à un stade antérieur. Dans ce cas, il aurait subi une perte d'altitude due à des processus gravitaires et/ou fluviatiles et aurait atterri non loin du cordon en construction à la Daviaz.

Les trois échantillons restants ont donné des âges d'exposition relativement similaires, en tenant compte des marges d'erreur analytique : d'amont an aval: **CERG 02** 12'854 ± 1'575 ^{10}Be BP, **PLEX 01** 15'877 ± 1'450 ^{10}Be BP, **DAVI 03** 14'356 ± 2'365. De ces résultats, nous constatons que CERG 02 et DAVI 03 sont compris dans une même marge d'incertitude, tout comme DAVI 03 et PLEX 01 (Fig. 4.24). Nous n'obtenons, au final et malgré notre échantillonnage, qu'un seul bloc « daté » par cordon.

Discussion

Interprétation des âges d'exposition pour les formations morainiques

Dans le cas de crêtes dont la hauteur n'excède pas 20 mètres, les processus de rééquilibrage de la pente sont considérés comme négligeables (Putkonen & Swanson, 2003). Une proportion réduite de blocs est nécessaire pour obtenir un âge d'exposition approchant l'âge réel de la forme. Zech et al. (2005) confirment cette idée en constatant que les moraines latérales sont plus susceptibles d'avoir une évolution stable que d'autres formes glaciaires comme les *hummocky moraines*. Dans le cas de morphologies soumises à une longue évolution, l'âge maximal (hormis les âges aberrants) peut-être considéré comme un âge minimal pour la forme en question, alors que l'âge minimal peut indiquer la période de stabilisation de la forme. Dans le cas où la morphologie ne propose qu'un faible nombre de blocs « prélevables », il nous semble préférable d'utiliser ces précautions plutôt que d'effectuer des moyennes avec les valeurs retenues. L'âge le plus ancien (hors âges aberrants) indique selon Putkonen et Swanson (2003) ≥ 90% de l'âge de la moraine. Plus récemment, Putkonon et O'Neal (2006) ont montré que l'érosion des morphologies quaternaires est loin d'être négligeable et que les crêtes morainiques peuvent perdre jusqu'à 25% de leur hauteur et 34% de leur pente, ce qui représente entre quelques mètres et quelques dizaines de mètres sur une période comprise entre un millier d'années et une dizaine de milliers d'années.

DAVI 02 (23'200 ± 3719 ^{10}Be BP (3 mm e/ka))

Ce résultat peut être interprété selon plusieurs scénarios, tout en gardant à l'esprit qu'il est basé sur une seule mesure présentant une très large erreur analytique.

1) En conservant l'hypothèse d'un **stade unique** de retrait, matérialisé par une série de cordons d'altitude fortement décroissante au passage du verrou de Saint-Maurice (1260 m à la Cergna, 530 m à Monthey), dont la position du front serait située aux environs d'Aigle (Fig. 4.18), l'âge d'exposition obtenu semble « trop vieux » dans tous les cas, soit que l'on considère que le LLGM correspond au LGGM et que le niveau de glace à cette hauteur de la plaine du Rhône se situe entre 2'100 m (Martigny) et 1'600 m (Aigle) vers 21'000 ^{10}Be BP, soit que l'on considère que le LLGM est asynchrone par rapport au LGGM et plus précoce (conception « Evian ») et qu'à cette période (32'000 – 22'000 cal BP[5]), un stade est identifié à la hauteur d'Evian (identification latérale : « complexe emboîté ») avec un front glaciaire estimé aux environs de Nyon-Coppet (Triganon et al., 2005).

2) En formulant une seconde hypothèse selon laquelle les cordons morainiques considérés (La Cergna, Plex, Les Prés, La Daviaz, Monthey) correspondent à des **stades différents**, il est envisageable que les cordons amont (Cergna et Plex) appartiennent à un stade antérieur dont le front serait situé quelque part dans le Léman. Selon l'application de la formule de Nye-Lliboutry, ce front pourrait se situer au maximum à Rivaz (Tab. 4.9) et nous avons vu que cette distance était certainement surestimée, en raison du resserrement de la vallée entre Martigny et Saint- Maurice additionné au passage du verrou. Ainsi, l'âge d'exposition obtenu sur DAVI 02 pourrait difficilement correspondre au stade identifié par Triganon à Evian.

Dans tous les cas, l'âge d'exposition de DAVI 02 semble trop vieux par rapport à sa situation, aux environs du cordon morainique de la Daviaz.

PLEX 01, DAVI 03, CERG 02 (17'300 – 11'300 ^{10}Be BP (3 mm e/ka))

L'interprétation des ces résultats peut également se faire selon différents scénarios, gardant à l'esprit qu'elle se base sur une faible série d'âges dont aucun ne concerne une morphologie unique (plusieurs blocs sur un même cordon).

Si l'on écarte CERG 01 et DAVI 02 pour les raisons avancées plus haut, on obtient des âges cohérents compte tenu de leur marge d'erreur (Fig. 4.24). L'écart de 6'000 ans représenté par le maximum et le minimum de nos trois mesures (PLEX 01, DAVI 03, CERG 02) pourrait s'expliquer par le fait que les cordons morainiques sont des morphologies dont la stabilité ne s'opère qu'après plusieurs centaines

5 Cette fourchette est proposée sur la base des datations ^{14}C obtenues par Triganon (2002) ainsi que les auteurs précédents, travaillant sur la région d'Evian. Les dates citées et utilisées par Triganon ont été calibrées avec le logiciel en ligne INTCal [réf. des échantillons : Michelot P-XI le Nant, GIF-336, GIF-337]. A propos de cette série de dates ^{14}C, il est à noter que Triganon a effectué une nouvelle datation de la série de Sionnex et obtenu un âge plus ancien de 3'000 ans par rapport aux résultats obtenus par Blavoux en 1965. Cette nouvelle mesure pourrait nous inciter à reconsidérer les échantillons traités au laboratoire de Gif-sur-Yvette (GIF-…) et publiés par Blavoux (Blavoux, 1965; Blavoux & Dray, 1971). Si les deux datations (GIF-336 et GIF-337) sont soumises à caution, il ne reste plus, pour soutenir l'hypothèse du complexe emboîté qu'une date ^{14}C dont l'âge calibré est de 32'000 – 22'000 ans BP. Mentionnons au passage que le log de forage « Le Nant » duquel est issu cette date ^{14}C n'est pas disponible dans la thèse de Triganon.

d'années (Putkonen & O'Neal, 2006). L'âge le plus ancien devrait alors être interprété comme un âge minimal pour la construction du cordon morainique et l'âge le plus récent comme l'âge de sa stabilisation. De ce point de vue, le bloc PLEX 01 présente la meilleure position puisqu'il est situé sur une butte morainique de la face externe du cordon. L'âge d'exposition de 15'877 ± 1450 nous approcherait de la période froide mais courte, induite par l'évènement d'Heinrich 1 qui semble pouvoir être corrélé avec le **stade de Gschnitz** identifié dans les Alpes orientales d'après les travaux d'Ivy-Ochs et al. (2006). Cette interprétation est cependant incompatible avec les contours dessinés pour cette crue glaciaire dans cette partie des Alpes (Coutterand & Reynard, 2011), bien que, à notre connaissance, le seul repère chronologique proposant un âge maximal de la déglaciation définitive de la plaine du Rhône soit celui proposé par Welten (1982), avant le Bølling, soit, avant 12'000 BP.

Outre les pistes proposées par les datations cosmogéniques, nous pouvons relever que le stade de Gschnitz a été décrit, sur la base d'observations géomorphologiques, comme un stade de récurrence après une période d'interstade marquée. Les glaciers semblent avoir réavancé sur des terrains non glaciaires. Or, les moraines attribuées au stade de Monthey (Cergna, Plex, Prés, Daille) sont bien conservées mais il faut les considérer comme des reliques puisque toutes les pentes environnantes n'en ont pas gardé d'autres traces. Bien qu'il soit difficile de présumer de l'importance du stade glaciaire sur la base des moraines latérales (les moraines frontales ou latéro-frontales sont généralement plus riches d'indices pour déduire l'importance du stade correspondant (Ivy-Ochs et al., 2006)), on peut cependant penser que ces cordons sont les témoins d'un stade de retrait du glacier du Rhône, plus que d'une réavancée. Il faut cependant ajouter que les descriptions des cordons attribués au Gschnitz concernent des glaciers secondaires. Il est tout à fait possible que les grands glaciers de vallée aient connu un comportement différent par rapport à l'évènement d'Heinrich 1.

Dans tous les cas, une position du glacier du Rhône dépassant le verrou de Saint-Maurice et présentant un front flottant aux environs d'Aigle peut-être située au début du Tardiglaciaire. Nous proposons un âge ^{10}Be de cette situation aux environs de 17'300 BP.

L'hypothèse du stade de Monthey

En conclusion, cette série de datations semble insuffisante pour confirmer l'hypothèse du stade unique pour deux raisons. 1) La série de blocs échantillonnés n'a pas livré de résultats suffisamment consistants pour donner un aperçu de l'âge de formation de chaque cordon séparément. Il est donc difficile, sur cette base, de corréler les trois âges retenus et de stipuler un stade unique. 2) Les âges retenus se placent dans la chronologie alpine à un étage très récent. Il est difficile d'imaginer un glacier du Rhône encombrant la plaine du Rhône jusqu'à Saint-Maurice et en confluence avec les glaciers de rive gauche vers 17'300 BP. Elle est cependant suffisamment floue pour ne pas l'infirmer sur la simple base des datations cosmogéniques. En l'absence d'autres données de comparaison (datations ^{14}C, profils pollinique, etc.) l'hypothèse du stade de Monthey reste possible, sur la base des observations géomorphologiques (pente glaciaire en présence de verrou et similitudes de morphologie des cordons).

Perspectives de calage chronologique pour le stade de Monthey

A l'amont du verrou de Saint-Maurice, nos prospections n'ont pas permis de repérer d'autres blocs erratiques susceptibles d'être échantillonnés pour les datations cosmogéniques, sauf dans la région de Vérossaz, où la morphologie glaciaire a été en partie remaniée. Le bloc des Prés pourrait être ré-échantillonné en prenant soin de récolter une masse suffisante de roche, de même pour le bloc PLEX 02, sur le flanc externe du cordon de Plex. Le bloc CERG 01 pourrait également être échantillonné sur le côté pour vérifier que l'âge récent obtenu ne soit pas un effet de la désagrégation du bloc. Enfin, le bloc DAVI 01 pourrait être ré-échantillonné et traité en laboratoire, de façon à éliminer un maximum de bore. Sur le site de Plex, un marais est établi dans une petite dépression entre le versant et le cordon morainique principal. Le carottage de cette dépression pourrait servir à une étude pollinique et/ou des datations ^{14}C, pour tenter de préciser l'âge et les conditions de formation du cordon morainique de Plex.

A l'aval du verrou, la « moraine de Monthey », bien que riche en blocs de belle taille (Pierre des Marmettes, Pierre à Dzo, etc.), présente l'inconvénient de n'avoir aucune morphologie glaciaire clairement conservée (absence de crête, dépôts provenant d'un éboulement supraglaciaire). Une datation cosmogénique effectuée par S. Coutterand (non publiée) sur la pierre des Marmettes confirme ce problème en indiquant un âge très jeune. Il est probable que ce bloc ait été exhumé, de même que les autres blocs situés dans les environs.

4.3.4. Conclusion générale sur les deux séries de datations

Le but de ces deux séries de datations était de tester l'application des isotopes cosmogéniques produits in situ sur les blocs erratiques cristallins du Chablais. Malgré le faible nombre d'échantillons prélevés et la proportion relativement faible d'âges cohérents (15 prélèvements, 11 résultats, 4 âges trop jeunes, 1 âge trop vieux, 7 âges cohérents, soit 50%), nous obtenons deux groupes d'âge d'exposition correspondant bien aux deux périodes que nous souhaitions interroger, soit, le retrait du LLGM (26'000 – 19'300 ^{10}Be BP) et un stade de retrait du glacier du Rhône, situé au début du Tardiglaciaire (17'300 – 11'300 ^{10}Be BP).

Nous pensons cependant que cette méthode se prête assez mal aux datations dans la région du Chablais et dans la cluse du Rhône pour deux raisons : la faible proportion de blocs qui remplissent les exigences pour le prélèvement (taille, position, lithologie, exposition continue, etc.) et la position potentiellement instable des cordons morainiques conservés, voire l'absence de formation glaciaire clairement identifiable.

L'utilisation d'une méthode relativement inédite pour la région pose la question de la comparaison des résultats obtenus avec d'autres éléments de datation pour un même secteur mais utilisant des méthodes différentes. Nous avons vu que nos âges (^{10}Be) entraient difficilement dans le schéma chronologique (basé sur les âges ^{14}C) proposé par les chercheurs qui ont étudié la région d'Evian. Ces incompatibilités pourraient provenir, selon nous, de problèmes méthodologiques (fiabilité des ^{14}C, taux d'érosion sous-estimés pour les datations cosmogéniques) autant que de problèmes de formation et de conservation des témoins quaternaires.

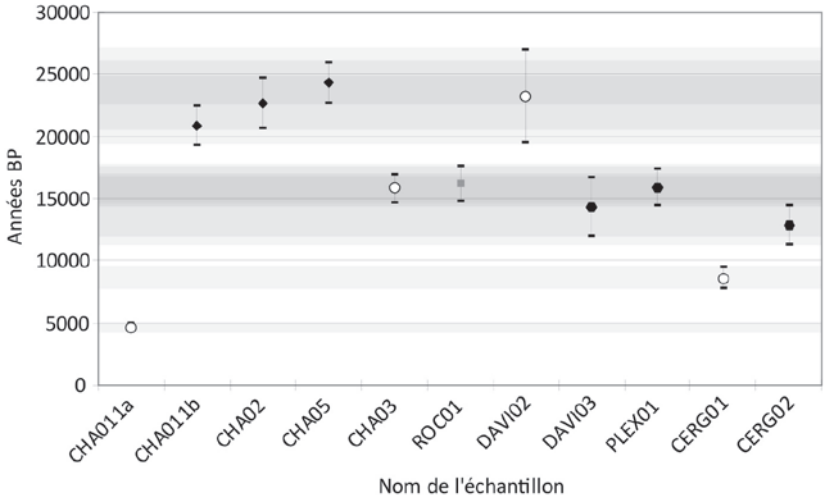


Fig. 4.25 : Comparaison des âges d'exposition obtenus pour les deux séries de datations (LLGM, stade de Genève et stade de Monthey). Les ronds blancs indiquent les résultats rejetés. Les losanges noirs indiquent les résultats considérés comme LLGM. Le carré gris indique le résultat considéré comme appartenant au retrait du stade des Rocailles (Roc 1). Les hexagones noirs indiquent les résultats considérés pour le stade de Monthey.

4.4. Conclusion du chapitre Quaternaire

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons abordé des questions qui vont bien au-delà de nos propres apports sur la question des fluctuations glaciaires et de leur chronologie. Dans notre effort de synthèse des connaissances régionales, il nous semblait cependant essentiel d'orienter notre réflexion vers une prise en compte les appareils glaciaires dans leur globalité, pour être en mesure d'en imaginer les dynamiques. C'est du moins l'enseignement que nous pouvons tirer du travail à résonnance épistémologique de Coutterand et al. (2009) sur la redéfinition de célèbre lobe lyonnais et par conséquent, sur une vision renouvelée du glacier du Rhône.

Les lacunes que nous avons identifiées sur la connaissance des témoins glaciaires chablaisiens, à la fois spatiales (glaciers secondaires) et temporelles (datation des fluctuations glaciaires régionales) ne pouvaient être qu'en faible partie comblées dans le cadre de ce travail. Nous avons cependant apporté quelques éléments qui éclairent la géomorphologie régionale au niveau des cirques et des vallons glaciaires. Il est évident qu'un travail conséquent reste à accomplir pour améliorer la compréhension de l'histoire glaciaire régionale, du moins si l'on vise une reconstitution aussi pointue que ce qui à été réalisé par Ph. Schoeneich (1998a) dans les vallées des Ormonts ou dans le cadre des recherches sur l'aquifère d'Evian (Blavoux, 1965; Nicoud et al., 1993; Triganon, 2002; Guiter, 2003). Ce travail pourrait se focaliser d'une part sur une cartographie géomorphologique détaillée des vallées secondaires et de leurs zones de confluences afin de repérer très précisément les marqueurs de position des anciens appareils glaciaires. Cette reconnaissance devrait être associée à un travail sédimentologique tel qu'il a été

effectué dans le Bas-Chablais par V. Chazal et S. Grange (2002), sur les dépôts quaternaires à l'intérieur du massif du Chablais.

Dans le but d'améliorer la chronologie de la déglaciation dans le Chablais, nous avons réalisé une série de datations sur blocs erratiques par l'intermédiaire des isotopes cosmogéniques produits *in situ*.

Sur la base de nos résultats, en éliminant les données qui nous semblaient trop jeunes ou trop vieilles, nous proposons une approximation de la datation du retrait du LLGM entre 26'000 – 19'300 ^{10}Be BP, âges qui doivent être considérés comme minimaux. Nous maintenons ouverte la question d'un stade du glacier du Rhône, appelé stade de Monthey, présentant un front flottant aux environs d'Aigle et des situations de confluence avec les glaciers secondaires de rive gauche. Ce stade a pu être maintenu sur une certaine durée en raison de l'obstacle opposé aux flux de glace par le verrou de Saint-Maurice. Nous proposons un âge minimal de 17'300 ^{10}Be BP pour cette position.

L'apport de cette méthode - quasi inédite dans la région - est malheureusement resté assez limité. Nos résultats sont cependant à l'image des travaux antérieurs dont un nombre toujours restreint et trop souvent peu fiables de données chiffrées ont pu être extraites. La rareté des matériaux datables et le fait qu'il faille mettre en œuvre des procédés coûteux pour obtenir des données (forages, traitements chimiques) en sont en partie responsables. Au terme de ce travail, nous regrettons d'avoir assez peu exploité les informations apportées par la palynologie. Cette méthode de datation relative constitue un complément intéressant aux méthodes de datations numériques (Guiter et al., 2006). Dans tous les cas, nous pensons que la prise en considération de résultats obtenus par différentes méthodes pose toujours la question de la réelle possibilité de comparaison des données (matériaux spécifiques, échelles différentes, évolution des méthodes). De plus, un véritable croisement des archives sur un même site reste difficile à réaliser dans le contexte glaciaire qui ne présente que rarement à la fois des matériaux organiques et des blocs erratiques (Le Roy, 2012). Dans le but de maximiser ces possibilités, il nous apparaît absolument nécessaire d'indiquer scrupuleusement, dans les publications, les valeurs brutes de tous les résultats obtenus. De cette manière, il devient possible de recalculer les résultats au fur et à mesure de l'évolution des méthodes (courbes de calibration, taux de production, taux d'érosion, contaminations, etc.).

La question de l'âge du LLGM reste donc ouverte, aussi bien que celle de l'asynchronie des extensions glaciaires.

5. Inventaire des géosites glaciaires

La notion de patrimoine est étroitement liée à celle d'évaluation des valeurs patrimoniales et d'inventaire, qui consiste à répertorier, documenter et parfois évaluer le dit patrimoine, dans un but de conservation et de valorisation. Ces deux objectifs sous-entendent la notion de gestion. Dans ce travail, il est question d'alimenter la base de données des géopatrimoines du syndicat intercommunal d'aménagement du Chablais (SIAC) avec des sites spécifiquement glaciaires ou en lien avec les processus glaciaires. En parallèle, ce travail d'inventaire doit servir à tester une évolution de la méthode d'inventaire des géomorphosites de l'Université de Lausanne (UNIL) (Reynard et al., 2007, 2012b), en y intégrant des « valeurs d'usage ». Un soin particulier a été apporté au processus de sélection des géosites, souvent mal défini dans les différentes méthodologies existantes. Dans ce chapitre, nous discutons donc successivement les notions de géosite et d'inventaire, avant de proposer une méthodologie de sélection de géosites et une évolution de la méthode de l'UNIL.

Ce travail d'inventaire s'appuie sur les études conceptuelles et pratiques développées dans les chapitres précédents : Chapitre 2 Des témoins glaciaires au patrimoine glaciaire (concepts liés au patrimoine) ; Chapitre 3 Trois Chablais, un territoire (éléments de contexte) ; Chapitre 4 Quaternaire du Chablais (témoins glaciaires).

5.1. Les géosites, unité de base de l'inventaire

5.1.1. Historique de la notion et définitions

Le terme de géotope est utilisé initialement par G. Bertrand (1968) pour désigner « la plus petite unité géographique homogène directement discernable sur le terrain ». L'auteur construit cette définition sur la base du concept alors déjà bien connu de biotope. Les géotopes (auteurs francophones et germanophones) ou géosites (auteurs francophones, italophones et anglophones) émergent réellement dans le milieu scientifique au début des années 1990. Les premiers auteurs rapprochent alors cette notion de celle de « monument naturel », qui subsiste encore actuellement (cf. par ex. l'Inventaire des monuments naturels et des sites du canton de Vaud (IMNS)). Selon Strasser et al. (1995) les géotopes sont :

« […] *des portions de territoire dotées d'une valeur pour les sciences de la Terre. Ce terme comprend […] 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 des processus superficiels et l'importance des roches en tant qu'élément de l'édification du paysage. Les géotopes, dans ce sens, sont des monuments naturels d'une grande importance, voire même indispensables, aussi bien pour le public que pour la science* ».

Cette définition met en avant la composante scientifique des géotopes et leur grande diversité. Au travers de la notion de « monument naturel », c'est probablement leur intérêt esthétique ou scénique qui est mentionné mais il s'agit là plus sûrement d'une référence aux textes de loi, qui, en Suisse, ne prévoient pas de protection pour les objets géologiques *lato sensu* mais pour les « paysages d'une beauté particulière » et les « monuments naturels » (LAT, article 17, alinéas b et c). Elle est résumée quelques années plus tard par Reynard dans *the Encylopedia of Geomorphology* :

« *Geosites are portions of the geosphere that present a particular importance for the comprehension of Earth history* » (Reynard, 2004a).

Comme le laisse entendre Strasser, les géotopes peuvent être d'une grande diversité. Grandgirard (1997) propose de les décliner en autant de catégories qu'il y a de disciplines en sciences de la Terre (géotopes paléontologiques, spéléologiques, minéralogiques, sédimentologiques, etc.). Les géotopes géomorphologiques sont désignés sous le nom de géomorphosites (Panizza, 2001).

Cette définition des géotopes place l'utilisation du terme dans le champ de recherche des géopatrimoines, alors que G. Bertrand l'avait défini dans un cadre systémique, en lien avec les travaux menés par les écologues sur les écosystèmes. Ces « portions de territoire » sont ainsi considérées comme étant des constituants du patrimoine géologique *in situ* (De Wever et al., 2006; Cayla, 2009), par opposition au patrimoine géologique *ex situ,* qui concerne les collections des musées et autres objets qui ont été sortis de leur contexte.

Nous utilisons dans ce travail le terme de géosite plutôt que de géotope que nous considérons comme de parfaits synonymes (Giusti & Calvet, 2010). De manière générale, nous préférons géosite, pour sa traductibilité (geosite, geositi, etc.) et sa cohérence avec le terme de géomorphosite (Martin, 2013). Dans le cadre de l'inventaire du Chablais, nous utilisons géosite plutôt que géomorphosite puisque nous travaillons sur la base d'une étude quaternariste, à mi-chemin entre la géomorphologie et la géologie et ce, bien que les sites concernés soient pour la plupart assimilables à des géomorphosites.

5.1.2. Intérêt et utilisation des géosites

L'intérêt des géosites est de constituer des éléments concrets, des formes et des objets identifiables dans le paysage. La totalité du territoire ne pouvant être protégée ou valorisée, il s'agit de concentrer les efforts sur des portions de ce territoire qui cristallisent des valeurs liées au milieu des sciences de la Terre (valeurs scientifiques) ou liées aux activités humaines (valeurs additionnelles, sociétales, d'usage, etc.). C'est pour ces raisons qu'on retrouve dans les méthodes d'inventaire certaines caractéristiques comme la rareté, la représentativité, le niveau de connaissance scientifique liée au site, etc. Les géosites sont donc des lieux ou des objets des géosciences qui retiennent l'attention pour différentes raisons. Ce sont des objets privilégiés de la médiation scientifique sans pour autant être nécessaires à cette médiation (Martin, 2013).

Notre pratique de l'inventaire (inventaire de géomorphosites du Parc Naturel Régional Jura Vaudois (Perret, 2008; Perret & Reynard, 2011), inventaire de géosites glaciaires du Chablais (ce travail), inventaire des géosites du Parc Naturel Régional des Monts d'Ardèche (Calcere & Relief, 2013) nous a montré que ces caractéristiques doivent êtres clairement définies pour pouvoir être utilisées par la suite. Ainsi, le géosite doit être très **exactement identifié**, c'est-à-dire, qu'il doit faire référence à une forme, un processus ou un objet géologique ou géomorphologique, en plus du lieu-dit qui le localise dans l'espace. L'auteur de l'inventaire doit faire un sérieux effort de formalisation pour transformer le bois de Païolive en karst de Païolive et le château de Pourcheyrolles en superposition de coulées basaltiques de Pourcheyrolles. Le géosite doit également être **clairement délimité**. Une simple position ne suffit pas à indiquer quelle portion de terrain est concernée. Cette étape de l'inventaire nécessite d'avoir au préalable identifié la forme ou le processus concerné. La délimitation doit alors reposer sur une réflexion prenant en compte la fonctionnalité et la dynamique du géosite. Dans un contexte de protection, il est particulièrement important de considérer l'ensemble d'une forme pour en garantir le fonctionnement sur le long terme (Sharples, 1993, 2002). En revanche, lorsque l'objectif n'est pas la protection, d'autres approches de la délimitation peuvent intervenir.

5.1.3. Caractéristiques des géosites géomorphologiques

Les caractéristiques des géomorphosites ont déjà été très clairement exposées : taille, activité, typologie, complexité, etc. (Grandgirard, 1997; Reynard, 2005, 2009; Pereira, 2006; Regolini, 2012). Nous aimerions insister ici sur trois aspects qui ont une incidence sur l'inventaire des géosites glaciaires du Chablais.

La **dynamique** est une caractéristique spécifique aux géomorphosites (Reynard, 2009). Les échelles de temps et d'espace qui s'appliquent aux formes du relief sont souvent relativement proches du temps et de l'espace humainement appréhendable. Les géomorphosites peuvent donc être actifs, si leurs processus sont observables actuellement. Cette dynamique a plusieurs incidences du point de vue de l'évaluation des sites et de leur gestion (Bollati, 2011). Par exemple, dans le Chablais, certains sites comportent encore un glacier. Les formes glaciaires y sont donc en partie actives. D'autres sites, au contraire, sont complètement fossiles du point de vue de l'activité glaciaire. Dès lors, on peut se demander si un site avec glacier ne devrait pas être considéré comme plus important, du point de vue de son intérêt didactique, par exemple (cf. 5.4.2. Adaptation de la méthode au terrain) qu'un site fossile. L'autre aspect de cette dynamique est le potentiel d'autodestruction du site – lorsqu'un processus très actif finit par détruire la forme (cheminées de fées, piton rocheux, lave torrentielle, dune, etc.) – et son potentiel de perturbation des activités humaines. Dans certaines situations, c'est ce lien, le risque, qui fait en partie l'intérêt du géomorphosites (voir par exemple, le glissement dans les argiles lacustre de Vailly ID 32, annexe 4). On peut dès lors se poser la question de ce qui devrait être considéré comme un constituant du patrimoine (Reynard, 2004b) : le processus gravitaire ou la portion de terrain en glissement ? A notre avis, dans ce cas précis, il semblerait que ce soit un ensemble d'éléments qui constitue le site à valeur patrimoniale (argiles lacustres, position sur la Dranse, présence d'infrastructures, processus gravitaire de glissement de terrain, épisodes de crises, études scientifiques, etc.).

Comme tous les géosites, les géomorphosites peuvent donc appartenir à des **échelles** très différentes (Grandgirard, 1997), entre l'objet géomorphologique (un bloc erratique) et le paysage géomorphologique (un vallon glaciaire) (Reynard, 2005). En outre, un site de grande ampleur pourra comporter une plus grande **complexité** (Grandgirard, 1997) de formes et de processus. Les inventaires continuent cependant à présenter sur un même plan un objet isolé (marmite glaciaires) et un site de grande ampleur, rassemblant plusieurs objets, parfois isolés, parfois en connexion. Dans ce travail, nous avons groupé autant que possible plusieurs points d'intérêt géologique et géomorphologique en un ensemble cohérent. Par exemple, l'objet « verrou glaciaire de Saint-Maurice » (ID 54) comprend la marmite glaciaire des Caillettes, les roches moutonnées de Massongex et la zone de verrou proprement dite.

La cartographie souvent associée à l'identification des géosites a induit la distinction entre plusieurs **types** de géosites (Fig. 5.1). Les objets ponctuels, les objets linéaires et les « sites », objets surfaciques. Dans la pratique, les objets surfaciques ont tendance à être privilégiés. Il est en effet assez rare qu'un site linéaire ne comporte pas une certaines extension latérale (gorges, cours d'eau, etc.). Il en va de même pour les objets *a priori* ponctuels (une source) qui ont une certaine extension ou qui doivent être pris en compte avec leur environnement (un bloc erratique est souvent associé à sa moraine ou fera partie d'un ensemble plus vaste (bastion morainique, terrasses fluvioglaciaires).

La question des points de vue (Pereira, 2006) est plus délicate. Il s'agit en effet de postes d'observation desquels on aperçoit (en fonction des conditions météorologiques) un panorama. La difficulté que l'on rencontre à intégrer ce type d'objet dans un inventaire est que le site où se tient l'observateur n'est en général pas le lieu qui comporte un intérêt du point de vue des sciences de la Terre

(Fuertes-Gutiérrez & Fernández-Martínez, 2010). Dans le cadre d'un inventaire, nous pensons que les points de vue ou panoramas doivent être traités selon des catégories adaptées à leur spécificité (double périmètre[1], très vaste échelle, etc.). Bien que certains auteurs (par ex. Pereira, 2006) plaident pour leur intégration (intérêt didactique, forte valeur esthétique, etc.), nous avons donc choisi d'évacuer cette catégorie de notre inventaire. Nous sommes cependant parfaitement d'accord pour considérer que ce type d'objet est intéressant dans le domaine du géopatrimoine. Dans le cas du Chablais, nous considérions avoir suffisamment de sites d'intérêt pour ne pas y ajouter une catégorie différente qu'il aurait été difficile d'intégrer tant au niveau du processus de sélection que de documentation et d'évaluation de l'inventaire (cf. 5.2 L'inventaire, un processus et un outil).

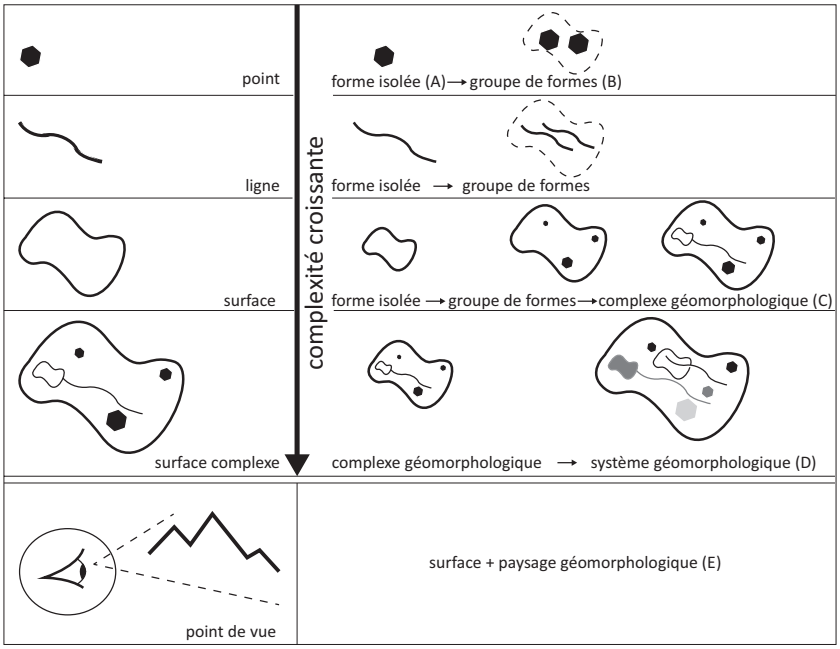


Fig. 5.1 : Les catégories de géosites d'un point de vue cartographique et leur transcription en catégories de géosites du point de vue de leur complexité. Adapté d'après Fuertes-Gutiérrez et Fernández-Martínez (2010) et Grandgirard (1997). Le complexe géomorphologique (C) intègre un processus principal et plusieurs types de formes ; le système géomorphologique (D) intègre plusieurs processus et plusieurs types de formes ; le paysage géomorphologique (E) concerne une échelle supérieure.

5.1.4. Les valeurs attribuées aux géosites

La notion de géosite est élaborée dans un but de valorisation et de protection d'un patrimoine commun menacé (Reynard, 2009). Les premières études sur le sujet ont été réalisées dans un cadre législatif, essentiellement dans une optique

1 Un point de vue comporte un périmètre qui correspond au point d'observation et un périmètre qui correspond au paysage observé depuis le point d'observation. Dans une optique de gestion, par exemple, ces deux aires doivent être prises en compte qu'il s'agisse d'en évaluer la vulnérabilité, l'accessibilité, etc.

de protection, par exemple, dans le cadre d'études d'impact sur l'environnement (Sharples, 1993; Grandgirard, 1997; Rivas et al., 1997). Dans un tel contexte, un certain nombre de valeurs sont attribuées aux géosites (Reynard et al., 2004), servant à appréhender la perte environnementale et sociétale en cas de dommage porté au site ou à l'objet géologique *lato sensu*. Ces développements théoriques ont été menés dans des aires culturelles différentes et on constate aujourd'hui qu'ils ont évolué avec peu d'interactions.

En Europe continentale, les premiers travaux considèrent essentiellement la valeur scientifique des géosites : « *les géotopes […] présentent une valeur intéressante pour la compréhension de l'histoire de la Terre, des espèces et du climat.* » (Grandgirard, 1997). Les définitions qui se focalisent sur la valeur scientifique sont dites « restreintes » (Reynard, 2004a). En parallèle, Panizza et Piacente (1993, 2005) proposent de prendre en compte toutes les valeurs qui peuvent être associées aux géo(morpho)sites en fonction de la perception et de l'usage que l'on en a. Il s'agit, par exemple, des valeurs scientifique, culturelle, esthétique, économique, etc. Ces auteurs introduisent une définition dite « large » qui sera abondamment reprise par la suite.

Actuellement, les chercheurs ont tendance à mêler les deux définitions. Reynard (2005; 2009) – ainsi que la plupart des auteurs actuels – considère la valeur scientifique comme centrale. En outre, quatre valeurs dites additionnelles sont prises en compte (écologique, esthétique, culturelle, économique) (Reynard et al., 2007). Giusti et Calvet (2010) distinguent les valeurs sociétales et les valeurs culturelles au sein des valeurs additionnelles. Enfin, Bruschi et Cendrero (2005), Serrano et Gonzales-Trueba (2005) et Pereira et al. (2007) introduisent des valeurs dites d'usage, telles que la valeur didactique, l'accessibilité, les conditions d'observation, la vulnérabilité, etc.

Dans les pays anglophones (Angleterre, Australie, Tasmanie), les valeurs attribuées aux géosites - parfois appelés *significant sites and processes* – peuvent être classées de manière légèrement différente (Fig. 5.2). On trouve chez Sharples (2002) une synthèse basée sur la définition d'un concept de *significance*. L'auteur propose de considérer trois valeurs attribuées aux *significant sites and processes :* une valeur intrinsèque, en dehors de tout point de vue humain, une valeur écologique et une valeur géopatrimoniale. La valeur intrinsèque telle que proposée par Sharples s'appuie sur le principe que les objets naturels doivent être protégés pour leur valeur propre et non pas pour la valeur qu'ils ont acquise à travers leur utilisation anthropique (ce qui exclut la valeur scientifique, par exemple) (cf. 2.2.3 Géopatrimoine et géodiversité). Le principal critère de cette valeur intrinsèque est la représentativité, parfois exprimée en termes d'exemplarité. La valeur écologique repose sur les mêmes bases que celle qui est envisagée en Europe, c'est-à-dire le rôle de support des formes du relief et de la géologie dans le développement des milieux naturels. La valeur géopatrimoniale rassemble toutes les activités humaines qui prennent pour support les objets géologiques *lato sensu* à savoir, l'intérêt scientifique, éducatif, culturel, symbolique et spirituel, etc. On notera que la différence principale du point de vue tasmanien défendu par Sharples par rapport au point de vue européen réside dans la place de l'homme dans ce schéma (Fig. 5.2).

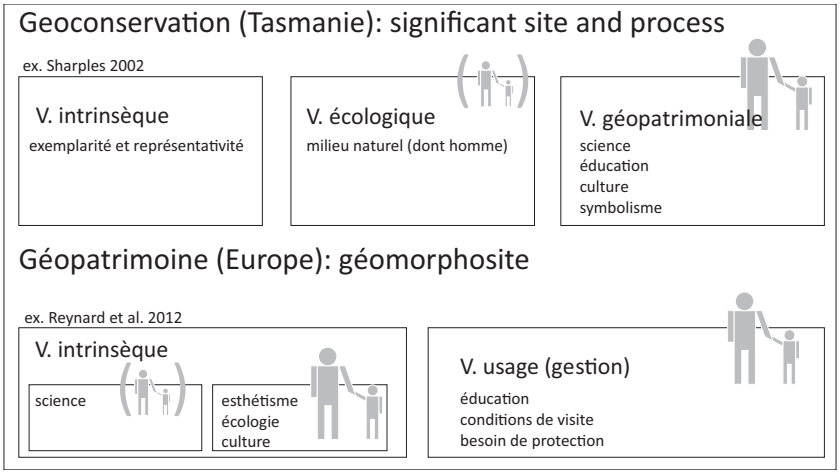


Fig. 5.2 : Deux façons de catégoriser les valeurs attribuées au géosites (Reynard et al., 2012c) / significant sites and processes (Sharples, 2002), impliquant une prise en compte différente du facteur humain.

Le concept d'importance ou la subjectivité des valeurs attribuées aux géosites

Un aspect particulièrement intéressant des travaux australiens et tasmaniens consiste en la définition d'un concept d'importance (*concept of significance*) où sont exprimées les bases conceptuelles, philosophiques et éthiques de ce qui constitue l'importance d'un objet géologique *lato sensu* (Davey, 1997). Ce concept, repris par Sharples (2002) est utile dans la mesure où chaque occurrence individuelle des éléments de la géodiversité ne pouvant être protégé, il est nécessaire d'établir des priorités de protection, en d'autres termes, des niveaux d'importance. C'est à cette étape de l'élaboration du concept qu'intervient la subjectivité. En effet, pour juger de l'importance d'un objet, il est nécessaire d'établir des valeurs pouvant rendre compte de cette importance, valeurs qui ne peuvent être basées que sur un jugement de valeur, justement, c'est-à-dire, sur des a priori culturels. Cette subjectivité incontournable n'implique pas que les valeurs proposées par les chercheurs doivent être automatiquement arbitraires ou illogiques. Elle implique par contre une adéquation des valeurs au concept d'importance qui ne peut être évaluée que selon le degré d'explicitation des valeurs et non pas selon leur objectivité. La recherche dans ce domaine gagnerait donc à accepter cette subjectivité plutôt que de chercher à élaborer des méthodes entièrement reproductibles (en d'autres termes, scientifiques !). Cet auteur rejoint ici en partie les conclusions de Bruschi et Cendrero (2005, 2009) qui tiennent la subjectivité comme inhérente à l'évaluation du géopatrimoine[2]. Sharples (2002) ajoute qu'il existe deux possibilités dans le choix des valeurs. Se baser sur un consensus, en ne retenant que les valeurs qui rassemblent les différents chercheurs du domaine, ou faire des propositions personnelles, mais explicitées.

2 Il faut cependant préciser que Bruschi et Cendrero (2005, 2009) ne discutent pas la subjectivité des valeurs attribuées aux géosites mais les critères utilisés pour évaluer ces valeurs. Ces deux auteurs ne rejettent pas la possibilité d'établir des évaluations reproductibles, mais préconisent l'utilisation de méthodes paramétriques (utilisant des critères dont l'amplitude est exprimée par une échelle prédéfinie).

Nous avons eu accès tardivement à la littérature des pays anglophones et bon nombres d'articles sont difficilement accessibles depuis l'Europe, c'est pourquoi, dans la suite de ce chapitre, nous basons notre réflexion essentiellement dans la continuité des développements européens. Il nous semble cependant que ces deux ères culturelles gagneraient à échanger leurs points de vue.

Le point de vue européen : valeurs intrinsèques et valeurs d'usage

Voyons de plus près comment les chercheurs européens, sans définir de concept d'importance, composent avec les valeurs attribuées aux géosites. Nous avons évoqué plus haut le fait que le champ s'élargit peu à peu. S'il est clair que l'ajout de nouvelles valeurs enrichit les questionnements autour des géosites, certaines d'entre elles contribuent à complexifier les processus d'évaluation. Il existe notamment des confusions entre les valeurs et les indicateurs qui permettent de juger des valeurs des géosites (Grandgirard, 1999). Ainsi, la vulnérabilité ne peut pas être une valeur mais une caractéristique des géosites qu'il est cependant possible d'évaluer, moyennant la définition de critères clairement explicités. Cette caractéristique peut entrer dans la définition d'une « valeur d'usage » qui aurait pour but de rendre compte, par exemple, du potentiel d'utilisation du site pour le développement d'activités géotouristiques (sous entendu qu'une forte vulnérabilité entrerait en conflit avec une mise en tourisme du site). Les valeurs attachées aux géosites sont utilisées dans le cadre de processus d'inventaire du géopatrimoine à des fins d'évaluation et de classement des sites, le plus souvent dans une optique de gestion. La catégorisation de ces valeurs est opérée de façon différente dans les nombreuses méthodes existantes. Toutes ne sont pas prises en compte de la même façon et les critères utilisés pour rendre compte des valeurs peuvent varier. Une brève analyse comparée de ces méthodes montre cependant que toutes (sauf celles qui annoncent clairement ne s'attacher qu'à une valeur en particulier, par ex. Coratza et Giusti (2005)) abordent les trois mêmes axes : valeurs intrinsèques ; potentiel d'usage ; besoin de protection (Tab. 5.1).

La plupart des méthodes d'évaluation européennes récentes des géosites font la distinction entre les valeurs intrinsèques et les valeurs d'usage (Tab. 5.1). Les « **valeurs intrinsèques** », font référence au géosite en tant qu'objet appartenant aux sciences de la Terre[3]. Ainsi, la *valeur scientifique* est le plus souvent considérée comme centrale parce que les géosites sont avant tout des objets définis et étudiés par les géosciences. La *valeur esthétique* est considérée par Reynard (2004b, 2009) comme intrinsèque (et spécifique) aux géomorphosites du fait de leur caractéristique fondamentale de visibilité (Grandgirard, 1999). Ainsi, les géomorphosites sont des objets que l'on appréhende par la vue, de même que la géomorphologie est une discipline qui privilégie l'observation directe sur le terrain (Panizza, 1996). Cette visibilité, toute subjective qu'elle puisse être (par ex. Lenclud, 1995) serait à la base de la valeur esthétique, prégnante mais toujours mal définie (Martin, 2013, chap. 3). La *valeur écologique* fait référence au rôle de support des milieux naturels joué par les formes du relief (Stuber, 1997). Enfin, la *valeur culturelle* se rapporte à l'utilisation par l'homme des formes du relief et objets géologiques en tant que ressource, pour leurs caractéristiques géologiques et géomorphologiques (Panizza & Piacente, 2003). Selon les contextes et les

3 Notez la différence d'avec la valeur intrinsèque proposée par Sharples (2002), où les objets géologiques *lato sensu* sont envisagés non pas comme des éléments définis pas les Sciences de la Terre mais comme des éléments naturels possédant une valeur propre.

auteurs, plusieurs aspects de la culture *lato sensu* sont pris en compte : art, histoire, symbolisme et religion, géohistoire, etc.

Toutes ces valeurs peuvent être évaluées en fonction de leur état actuel, en relation avec une aire de référence et dans un contexte culturel donné. Elles représentent ce qui peut être perdu en cas de détérioration ou de destruction du site, c'est-à-dire la charge identitaire, émotionnelle, etc. portée par l'objet géologique *lato sensu*, liée à l'existence physique de cet objet.

Les **« valeurs d'usage »** (Tab. 5.1) doivent être comprises comme des caractéristiques plus que comme des valeurs au sens des valeurs intrinsèques. Il s'agit en fait de critères qui sont utiles à la gestion des géosites dans un contexte de valorisation et de protection. Ces critères permettent de décrire soit la valeur d'usage actuelle du site, soit son potentiel d'usage. En effet, il existe de fortes disparités entre les sites qui peuvent être fortement reconnus, aménagés, visités (par. exemple, le Grand Canyon, le Cervin, les gorges du Pont du Diable) - qui peuvent entrer dans la définition de géosites - et des sites moins connus, sans aménagement et peu visités (par. exemple, les blocs erratiques du Sciard) - qui peuvent également entrer dans la définition de géosite. Dans le premier cas, une forme d'usage existe, dans le second cas, il n'existe pas ou pas encore. Cependant, les géosites moins connus peuvent également être utiles à la valorisation du patrimoine géologique *lato sensu*. Il arrive d'ailleurs fréquemment que des sites d'un intérêt scientifique élevé soient totalement inconnus du public et difficilement accessibles. Les circonstances qui amènent à développer certaines activités autour d'un site ne peuvent pas être guidées par le « meilleur des choix possibles » puisqu'il semblerait que ce soit avant tout les objectifs d'un projet qui déterminent les critères à prendre en compte dans le choix d'un site. Ainsi, la situation actuelle ne valorise pas nécessairement les géosites les plus intéressants (Cayla et al., 2012) selon que l'on souhaitera protéger un site rare ou mettre en valeur un site exemplaire. On imagine cependant que l'usage potentiel d'un site est difficile à évaluer (pronostics aléatoires sur l'avenir) et que c'est l'état actuel qui est généralement décrit dans les inventaires (présence d'une route, d'une zone protégée).

Parmi les méthodes proposées (Bruschi & Cendrero, 2005, 2009; Pereira et al., 2007; Serrano & Ruiz-Flano, 2007), on trouve une grande variété de critères pour rendre compte de la valeur d'usage : l'accessibilité, la visibilité, l'usage actuel, les aménagements, etc. Ils décrivent l'état actuel du site.

Les **« besoins de protection »** (Tab. 5.1) sont un élément incontournable de la caractérisation des géosites. S'ils sont généralement traités à part, on trouve parfois les critères qui permettent de rendre compte de la vulnérabilité d'un site parmi les critères de la valeur d'usage. Cette manière de faire est par ailleurs parfaitement cohérente dans un contexte géopatrimonial où l'usage ne doit pas mettre en péril la ressource. Les besoins de protection sont couramment décrits par : le statut de protection (qui réduit le risque de détérioration du site) et les menaces potentielles ou actuelles (qui augmentent le risque de détérioration). Certains auteurs ont développé des nuances autour de la vulnérabilité naturelle (du fait de processus naturels qui modifient le site), traduite en termes de fragilité, et de la vulnérabilité anthropique (du fait des activités humaines), traduite en termes de vulnérabilité (Serrano & González-Trueba, 2005; Fuertes-Gutiérrez & Fernández-Martínez, 2010).

A. Pas de distinction entre valeurs intrinsèques et valeurs d'usage

Serrano et Gonzalez-T. 2005	valeur centrale	valeurs additionnelles	valeur d'usage	besoin de protection	
Composante des valeurs :	v. scientifique	paysage et esthétisme	v. usage		
		éléments culturels	besoin de protection	-> x	
		éducation			
		science			
		tourisme			
Valeur prise en compte :	x	x	x	x	
Reynard et al. 2007	valeur centrale	valeurs additionnelles			éléments de gestion
Composante des valeurs :	v. scientifique	v. écologique	x <-		intérêt didactique
		v. culturelle		x <-	menaces, atteintes
		v. esthétique			mesures de gest.
		v. économique			
Valeur prise en compte :	x	x	x	x	
Zouros 2007	v. scient.et éduc.		potentiel d'usage	menace pot. et besoin de protec.	
Composante des valeurs :	v. scient. et éduc.		potentiel d'usage	menace potentielle et besoin de prot.	
	géodiversité	-> x			
	v. éco. et esthétique	-> x			
	v. culturelle	-> x			
Valeur prise en compte :	x	x	x	x	

B. Distinction entre valeurs intrinsèques et valeurs d'usage

Bruschi et Cendrero 2005	valeur intrinsèque		valeur d'usage	besoin de protection
	valeur centrale		potentiel d'usage	protection et menace
Composante des valeurs :	v. scientifique		utilité sociale	urgence d'action
	lien patr. culturels	-> x		
	lien patr. naturels	-> x		
Valeur prise en compte :	x	x	x	x
Pereira et al. 2007	valeur intrinsèque		valeur d'usage	besoin de protection
	valeur centrale	valeurs additionnelles	potentiel d'usage	besoin de protection
Composante des valeurs :	v. scientifique	v. écologique	potentiel d'usage	besoin de protection
		v. culturelle		
		v. esthétique		
Valeur prise en compte :	x	x	x	x
Pereira et al. 2010	valeur intrinsèque		usage	besoin de protection
	valeur centrale	valeurs additionnelles	potentiel d'usage	
Composante des valeurs :	v. scientifique	v. écologique	potentiel d'usage	besoin de protection
		v. culturelle		
		v. esthétique		
		v. géomorphologiques		
Valeur prise en compte :	x	x	x	x
Reynard et al. 2012	valeur intrinsèque		valeur d'usage	
	valeur centrale	valeurs additionnelles	usage actuel et pot.d'usage	
Composante des valeurs :	v. scientifique	v. écologique	conditions de visite	
		v. culturelle	intérêt didactique	
		v. esthétique	vulnérabilité	-> x
Valeur prise en compte :	x	x	x	x

Tab. 5.1 : Récapitulatif des méthodes d'évaluation des géosites et géomorphosites. Ce tableau ne fait apparaître que les valeurs (et non les critères pris en compte pour chaque valeur). En noir, la « valeur » est considérée et évaluée. En gris, la « valeur » est considérée et évaluée mais pourrait apparaître sous une autre valeur/un autre critère (**-> x**). Toutes les valeurs sont systématiquement prises en compte (**x**), malgré des différences de classement selon les auteurs.

Un autre aspect est constitutif de la notion de géosites. Nous l'avons omis jusqu'ici parce qu'il est relativement problématique. Il s'agit de la **valeur didactique** (parfois pédagogique), proche de la valeur géotouristique. Ici, les auteurs choisissent plusieurs solution (Tab. 5.1) : 1) la valeur didactique est intégrée à la valeur scientifique (Coratza & Giusti, 2005; Zouros, 2007; Pereira et al., 2007) ; 2) la valeur didactique n'est pas explicitée mais certains critères de la valeur d'usage peuvent s'y rattacher (visibilité, lisibilité, équipements) (Reynard et al., 2012c) ; 3) la valeur didactique fait partie des valeurs additionnelles (Serrano & González-Trueba, 2005). Avec Martin (2013), nous pensons que tout géosite comporte un

certain potentiel éducatif, mais qu'il s'agit clairement d'une valeur d'usage. Ceci dit, cette réflexion ne nous permet pas de proposer quels sont les critères qui peuvent rendre compte de l'intérêt didactique.

En conclusion

On l'a vu, les valeurs attachées aux géosites/géomorphosites sont en fin de compte très semblables d'une méthode à l'autre. Trois axes sont généralement exprimés : valeur intrinsèque, potentiel d'usage et besoin de protection. Il faut cependant distinguer les valeurs (valeurs intrinsèques) des caractéristiques qui rendent compte d'aspects liés à l'utilisation du site pour les activités humaines : l'usage ou le potentiel d'usage et le besoin de protection. Une des difficultés de la description de la valeur d'usage tient au fait que l'usage actuel n'est pas suffisant pour rendre compte de l'intérêt d'un géosite pour la valorisation du géopatrimoine. Il semble utile de pouvoir introduire des éléments mentionnant le potentiel du site, du point de vue de son intérêt didactique, par exemple.

Les questions de définition (voir Reynard & Coratza, 2013), d'évaluation et d'inventaire des géosites sont encore d'actualité dans le milieu de la recherche qui a vu se constituer des groupes de travail et commissions autour des notions de patrimoine géologique et géomorphologique, géosites, géomorphosites et même géomorphosites de montagne. Il nous semble cependant que les différentes définitions proposées couvrent actuellement un champ relativement large et opérationnel et, surtout, que les méthodes utilisées sont, malgré les apparences, parfaitement semblables sur le fond, c'est-à-dire dans la prise en compte des valeurs attribuées aux géosites, dans un contexte de valorisation et de protection du géopatrimoine.

Nous considérons qu'il y a aujourd'hui un consensus tacite au sujet des valeurs qui sont attribuées aux géosites dans le cercle de la recherche européenne, consensus qui permet de considérer que ces valeurs et critères, bien que choisis de façon subjective (liée notamment à un contexte socioculturel), peuvent servir de base au développement de méthodes d'inventaires du géopatrimoine, s'ils sont suffisamment explicités.

5.2. L'inventaire, un processus et un outil

5.2.1. Le processus d'inventaire

L'inventaire est une pratique largement répandue. Il en existe dans des contextes passablement différents, de la gestion des stocks en magasin à la protection des milieux naturels. Dans tous les cas, l'inventaire doit servir à une bonne gestion des objets concernés. Il est réalisé selon un projet défini, dans un environnement donné avec des objectifs de gestion. Une fois terminé, il est donc assimilable à un outil, s'il a été effectivement conçu dans cette optique.

Les inventaires de géosites se pratiquent dans plusieurs contextes (légal, développement de méthode académique, valorisation du patrimoine) et à différentes échelles (nationale, régionale, communale). Il s'agit d'un travail long et rigoureux, qui nécessite souvent une très bonne connaissance préalable du terrain et des objets concernés.

Une série d'éléments vient contraindre et guider le processus d'inventaire (Fig. 5.3). Parmi ceux-ci, on peut mentionner : le cadre, le contenu et la pérennisation de l'inventaire.

Le cadre tient compte des éléments suivants :
- Le contexte et les objectifs de l'inventaire (protection, aménagement, candidature à l'*European Geopark Network*, etc.) ;
- Le terrain d'étude (surface, connaissance scientifique actuelle, documentation disponible) ;
- Le temps à disposition et le nombre de sites visés par l'inventaire ;
- Le personnel affecté à l'inventaire (niveau de qualification, connaissance personnelle du terrain d'étude).

Le contenu a trait aux:
- Type de sélection choisie (inventaire exhaustif, avis d'expert, étude géomorphologique préalable, etc.) ;
- Informations qui doivent être présentes dans l'inventaire (utilisation d'une méthode existante, adaptation ou création d'une méthode appropriée);
- Type d'évaluation choisie (qualitative, numérique).

La pérennisation concerne:
- Le support de l'inventaire (base de données, tableur, textes) ;
- Sa gestion sur le long terme (transmission, mises à jour).

Réaliser un inventaire relève donc bien d'un processus où ces différents éléments doivent être successivement considérés pour choisir ou élaborer une méthodologie d'inventaire qui puisse guider la/les personne(s) qui réalisera(ront) le travail (coordination, documentation, évaluation). Il est particulièrement important que le contenu de l'inventaire – valeurs, critères et sous-critères – soit parfaitement explicité, pour assurer que les fiches seront remplies de façon homogène.

5.2.2. L'inventaire des géosites glaciaires du Chablais

L'inventaire des géosites glaciaires du Chablais (IGGC) était une des réalisations prévues dans le cadre de ce travail de thèse. Il devait, d'une part, répondre à des attentes au sein du projet 123 Chablais. Initialement, l'IGGC devait venir en soutien de différents produits de valorisation des patrimoines, par exemple, un guide régional des éditions Glénat (Collectif, 2011), en apportant une sélection de sites exploitables dans ce contexte. Cependant, pour des raisons administratives, la thèse n'a pu débuter que tardivement par rapport à l'avancement des différents projets. Les calendriers étant dès lors décalés, les objectifs de l'inventaire ont été légèrement adaptés. Du point de vue du projet 123 Chablais et du Syndicat d'Aménagement Intercommunal du Chablais (SIAC), il ne s'agissait plus que d'apporter des éléments injectables dans l'inventaire régional en cours (géopatrimoines), géré par le SIAC et exploité par le Geopark Chablais, et de préparer une base pour la création d'une exposition itinérante sur le patrimoine glaciaire régional (cf. chapitre 6).

Cet inventaire devait, d'autre part, contribuer au développement de la méthode élaborée à l'UNIL (Reynard et al., 2007), dans le cadre des recherches en cours sur les géopatrimoines, notamment au sein du working group « *geomorphological*

sites » de l'IAG (Reynard & Coratza, 2013). Les deux cibles de ce développement étaient la valeur d'usage, prise en compte dans la méthode mais de façon secondaire, ainsi que le processus de sélection, qui demeure un aspect flou des inventaires déjà réalisés (Pereira & Pereira, 2010; Martin, 2013) (Fig. 5.3)

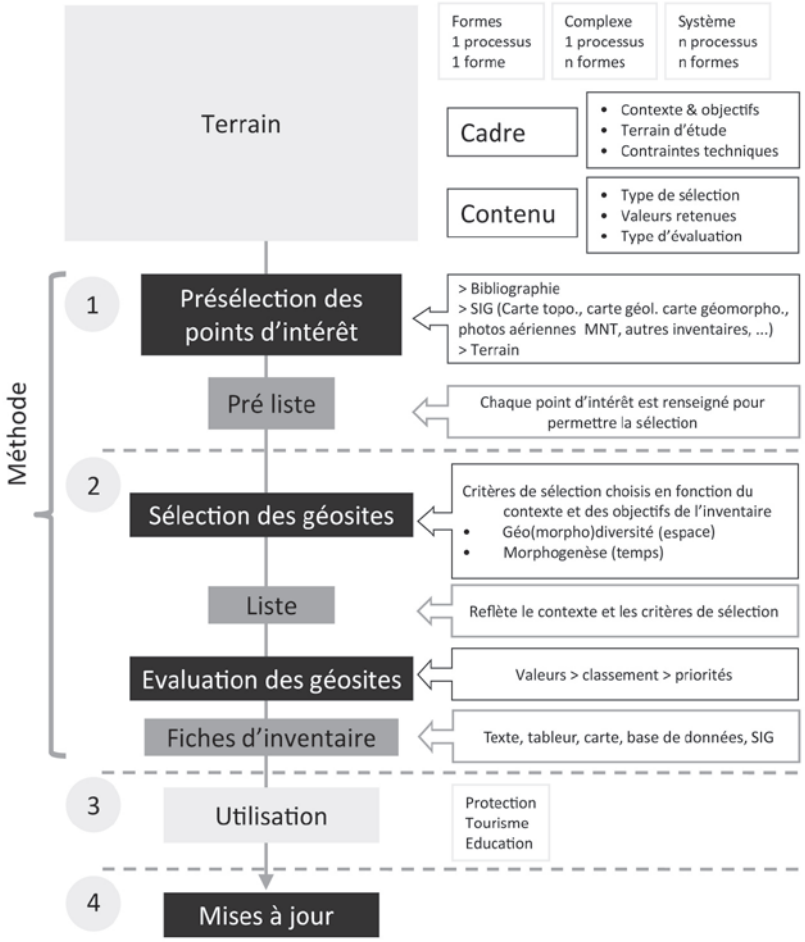


Fig. 5.3 : Processus global d'inventaire des géosites avec sélection mixte (intégrale et spécifique), modifié d'après (Reynard et al., 2012c).

Cadre de l'inventaire

Nous pouvons résumer ici les différents éléments du cadre de l'inventaire des géosites glaciaires (et associés) du Chablais.

Contexte

La thèse et l'inventaire qui en fait partie sont réalisés dans le cadre du projet 123 Chablais de valorisation des patrimoines. L'inventaire est particulièrement

utile à la démarche géoparc (Chablais français) et doit soutenir les productions géotouristiques et géodidactiques du projet 123 Chablais. Il participe en outre au développement académique d'une méthode d'inventaire des géomorphosites.

Objectifs

1. Compléter / étoffer l'inventaire des géopatrimoines du Chablais (haut-savoyard) ;
2. Apporter de la matière exploitable pour l'exposition sur les patrimoines glaciaires du Chablais ;
3. Développer et tester l'intégration des valeurs d'usage (potentiel d'usage et besoin de protection) dans la méthode de l'UNIL, en relation avec le cadre de l'étude (Geopark Chablais);
4. Interroger l'étape de sélection des géosites et proposer une méthode en relation avec le cadre d'étude (Geopark Chablais).

Terrain d'étude

Alors que l'inventaire des géopatrimoines du SIAC ne concerne que le Chablais français, l'inventaire des géosites glaciaires s'effectue sur l'ensemble du terrain couvert par ce travail de thèse, soit les trois Chablais (Vaud, Valais et Haute-Savoie). Le terrain d'étude est globalement bien documenté du point de vue des témoins glaciaires mais de façon hétérogène.

Le temps à disposition et le nombre de sites visés par l'inventaire

Nous disposions initialement de trois ans, soit deux saisons de terrain. En réalité, le terrain a été effectué sur trois saisons (été-automne 2009, 2010, 2011), couplé avec d'autres objectifs (cartographie géomorphologique et datations cosmogéniques). L'élaboration de la méthode de sélection et des critères utilisés, la rédaction des fiches et l'évaluation des sites ont été effectués en deux étapes, durant l'hiver 2011 et l'hiver 2012. Nous évaluons le temps passé sur cet inventaire à six mois de travail à plein temps. Le nombre de sites visé s'est imposé à environ 30 géosites, à partir d'une présélection d'environ 100 points d'intérêt géologique.

Le personnel affecté à l'inventaire

Nous avons travaillé principalement seule sur cet inventaire, avec l'aide, durant l'été 2010, d'un stagiaire en *Bachelor* à l'Université de Lausanne. Il avait été envisagé une contribution à l'évaluation numérique des géosites par deux experts (une docteure en géologie et un professeur en géomorphologie, très bon connaisseurs du terrain). Faute de temps, cette collaboration n'a pas pu être réalisée. Elle aurait permis de confronter les résultats obtenus par trois évaluateurs utilisant une même méthode d'évaluation.

Contenu

Bien que reprenant une méthode existante, le contenu de l'inventaire a été adapté au contexte régional et thématique. Nous résumons ici les différents axes travaillés. Chacun d'entre eux sera détaillé dans un point particulier.

Le type de sélection choisie

La sélection des géosites est bien souvent le point faible des inventaires, parce qu'elle ne permet pas d'expliciter comment s'est opéré le passage du terrain aux

géosites. Nous avons choisi de développer une méthode spécifique, sur la base de deux axes. Les sites sélectionnés pour figurer dans l'inventaire des géosites glaciaires du Chablais rendent compte 1) de la géo(morpho)diversité régionale et 2) de la chronologie glaciaire régionale (pour plus de détails voir partie 5.3 Une méthode de sélection des géosites).

Les informations présentes dans l'inventaire

En ce qui concerne les éléments de documentation des sites, nous avons suivi scrupuleusement les indications de la méthode de l'UNIL (Reynard, 2006; Reynard et al., 2007): informations ponctuelles (nom, code, coordonnées, surface, processus, commune, etc.), description et morphogenèse. En ce qui concerne les valeurs prises en compte dans l'évaluation des géosites, nous nous sommes questionnée sur l'intérêt d'ajouter des critères concernant la valeur d'usage des géosites et leur besoin de protection, dans le cadre précis de cet inventaire. En particulier, nous nous sommes intéressée à la problématique des usages actuels et potentiels. Cet inventaire doit-il donner un aperçu de la situation actuelle ou des potentialités que pourraient offrir les géosites inventoriés ?

Pour rendre compte de la situation actuelle, il est utile de répertorier, par exemple, le niveau de protection et la présence de matériel d'interprétation sur un site. Ces informations sont capitales pour la gestion des géosites, en particulier au sein d'un géoparc. Elles permettent de fixer des priorités de gestion, d'aménagement et d'entretien. Elles doivent être accompagnées d'éléments informatifs tels que le sujet abordé, le public visé, l'état des installations, les auteurs, etc. Le géoparc peut ainsi avoir une bonne vue d'ensemble de ce qu'offre son territoire, les gestionnaires peuvent ensuite décider de mesures à prendre pour renforcer les outils de valorisation.

Dans une optique de développement et de valorisation des géosciences plus large, en particulier, ouvert à des types de publics différents du « grand public », il pourrait être intéressant de donner une autre vision du territoire. Certains sites ne sont pas valorisés pour des questions de circonstances, d'aléas (politique, culturel, économique) alors qu'ils représentent parfois d'excellents spécimens de diversité, de lisibilité, etc. Un inventaire qui voudrait avoir une certaine validité sur le long terme devrait pouvoir rendre compte de ces géosites particuliers.

Nous avons donc choisi d'introduire une notation double, qui rende compte de la valeur d'usage actuelle et du potentiel d'utilisation du site, d'un point de vue didactique (lisibilité et robustesse). Un calcul simple, a permis d'obtenir un « écart à la valeur d'usage potentielle ». Nous développons cet aspect au point 5.4.3 Evaluation qualitative et numérique.

Le type d'évaluation choisie

Comme préconisé par la méthode de l'UNIL, nous avons choisi une double évaluation, à la fois qualitative (sous forme de texte) et quantitative (attribution de scores entre 0 et 1, par intervalle de 0.25 point). Nous avons ajouté, pour une plus grande traçabilité, une échelle explicitée sous forme de texte, afin de guider l'attribution des scores. On ne le répétera jamais assez, l'échelle, tout comme les valeurs prises en compte, sont fonction du territoire considéré. L'évaluation se fait donc en fonction des éléments présents dans le périmètre considéré. Dans

ce contexte, chaque échelle doit être adaptée à la réalité du terrain. Ce point est illustré dans la partie 5.4.2 Aadaptation de la méthode au terrain.

Pérennisation

En raison des nombreuses modifications apportées à la méthode de l'UNIL, il était impossible d'utiliser la base de données disponible à l'IGD, fixée sur le logiciel MySQL. La structure de la base gérée par le SIAC (Access) était également trop différente pour servir de support à notre inventaire. Nous avons donc réalisé un listing des sites avec leurs informations ponctuelles sur un tableur Excel, puis, nous avons intégré ces données dans un SIG (ArcGis), de façon à joindre à la liste des sites des périmètres géolocalisés. Les textes (description, morphogenèse et évaluation qualitative) on été rédigés sous Word. Les fiches complètes de l'inventaire (annexe 4) sont finalement mises en page sous Word. La transmission des données a été faite au SIAC sur les différents supports mentionnés, et c'est un stagiaire du SIAC qui s'est chargé 1) d'intégrer les nouveaux sites à l'inventaire des géopatrimoines du Chablais (IGC) ; 2) de compléter les sites figurant déjà dans l'inventaire avec nos données. A ce propos, dans certains cas, les géosites glaciaires ne correspondaient pas aux éléments de géopatrimoine envisagés selon d'autres critères. Par exemple, le site « les lacs des Plagnes-Cubourré », figure à l'IGC avec un périmètre et une dénomination qui reflètent un point de vue écologique. Il est donc sensiblement différent du géosite « vallon glaciaire des Plagnes-Cubourré » que nous avons identifié comme géosite glaciaire pertinent pour l'IGGC.

5.3. Une méthode de sélection des géosites

5.3.1. Problématique

Extraire d'un territoire des objets distincts est une étape tout à fait cruciale de l'inventaire. C'est elle qui en détermine le contenu. L'évaluation numérique ou qualitative des sites prend place plus ou moins explicitement dans cette étape de sélection. Plusieurs méthodes sont alors utilisées[4]. Martin (2013) résume assez bien la situation en distinguant les approches intégrales des approches spécifiques. L'**approche intégrale** considère tous les sites du périmètre étudié, identifiés sur la base de documents (bibliographie, cartographie) ou avec l'aide de SIG, pour les méthodes les plus sophistiquées (Rivas et al., 1997). Une première forme d'évaluation, selon un nombre de critères réduits, est ensuite opérée (Serrano & González-Trueba, 2005), permettant de faire ressortir du lot les sites les plus pertinents. Cette approche demeure partielle en raison de la complexité et de la dynamique des processus géologiques et géomorphologiques. Même si le lot de sites considérés est important, elle ne permet toujours pas d'évacuer la composante arbitraire du passage de la carte ou de la bibliographie aux sites identifiés et délimités. Elle est, en outre, très longue à mettre en place. L'**approche spécifique** opère une sélection parmi un lot de sites sur la base de critères plus ou moins motivés, mais se passe de les évaluer de façon numérique. Le lot de sites est généralement plus réduit que celui de l'approche intégrale et rarement explicité. La moins transparente des méthodes spécifiques est néanmoins la plus utilisée

4 Nous exceptons les inventaires exhaustifs tels que, par exemple, les inventaires spéléologiques qui recensent toutes les occurrences de cavité d'une région (Audétat et Heiss, 2001).

dans le cadre des inventaires nationaux et cantonaux, en Suisse (par ex. Pieracci et al., 2008; Reynard et al., 2012a). Il s'agit de la sélection sur avis d'expert. Dans ce cas, chaque expert est prié d'indiquer les sites de sa discipline qu'il considère devoir figurer à l'inventaire. Toute opaque qu'elle puisse être, nous pensons que cette méthode n'est peut-être pas aussi partiale qu'il n'y paraît, les experts pouvant être considérés comme ayant dans leur bagage une très bonne connaissance de la littérature et du terrain concerné, dans leur domaine d'étude (Bruschi & Cendrero, 2005). L'approche spécifique ne permet pas non plus d'obtenir un inventaire exhaustif. L'inventaire sera à considérer comme thématique ou répondant à une question particulière.

Dans ce travail, nous avons choisi une **approche mixte** (par ex. Pereira, 2006) déterminée par 1) la relative étendue du terrain que nous ne connaissions que partiellement et dont la littérature et la cartographie actuellement disponible ne permettait pas de prétendre à une couverture homogène du territoire ; 2) l'aspect thématique de l'inventaire qui se focalise sur les sites glaciaires et associés ; 3) le contexte de l'inventaire qui s'effectue dans le cadre d'un territoire qui souhaite d'abord valoriser puis protéger son géopatrimoine (le projet 123 Chablais dans un premier temps, puis le Geopark Chablais) ; 4) une limite de temps et d'énergie à consacrer à cet inventaire, qui ne représente qu'une partie du travail de thèse.

5.3.2. La méthode

Nous avons procédé en quatre étapes : 1) Etude des documents (bibliographie, cartographie), étalonnage personnel sur le terrain et complément des connaissances scientifiques dans certaines zones (cf. chapitre 4, cartographie géomorphologique et datations cosmogéniques) ; 2) Constitution d'une liste de points d'intérêt glaciaires ; 3) Identification des types de morphologies glaciaires présents sur le terrain et simplification de la chronologie glaciaire en « stades glaciaires » ; 4) Sélection des sites par tableaux croisés à deux entrées : type de forme et stade glaciaire.

Etude des documents, étalonnage personnel et complément des connaissances scientifiques

Cette étape du travail est décrite en détail dans le chapitre 4. Nous ne faisons que la résumer ici :

- L'étude de la bibliographie montre des zones pas ou peu étudiées du point de vue des témoins glaciaires (Perret et al., 2011). L'étude des cartes géologiques montre une grand disparité de traitement du Quaternaire selon les feuilles dont la réalisation s'étend sur plus de 70 ans. Certaines informations sont inexactes (par ex., quelques cordons morainiques de la feuille les Diablerets (Badoux et al., 1990)), d'autres sont manquantes (par ex., les blocs erratiques sur la feuille Thonon-Châtel (Badoux, 1965), qui ne figurent pas dans la légende).
- L'étalonnage personnel a été nécessaire dans ce contexte où les témoins glaciaires sont parfois complexes (par exemple, les coupes dans les dépôts meubles) et dans la mesure où la sédimentologie était une discipline nouvelle pour nous. Le Chablais est également un terrain peu facile d'accès parce que les formes glaciaires y sont souvent fossiles, couvertes

de végétation, atténuées ou détruites par l'érosion. L'impact anthropique y est important : disparition des blocs erratiques (bloc du Champsot), nivellement des terrains en zones urbaines (terrasses de Thonon) et dans les stations de ski (stations des Hautes-Dranses).

- Les deux types de complément que nous avons essayé d'ajouter à la connaissance des témoins glaciaires du Chablais (cartographie géomorphologique dans certains sites et datations cosmogéniques sur blocs erratiques) ne représentent qu'une petite quantité d'information rapportée à l'ensemble du terrain. Ce travail se retrouve pourtant dans l'inventaire puisqu'il nous a permis d'identifier des sites qui auraient pu passer inaperçus sans ces travaux.

Constitution d'une liste de points d'intérêt glaciaires

Au fur et à mesures de nos lectures et de nos missions de terrain, nous avons constitué une liste de points d'intérêt glaciaires (PIG) sur tableur Excel. Nous avons, en parallèle, travaillé avec un SIG de façon à pouvoir jongler très facilement avec différentes couches d'information et à obtenir une superposition géométriquement exacte de cette information. Le SIG nous permettait également d'extraire un type de données parmi de nombreuses couches afin de nous focaliser sur des éléments particuliers (par ex. les cartes géologique vectorisées) (Fig. 5.4). Enfin, nous avons pu géolocaliser les points d'intérêt identifiés dans la bibliographie, sur le terrain et au travers des différents supports. Nous les avons fait apparaître en tant que couche d'information supplémentaire dans le SIG, sur la base de notre tableur Excel.

Pour constituer notre base de données (SIG), nous avons utilisé les couches d'informations suivantes : cartes topographiques à différentes échelles, cartes géologiques au 1 :25'000 (CH) et au 1 :50'000 (F) en modes raster et vecteur, photographies aériennes à haute résolution (1 pixel = 0.5 cm), MNT (MNT-Mo 1 m (CH), Aster Gdem 25 m (F)) traité en relief ombré.

Toutes les journées de terrain effectuées dans le Chablais pour les différentes missions de ce travail ont été l'occasion de vérifier certains points d'intérêt et d'en ajouter de nouveaux. Nous n'avons cependant pu parcourir que 15% de la surface du terrain en une centaine de jours (Fig. 5.4), 45% si l'on considère uniquement les terrains accessibles, c'est-à-dire hormis les catégories 31 (forêts), 332 (roche nue), 335 (glaciers et neiges éternelles) de la base de données *Corine Land Cover* 2006 (cf. Fig. 3.3).

Trois inventaires de géosites existants recoupaient en partie le Chablais. L'Inventaire des Géopatrimoines du Chablais (français) (IGC), l'Inventaire des géotopes du canton de Vaud (IGCV) (Pieracci et al., 2008) et l'Inventaire des Géotopes Suisses (IGS) (Reynard et al., 2012a). Cette information n'a pas été ajoutée sous forme de table géoréférencée, ce qui aurait représenté un long travail peu utile. Nous en avons cependant pris compte lors de l'établissement de la liste des points d'intérêt. Il faut signaler ici également la thèse de Ph. Schoeneich (1998a) sur le retrait glaciaire des vallées des Ormonts, de l'Hongrin et de l'Etivaz, travail d'investigation très fouillé, doté de cartes géomorphologiques détaillées, qui couvre une bonne partie du Chablais vaudois. Ce travail nous garantissait qu'aucune forme glaciaire n'était restée dans l'ombre pour cette partie du terrain.

La superposition de tous ces éléments nous a permis de fixer une liste de points d'intérêt glaciaire comprenant 101 sites et objets (cf. annexe 3). Cette liste a été complétée avec des informations ponctuelles telles que : le pays, l'appartenance aux inventaires existants (IGVC, IGC, IGS), le processus principal, l'intérêt scientifique, les intérêts additionnels, etc. Ces informations, ajoutées à la table attributaire des points d'intérêt glaciaires, permettent un tri rapide et aisé des sites au sein de cette « base de données ».

Malgré un gros effort porté sur la multiplication des couches d'information lors de cette phase d'établissement d'une pré-liste de « géosites potentiels », la sélection effectuée reste arbitraire même si elle est motivée. En effet, chaque site répertorié présentait un intérêt particulier qui lui permettait de sortir du lot d'informations. Dans ce contexte, on comprend bien que l'exhaustivité n'est pas de mise. Nous pensons cependant avoir pu extraire du terrain un panel de sites qui présentent tous un intérêt du point de vue des géopatrimoines. Nous pourrions d'ailleurs affirmer qu'à ce stade, chacun des points d'intérêt glaciaire est un géosite potentiel, puisqu'il a retenu l'attention lors de la sélection. Le plus gros risque de cette méthode (et de toutes les méthodes d'ailleurs) serait simplement d'omettre un objet ou un site qui aurait pu prendre place dans cette liste.

D'autres éléments plus factuels empêchent une couverture exhaustive du territoire. D'une part, l'importante couverture végétale - 50% du terrain se situe en zone de végétation - limite considérablement le repérage des formes du relief. Ce problème est en faible partie atténué par l'utilisation systématique des modèles numériques de terrain (MNT), qui permettent d'identifier des morphologies glaciaires et périglaciaires au travers de la végétation. Par exemple, un imposant glacier rocheux fossile au pied du Mont d'Or (Le Larzey) est très difficile à observer sur le terrain mais parfaitement visible sur un relief ombré de bonne résolution. On découvre alors un spécimen remarquablement développé que l'on aurait certainement omis sans recours au MNT. D'autre part, les couches d'information desquelles est extraite la pré-liste sont lacunaires, typiquement, les cartes géologiques. Il faut en outre garder à l'esprit que les cartes géologiques et géomorphologiques sont des interprétations qu'il faut lire en regard de l'époque à laquelle elles ont été dessinées.

Identification des types de morphologies glaciaires et simplification de la chronologie

Suite aux phases 1 « étude et terrain » et 2 « constitution d'une liste », nous avons pu répertorier tout un panel de formes glaciaires et associées que nous avons classé par processus (glaciaire, fluvioglaciaire, glaciolacustre, gravitaire, périglaciaire, fluviatile et organogène) et trié en formes ponctuelles, linéaires, surfaciques et en accumulations (Tab. 5.2). Nous obtenons une liste de 43 types de formes. Certains sont bien connus des habitants du Chablais, par exemple, les blocs erratiques ou les tourbières, d'autres sont ignorées des habitants et de la plupart des scientifiques, par exemple, les protalus ramparts et les drumlins.

Nous avons pris en compte des processus qui ne sont pas strictement glaciaires (fluvioglaciaire, glaciolacustre) et des processus indépendants (gravitaire, périglaciaire, fluviatile, organogène, hydrographique, karstique) pour plusieurs raisons. Les processus périglaciaires sont étroitement liés aux processus glaciaires. Ils se développement sur un même type de terrain et selon des conditions

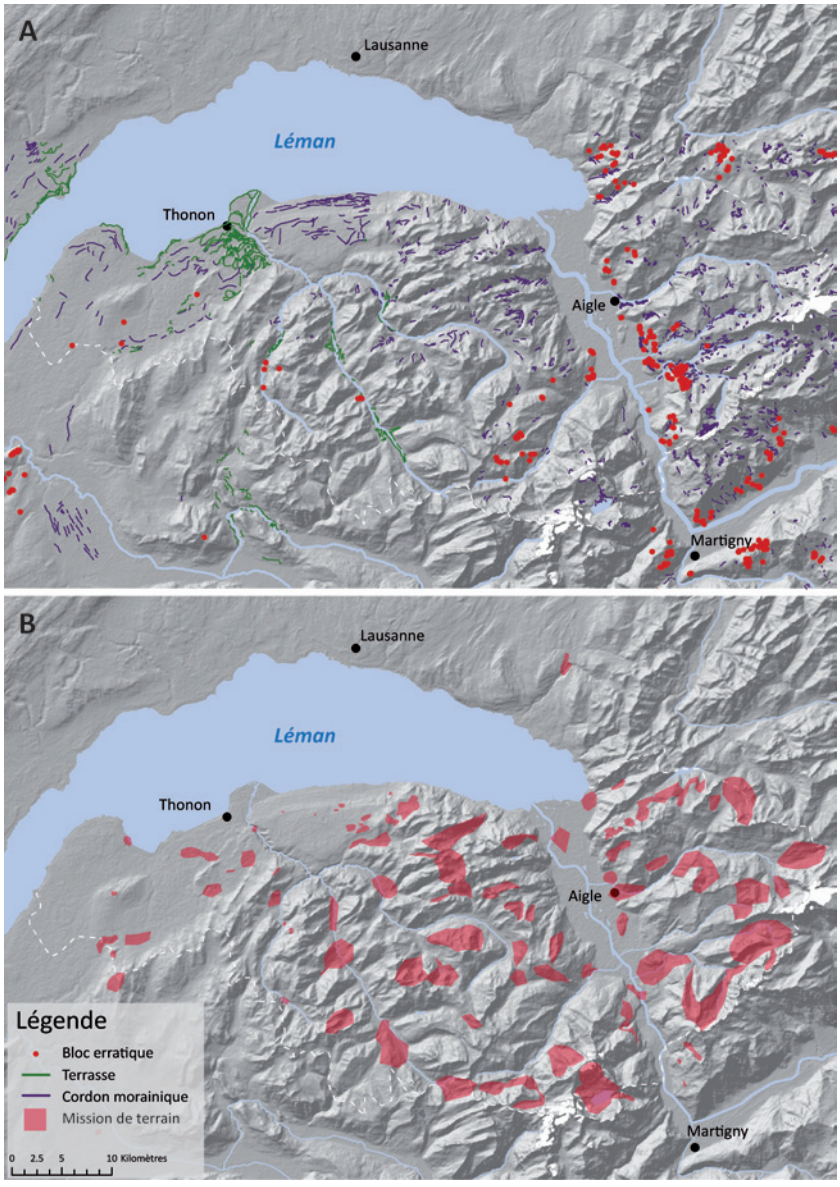


Fig. 5.4 : Constitution d'un système d'information géographique A. informations points et lignes des cartes géologiques au 1:50'000 du BRGM et au 1:25'000 de Swisstopo. B. Espaces parcourus lors des missions de terrain. (Fond de carte Aster GDem V2)

climatiques proches (Scapozza, 2013). Schoeneich (1992, 1998a) considère que les formes périglaciaires peuvent être utilisées en complément des formes glaciaires pour reconstituer des séquences glaciaires. Les formes organogènes s'établissent dans les périodes interglaciaires et interstadiaires. Elles apportent des informations sur l'absence de glaces d'un point de vue spatial et temporel (palynologie). De plus, elles s'établissent souvent en relation avec un barrage morainique ou avec la

type de témoins géo-morphologiques	ponctuel	linéaire	surfacique	accumulation
glaciaire	bloc erratique	cordon morainique latéral *latéro-frontal* *frontal* amphithéâtre morainique	glacier glacieret glacier noir glacier régénéré marge proglaciaire vallon glaciaire *vallon glaciaire perché* cirque glaciaire *roches moutonnées* *surfaces moutonnées avec stries* verrou, ombilic auge glaciaire *drumlin*	*till de fond* *till d'ablation* *till fluté* *(till aquatique)*
fluvioglaciaire	*marmite glaciaire*	gorge sous-glaciaire *gorge de raccordement* chenal fluvioglaciaire	terrasse de kame *sandur* *épandage fluvioglaciaire*	*dépôts grossiers stratifiés*
glaciolacustre			lac de marge glaciaire barré par un cordon morainique barré par un verrou glaciaire delta perché	*dépôts fins laminés* dépôts deltaïques
gravitaire			glissement de terrain (dépôts glaciolacustres et till) écroulement post-glaciaire *éboulement supraglaciaire* *(éboulement)*	
périglaciaire			glacier rocheux fossile glacier rocheux actif protalus rampart *kettle*	
fluviatile			cheminées de fées	conglomérats
organogène			*marais, tourbière*	
hydrographique	*(source)*			
karstique	*(doline)*			

Tab. 5.2 : Les types de témoins glaciaires et associés. En noir, témoins représentés par un géosite (22) ; en gris moyen et italique, témoins inclus dans un géosite (24) ; en gris clair et entre parenthèses, témoins non inclus (3).

présence de till argileux. Elles entrent donc pleinement dans l'étude des fluctuations glaciaires régionales. Les formes gravitaires, fluviatiles, hydrographiques et karstiques sont prises en compte parce que, dans le Chablais, l'étude de certains spécimens à largement contribué à la recherche sur le Quaternaire régional. Il s'agit parfois d'interprétations qui ont été révisées par la suite, comme dans le cas des collines de Chessel-Noville.

Toujours suite aux phases 1 et 2, nous avons choisi de retenir 10 grandes étapes de la chronologie glaciaire régionale. Ces étapes se basent sur des stades et interstades identifiés par les travaux qui essaient de retracer la dynamique glaciaire telle qu'enregistrée dans le Chablais. Si certaines de ces étapes sont aujourd'hui placées dans des fourchettes d'âges ^{14}C, elles restent pour la plupart des éléments de chronologie relative. Cette prise en compte de la chronologie glaciaire est un moyen de documenter et de représenter la morphogenèse régionale (axe temporel (Fig. 5.5)).

Il est utile de préciser ici que cette « vision » du territoire en étapes de glaciation (ou de déglaciation en l'occurrence), fait écho à un volet qui avait été amorcé dans la cadre de cette thèse mais qui n'a abouti que partiellement dans le cadre de l'exposition sur le patrimoine glaciaire des Chablais (chapitre 6). Il s'agit de cartes de stades qui devaient illustrer la dynamique glaciaire dans la région un peu à la

manière d'une bande dessinée et à la suite de l'article de M. Burri (1963). Sept instantanés avaient alors été choisis en comité de pilotage scientifique.

Les 10 « stades » définis sont 1. Actuel ; 2. Petit Age Glaciaire ; 3. Egesen ; 4. Tardiglaciaire ; 5. Stade de Monthey ; 6. Stade du Petit Lac ; 7. Stade de Genève ; 8. *Last Local Glacial Maximum* (LLGM) ; 9. Dernier cycle glaciaire ; 10. Antérieur au dernier cycle glaciaire.

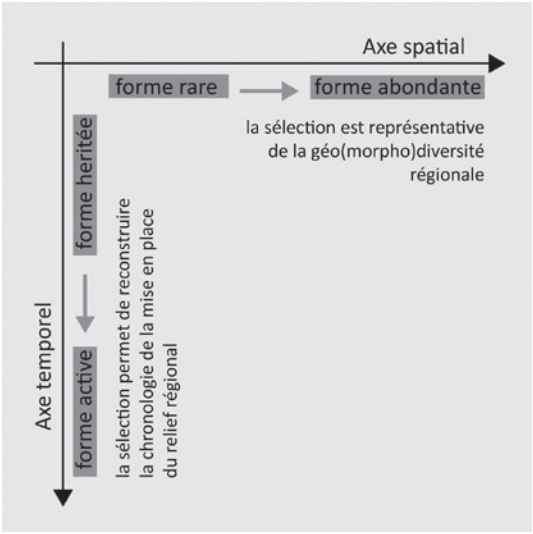


Fig. 5.5 : Les deux axes représentés par les critères de sélection (Reynard et al., 2012c).

Sélection des sites par tableaux croisés : type de forme et stade glaciaire

La sélection proprement dite a été réalisée sur la liste des points d'intérêt glaciaires établie en phase 3. Elle n'est pas basée sur une évaluation de l'importance des points d'intérêt en fonction de leurs valeurs (intrinsèque et d'usage) ni de leur besoin de protection, mais sur la volonté de présenter dans l'inventaire une sélection de sites qui puisse rendre compte 1) de la géo(morpho)diversité glaciaire régionale 2) de la chronologie glaciaire régionale (Fig. 5.5).

Nous avons pensé que ce choix présentait une utilité du point de vue du Geopark Chablais, dont l'une des orientations, comme tout géoparc, est d'améliorer la sensibilisation aux sciences de la Terre en développant une activité de géotourisme ainsi que des outils didactiques à destination d'un public scolaire. La méthode de l'UNIL incluant une importante phase de documentation des géosites, dont la rédaction d'une description détaillée et de reconstitution d'une morphogenèse fouillée, nous avons considéré que ce travail devait être réalisé sur une sélection représentative des formes du relief qui se rencontrent dans la région, en favorisant l'insertion de formes peu connues ou rares et de formes actives et fossiles (Tab. 5.2). Ce choix permettait d'offrir un large éventail de sites bien documentés, pouvant servir de base à l'élaboration de produits géotouristiques et didactiques. La considération de l'axe temporel participe d'un même souci de représentativité,

chronologique cette fois, les objets de l'inventaire devant permettre de reconstituer l'histoire glaciaire locale conservée au travers des ses témoins.

Il va sans dire que cette orientation restait dans la droite ligne du travail effectué en parallèle sur l'amélioration de la connaissance du Quaternaire régional à l'aide de la cartographie géomorphologique (axe spatial) et des datations sur blocs erratiques (axe temporel). Ce choix s'est également avéré utile lors de la réalisation de l'exposition sur le patrimoine glaciaire des Chablais (chapitre 6) quoique avec quelques nuances qui seront rapportées dans le chapitre suivant.

Concrètement, la sélection a été effectuée comme suit :

1. Ajout d'une rubrique « type de forme » à la liste des points d'intérêt glaciaires (PIG).
Cette étape a réduit de moitié les types de forme à prendre en compte, la plupart des sites incluant plusieurs types. Il est important que chaque site soit précisément nommé et considéré du point de vue de ce type par la suite.

2. Ajout d'une rubrique « stade glaciaire » à la liste des PIG.
Certains sites particulièrement complexes peuvent représenter plusieurs stades. Lors cette étape, nous indiquons pour chaque PIG tous les stades qui y sont représentés et présentent un intérêt. Le stade pour lequel le site semble le plus représentatif ou le plus exemplaire est mis en avant.

3a. Représentation cartographique des PIG selon les deux axes.
Il s'agit là plus d'une étape de vérification visuelle des sites. Elle n'est pas absolument nécessaire mais permet de prendre de la distance par rapport à la liste des PIG (Fig. 5.6 et 5.7).

3b. Groupement des certains sites afin de privilégier les complexes de formes et les systèmes géomorphologiques.
Lorsque la carte montrait des agrégats de sites cohérents, nous avons essayé de les grouper. Nous avons alors rattaché des sites ponctuels ou de petites surfaces à un site de plus grande envergure. Par exemple, le verrou de St-Maurice (ID 54) a englobé la marmite des Caillettes et les roches moutonnées de Massongex (stade glaciaire 9 DCG), parce que ces sites présentaient des similitudes de type et de chronologie. Par contre, le site des moraines de la Daviaz (ID17) est resté indépendant (stade glaciaire 5 Monthey), parce qu'il appartenait à une étape chronologique nettement différente.

Un certain nombre de sites ont été envisagés dès la constitution de la liste de PIG en tant que systèmes géomorphologiques, c'est-à-dire que nous avons considéré la forme qui contenait des éléments de plus petite étendue en interaction. C'est le cas des cirques glaciaires, vallons glaciaires et marges proglaciaires.

4. Etablissement d'un tableau croisé avec en « ordonnée », les stades glaciaires et en « abscisse », les types de formes.

Les stades glaciaires ont été choisis comme axe prioritaire. Ils présentaient le plus petit nombre de catégories (Fig. 5.8).

5. Sélection « à la main » et réfléchie d'un des sites en cas de surnombre dans une cellule du tableau (Fig. 5.8).

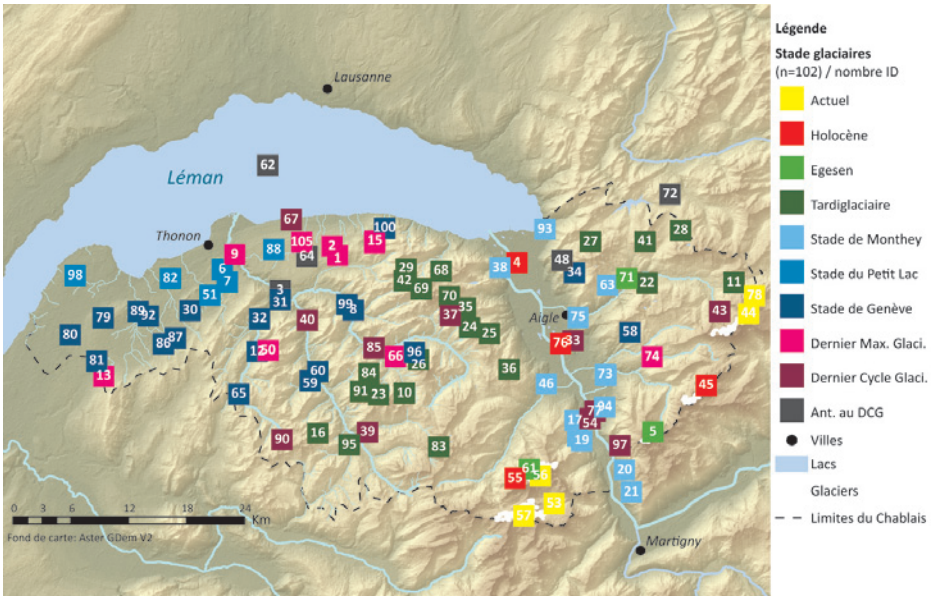


Fig. 5.6 : Points d'intérêt glaciaires et associés du Chablais selon le stade glaciaire auquel ils sont rattachés.

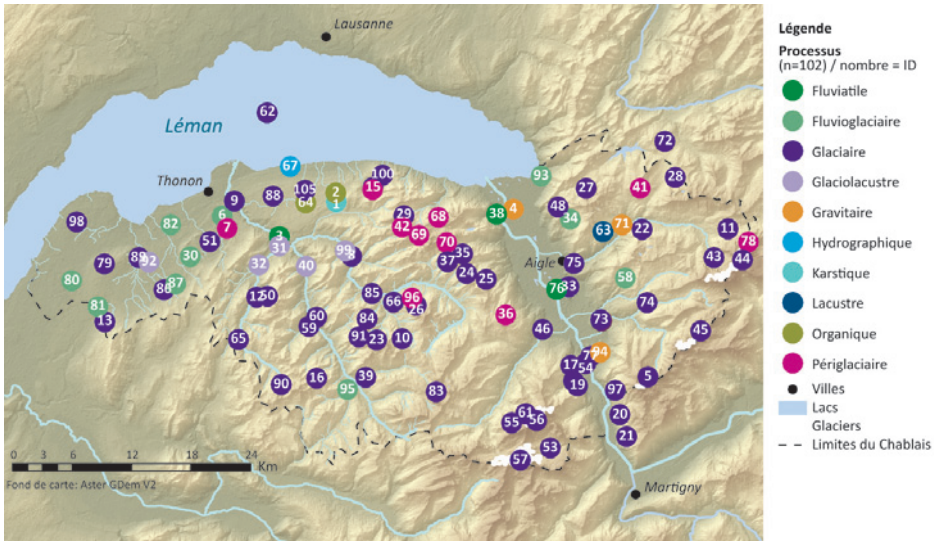
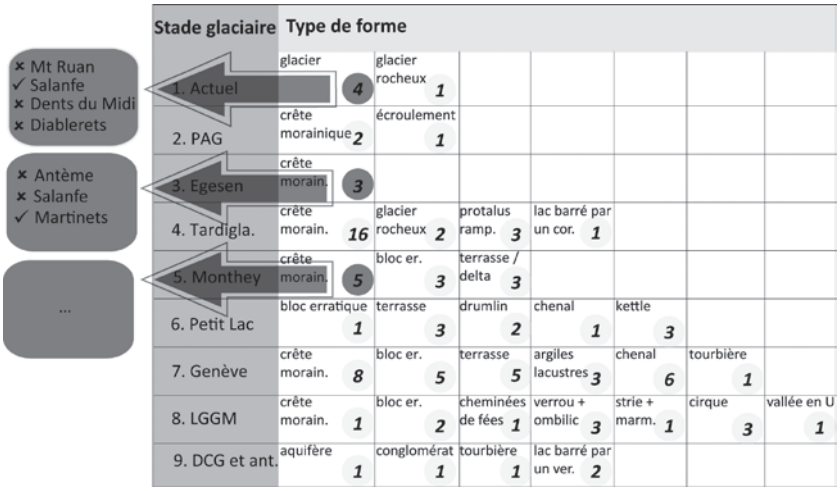


Fig. 5.7 : Points d'intérêt glaciaires et associés du Chablais selon le processus géomorphologique auquel ils sont attribués.

Compte tenu du point (2), certains sites apparaissent plusieurs fois dans le tableau. Nous avons alors choisi, en fonction des autres sites présents dans une même cellule, de fixer le stade du site qui serait finalement considéré. Cette réintroduction d'une part de libre arbitre dans la sélection nous a permis de « placer » des sites que nous considérions comme incontournables (par exemple, Salanfe, Antème)

dans le sens où ils sont particulièrement exemplaires et/ou représentatifs des processus glaciaires et associés (intérêt scientifique) ou d'éléments (géo)culturels (valeurs additionnelles)

Lors de cette étape, des choix difficiles ont dû être opérés. Certains sites présentent un intérêt tel qu'ils figurent à l'inventaire des géotopes suisses. Ils ne sont cependant pas automatiquement pris en compte dans l'IGGC, en particulier lorsqu'un site d'un intérêt plus proche de cet inventaire spécifique leur a été préféré. Par exemple, la Pierre Besse et le Bloc Monstre (IGS 289) n'ont pas été pris en compte dans l'IGGC, parce qu'ils ne pouvaient que difficilement être rattachés à un des stades glaciaires retenu, et cela bien que leur intérêt pour l'histoire des géosciences soit considérable.



Stade glaciaire	Type de forme						
1. Actuel	glacier 4	glacier rocheux 1					
2. PAG	crête morainique 2	écroulement 1					
3. Egesen	crête morain. 3						
4. Tardigla.	crête morain. 16	glacier rocheux 2	protalus ramp. 3	lac barré par un cor. 1			
5. Monthey	crête morain. 5	bloc er. 3	terrasse / delta 3				
6. Petit Lac	bloc erratique 1	terrasse 3	drumlin 2	chenal 1	kettle 3		
7. Genève	crête morain. 8	bloc er. 5	terrasse 5	argiles lacustres 3	chenal 6	tourbière 1	
8. LGGM	crête morain. 1	bloc er. 2	cheminées de fées 1	verrou + ombilic 3	strie + marm. 1	cirque 3	vallée en U 1
9. DCG et ant.	aquifère 1	conglomérat 1	tourbière 1	lac barré par un ver. 2			

Fig. 5.8 : Tableau croisé et sélection « à la main ».

5.3.3. Résultats

L'IGGC comprend 32 sites répartis comme suit : 18 sites glaciaires ; 6 sites fluvioglaciaires ; 3 sites périglaciaires ; 2 sites fluviatiles ; 1 site glaciolacustre ; 1 site gravitaire. Les PIG organogènes, karstiques et hydrographiques ne sont pas représentés par un géosite (Fig. 5.9 et Tab. 5.3). Un des PIG organogène a cependant été intégré dans le géosite plus vaste de l'impluvium d'Evian (ID 6). Comme nous avons pu le constater lors de la réalisation de l'inventaire des géomorphosites du PNRJV (Perret, 2008), l'inventaire des sites glaciaires du Chablais est automatiquement représentatif des processus glaciaires et associés régionaux. Le nombre de sites par catégorie est proportionnel à l'importance de cette catégorie dans la morphogenèse régionale. Les sites glaciaires sont donc les mieux représentés, puis les sites fluvioglaciaires, etc.

Deux sites sont particulièrement vastes (Fig. 5.10): les terrasses fluvioglaciaires de Thonon (ID 6) et l'impluvium d'Evian (ID 105). Ils regroupent en fait plusieurs PIG, qui formaient un ensemble cohérent et fonctionnel, ce qui permet de les considérer comme des complexes géomorphologiques (un processus principal,

plusieurs formes). Les sites de la frange sud-est du terrain sont également vastes. Il s'agit pour la plupart de vallons glaciaires (Fond de l'Hongrin ID 28, les Plagnes-Cubourré ID 10), cirques (Salanfe ID 53, Creux de Champ ID 43) et marges proglaciaires (Martinets ID 5, Muveran ID 45, Antème ID 55) qui regroupent plusieurs formes et processus en interaction et peuvent être considérés comme des systèmes géomorphologiques (Fig. 5.11). En réalité, la plupart des géosites sélectionnés sont complexes, comprenant plusieurs formes issues d'un même processus, voire pour 27 d'entre eux, plusieurs processus (Fig. 5.12).

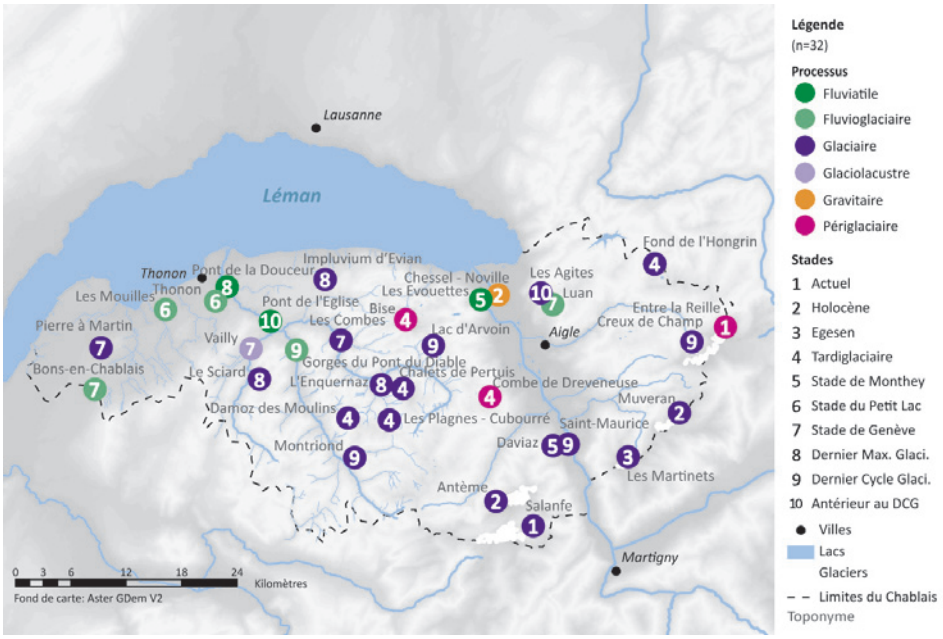


Fig. 5.9 : Géosites glaciaires du Chablais en fonction de stades glaciaires et des processus géomorphologiques.

Nous avons également inventorié des sites ponctuels. Il s'agit des blocs erratiques, représentés par trois spécimens dont la trajectoire et la chronologie ont été très différentes et ne sont pas encore bien comprises aujourd'hui (Pierre à Martin ID 79, blocs du Sciard ID 50, bloc des Agites ID 48). C'est cette part de question posée à la science qui leur a valu, entre autres, leur intégration dans cet inventaire. Trois sites sont des cordons morainiques ou ensembles de cordons morainiques (la Daviaz ID 17, l'Enquernaz ID 66, les Combes ID 8). Chacun de ces sites présente une particularité – en plus de leur rattachement à un stade glaciaire – qui les distinguait des innombrables cordons conservés dans la région. Dans le cas des Combes par exemple, le site comporte des formes particulièrement exemplaires et qui se répètent, à même altitude, dans les trois Dranses, marqueur d'un stade glaciolacustre majeur dans les trois vallées[5] (cf. 3.2 Cadre géologique).

5 Avec un peu de recul, nous pensons qu'il aurait été plus utile de prendre en compte les deux autres sites similaires dans un même géosite (site avec plusieurs périmètres), plutôt que de simplement mentionner cette particularité dans la fiche d'inventaire. Cela aurait permis une identification bien plus immédiate de cette particularité. En effet, le site perdrait

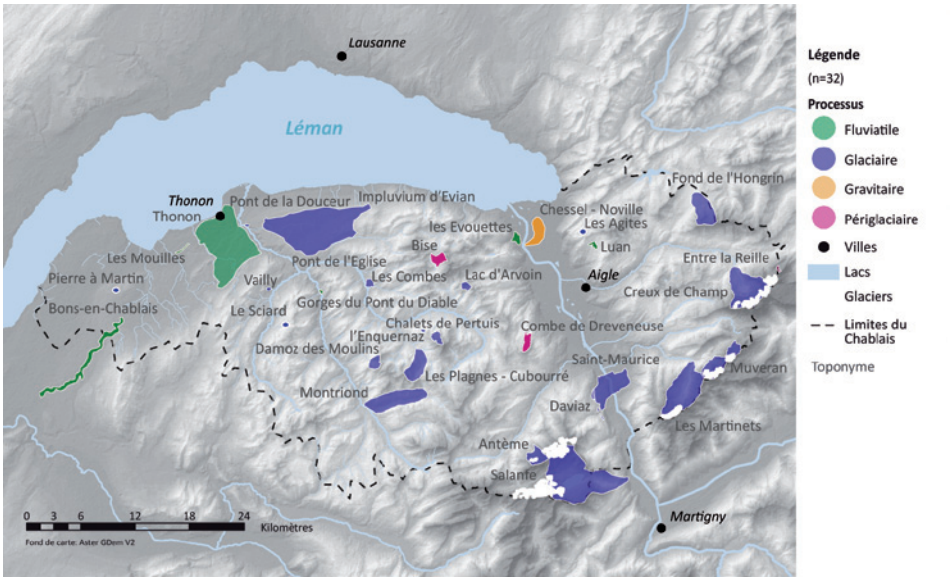


Fig. 5.10 : Périmètres des géosites glaciaires du Chablais.

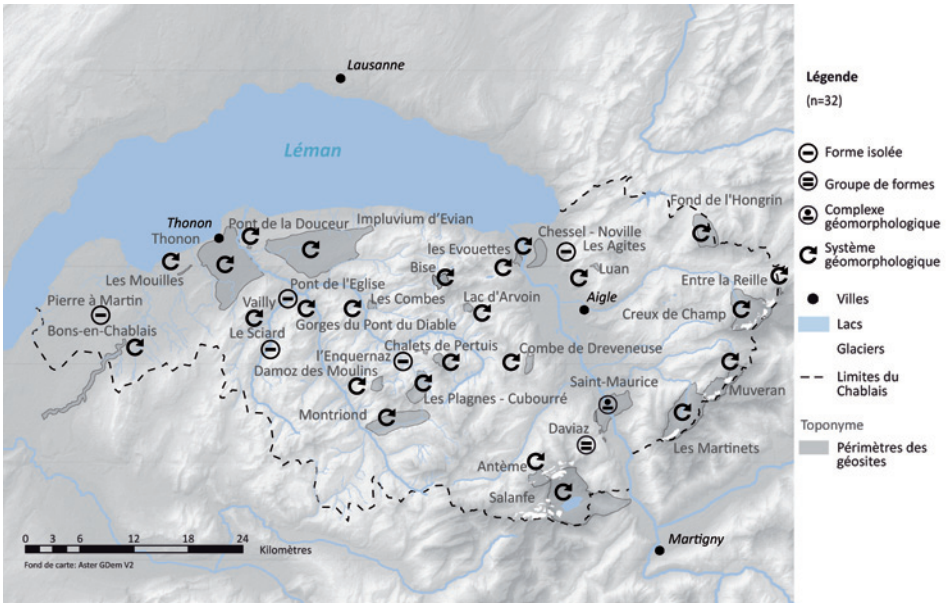


Fig. 5.11 : Complexité des géosites glaciaires du Chablais.

de son intérêt si les deux autres témoins venaient à être endommagés, oubliés lors d'une action de valorisation, etc.

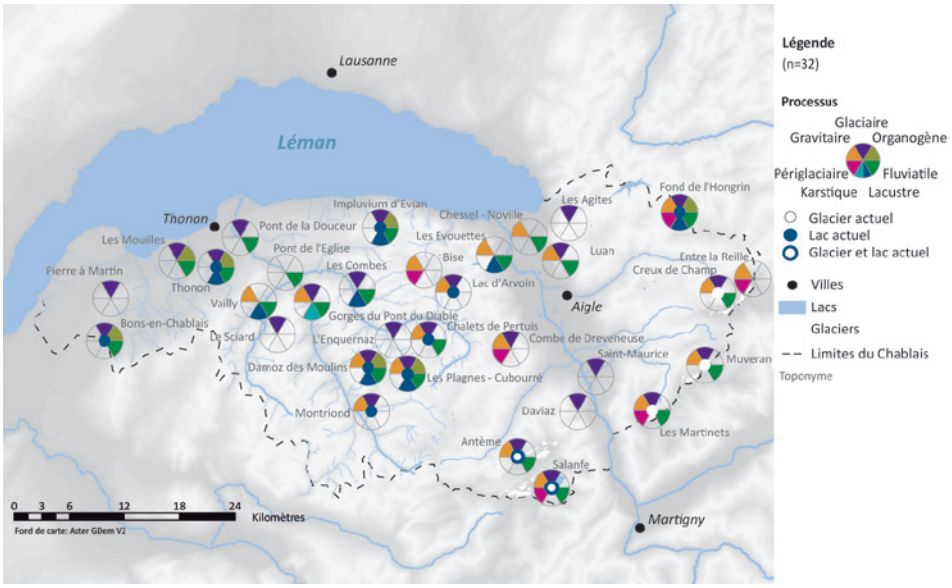


Fig. 5.12 : Processus géomorphologiques constitutifs des géosites glaciaires du Chablais.

N°	Type et toponyme	ID	Stade	Age approximatif
1.	Cirque glaciaire de Salanfe, vallon de Van et gorge de raccordement	(ID 53)	1	50 ans
2.	Glacier rocheux d'Entre la Reille	(ID 78)	1	50 ans
3.	Cirque et marge proglaciaire d'Antème (Dents du Midi)	(ID 55)	2	50 ans
4.	Les collines de Chessel Noville (diapirisme)	(ID 4)	2	1'500 ans
5.	Vallon de Nant et marge proglaciaire du glacier des Martinets	(ID 5)	2	2'500 BP
6.	Glaciers et marges proglaciaires des Muverans	(ID 45)	3	11'000 BP
7.	Amphithéâtre morainique des Chalets de Pertuis	(ID 26)	4	15'000 BP
8.	Vallons glaciaires de Lioson d'en Haut et de Vers les Lacs	(ID 28)	4	15'000 BP
9.	Protalus rampart de Bise	(ID 69)	4	16'000 BP
10.	Vallon glaciaire des Plagnes - Cubourré	(ID 10)	4	17'000 BP
11.	Vallon périglaciaire de Dreveneuse	(ID 36)	4	17'000 BP
12.	Lacs de cordons de Damoz des Moulins	(ID 91)	4	17'000 BP
13.	Cordons morainiques et blocs erratiques de la Daviaz, de la Daille et de Vers les Prés	(ID 17)	5	18'000 BP
14.	Delta perché des Evouettes	(ID 38)	5	18'000 BP
15.	Chenal fluvioglaciaire des Mouilles	(ID 82)	6	19'500 BP
16.	Terrasses fluvioglaciaires de Thonon	(ID 6)	6	20'000 BP
17.	Complexe glaciaire et fluvioglaciaire des Combes	(ID 8)	7	23'000 BP
18.	Bloc erratique de la Pierre à Martin	(ID 79)	7	24'000 BP
19.	Chenal fluvio-glaciaire de Bons-en-Chablais	(ID 81)	7	24'000 BP
20.	Argiles lacustres de Vailly	(ID 32)	7	25'000 BP
21.	Terrasse de kame de Luan	(ID 34)	7	25'000 BP
22.	Blocs erratiques du Sciard	(ID 50)	8	26'000 BP
23.	Cordon morainique de l'Enquernaz	(ID 66)	8	26'000 BP
24.	Cheminées de fées du Pont de la Douceur	(ID 9)	8	27'000 BP
25.	Impluvium d'Evian	(ID 105)	8	30'000 BP
26.	Lac d'ombilic d'Arvouin	(ID 37)	9	80'000 BP
27.	Auge glaciaire de Montriond	(ID 39)	9	80'000 BP
28.	Gorges sous glaciaires du Pont du Diable	(ID 40)	9	80'000 BP
29.	Cirque glaciaire de Creux de Champ	(ID 43)	9	80'000 BP
30.	Verrou glaciaire de Saint-Maurice	(ID 54)	9	80'000 BP
31.	Affleurement de Conglomérat des Dranses du Pont de l'Eglise	(ID 3)	10	100'000 BP
32.	Bloc erratique des Agites	(ID 48)	10	400'000 BP

Tab. 5.3 : Liste des géosites glaciaires et associés du Chablais classés par stade glaciaire.

Les sites fluvioglaciaires sont relativement nombreux dans cet inventaire. A l'interface entre le glacier et les cours d'eau, ce sont des témoins souvent directs des positions glaciaires. C'est le cas, notamment, des terrasses de kame (Luan ID 34, Thonon ID 6), des chenaux fluvioglaciaires (les Mouilles ID 82, Bons en Chablais ID 81).

Les sites périglaciaires sont relativement mal représentés sur le territoire du fait de l'altitude peu élevée des massifs chablaisiens. Il en existe pourtant pour la plupart, à l'état fossile et dont certains sont particulièrement bien développés. Nous pensons que les sites périglaciaires ont leur place et importance dans cet inventaire puisqu'ils peuvent servir de jalon dans l'établissement d'un chronologie glaciaire (Schoeneich, 1992, Scapozza 2013), en complément des témoins glaciaires (protalus ramparts de Bises ID 69, combe de Dreveneuse ID 36, glacier rocheux d'Entre la Reille ID 78).

Un seul site gravitaire a été intégré (Chessel-Noville ID 4). Ce site particulier est en lien avec le patrimoine glaciaire à travers l'interprétation qui en a été faite au cours du temps, plus que par sa morphogenèse stricte. En effet, ce site a été interprété tantôt comme un dépôt morainique, tantôt comme un dépôt d'écroulement (cf. 3.3.3 Utilisation des témoins glaciaires). Il figure donc dans cet inventaire essentiellement pour sa valeur géoculturelle.

5.3.4. Discussion et conclusion

Sur le nombre et la catégorie de sites inventoriés

Le choix de rédiger des fiches longues et bien documentées conduit à réduire le nombre de sites potentiellement inventoriables. Nous aurions pu préférer un inventaire plus succinct et considérer un plus grand nombre de sites. Le processus de sélection en aurait été simplifié. Il nous semblait cependant que rédiger des fiches détaillées présentait un plus grand intérêt dans ce contexte en proposant une synthèse des connaissances utiles aux gestionnaires du Geopark. En outre, l'IGC contient un grand nombre de sites moins systématiquement documentés et tient en ce sens lieu d'inventaire à visée plus exhaustive que l'IGGC.

Au début du processus, nous n'avions pas réellement fixé de nombre limite de sites à l'inventaire, jouissant d'une certaine souplesse quand au temps que nous souhaitions y consacrer. Il s'est avéré que la méthode de sélection élaborée débouchait sur un minimum de 20 géosites et un maximum de 32 géosites selon que l'on choisissait de prioriser l'un ou l'autre des axes. Nous avons finalement opté pour une priorité temporelle et avons donc obtenu une trentaine de géosites à documenter.

Nous l'avons vu ci-dessus, la plupart des sites sont des complexes ou systèmes géomorphologiques. Il ne s'agit pas là d'un choix conscient, à la base du processus. Nous pensons avoir été poussée à considérer des sites riches en contrepartie de la restriction qu'induisait le choix des deux axes de sélection. Nous avons donc réalisé, au final, un inventaire qui comprend des *hotspot* géomorphologiques plus que des géosites.

Sur la méthode de sélection

La méthode de sélection proposée et testée ici est axée sur la valeur scientifique (critères spatial et temporel pour la sélection et critère d'exemplarité privilégié en cas de choix à l'étape 5). Elle est relativement lourde et difficile à mettre en place. La variante proposée (temps et type) ne peut se faire que si l'on connaît très précisément et assez uniformément le terrain, de façon à attribuer à tous les PIG les caractéristiques souhaitées. Dans notre cas, attribuer un type géomorphologique a été relativement aisé moyennant des vérifications sur le terrain et sur la base de cartographies géomorphologiques. Attribuer un stade glaciaire à chacun d'entre eux a été plus délicat et ne représente que la synthèse des connaissances actuelles en matière de chronologie glaciaire régionale.

A notre avis, il est tout à fait probable qu'une personne connaissant très bien le terrain obtienne le même résultat, de façon intuitive, pour peu qu'elle ait choisi les mêmes axes de sélection. D'ailleurs, si l'on considère en détail les étapes qui induisent des choix de la part de l'auteur de l'inventaire, on peut signaler : (1) l'extraction de points d'intérêt glaciaire sur la base d'un territoire, puis le passage de ces points d'intérêt en sites (essentiellement ponctuels et surfaciques) ; (2) le fait que les sites sont envisagés du point de vue de formes du relief (à l'intérieur de processus glaciaires et associés), suivis de l'attribution de stades glaciaires à ces sites, parfois de plusieurs stades ; (3) le choix d'un des sites pour chaque « cellule » du tableau croisé. Malgré les apparences très cadrées de la méthode, il faut se rendre à l'évidence que la subjectivité du chercheur intervient dans bien des étapes. Dans tous les cas, ce type de sélection ne tend pas à l'exhaustivité mais se rapproche plutôt d'un inventaire à thèmes ou d'un inventaire représentatif d'une thématique. On peut signaler ici que cette méthode se rapproche de celle utilisée en Australie (Joyce, 2010) dans le cadre de l'inventaire des géosites nationaux, dont les critères de sélection dépendent de l'établissement de « contextes thématiques ».

5.4. La méthode « UNIL » en évolution

La méthode d'inventaire des géomorphosites développée à l'Université de Lausanne a été déjà maintes fois décrite et utilisée (Reynard, 2006; Kozlik, 2006; Reynard et al., 2007; Duhem, 2008; Genoud, 2008; Pagano, 2008; Perret, 2008; Maillard, 2009; Grangier, 2013). Nous allons rappeler ici les grandes lignes de cette méthode et de son évolution récente (Grangier, 2013). Pour plus de détails, nous renvoyons le lecteur à l'article méthodologique de Reynard et al. (2007). Nous exposerons ensuite les adaptations que nous avons testées dans le cadre de l'IGGC. Il s'agit principalement du développement des critères de gestion (usage et protection).

5.4.1. Structure de la méthode de base

La méthode d'inventaire des géomorphosites de l'UNIL prévoit une fiche d'inventaire type qui sert de canevas pour le recensement et l'évaluation des géomorphosites (Reynard, 2006). Cette fiche est prévue pour être utilisée complètement ou partiellement selon les objectifs de l'inventaire et de l'évaluation. Les rubriques et critères utilisés se basent sur les travaux de Grandgirard (1999), Reynard (2004b), Coratza et Giusti (2005), Reynard et Panizza (2005), Pralong (2005) et Pralong et

Reynard (2005). Cette fiche d'inventaire a été testée par plusieurs étudiants de Master (Kozlik, 2006; Duhem, 2008; Genoud, 2008; Pagano, 2008; Perret, 2008; Maillard, 2009) ainsi que dans la thèse de Pralong (2006). Elle a également été reprise en dehors de l'Université de Lausanne, au Québec (Masse et al., 2011) et pour l'inventaire des géopatrimoines du Chablais (SIAC, n.d.), entre autre. Cette fiche est particulièrement détaillée, de façon à guider précisément l'auteur de l'inventaire, notamment en ce qui concerne les valeurs prises en compte et les critères utilisés pour évaluer ces valeurs. Elle reste cependant suffisamment simple (limitation du nombre de critères, absence de pondération) pour être utilisée dans différents contextes et adaptée.

Cette méthode met l'accent sur la valeur scientifique des géomorphosites ainsi que sur leurs valeurs additionnelles (Reynard et al., 2007). Elle incite à prendre en compte la valeur éducative, mais de manière qualitative uniquement. Les aspects de protection du site sont également évalués de façon qualitative. Suivant les indications de Grandgirard (1999), un grand soin est porté à la non redondance des critères dans l'évaluation, de façon à bien gérer le poids attribué à chacun des critères et à ne pas induire de biais dans l'évaluation. Plusieurs autres principes guident cette méthode. Ils ne sont pas nécessairement explicités, mais apparaissent au travers des critères pris en compte. Par exemple, la méthode considère une valeur scientifique hors de toute connaissance scientifique du site. C'est-à-dire que l'évaluation de cette valeur n'inclut pas de critère de « connaissance scientifique » ni qualitatif (publication, nationale, internationale, etc.) ni quantitatif (nombre d'articles publiés). Un site qui ne serait pas encore étudié pourrait ainsi prétendre à une haute valeur scientifique, en fonction des critères d'intégrité, de rareté, d'exemplarité et de sa valeur paléogéographique. Cette manière d'envisager la valeur scientifique se retrouve dans les méthodes de Serrano et Gonzalez-Trueba (2005) et de Zouros (2007). En revanche, certains auteurs incluent la connaissance scientifique dans la valeur scientifique (Bruschi & Cendrero, 2005; Coratza & Giusti, 2005; Pereira et al., 2007).

Si l'on considère de plus près les critères qui servent à évaluer cette valeur scientifique (intégrité, rareté, représentativité, valeur paléogéographique), on observe qu'aucun d'entre eux ne renvoie directement à une utilisation anthropique. Nous irions même jusqu'à dire que cette définition implicite (déduite par ses critères) rapproche considérablement cette valeur scientifique de la valeur intrinsèque définie par Sharples (2002) (cf. 5.1.3 Les valeurs attribuées aux géosites), c'est-à-dire, une valeur qui s'exprime en dehors de toute interaction anthropique[6].

Autre point important, l'évaluation ne donne aucune importance à la taille du site, à son âge ou au nombre de processus ou de formes qu'il contient, du moins sous la forme de critères explicitement pris en compte. Ce type de critères est jugé grossier et fortement dépendant d'un contexte culturel par Sharples (1993, 2002), qui préconise de ne pas y attribuer trop de poids. Pour Grandgirard (1999), ces critères sont à envisager comme non discriminants. Nous pensons également que si ce genre de considération peut intervenir au niveau de la sélection des sites, en fonction de la thématique d'un inventaire par exemple (cf. 5.3 Une méthode de

6 Plusieurs chercheurs se sont opposés au fait d'attribuer une valeur intrinsèque (au sens de Sharples) à des objets inanimés, dénués de conscience. Ce débat s'inscrit en réalité dans une problématique plus large de la place de l'Homme dans la Nature (cf. par exemple Nash, 1989).

sélection des géosites), il est plus délicat de le justifier dans un cadre global de protection. Par exemple, une roche peut être particulièrement ancienne mais très abondante, un site très étendu, mais d'une faible géodiversité, etc.

Enfin, du point de vue des aspects contextuels de ce type d'inventaire, il faut préciser qu'il s'utilise généralement dans un environnement régional, à l'échelle d'une vallée, d'un PNR ou d'un canton. Le nombre de géomorphosites évalués oscille entre 20 et 40. La plupart des inventaires réalisés à l'UNIL présentaient un aspect particulier : inventaire thématique, inventaire pour la valorisation, inventaire intégrant des cavités, inventaire pour le développement du géotourisme, etc.

La structure de la méthode de 2006 se présente comme suit :

A. Documentation
   1. Données générales (code, nom, toponyme, coordonnées, altitude min. et max., type, taille, propriété, extrait de carte avec périmètre, photo, schéma)
   2. Description et morphogenèse

B. Evaluation
   3. Valeur scientifique
   4. Valeurs additionnelles (écologique, esthétique, culturelle, économique)

C. Gestion
   5. Synthèse (valeur globale, valeur éducative, atteintes actuelles et potentielles, mesures de gestion (protection et valorisation))

6. Références (bibliographie et auteur)

A partir de 2011 est apparue la nécessité de faire évoluer cette méthode, de façon à intégrer les remarques formulées par les étudiants de Master dans leur mémoire mais également dans le but de compléter le volet « gestion » de la fiche, resté assez vague. Deux travaux ont donc été initiés afin d'explorer les évolutions possibles et de les tester : le mémoire de master de Lucien Grangier (2013) et cette thèse. Deux autres mémoires de Master sont en cours de réalisation (Buchmann, 2014; Bussard, 2014).

5.4.2. Adaptation de la méthode au « terrain »

Nous présentons ici la méthode de l'UNIL que nous avons utilisée pour l'IGGC, c'est-à-dire, avec les adaptations et développements que nous avons jugés utiles ou intéressants d'y apporter. Ces adaptations prennent parfois un caractère exploratoire. Elles nous permettent de mettre à l'épreuve la classification des valeurs proposées et d'en interroger la signification. Nous préciserons au fur et à mesure les changements d'avec la méthode de base (2006). Les rubriques et critères qui sont restés inchangés ne sont pas détaillés ici. Les fiches détaillées de chaque géosite glaciaire sont consultables en annexe 4.

Le nouveau canevas de cette méthode se présente comme suit :

A. Documentation
   1. Données générales (nom, ID, code, toponyme, forme, processus principal et secondaire, pays, coordonnées, communes, altitude min. et max., superficie, statut foncier, statut de protection, occupation du sol, inventaire, stade glaciaire, période, âge, photo, extrait de carte avec périmètre, schéma) ;
   2. Description, protection / inventaire, morphogenèse ;
   3. Références (bibliographie).

B. Evaluation
    4. Valeur scientifique ;
    5. Valeurs additionnelles (écologique, esthétique, culturelle) ;
    6. Usage et protection (conditions de visite, intérêt éducatif, robustesse[7]).
C. Gestion
    7. Graphiques des valeurs et critères de gestion ;
    8. Synthèse (valeur intrinsèque, potentiel d'usage, mesures de protection envisagées, équipements / éléments pouvant soutenir une activité géotouristique).

A. Documentation

1. Données générales

Peu de changements ont été apportés à cette section. Les données générales ont été enrichies de « *processus principaux et secondaires* » et de « *stades glaciaires* », « *périodes* » et « *âges* », en relation avec la méthode de sélection élaborée et explicitée plus haut. Nous avons également ajouté ici le « *statut de protection* », sous format abrégé, information que nous développons dans le point description (A.2). Les inventaires de géosites existants, non contraignants, ne sont pas considérés comme des statuts de protection. Le « *statut foncier* » a été complété lorsque cette information était disponible sans recherche approfondie. Il ne comporte que trois mentions possibles (PUB : public, PRI : privé, MIX : public et privé). La rubrique « *occupation du sol* » se base sur les données Corine Land Cover 2006 ; elle mentionne 6 catégories (pâturage, forêt, alpage, zone inculte, tourisme, mixte). En raison des trois inventaires de géosites entrant en interaction avec notre terrain d'étude, nous mentionnons tous les objets recoupant le géosite concerné, en précisant leurs numéros d'inventaire (code) dans les rubriques « *inventaire Chablais, inventaire Vaud et inventaire IGS* ».

2. Description et morphogenèse

Nous avons fait peu de changements dans cette section également. La description intègre les observations qui ont été faites sur le terrain, quant à l'intégrité du site, à son exploitation et aux équipements présents sur le site. Une sous-rubrique « *protection et inventaire* » liste tous les objets d'inventaire qui recoupent le périmètre du géosite. Nous avons utilisé pour cela les sites internet officiels de l'Institut National du Patrimoine (INP) pour la France et les portails géographiques du canton de Vaud et de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) pour la Suisse. La morphogenèse est une rubrique importante de cet inventaire. Nous y faisons le point sur la genèse du site du point de vue de sa géomorphologie glaciaire, en insistant sur les éléments de chronologie, relative ou absolue.

3. Bibliographie

La bibliographie mentionne les ouvrages consultés pour rédiger la morphogenèse; elle n'est pas exhaustive.

B. Evaluation

C'est dans cette section que nous avons apporté et testé le plus de modifications par rapport à la méthode originale de l'UNIL. La définition de la valeur scientifique

7 Nous utilisons le terme de robustesse plutôt que de vulnérabilité pour faciliter la compréhension des évaluations numériques (cf. 5.1.4.B Evaluation).

est restée quasiment inchangée. Dans les valeurs additionnelles, nous avons éliminé la valeur économique, jugée problématique par la majorité des testeurs de la méthode. Cette valeur réapparaît transformée et redéfinie dans un des critères de la valeur culturelle. Nous avons ajouté quelques critères (ou sous-rubriques) à la valeur culturelle, de manière à inclure les liens particuliers qu'entretiennent témoins glaciaires et société dans le Chablais (cf. 3.3.3. Utilisation des témoins glaciaires dans le Chablais). Il s'agit du lien d'exploitation (ancienne valeur économique détournée), du risque et des loisirs. Cette valeur culturelle ainsi revisitée et élargie s'écarte de la vision traditionnelle, plutôt « noble », des éléments de la culture qui y sont généralement pris en compte, soit l'art, la religion et l'histoire. Nous verrons plus loin quelles réflexions soulèvent ces nouvelles catégories.

Nous avons également aménagé les critères des valeurs esthétiques et écologiques. Ces modifications restent légères. Enfin, les valeurs de gestion sont précisées, sous trois aspects : conditions de visite, intérêt éducatif et robustesse, reprenant les catégories usuelles de « potentiel d'usage » et « besoin de protection ». Nous testons ici une légère complication de l'évaluation afin de faire apparaître une « valeur d'usage actuelle » et une « valeur d'usage potentielle ». Enfin, nous utilisons le terme de robustesse plutôt que de vulnérabilité par commodité, pour ne pas devoir inverser la cotation de l'évaluation numérique pour cette seule rubrique.

4. Valeur scientifique

La valeur scientifique telle qu'évaluée à la façon de l'UNIL part du principe que chaque site, même peu étudié comporte une certaine valeur. Nous avons mentionné plus haut que cette façon d'envisager la valeur scientifique la rapprochait de la valeur intrinsèque telle qu'on la retrouve chez Sharples (2002). Il faut également replacer cette conception dans son contexte d'inventaire régional, géré au sein d'une Université. L'identification de sites à haut potentiel scientifique constitue dans ce cadre une information importante pour les investigations géomorphologiques qui pourront être menées au sein de cette Université. Nous avons conservé cette vision de l'intérêt scientifique et donc utilisé les quatre critères de base : intégrité, rareté, représentativité, valeur paléogéographique. En ce qui concerne la **représentativité**, il faut préciser que le critère est adapté à l'inventaire. Le processus de référence étant le processus glaciaire, les sites sont évalués en fonction de leur représentativité par rapport aux processus glaciaires (et associés) régionaux. Nous avons tout de même ajouté une cinquième rubrique pour évaluer la **connaissance scientifique** actuelle du site. Nous avons considéré que cette information présentait un intérêt et devait figurer dans l'inventaire, mais n'entrait pas dans le concept de valeur scientifique tel que proposé par la méthode; c'est pourquoi elle n'est pas intégrée dans le score global de la valeur scientifique.

Connaissance scientifique :		
Ce critère est uniquement indicatif. Il sert à renseigner sur le volume et le type d'étude qui concernent le géosite :	0	aucune étude particulière - ***protalus ramparts de Bise***
	0.25	mention simple dans un travail d'étudiant, cartographie géomorphologique - ***marge proglaciaire d'Antème***
	0.5	site mentionné dans plusieurs ouvrages publiés - ***bloc erratique de la Pierre à Martin***
	0.75	site instrumenté et publié - ***argiles lacustres de Vailly***
	1	site exceptionnellement instrumenté et publié, étudié en détail par un auteur en particulier ou étudié de très longue date - ***impluvium d'Evian***

Tab. 5.4 : Détail de l'évaluation de la connaissance scientifique.

Ce critère aurait également sa place au sein des valeurs d'usage, puisqu'il contient une information d'ordre sociétal; nous y reviendrons.

5. Valeurs additionnelles

La **valeur esthétique** est évaluée selon deux critères qui sont 1. *Les points de vue* et 2. *Le contraste, le développement vertical et la structuration de l'espace*. Ces critères ont été proposés par Pralong (2006) pour réduire la subjectivité de l'évaluation, en se basant sur des études de la perception du paysage. Pour avoir utilisé ces critères (Perret, 2008), nous pensons qu'ils sont une bonne approximation du sens esthétique tel qu'il est globalement vécu dans notre culture occidentale et alpine. Nous avons cependant scindé le deuxième critère en deux, de façon à différencier le contraste (couleurs, textures) et le développement (vertical, horizontal). Cette petite modification nous a rendu l'attribution de score plus facile en dissociant les deux idées.

La **valeur écologique** est difficile, voir impossible à évaluer pour un non spécialiste des sciences de la vie, la meilleure solution consistant à faire appel à un spécialiste du domaine. A défaut, des critères sont utilisés pour proposer une valeur indicative. La méthode de l'UNIL utilise le critère de « *protection écologique* » en vigueur, considérant que si le site est protégé, il comporte nécessairement une certaine valeur écologique. La relativement bonne prise en compte de la biologie dans l'élaboration des outils de protection de l'environnement en Suisse et en France peut nous rassurer sur le fait que le territoire inventorié doit être uniformément couvert par les statuts de protection existants. Il n'en demeure pas moins que ce critère reflétera l'état actuel de la reconnaissance écologique d'un site plus que sa valeur écologique stricte. Sachant que nous allions devoir évaluer nous même cette valeur écologique, nous avons conservé ce critère qui rend tout de même compte de l'avis de spécialistes en la matière. Le second critère utilisé dans la méthode de l'UNIL est celui de l' « *influence écologique* », soit, l'influence de la géomorphologie sur un écosystème particulier. Si ce critère s'applique bien à des sites simples comme une tourbière, il est plus difficile à évaluer pour les sites complexes comme le cirque de Salanfe (ID 53), par exemple. Nous avons essayé de contrebalancer cette difficulté en utilisant un troisième critère, la *géodiversité* : type de roches et formations géomorphologiques. Pour rester en accord avec les définitions actuelles de la géodiversité, il faudrait intégrer les types de sols. Cependant, cette information n'était pas systématiquement disponible et avait un niveau de précision insuffisant pour couvrir notre terrain.

Influence écologique :		
On évalue ici l'importance de la géomorphologie pour le développement d'un écosystème particulier. Lorsque des informations issues de spécialistes (biologistes) sont disponibles on se base sur cette littérature (souvent liée aux statuts de protection).	0	pas de spécificité connue ou aucun lien entre la forme géomorphologique et un écosystème particulier – ***blocs erratiques de la Pierre à Martin***
	0.25	implication de la géomorphologie sur un type de milieux écologique (ex. till – pâturage) – ***complexe glaciaire et fluvioglaciaire des Combes***
	0.5	deux types d'interactions entre géomorphologie et écosystème (ex. till / pâturage et till / zone humide) – ***lacs de cordons de Damos des Moulins***
	0.75	mosaïque de milieux ou écosystème rare – ***vallon périglaciaire de Dreveneuse***
	1	mosaïque de milieux et écosystèmes rares ou particulièrement préservés de l'action humaine - ***vallons glaciaires de Lioson d'en Haut et de Vers les Lacs***

Tab. 5.5 : Détail de l'évaluation de l'influence écologique (un des trois critères de la valeur écologique).

Géodiversité :		
Diversité en terme de type de roches et de type de formations géomorphologiques présentes sur le site.	0	un seul type de roche ou forme ponctuelle – ***blocs erratiques du Sciard***
	0.25	deux types de roches ou deux types de formations géomorphologiques - ***chenal fluvioglaciaire de Bons-en-Chablais***
	0.5	deux types de roches et plus de trois types de formations géomorphologiques - ***lac d'ombilic d'Arvouin***
	0.75	plus de deux types de formations rocheuses et quaternaires et plus de trois types de formations géomorphologiques - ***terrasses fluvioglaciaires de Thonon***
	1	plusieurs types de roches et presque tous les processus glaciaires et associés représentés - ***vallons glaciaires de Lioson d'en Haut et de Vers les Lacs***

Tab. 5.6 : Détail de l'évaluation de la géodiversité (un des trois critères de la valeur écologique).

Le critère de l'influence écologique fait réapparaître le problème des connaissances en sciences de la vie de l'auteur de l'inventaire. L'évaluation reflétera alors essentiellement la littérature disponible et le bagage personnel de l'auteur. Il faut cependant nuancer ce problème par le fait que l'évaluation qualitative guidée par les indications de l'attribution des points permet de savoir exactement ce sur quoi l'auteur a décidé de fonder le score en question. L'inventaire peut être repris par la suite par un spécialiste et les rubriques problématiques modifiées.

Le critère de géodiversité introduit un point plus facile à évaluer par le géomorphologue. Malheureusement, comme la plupart des critères, il a tendance à favoriser les sites de grande superficie.

La **valeur culturelle** nous a particulièrement intéressée et nous avons décidé de l'envisager au sens large. Partant de l'idée de base que cette valeur devait refléter les liens existant entre les particularités géomorphologiques du géosite et les activités humaines, nous avons donc ajouté aux critères ou sous-rubriques de la valeur culturelle trois aspects qui sont particulièrement présents dans le Chablais : l'*exploitation de la ressource*, que ce soit du point de vue du géotourisme, de l'exploitation des graviers ou des alpages ; *les loisirs*, qui font référence à l'objet géomorphologique en tant que support d'une activité récréative (randonnée, pêche de loisir, baignade, escalade) et les *risques* qui font référence à l'objet géomorphologique en tant que composante d'une menace pour les activités humaines (effondrement, crue, glissement, etc).

Valeur culturelle :		
On évalue ici le lien entre l'objet géomorphologique et une activité humaine passée ou actuelle. Le score le plus élevé rendra compte de la valeur culturelle.	0 - 1	**religion** (symbolisme, etc.)
	0 - 1	**histoire** (archéologie, etc.)
	0 - 1	**art** (littérature, peinture, architecture, etc.)
	0 - 1	**géohistoire**
	0 - 1	**exploitation** (tourisme, matières premières, etc.)
	0 - 1	**loisir** (randonnée, escalade, baignade, etc.)
	0 - 1	**risque** (glissement de terrain, éboulement, etc.)

Tab. 5.7 : Détail de l'évaluation de la valeur culturelle.

L'ancienne valeur économique est ainsi en partie réinjectée dans cette valeur culturelle envisagée au sens large et regroupant des éléments d'ordre culturel et sociétal au sens de Ch. Giusti et M. Calvet (2010). Cette façon d'envisager la valeur culturelle est un essai qui a pour but d'élargir le champ de la culture telle qu'elle est traditionnellement présentée, par ses éléments « nobles » que sont les arts, l'histoire et la spiritualité. Cette définition traditionnelle trop restreinte nous semblait ne pas convenir au Chablais, territoire pour lequel les liens entre

géoscience et société sont bien plus riches, variés et porteurs de sens si l'on y ajoute les catégories susmentionnées. Il nous semblait donc important que les valeurs additionnelles rendent comptent de ces liens. Ici encore, nous considérons des aspects qui pourraient également entrer dans la catégorie des « valeurs d'usage ». Nous touchons là, selon nous, à une des limites de la classification entre valeurs ou du moins d'un besoin de clarification ou de redéfinition des valeurs d'usage. Nous discuterons de ce problème dans la partie conclusive, au point 5.4.3 Evaluation qualitative et numérique.

Précisons encore que l'exploitation, les risques et les loisirs sont entendus comme des activités actuelles. Si une exploitation est ancienne et n'a plus cours, on l'indique dans intérêt historique, de même pour un risque. Si l'exploitation est ancienne et marquante (hors alpage) on l'indique dans les deux champs. Il n'y a ici aucun risque de redondance car, suivant la méthode de l'UNIL de base, le score de la valeur culturelle prend en compte le score le plus élevé entre toutes les rubriques et non la moyenne des rubriques. L'attribution du score se base sur une échelle établie par rapport au terrain d'étude. Dans le Chablais, nous avons considéré par exemple, en ce qui concerne la sous-rubrique « exploitation » que la note maximale était atteinte par les géosites des Gorges du Pont du Diable (ID 40), les terrasses de Thonon (ID 6) et l'impluvium d'Evian (ID 105) (lien très fort) alors que la note minimale devait être attribuée, par exemple, à tous les blocs erratiques de l'inventaire (absence d'exploitation).

Exploitation :		
Lien fonctionnel entre les propriétés géomorphologiques du site et une activité humaine, le plus souvent avec une implication économique.	0	aucune forme d'exploitation décelée – ***affleurement de conglomérat de Pont de l'Eglise***
	0.25	faible exploitation des propriétés géomorphologiques (ex. pâturage, terrain plan) – ***complexe glaciaire et fluvioglaciaire des Combes***
	0.5	exploitation sensible des propriétés géomorphologiques (ex. propriété spécifique du terrain) – ***collines de Chessel Noville, delta des Evouettes***
	0.75	forte exploitation des propriétés géomorphologiques (ex. lac de barrage) – ***cirque de Salanfe***
	1	très forte exploitation des propriétés géomorphologiques (ex. gravière, site touristique) – ***Terrasses de Thonon, gorges du Pont du Diable***

Tab. 5.8 : Détail de l'évaluation de la composante d'exploitation de la valeur culturelle.

6. Les critères de gestion, usages et protection des géosites

Ces critères étaient plus ou moins absents de la méthode de base ou traités avec réserve, dans une section de synthèse. Ils n'étaient en tout cas pas évalués de façon numérique. En concertation avec E. Reynard et L. Grangier et sur la base des travaux détaillant explicitement le potentiel d'usage et le besoin de protection des sites (par ex. Bruschi & Cendrero, 2005; Pereira et al., 2007), nous proposons d'ajouter trois axes à évaluer et à prendre en compte dans la gestion des géosites : les **conditions de visite**, l'**intérêt didactique** et la **robustesse** (= l'inverse de la vulnérabilité).

Les critères choisis pour rendre compte des **conditions de visite** sont au nombre de trois. Nous avons essayé d'être le moins redondant possible dans ce choix, de ne pas multiplier les critères inutilement et de prendre en compte des éléments qui entrent directement dans la gestion des géosites que l'on souhaiterait valoriser : 1. *Accessibilité* : ce critère apparaît systématiquement et dans toutes les méthodes consultées. Il influence fortement le nombre de personnes qui pourront accéder

effectivement au site ; 2. *Environnement du site* : ce critère prend en compte les cinq sens. Nous partons du principe qu'une perturbation nuit à la découverte du site parce qu'elle détourne l'attention du visiteur et crée un climat qui le rend moins perceptif ; 3. *Sécurité du visiteur* : ce critère doit renseigner sur l'opportunité d'inciter le public à se rendre sur un site et donner des indications, le cas échéant, sur la nature du danger auquel s'exposent les visiteurs potentiels.

Le critère d'*accessibilité* est particulièrement développé dans le travail de L. Grangier (2013). Nous n'avons pas voulu entrer dans ce niveau de détail, considérant que cette méthode, non spécifique, devait rester relativement simple. Nous avons donc établi une échelle qui prend en compte le temps de marche aussi bien que la difficulté de cette marche. A charge de l'auteur de considérer le géosite le plus difficile d'accès et le géosite le plus facile d'accès pour placer chacun des géosites sur l'échelle ainsi dessinée.

Accessibilité :		
Ce critère considère l'accès au site en termes de temps de marche et de dénivellation. Si les parties intéressantes d'un site de grande étendue nécessitent une longue marche supplémentaire, il faut le considérer ici aussi.	0	site inaccessible (par. ex. nécessitant des techniques d'alpinisme) – ***Ø***
	0.25	site d'accès difficile (temps de marche long, important dénivelé) – ***cirque de Salanfe***
	0.5	site d'accès moyennement difficile (temps de marche moyen, dénivelé moyen) – ***amphithéâtre de Pertuis***
	0.75	site d'accès peu difficile (temps de marche court, peu de dénivelé) – ***vallon des Plagnes Cubourré***
	1	site très accessible (pas de marche d'approche) – ***terrasse de kame de Luan***

Tab. 5.9 : Détail de l'évaluation de l'accessibilité (une des trois composantes des conditions de visite).

Etant donné que cette information est pertinente pour au moins la moitié de notre terrain (VS, VD), nous avons ajouté une rubrique « *accès en transport public* », sans pour autant la prendre en compte dans l'évaluation numérique. Cette rubrique indique uniquement si le site (en quelque endroit de son périmètre) est directement desservi par un arrêt de transport public par une réponse oui/non.

Le critère environnement du site propose de prendre en compte les cinq sens pour identifier les gênes éventuelles à la découverte du site. Le premier sens qui vient évidemment à l'esprit est la vue. Or, le critère de visibilité des sites (points de vue) est déjà évalué dans la valeur esthétique (valeur intrinsèque). Cependant, étant donné qu'il n'est pas prévu, dans cette méthode, d'établir une valeur globale (moyenne des valeurs intrinsèques et d'usages), la redondance n'est pas problématique. L'environnement du site prend donc en compte les gênes à l'observation telles que la forêt, le bâti, etc. Une analyse a posteriori des scores attribués montre que l'environnement urbain a été envisagé comme une gêne (globale) légère à moyenne.

Environnement du site :		
Ce critère interroge les gênes qui pourraient être occasionnés lors de la visite du site, les cinq sens sont pris en compte (vue, odorat, toucher, ouïe, goût).	0	environnement très perturbant (l'ensemble des sens est touché) – ***Ø***
	0.25	environnement perturbant plusieurs sens (par. ex. constructions anthropiques masquantes et présence d'une route à fort trafic) – ***cheminées de Fées du Pont de la Douceur***
	0.5	environnement moyennement perturbant, n'affectant qu'un seul sens - ***delta des Evouettes***
	0.75	environnement légèrement perturbant – ***chenal de Bons en Chablais***
	1	environnement non perturbant, aucune gêne ressentie – ***lac d'Arvouin***

Tab. 5.10 : Détail de l'évaluation de l'environnement du site (une des trois composantes des conditions de visite).

Le critère de sécurité s'intéresse aux risques encourus par un individu en visite sur le site. On pense en particulier à l'état des chemins, à l'environnement de haute montagne, aux chutes de pierres, à la présence d'une route à forte fréquentation, etc. Ce critère se focalise sur la sécurité du visiteur sur le géosite liés à des éléments extérieurs. Il ne prend pas en compte les risques liés à des comportements inadéquats (Grangier, 2013).

Sécurité du visiteur :		
On évalue ici les risques encourus par le visiteur effectuant une visite du site dans des conditions classique et hors de tout comportement à risque. On se focalise sur les données du site, état des chemins, chutes de pierres, etc.	0	risque omniprésent (par ex. environnement de haute montagne – ***cheminées de Fées du Pont de la Douceur***
	0.25	risque fortement présent (par exemple environnement de montagne) - ***marges proglaciaires des Muverans***
	0.5	risque moyennement présent (par ex. chutes de pierres) – ***cirque de Creux de Champ***
	0.75	risque faiblement présent - ***vallons glaciaires de Lioson d'en Haut et de Vers les Lacs***
	1	risque inexistant – ***la pierre à Martin***

Tab. 5.11 : Détail de l'évaluation de la sécurité du visiteur (une des trois composantes des conditions de visite).

L'**intérêt éducatif** d'un géosite est évident pour certains chercheurs (Garavaglia & Pelfini, 2011), très probablement présent pour d'autres (Martin, 2013) ou plus ou moins indépendant du géosite (Kozlik, 2014a). Tout comme la valeur esthétique, il semblerait que cet intérêt ne soit pas encore bien cerné. Si certains géosites semblent particulièrement adaptés pour servir de support à un processus d'apprentissage, par exemple parce que leur forme est exemplaire ou parce que le processus y est actif, il reste difficile de proposer des critères d'intérêt didactique. L'intervention d'un média ou d'un médiateur dans le processus d'apprentissage a certainement une influence non négligeable qui pourrait permettre de valoriser également des sites considérés comme difficiles d'accès (distance temporelle, mécanismes physiques peu intuitifs, etc.).

Pour rendre compte de l'intérêt éducatif, nous avons considéré ici, à la suite de Grangier (2013) un critère de lisibilité (ou facilité d'appréhension) et un critère de valorisation didactique existante. Le premier est une approche de l'intérêt potentiel du géosite du point de vue de l'éducation, avec toutes les réserves que l'on peut y faire. Le second est utile aux acteurs du territoire, en particulier aux gestionnaires qui doivent savoir si le site fait l'objet d'une valorisation, sur quel support, pour quel public et de quelle qualité.

Lisibilité :		
On prend ici en compte les éléments qui permettent à un observateur non spécialiste d'appréhender le site : par. exemple, signes d'activité, absence de végétation, popularité, et à un médiateur d'utiliser le site comme support d'explication : exemplarité des formes	0	aucune lisibilité (forme méconnaissable) – **Ø**
	0.25	faible lisibilité (par ex. forme complètement végétalisée, aucun affleurement, site fossile) - ***plateau de Gavot***
	0.5	lisibilité moyenne (par ex. forme exemplaire mais fossile et végétalisée – ***chenal de Bons en Chablais***
	0.75	bonne lisibilité (forme active) – ***argiles lacustres en glissement de Vailly***
	1	excellente lisibilité (forme active, contrastée, non végétalisée, comportant des éléments populaires – ***cirque de Salanfe***

Tab. 5.12 : Détail de l'évaluation de la lisibilité (une des deux composantes de l'intérêt didactique).

Les recherches sur le sujet de la perception des formes du relief par les non spécialistes ne sont que très peu développées. Pour définir les éléments qui pouvaient contribuer à augmenter la « *lisibilité* » d'un géosite pour des non spécialistes, nous nous sommes basée sur les travaux de Regolini et Martin (Regolini, 2011; Martin, 2012; Regolini et Martin, 2012), dont les enquêtes auprès de publics variés donnent des pistes sur ce que les gens voient ou ne voient pas dans le paysage, là où le géomorphologue décèle une infinité des formes du relief.

Les sites d'intérêt géologique et géomorphologique chablaisiens étaient relativement peu valorisés avant l'entrée du Geopark Chablais dans le réseau des géoparcs européens. Parmi les supports existants on comptait principalement les cartes postales éditées par le SIAC, le livret sur les lacs du Chablais (Guyomard, 2007) et l'exposition itinérante sur le patrimoine glaciaire (Perret et al., 2013). Nous n'avons pas effectué de recherches approfondies pour rassembler tous les documents disponibles sur le sujet et nous n'avons pas pris en compte les excursions proposées par les guides du patrimoine et accompagnateurs en moyenne montagne. Une enquête sérieuse apporterait certainement d'autres sources. Depuis 2012, l'offre en matière d'interprétation des géosites évolue rapidement. La géoroute est quasiment terminée et a doté une vingtaine de géosites de mobiliers divers contenant, pour la plupart, des éléments d'interprétation. Nous n'avons pas pris en compte ces mobiliers qui n'étaient pas encore conçus au moment ou nous avons réalisé l'évaluation des géosites. Nous sommes là devant un cas concret ou l'inventaire doit être mis à jour pour refléter l'état actuel de l'offre.

Valorisation existante :		
Ce critère considère les éléments fixes ou transportables qui apportent des éléments de compréhension sur le géosite. On évalue à la fois la quantité des éléments et leur qualité	0	aucune valorisation connue – ***glacier Rocheux d'Entre la Reille***
	0.25	un élément de valorisation peu important (par ex. mention dans l'exposition du patrimoine glaciaire des Chablais) – ***cordons morainiques de la Daviaz***
	0.5	un élément de valorisation pérenne - ***lac d'ombilic d'Arvouin***
	0.75	plusieurs éléments de valorisation récents et de bonne qualité (cf. Martin et al., 2010) – ***vallon des Plagnes Cubourré***
	1	site exceptionnellement valorisé - ***Ø***

Tab. 5.13 : Détail de l'évaluation de la valorisation existante (une des trois composantes de l'intérêt didactique).

Le « *besoin de protection* » d'un géosite est évalué dans la plupart des méthodes. Un examen attentif des critères utilisés montre cependant que deux aspects peuvent être contenus sous cette appellation. Certains auteurs évaluent la vulnérabilité du site en dehors de tout usage futur (par ex. Bruschi & Cendrero, 2005) alors que d'autres auteurs évaluent les possibilités d'utilisation du site à des fins géotouristiques ou géodidactiques, avec la volonté de ne pas porter atteinte au site (par ex. Pereira et al., 2007). Nous avons choisi d'évaluer dans cet inventaire la **robustesse** d'un site en dehors de toute utilisation géotouristique. Nous avons considéré qu'un projet d'aménagement d'un site particulier devrait entreprendre une étude d'impact détaillée qui dépasserait de loin les ressources de cet inventaire. Nous nous contentons ici de donner des pistes sur les menaces potentielles à l'intégrité du site, qu'elles soient d'origine naturelle ou anthropique. Nous nous basons sur l'état actuel du site tel que décrit sous le critère intégrité de la valeur scientifique, sans chercher à réévaluer cette intégrité. Deux critères ont été retenus : 1) les menaces identifiées et qui pourraient porter atteinte au site (menaces potentielles) et 2) les mesures de protection existantes, qui augmentent

de fait la robustesse du géosite en limitant les constructions et aménagement qui pourraient être entrepris sur le site. Les mesures de protection ne prennent en compte que les atteintes anthropiques.

Menaces :		
On évalue ici, en fonction des connaissances actuelles, si le site va rester en l'état ou se dégrader. On prend en compte les facteurs naturels et anthropiques, de la même façon que pour le critère « intégrité » de la valeur scientifique.	0	menace de destruction très importante – ***Ø***
	0.25	menace de dégradation sérieuse – ***cheminée de Fée du Pont de la Douceur, collines de Chessel-Noville***
	0.5	menace de dégradation d'une partie du géosite – ***chenal de Bons en Chablais, terrasses de Thonon***
	0.75	faible menace de dégradation (dégradations superficielles) – ***lacs de Damoz des Moulins***
	1	aucune menace identifiée – ***cordons de l'Enquernaz, verrou de Saint-Maurice***

Tab. 5.14 : Détail de l'évaluation des menaces (une des deux composantes de la robustesse).

Mesures de protection :		
Les mesures de protection ne sont jamais contraignantes au niveau de la protection des sites géologiques et géomorphologiques. On considère selon le cas que des mesures en faveur d'un écosystème particulier peuvent protéger de fait, la composante abiotique d'un site (dans le cas de réserves intégrales notamment).	0	aucune mesure de protection identifiée – ***terrasse de kame de Luan***
	0.25	mesure de protection faiblement contraignante – ***cirque glaciaire de Creux de Champ***
	0.5	mesures de protection relativement contraignante – ***impluvium d'Evian***
	0.75	mesure de protection contraignante – ***Gorges du Pont du Diable***
	1	mesure de protection assurant une protection totale – ***Vallon de Nant et glacier des Martinets***

Tab. 5.15 : Détail de l'évaluation des mesures de protection (une des deux composantes de la robustesse).

C. Gestion

Dans la partie « gestion » de l'inventaire, nous faisons une synthèse des valeurs intrinsèques et des valeurs d'usage du géosite, sous forme de texte. Les mesures de gestion envisagées sont mentionnées brièvement ainsi que les équipements présents sur le site, pouvant soutenir une activité géotouristique. Enfin, l'évaluation du géosite est synthétisée sous forme de schéma à l'aide d'une toile d'araignée (Fig. 5.12). Ce mode de représentation utilisé par Kozlik (2014b) puis Grangier (2013) nous a semblé particulièrement efficace pour représenter les points forts et les points faibles d'un géosite tout en permettant une comparaison rapide. Si les représentations surfaciques sont pratiques pour comparer des profils similaires (même forme générale), elles induisent un biais en ce qui concerne la représentation de l'importance d'un site, toutes valeurs confondues (Grangier, 2013).

5.4.3. Evaluation qualitative et numérique

La signification de l'évaluation numérique

L'évaluation des géosites a été effectuée de manière qualitative, sous forme de texte, puis par l'attribution d'un score en fonction des échelles d'évaluation définies pour chaque critère. Nous avons évalué chaque géosite séparément. Par mesure de vérification, nous avons refait l'exercice (évaluation numérique uniquement) en attribuant des scores par critères. Dans certains cas, nous avons modifié le score précédemment attribué, considérant que cette deuxième façon de faire assurait

une meilleure comparaison entre les sites et donc, respectait mieux l'échelle fixée pour l'attribution du score.

Une évaluation réalisée de cette façon, sur un lot de géosites présélectionnés, ne doit pas être considérée comme une méthode de sélection des géosites. Tous les sites de l'inventaire sont des géosite, pour la simple raison qu'ils ont été présélectionnés sur des critères qui révèlent leur intérêt dans un ou l'autre des domaines visés par l'inventaire. L'évaluation, dans ce cadre ne peut prétendre qu'au classement des géosites entre eux. Elle peut permettre leur comparaison pour autant que l'évaluation ait bien été faite de façon homogène pour chaque critère. Plusieurs critères n'ont aucun intérêt lorsqu'ils sont exprimés uniquement sous forme de score et l'évaluation qualitative, le texte explicatif, contient les véritables informations qui peuvent être utiles à la gestion ou à la protection du site. C'est notamment le cas des valeurs d'usage, conditions de visite, intérêt didactique et robustesse.

Valeurs additionnelles ou « valeurs » d'usage ?

Nous avons considéré que des aspects sociétaux (ex-valeur économique) devaient apparaître dans les valeurs additionnelles de manière à donner une vue plus complète de l'intérêt des géosites chablaisiens à l'échelle de cet inventaire régional. Il est pourtant clair que les critères d'exploitation, de risque et de loisirs ont également leur intérêt du point de vue des usages qui sont fait des sites. Nous touchons ici à une des limites des catégories traditionnellement considérées de valeur centrales, additionnelles et d'usage. Cette limite provient, selon nous, d'une double confusion ; la première autour du terme de valeur et la seconde autour du processus d'inventaire.

A. Valeurs patrimoniales :	
1. Valeur scientifique	
	Intégrité, rareté, représentativité, valeur paléogéographique
2. Valeurs additionnelles	
	Ecologique
	Site protégé, géodiversité, spécificité
	Esthétique
	Point de vue, contraste, développement
	Culturelle
	Spiritualité, arts, (géo)histoire, exploitation, loisir, risque…
B. Critères de gestion :	
1. Utilisation - valorisation	
	Conditions de visite
	Accès, **environnement**, sécurité
	Intérêt didactique
	Lisibilité, interprétation existante
	Usages actuels (liens avec la société)
	Connaissance scientifique
	(…)
2. Protection	
	Robustesse
	Statut de protection, menaces
	(…)

Tab. 5.16 : Distinction des valeurs patrimoniales et des critères de gestion pour la méthode proposée dans ce travail. En gras, les critères qui servent à la fois à la définition des valeurs patrimoniales et à la gestion du géosite.

La confusion que nous avions déjà mentionnée dans la première partie de ce chapitre réapparaît dans cette partie plus appliquée. Si les valeurs attribuées aux géosites s'appliquent bien à une distinction scientifique – additionnelle, nous

pensons qu'elle est inappropriée dans l'évaluation de l'utilisation des géosites. Plus que sur des valeurs, la partie « gestionnaire » d'un inventaire devrait se focaliser sur des critères de gestion. En établissant clairement une séparation entre ces deux parties distinctes de l'inventaire, nous obtiendrions d'une part, une image de la valeur patrimoniale du géosite (scientifique et additionnelle) qui se doit d'être la plus complète possible en fonction de l'échelle de l'inventaire et d'autre part, une image du géosite en tant que ressource patrimoniale dans une optique d'utilisation du site, impliquant valorisation et protection.

La nécessité de séparer clairement ces deux aspects apparaît en particulier lorsque certains critères qui composent les valeurs scientifiques et additionnelles sont réutilisés dans la partie gestionnaire de l'inventaire. On évite ainsi des redondances qui pourraient être masquées par l'utilisation de scores chiffrés (Grandgirard, 1999). Cette distinction effectuée sur notre proposition de méthode d'inventaire pourrait aboutir au classement présenté dans le tableau ci-dessus (Tab.5.16).

« Valeur » d'usage actuelle ou potentielle ?

L'introduction des critères pouvant rendre compte de la « valeur » d'usage des géosites nous a particulièrement interrogée lors du remaniement de la méthode de l'UNIL. Nous avons beaucoup hésité sur les critères que nous voulions utiliser et sur l'emploi de scores pour constituer des « notes globales » que ce soit pour les « valeurs d'usage » identifiées que pour une « valeur d'usage globale ». Nous avons donc essayé de constituer deux « valeurs d'usage » globales (Fig. 5.13), l'une qui rende compte de la situation actuelle (VUA) et l'autre qui rende compte d'usages potentiels (VUP).

Pour ce faire, nous avons moyenné : 1) pour la VUA, les conditions de visite (moyenne de tous les critères), la valorisation actuelle et les mesures de protection existantes ; 2) pour la VUP, les conditions de visite (moyenne de tous les critères), la lisibilité et les menaces.

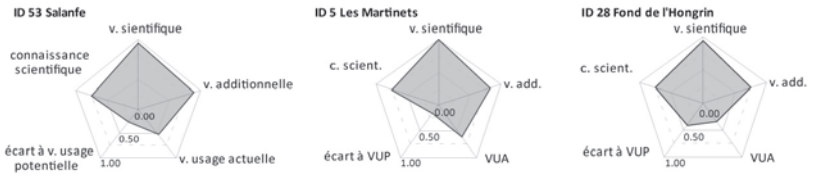


Fig. 5.13 : Trois géosites aux profils comparables.

Une simple soustraction permet d'obtenir un chiffre qui représente l'écart entre la VUA et la VUP. Sans nous faire beaucoup d'illusion sur la qualité d'information que reflète ce score, nous avons trouvé utile de voir apparaître des sites que nous avions jugé particulièrement lisibles et robustes et qui étaient très peu protégés et valorisés (marge proglaciaire d'Antème ID 55, delta perché des Evouettes ID 38 avec un écart de 0.5). A l'inverse, le vallon des Plagnes Cubourré (ID 10) semble avoir atteint un équilibre (écart de 0), et les géosites des Gorges du Pont du Diable, de l'impluvium d'Evian et des terrasses de Thonon, en être proches (écart de 0.08). Ayant visité tous ces sites et travaillé à en expliquer la morphogenèse, il nous semble effectivement qu'un site comme la marge proglaciaire d'Antème, bien que souffrant d'un accès un peu long, est un site particulièrement adapté en tant

que support d'interprétation, avec ses formes exemplaires, à taille humaine et son environnement de très bonne qualité. Le site des Plagnes-Cubourré quant à lui jouit d'une protection efficace grâce à la présence d'une zone humide reconnue d'intérêt et inscrite dans de nombreux inventaires. Il est également valorisé par plusieurs canaux alors que ses témoins glaciaires, largement végétalisés sont peu lisibles du point de vue d'un public novice. Ces quelques réflexions ne permettent cependant pas d'attribuer à cet « écart à la valeur d'usage potentielle » une place dans un quelconque processus de décision de valorisation ou de protection ; tout au plus, il peut servir de piste pour dégager du lot des sites dont l'intérêt potentiel est peu exploité.

5.4.4. Analyse des résultats de l'inventaire de géosites glaciaires

Nous présentons ici quelques résultats de l'évaluation des géosites glaciaires.

La valeur intrinsèque

La valeur scientifique

Nous ne calculons pas de valeur intrinsèque globale sous forme de score, considérant que ce chiffre prendrait en compte des aspects trop disparates. Nous calculons uniquement une valeur scientifique globale et une valeur additionnelle globale. La moyenne des **valeurs scientifiques globales** des géosites est élevée (0.76) (Fig. 5.14). Ce score s'explique assez simplement par la présélection des sites, qui opère un premier tri au niveau des points d'intérêt. Il semblerait que les géosites glaciaires chablaisiens soient globalement **intègres** (0.81). Nous avons effectivement une forte proportion de géosites localisés en montagne et hors des stations de ski. Ici aussi, les choix opérés lors de la présélection se font ressentir. Enfin, les sites présélectionnés bénéficient d'une **connaissance scientifique** moyenne (0.43). Ce score semble s'accorder avec les zones d'ombre que nous avons identifiées en étudiant la bibliographie existante.

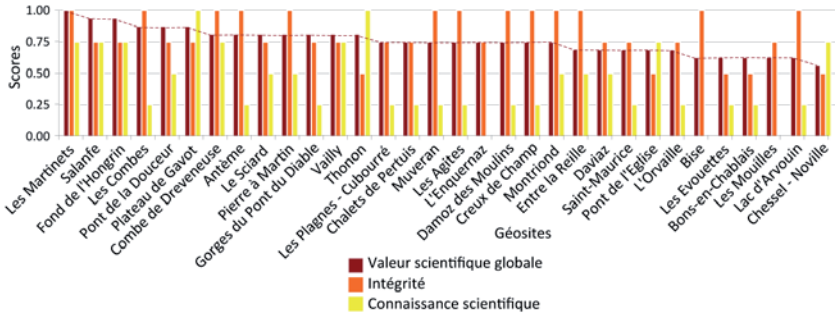


Fig. 5.14 : Scores obtenus par les géosites en ce qui concerne la valeur scientifique globale (intégrité, exemplarité, rareté et valeur paléogéographique), le critère d'intégrité et le critère de connaissance scientifique.

Les valeurs additionnelles

L'obtention des scores moyens très proches de 0.5 nous confirme que nous pensons avoir été rigoureuse quant au respect des échelles établies, qui sont représentatives du territoire considéré. Ce point nous encourage à insister sur

la validité de cette l'évaluation qui ne peut être qu'un classement des géosites inventoriés les uns par rapport aux autres.

La **valeur esthétique moyenne** est un peu élevée (0.62); nous pensons pouvoir attribuer cela au biais que nous induisons dans cet inventaire en tant que géomorphologue. Nous pensons que le fait de voir les formes (de les reconnaître) implique de les inclure implicitement dans le critère de *contraste de formes et de couleurs* de la valeur esthétique. Là où un non géomorphologue ne verrait qu'une pente uniforme, nous distinguons des variations dans la granulométrie des éboulis, des formes de solifluxion, de subtils contrastes de couleur de la roche, etc.

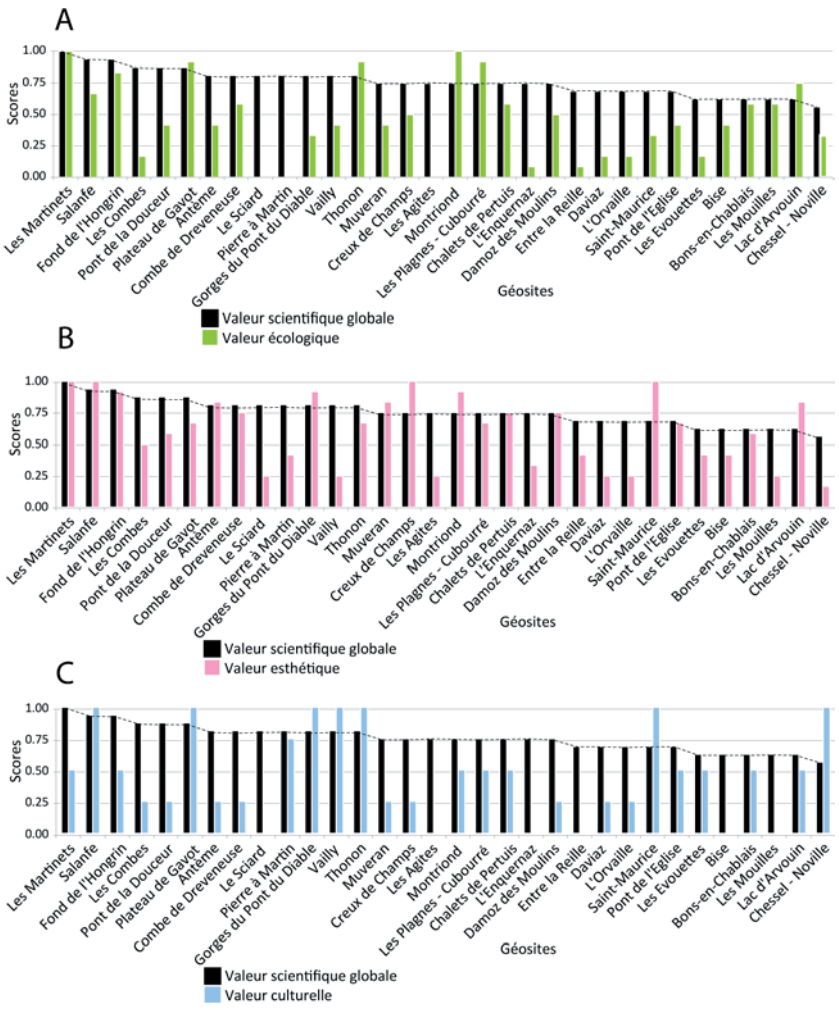


Fig. 5.15 : Scores obtenus par les géosites en ce qui concerne la valeur scientifique globale (intégrité, exemplarité, rareté et valeur paléogéographique) et chacune des valeurs additionnelles (A. écologique, B. esthétique et C. culturelle).

Le tableau récapitulatif (Fig. 5.15) permet de vérifier que les géosites d'**intérêt culturel** ne sont pas nécessairement les géosites qui obtiennent les plus hauts scores scientifiques. Dans un contexte de valorisation des sites, cet état de fait ne pose aucun problème puisque l'interprétation, si elle se doit de respecter les connaissances scientifiques, ne s'appuie pas uniquement sur cette valeur mais bien plus sur les valeurs additionnelles, qui expriment les liens existant entre la société et les témoins glaciaires.

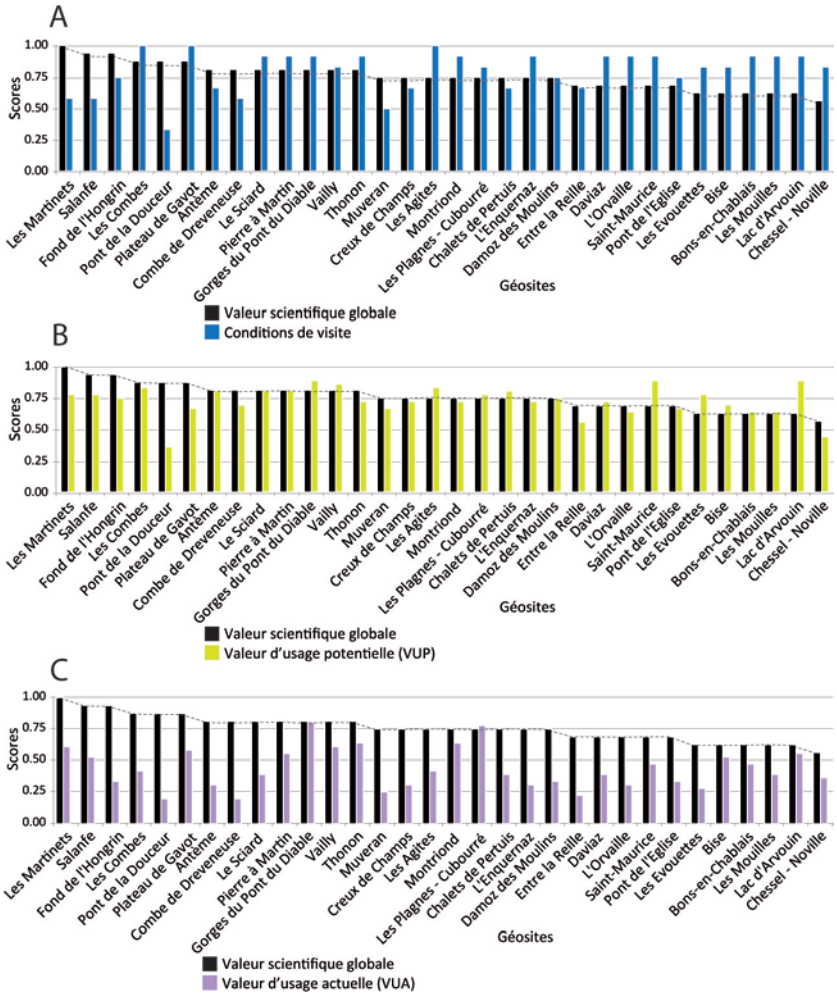


Fig. 5.16 : Scores obtenus par les géosites en ce qui concerne la valeur scientifique globale (intégrité, exemplarité, rareté et valeur paléogéographique), la valeur additionnelle globale (valeurs écologique, esthétique et culturelle), A. les conditions de visite, B. la valeur d'usage potentielle (VUP) et C. la valeur d'usage actuelle (VUA).

L'évaluation de la **valeur écologique** des sites ne nous a pas apporté d'informations très concluantes. Contrairement à ce que nous attendions, on constate une faible protection moyenne existante (0.39), qui pourrait être due au manque

de données concernant le canton du Valais dans ce domaine. Nous n'avons pas particulièrement exploité la question de la géodiversité et de la spécificité des sites, il est donc difficile de dire si cette décomposition des critères a apporté quelque chose à cette évaluation.

Les valeurs d'usage et le besoin de protection

Dans cette catégorie de l'évaluation, les résultats sont plus disparates (Fig. 5.16).

Les conditions de visite sont globalement très bonnes (0.80). Deux seuls sites posent des problèmes de **sécurité** (Cheminées des Fées du Pont de la Douceur ID 9 et la marge proglaciaire des Muverans ID 45). L'**environnement des sites** est généralement bon (moyenne de 0.85), voire très bon pour les sites situés en montagne. Les nuisances constatées sont généralement dues à un environnement urbain, masquant les sites et sources de bruit. L'intérêt de cette évaluation réside surtout dans la mise en évidence de sites problématiques, largement minoritaires.

L'intérêt éducatif est moyen, mais il s'agit plus d'un manque de **valorisation existante** (0.25) que de **lisibilité** (0.59). Il en va de même au niveau des **mesures de protection**, faibles (0.25), alors que les **menaces** identifiées sont elles aussi assez faibles (0.80 = score à inverser pour faciliter la comparaison).

Les géosites glaciaires du Chablais

Malgré le caractère exploratoire de cet inventaire à travers l'intégration de nouvelles valeurs et critères, les résultats que nous avons obtenus après évaluation des géosites peuvent être rapportés ici. Nous avons extrait de la table d'évaluation trois cartes qui représentent trois visions différentes du territoire chablaisien du point de vue de son patrimoine glaciaire, représenté par 32 géosites sélectionnés selon la méthode décrite plus haut (5.3 Une méthode de sélection des géosites).

La première carte (Fig. 5.17) représente la valeur scientifique des géosites. L'obtention des scores hauts pour l'ensemble des sites est soulignée par la faible amplitude des cercles. On remarque cependant une concentration de fortes valeurs dans la région de la basse Dranse et du plateau Gavot ainsi que sur la bordure sud-est du Chablais. En ce qui concerne l'intégrité des sites, elle est exprimée ici uniquement en relation avec la connaissance scientifique. Cette carte doit donc être lue en parallèle du graphique 5.14, pour connaître les scores absolus. Nous avons vu que l'intégrité des géosites est relativement élevée, ce qui découle du processus préalable de sélection. Nous pouvons tout de même mentionner le cas de trois sites dont l'intégrité est plus faible alors qu'ils bénéficient d'une relativement bonne connaissance scientifique : les terrasses de Thonon (ID 6), les collines de Chessel-Noville (ID 4) et l'affleurement de conglomérat de Pont de l'Eglise (ID 3). Il s'agit de trois sites dont l'intérêt géohistorique est particulièrement marqué et que nous considérons comme des objets phares du géopatrimoine local. Leur intégrité déjà entamée devrait focaliser les soins des gestionnaires (Geopark Chablais) sur ces objets pour éviter une plus grande dégradation. Une comparaison avec la figure 5.18 confirme la vulnérabilité de deux de ces géosites (ID 6 et ID 4). Trois sites se distinguent également par l'absence de connaissance scientifique, il s'agit des protalus ramparts de Bise (ID 69), du cordon morainique de l'Enquernaz (ID 66) et du chenal fluvioglaciaire des Mouilles (ID 82).

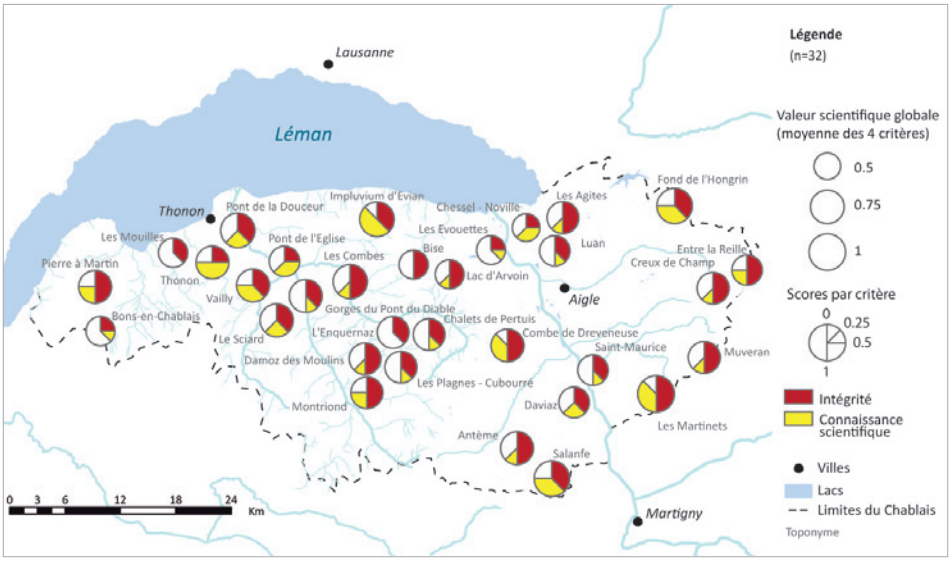


Fig. 5.17 : Valeur scientifique des géosites glaciaires chablaisiens obtenues selon la méthode décrite dans ce travail. La taille des cercles représente le score obtenu pour la valeur scientifique.

La seconde carte (Fig. 5.18) représente les scores obtenus pour les valeurs additionnelles des géosites. Le tableau est cette fois-ci plus contrasté. Trois zones de fortes valeurs apparaissent, à nouveau dans la région des Basses-Dranses et du plateau Gavot ainsi que sur la bordure sud-est du terrain, mais également au niveau des Hautes-Dranses. Chacune de ces zones se distingue par une valeur additionnelle prépondérante. On observe des valeurs culturelles fortes dans la région des Basses-Dranses alors que la bordure sud-est du terrain contient des géosites dont la valeur esthétique domine. La valeur écologique semble particulièrement importante pour les géosites des Hautes-Dranses.

La troisième carte enfin (Fig. 5.19) donne un aperçu de la différence entre les scores obtenus pour les valeurs d'usage actuelles et les valeurs d'usage potentielles. Il est intéressant de constater que les sites qui se distinguaient sur les deux premières cartes ne sont pas nécessairement ceux qui apparaissent comme sous-exploités. Trois aspects peuvent entrer en jeu dans ces résultats. En premier lieu, des problèmes d'accès et de sécurité réduisent le potentiel des sites les plus hauts en altitude (Salanfe ID 53, les Martinets ID 5). En second lieu, la lisibilité, telle qu'entendue ici péjore des sites qui peuvent être très prisés des scientifiques (Impluvium d'Evian ID 105, collines de Chessel-Noville ID 4). Enfin, certains sites bénéficient déjà d'une interprétation comme le vallon des Plagnes-Cubourré (ID 10) ou les gorges du Pont du Diable (ID 40).

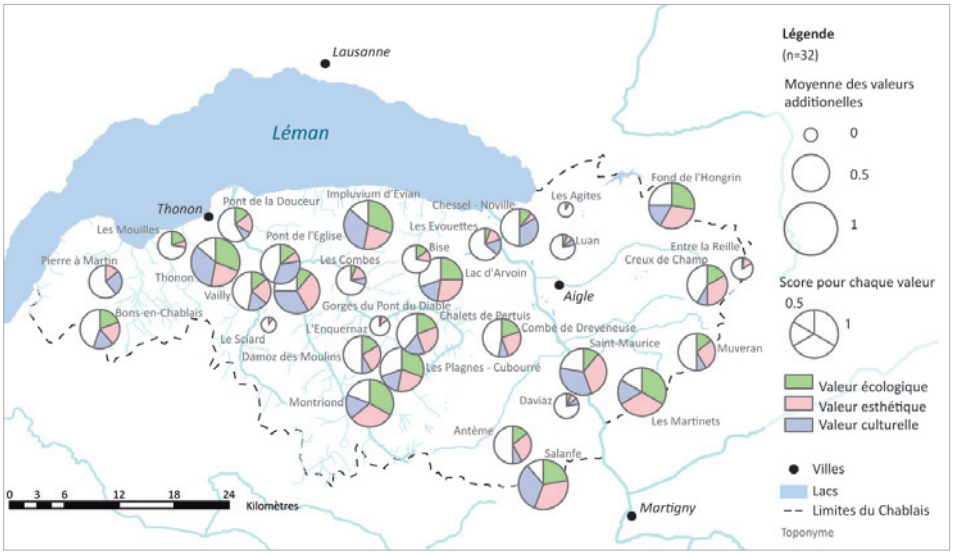


Fig. 5.18 : Valeurs additionnelles des géosites glaciaires chablaisiens obtenues selon la méthode décrite dans ce travail. La taille des cercles représente le score obtenu pour la valeur additionnelle globale (moyenne des trois valeurs).

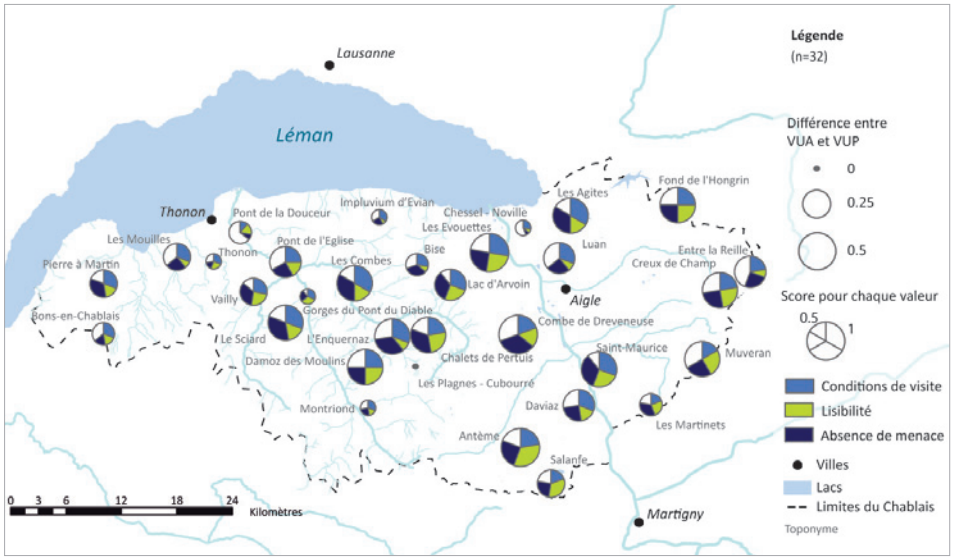


Fig. 5.19 : Critères de gestion des géosites glaciaires chablaisiens obtenus selon la méthode décrite dans ce travail. La taille des cercles représente la différence entre valeur d'usage actuelle (VUA) et valeur d'usage potentielle (VUP).

5.5. Des géosites à la valorisation

5.5.1. Une méthode d'inventaire adaptée à son contexte ?

Le travail que nous avons effectué dans ce chapitre consacré à l'inventaire des géosites glaciaires est avant tout méthodologique. Dans un premier temps, nous avons montré que l'échec de l'élaboration d'une méthode universelle (Reynard & Coratza, 2013) masquait en réalité un consensus autour de trois familles de « valeurs » reconnues aux géosites, au sein de la recherche européenne : les valeurs intrinsèques (centrales et additionnelles) et le potentiel d'usage et le besoin de protection. Nous avons également souligné que les géosites envisagés selon ce système de valeur correspondaient, d'une part, à une vision nettement anthropocentrée (Fig. 5.2) – le lien avec la société est toujours présent – et, d'autre part, définie selon un point de vue clairement géoscientifique – la valeur scientifique est centrale. Cette vision représente un système de valeurs partagé par de nombreux auteurs (Bruschi & Cendrero, 2005; Coratza & Giusti, 2005; Serrano & González-Trueba, 2005; Reynard et al., 2007; Pereira et al., 2007) mais d'autres schémas coexistent, notamment dans le contexte particulier de la géoconservation (Davey, 1997; Sharples, 2002).

Dans un second temps, nous avons abordé les particularités de l'outil « inventaire ». Nous considérons qu'il s'agit avant tout d'un processus qui se construit dans un contexte et en fonction d'objectifs particuliers. Dans ce sens, il apparaît plus évident qu'une méthode générale ne peut prétendre satisfaire à la multitude d'environnements dans lesquels les inventaires sont effectués, ne serait-ce que du point de vue des échelles qui peuvent être prises en compte (mondiale, nationale, régionale, etc.). Nous pensons cependant que les différentes méthodes d'inventaire qui seront encore élaborées dans le futur gagneraient à ce que leurs principes de base soient plus clairement explicités. Nous avons notamment soulevé la question de la subjectivité dans le choix des valeurs prises en compte, subjectivité qui se rencontre également lors de l'évaluation des géosites du point de vue des valeurs retenues. Ces difficultés d'ordre conceptuel peuvent être contrées par la définition d'un concept d'importance et une explicitation systématique des échelles de valeurs adoptées. Le processus d'évaluation gagnerait donc à être plus systématiquement remis dans son contexte afin que sa portée ne soit pas surestimée. Enfin, l'élaboration de l'inventaire des géosites glaciaires du Chablais, que nous avons effectué sur la base de la méthode de l'UNIL et selon un mode exploratoire, nous a permis de mettre en évidence la nécessité de bien distinguer les valeurs patrimoniales attachées aux géosites d'une partie gestionnaire de l'inventaire, qui regroupe les usages, potentiels d'usages et besoins de protection.

A chaque projet son inventaire. Telle est notre devise. Dès lors, que penser de l'inventaire des géosites glaciaires du Chablais, sorte d'hybride entre recherche scientifique et besoin provenant d'une collectivité territoriale ? Au terme de ce travail, nous sommes bien consciente d'avoir produit un inventaire qui ne répond pas directement aux attentes du Geopark Chablais, mais bien plus à une exploration entre sélection, valeur et médiation du géopatrimoine. A titre d'exemple, le volet écologique de l'inventaire du géopatrimoine chablaisien, géré par le SIAC, est particulièrement développé et correspond à un des intérêts majeurs du syndicat intercommunal. Notre inventaire ne met par contre pas particulièrement l'accent sur cet aspect. La place de la valeur scientifique est

également un élément discutable. Bien que les critères d'appartenance au réseau des géoparcs européens insistent sur la qualité scientifique du géopatrimoine, les critères d'utilisation géotouristique y sont nettement prépondérants. Un inventaire adapté au contexte d'un géoparc devrait donc assez logiquement mettre l'accent sur les aspects de gestion (conditions de visite, équipements, interprétation, etc.).

Malgré une certaine inadaptation au contexte du Geopark Chablais, l'inventaire que nous proposons produit des visions du territoire qui peuvent, selon nous, être exploitées pour la valorisation du patrimoine glaciaire. L'évaluation des géosites, visualisée sous la double forme des graphiques et des cartes fait apparaître des zones à forte concentration de sites d'intérêt - c'est-à-dire qui obtiennent de fortes valeurs, scientifiques ou additionnelles (Fig. 5.17 et 5.18). L'étape de sélection offre l'avantage d'identifier des sites qui sont en mesure de se compléter les un les autres et de servir ainsi de support à une reconstruction de l'histoire glaciaire locale. Ainsi, l'évaluation n'est pas le seul apport de cet inventaire. Les objets, sélectionnés selon une méthodologie claire, offrent également un soutien à la valorisation, en soulignant les relations entre géosites du point de vue de leur succession dans le temps et des processus qui leur sont associés (Fig. 5.12 et 5.13).

La partie de l'inventaire consacrée aux critères d'usage, bien que relativement peu élaborée, donne quelques exemples de développements possibles. Les critères utilisés dans cette partie nous semblent pouvoir être fortement affinés en ce qui concerne les usages potentiels ou actuels ainsi que l'intérêt didactique, toujours mal défini. Enfin, dans un contexte plus spécifique de protection du géopatrimoine, la définition des critères de vulnérabilité des géosites reste une question à développer.

6. Valorisation : l'exposition sur le patrimoine glaciaire des Chablais

Ce chapitre présente un produit de valorisation du géopatrimoine spécifique au Chablais. La création d'une exposition itinérante sur le patrimoine glaciaire régional était prévue dans le cadre du projet 123 Chablais. Le présent travail de thèse devait fournir la matière de cette exposition et la doctorante, participer à sa réalisation. Après une brève contextualisation de la médiation scientifique, nous présentons la façon dont a été conçue puis réalisée l'exposition en nous appuyant sur une méthode d'élaboration de produits géotouristiques créée au sein du groupe de travail Relief[1] (Martin et al., 2010).

1 Le groupe de travail Relief (2010-2011) rassemblait les quatre doctorants de la Faculté des Géosciences et de l'Environnement de l'Université de Lausanne actifs dans le géotourisme et la vulgarisation des géosciences (L. Kozlik, G. Regolini, S. Martin et A. Perret). Ce groupe s'est constitué en bureau d'étude privé sous le même nom dès 2012.

6.1. Introduction et problématique

6.1.1. « On ne voit que ce que l'on connaît »

La valorisation des objets des géosciences se heurte actuellement à un principal problème : la grande majorité du public ignore de quoi il s'agit. Cette ignorance s'accompagne d'une opinion relativement répandue : la géologie ne sert à rien d'applicable au quotidien. Etudier les roches et les formes du relief est très compliqué et ne peut donc concerner qu'une poignée de spécialistes. En Suisse, la situation devrait rester problématique puisque les programmes scolaires continuent de faire l'impasse sur cette partie des sciences naturelles. En France, la géologie apparaît dans les programmes scolaires dès l'école élémentaire; cependant, le public ne semble pas beaucoup plus sensibilisé aux roches et formes du relief. Dans ce contexte d'indifférence généralisée, comment envisager de valoriser des témoins glaciaires identifiés comme patrimoine par les gestionnaires du Geopark Chablais ? Plus précisément, comment attirer l'attention du public sur des formations spécifiques comme un cordon morainique ? Comment les leur faire voir ? G. Lenclud, dans un tout autre contexte, nous propose quelques pistes pour réfléchir à l'idée de visibilité. Tout d'abord, « *L'observation requiert l'attention, donc l'éveil de l'intérêt ; et l'attention ne naît pas au seul contact du spectacle du monde* » (Lenclud, 1995 p. 3). Pour être en mesure d'observer un objet, il faut y trouver un intérêt. Il apparaît donc capital que les Sciences de la Terre, si elles souhaitent intéresser le public aux roches et formes du relief, commencent par expliquer en quoi ses objets sont intéressants, par exemple, comment ils sont liés à notre vie quotidienne, sans même que l'on s'en rende compte (ressource, support de la vie, support identitaire, etc.). Mais il semblerait que l'intérêt ne suffise pas. « *Voir un arbre, c'est le voir comme un arbre, donc le reconnaître au moyen d'une inférence (non logique au sens strict) moins pour ce qu'il est ou n'est pas « en réalité » que pour ce qu'il est qualifié d'être en fonction d'un savoir préexistant nécessairement l'acte de perception. L'identité nominale prévaut le plus souvent sur l'identité visuelle ou, plus exactement, la conditionne*. » (Lenclud, 1995 p. 4). Pour être en mesure de voir un cordon morainique, encore faut-il savoir ce qu'est un cordon morainique et reconnaître dans la forme longue, végétalisée, parsemée de blocs est située de façon adéquate dans l'espace, un cordon morainique.

A titre d'exemple, le cas des glaciers rocheux nous semble particulièrement parlant. Cette formation périglaciaire a été identifiée dès la fin du 19e siècle (Haeberli, 2005). Sa diffusion à cependant été très lente dans les milieux scientifiques si bien qu'elle n'est véritablement connue qu'au début des années 1990. Les chercheurs se rendent compte depuis, que les zones de permafrost discontinu et continu peuvent être riches de formes actives (Entre la Reille ID 78) et que les zones hors permafrost contiennent des exemplaires fossiles (Le Larzey, Mt d'Or). Les glaciers rocheux sont devenus pour les spécialistes, en une trentaine d'années, un élément facilement repérable, relativement esthétique, des milieux périglaciaires. Or, si l'on interroge les cartes géologiques établies avant les années 1990, ces formes, pourtant si reconnaissables, sont non seulement invisibles (pas de figuré spécifique) mais indifféremment cartographiées en éboulis, éboulement, moraine, etc. Avant de savoir qu'il s'agissait d'une forme particulière, il n'était pas possible de voir les glaciers rocheux, même pour des spécialistes (Regolini & Martin, 2012).

Pour concrétiser cette valorisation des sciences de la Terre et harmoniser les savoirs entre milieux scientifiques et publics (dont, les acteurs politiques), plusieurs méthodes et cadres conceptuels sont utilisés, de la vulgarisation scientifique à la médiation scientifique.

6.1.2. La vulgarisation scientifique remplacée par la médiation.

Le but de la vulgarisation, serait la transmission des connaissances (Larousse, 2012a) ou de la culture scientifique (Jacobi et al., 1990) au public néophyte. Cependant, il existe une telle distance entre ces deux groupes de population que cette transmission n'est pas possible directement. Certains auteurs se demandent même si c'est bien la transmission des savoirs qui importe ou la transmission des méthodes qui permettent de construire le savoir (Wagensberg, 2003). Voici encore une question qui souligne la complexité du domaine. On pourrait penser, et c'est ce que propose la vulgarisation scientifique, que des procédés assez simples, d'épuration du langage et de recours aux schémas permettent de réduire cette distance. Or, les études pratiques sur le sujet ont montré que c'était largement insuffisant (Giordan & De Vecchi, 2010). La transmission passe d'abord, pour les thématiques et les objets peu connus ou peu populaires, par la sensibilisation, qui consiste à faire prendre conscience aux individus de l'intérêt d'un objet, d'une thématique. Si la vulgarisation échoue à intéresser un public qui n'est pas déjà féru d'une thématique, la médiation scientifique, par exemple celle qui est pratiquée dans les pays anglo-saxons sous l'appellation d'« interprétation », obtient de bien meilleurs résultats (Ham, 2007).

Actuellement, une grande majorité des produits didactiques et touristiques européens sont réalisés de façon artisanale (Martin et al., 2010). Ils sont souvent le fait de scientifiques pour lesquels la vulgarisation constitue une façon de transmettre leur passion, sans pour autant accorder aux sciences cognitives la rigueur scientifique qu'ils ont consacrée aux sciences de la Terre. Ces produits sont donc élaborés sans réelle méthodologie, sur la base d'intuitions plus que de réflexions. Le résultat, d'une rigueur scientifique extrême, ne parvient pourtant pas à émouvoir le public, qui passe son chemin. Les auteurs qui ont fait de la médiation leur thématique de recherche (Ham, 1992; Tilden, 2007; Martin, 2013) ont montré l'intérêt de penser les produits géodidactiques et géotouristiques dans un cadre réflexif incluant le destinataire du message – le public – autant, si ce n'est plus, que le sujet scientifique abordé.

L'exposition glaciaire telle qu'elle était pensée et organisée, aurait pu se faire dans la plus pure tradition de vulgarisation. C'est du moins ce qu'aurait pu réaliser une équipe composée avant tout de scientifiques (bien qu'au bénéfice d'une certaine expérience de la médiation scientifique), sans véritable spécialiste de la médiation.

6.1.3. Méthodologie pour l'élaboration de produits géotouristiques

L'exposition sur le patrimoine glaciaire des Chablais est un produit géotouristique et, dans une moindre mesure, géodidactique. Elle est conçue pour mettre en valeur le travail scientifique effectué pendant la thèse, mais en particulier l'aspect Quaternaire de ce travail[2]. Nous n'avons pas entrepris de recherche spécifique pour

2 Il n'était pas prévu d'aborder la thématique du patrimoine naturel, par exemple, si ce n'est au travers du concept de l'exposition.

l'élaboration de cette exposition, recherche qui aurait pu prendre, par exemple, la forme d'enquête auprès des publics potentiels[3]. De même, aucune étude d'impact de l'exposition sur ses visiteurs n'était prévue.

L'exposition n'a pas été conçue selon une méthode précise mais avec une certaine sensibilité en faveur de la médiation. En parallèle de la thèse, nous avons participé à un groupe de travail informel (groupe Relief), dont l'un des axes de recherche était l'amélioration de la qualité des produits géotouristiques afin de les rendre plus efficaces à la valorisation des géosciences. Aussi, avons-nous participé à la publication d'une méthode pour l'élaboration des produits géotouristiques, dont nous présentons ici les principes de base. Bien que déjà publiée au moment du lancement des travaux de l'exposition, cette méthode n'a pas été utilisée pour sa réalisation. Plusieurs éléments expliquent ce fait. Premièrement, nous ne devions pas coordonner l'exposition mais y participer « dans la mesure de nos moyens ». Nous devions également fournir la matière scientifique de l'exposition, ce qui s'est avéré être un certain challenge pour une thèse qui était encore en cours au moment de la réalisation de l'exposition. Enfin, par manque d'assurance, d'expérience, de temps et finalement de latitude pour le faire, nous n'avons même pas proposé la méthode comme une base possible pour le travail d'équipe qui a ensuite été entrepris. Nous pensons cependant qu'il est intéressant de lire la conception et la réalisation de l'exposition avec le filtre de cette méthode. En particulier, cela nous permet d'identifier les épisodes et éléments qui nous sont apparus problématiques durant les phases de conception et de réalisation. Cette structure offre également des points de repère pour comprendre les premières impressions des visiteurs.

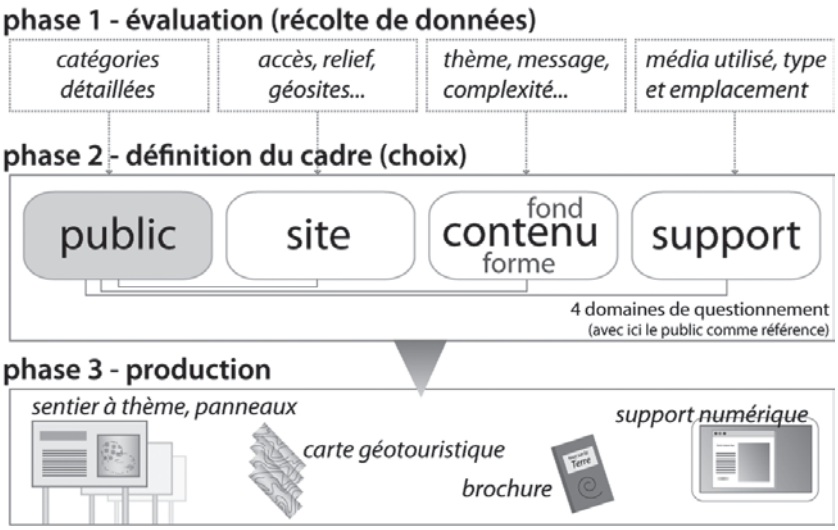


Fig. 6.1 : Les trois phases du processus d'élaboration des projets géotouristiques (Martin et al., 2010) composant l'approche globale de la médiation (AGM).

Pour la résumer très brièvement, l'approche globale de la médiation (AGM) propose de considérer trois phases de réalisation d'un projet géotouristique (Fig.

3 On aurait pu imagine enquêter sur les connaissances préalables des habitant du Chablais sur les témoins glaciaires pour y adapter le contenu de l'exposition.

6.1) : l'évaluation, la définition du cadre, et la réalisation. La seconde phase – la définition du cadre – est orientée autour de quatre pôles en fonction desquels doit être élaboré le produit : le public, le site, le message et le support (Martin et al., 2010; Martin & Regolini, 2013).

6.2. L'exposition sur le patrimoine glaciaire des Chablais

6.2.1. Contexte, évaluation et analyse (étape 1)

L'exposition est financée dans le cadre du programme Interreg IV, par le biais du projet 123 Chablais. Elle est coordonnées par le SIAC, tout d'abord par Anne Guyomard (coordinatrice de la démarche Geopark du Chablais), puis par Natacha Nugue (assistante Geopark). La coordination de l'exposition constituait pour N. Nugue l'objet d'un stage de fin d'étude (Nugue, 2012). La scénographie, le graphisme, l'impression et la réalisation des postes de manipulation ont été confiés à un professionnel, après avoir fait l'objet d'un appel d'offre public (SIAC, 2012). Les textes et illustrations ont été préparés par Sylvain Coutterand, avec notre aide. Une partie des photographies ont été réalisées par un photographe professionnel. Le contenu de l'exposition (textes, figures) à fait l'objet de relectures de la part du SIAC et du comité scientifique du Geopark Chablais.

Nous avons déjà abordé le contexte administratif, institutionnel et financier de cette exposition (projet 123 Chablais, *Chablais Geopark*) et sa relation théorique avec la thèse sur le patrimoine glaciaire des Chablais. Un autre élément du contexte est constitué par le travail de thèse lui-même, que l'on peut détailler en cinq points.

1. **Analyse du potentiel régional pour la médiation des géosciences**. Sur la base de notre étude bibliographique (Perret, 2010; Perret et al., 2011) puis de nos missions de terrain, nous avons dégagé trois caractéristiques des témoins glaciaires chablaisiens, susceptibles de leur conférer un intérêt patrimonial (cf. chapitre 3 et 4). L'**histoire de la théorie glaciaire** tout d'abord, qui fait remonter la curiosité des chercheurs pour le Quaternaire régional à la fin du 18^{e} siècle. Le fait que l'on puisse encore voir aujourd'hui des témoins étudiés autrefois nous permet d'établir une certaine continuité entre les deux époques (début du 21^{e} et fin du 18^{e} siècle). Le **lien** étroit, ensuite, entre les témoins glaciaires et les activités locales diverses, plus ou moins populaires ou méconnues. Enfin, mais peut-être dans une moindre mesure, la **bonne conservation** de témoins particulièrement développés et spécifiques à la région. Nous pensons que ces caractéristiques constituent des points forts qui devraient être utilisés pour l'élaboration de médiations qui auraient pour thème le patrimoine glaciaire. Nous nous sommes donc appuyée sur cette base pour définir les thématiques ou scénarios de l'exposition.

2. La **connaissance objective des témoins glaciaires** est un élément essentiel de leur valorisation (Gauchon, 2010). Cette « connaissance objective » qui n'est en réalité qu'une connaissance technique (Roqueplo, 1979), permet d'identifier les objets, de les catégoriser, de les placer dans une chronologie relative ou absolue, en bref, de leur donner des points d'accroche. Notre travail, de ce point de vue, s'est effectué sur deux tableaux. C'est tout d'abord un travail de synthèse. La connaissance scientifique du Quaternaire régional est éparpillée dans le temps et dans l'espace, ce qui implique une grande variété selon les auteurs, les époques, les filiations scientifiques et aires linguistiques, les domaines de recherches, les

moyens mis en œuvre pour acquérir les données, la transcription des données, etc. La synthèse de cette connaissance, le tri qu'on y opère et la digestion que l'on en fait est un travail important qui participe à cette connaissance « objective » ou « technique ». Le second apport réside dans les informations nouvelles (mais pas forcément compatibles) apportées par la cartographie géomorphologique et les datations cosmogéniques, sans compter la connaissance du terrain qui s'acquiert à force de le parcourir et de le questionner.

3. Nous n'envisageons pas une exposition sans visuels, photographies, schémas, cartes, croquis, etc. Une partie des **illustrations de l'exposition** est issue du travail de thèse, bien que ce dernier n'ait pas été orienté dans cette direction. Il est rare qu'une illustration scientifique puisse s'insérer directement dans un produit d'interprétation.

4. L'**inventaire de géosites** n'était pas encore réalisé lors de la création de l'exposition, mais nous avions déjà bien amorcé la réflexion sur la sélection des géosites (axes spatial et temporel). Ainsi, une présélection de points d'intérêt glaciaires avec une indication d'appartenance à un stade glaciaire était déjà disponible pour permettre se sélectionner les sites à mettre en avant dans l'exposition.

5. Au début de notre travail, nous avions émis le souhait de travailler sur la façon de **communiquer sur l'incertitude** des reconstitutions scientifiques, typiquement lors de l'établissement de cartes de stades glaciaires. Cette réflexion nous apparaissait particulièrement pertinente dans le cadre d'une médiation qui voudrait transmettre non pas un savoir fini mais un savoir qui se construit (Kramar, 2005). Elle n'a malheureusement pas abouti, faute de temps et à la suite de choix sur les études à mener pendant la thèse. De la même manière, **interpréter le patrimoine glaciaire** ne faisait pas strictement partie de nos tâches et aurait nécessité un travail de documentation et d'enquête qui dépassait nos possibilités dans le cadre de ce travail.

Les éléments contraignants

Un certain nombre d'éléments ont cadré la réalisation de l'exposition avec plus ou moins d'implications dans le produit final. Tout d'abord, la **région** dans laquelle allait être proposée l'exposition (itinérante) était celle du projet 123 Chablais, ce qui correspondait au territoire exploré par la thèse. Le **sujet** ensuite, calqué sur la thèse, également était défini comme « le patrimoine glaciaire », ce qui en fait un objet relativement vaste. Une des caractéristiques qui a eu un impact important sur la conception est l'**itinérance** de l'exposition. Cette dernière devait être transportable et donc démontable, de façon a être exposée dans différentes salles plus ou moins prévues à cet effet (salle de musée, salle communale, etc.). Etant donné le vaste choix de salles potentielles et la diversité des situations possibles, il était entendu que le mobilier ne devait contenir aucune pièce de valeur (ordinateur) et ne comporter que des éléments robustes. Le **budget** avait été fixé à l'avance puisqu'il faisait l'objet d'un financement européen. Une enveloppe de 50'000 euros devait couvrir l'ensemble des frais (matériel, impressions, design, création des textes et des illustrations, photographies, etc.). Une grande partie du **matériel** avait été déterminé à l'avance également et pour les mêmes raisons. L'exposition

est constituée de 20 kakemonos[4] (Fig. 6.2). Ce matériel, couramment utilisé pour des expositions temporaires ou des stands en plein air est léger, facilement manipulable et démontable. Une structure métallique pliable permet de tendre une toile que l'on imprime en verso (Fig. 6.2). Les supports sont réutilisables et de nouvelles toiles peuvent y être accrochées. Le dernier élément contraignant (si l'on excepte l'équipe affectée aux différentes tâches) était la possibilité d'adjoindre aux kakemonos trois postes d'expérimentation. Ces postes ne faisaient l'objet d'aucune spécification, le support et le type d'activité étant laissés totalement libres.

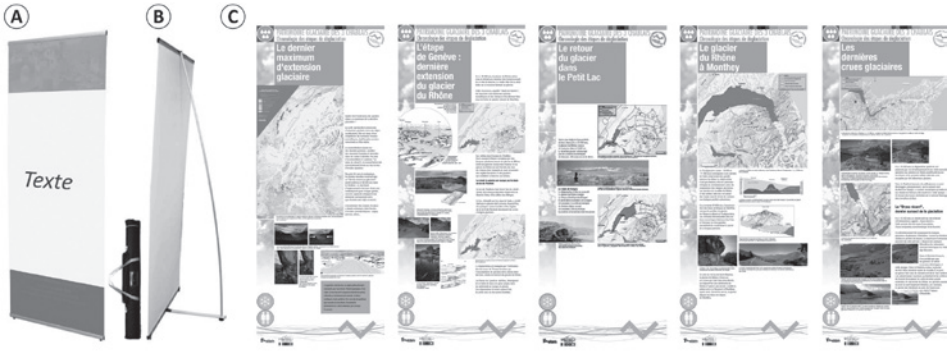


Fig. 6.2 : Matériel principal de l'exposition : les kakemonos A. Face imprimable et amovible, sur enrouleur. B. Structure métallique pliable et house de transport. C. Suite de 5 kakemonos de l'exposition avec les cartes de stades glaciaires.

6.2.2. Les quatre pôles de la médiation (étape 2)

Le public cible

La définition du public est un des éléments clef de la médiation (Martin, 2013). On ne s'adresse pas de la même manière à des enfants ou à des adultes, que ce soit dans un contexte de loisir ou d'apprentissage. Cet aspect fondamental est, entre autre, relevé par F. Tilden qui en fait l'un des six principes de l'interprétation «*Interpretation addressed to children should not be a dilution of the presentation to adults, but should follow a fundamentally different approach. To be at its best it will require a separate program.*» (Tilden, 2007). Cette distinction est également opérée dans le domaine de l'enseignement pour lequel l'andragogie a été développée afin de suppléer à la pédagogie, laquelle échouait à donner des résultats probants chez les adultes (Knowles, 1973). Nous insistons sur ce point parce qu'il était dans les objectifs de l'exposition de s'adresser à des adultes, mais de pouvoir également être visitée par des scolaires (2e, 3e cycle et début du primaire) (Nugue, 2012). Consciente du double discours que nous devrions produire pour satisfaire à cet objectif, nous avons rapidement abandonné l'idée de nous adresser aux enfants et nous nous sommes concentrée sur un public d'adultes.

4 Un kakemono est une « *peinture ou calligraphie d'Extrême-Orient, que l'on suspend verticalement* » par extension, un « *support d'affichage publicitaire suspendu verticalement* » (Larousse, 2012b)

Le public cible de l'exposition avait été défini comme le « grand public », c'est-à-dire un ensemble hautement hétérogène et donc, aucune catégorie en particulier. Nous pouvions cependant anticiper le fait que les visiteurs seraient *a priori* des personnes intéressées par la thématique puisqu'elles auraient volontairement entrepris la visite (Pralong, 2006). Pour résoudre ce problème de « grand public » qui ne nous donnait pas d'orientation, nous avons choisi d'axer l'exposition sur un public d'**adultes locaux**. Ce choix découlait des recherches que nous avions effectuées sur le terrain. Bien que de nombreux liens puissent être faits entre témoins glaciaires et vie quotidienne dans le Chablais, tant du point de vue de l'identité (paysage) que des ressources (eaux minérales, tourisme, matériaux de construction), ces interactions ne sont pas conscientes au sein de la population. Peu de gens semblent actuellement en mesure d'identifier le dénominateur commun entre toutes ces activités. Nous avons donc orienté l'exposition vers un but : montrer le Chablais à ses habitants sous un jour nouveau afin de leur faire prendre conscience de l'impact des glaciers sur leur territoire, notamment en tant que fournisseur de ressource multiple.

Quelques remarques découlent de cette succession de choix. Le public cible envisagé au montage du projet était constitué d'enfants et d'adultes non spécialistes (« tout public »), cependant, le type de produit – une exposition – supposait un certain tri et donc, plutôt, des individus appartenant aux catégories des « spécialistes » et « boulimiques » (Origet du Cluzeau, 2007; Pralong, 2006). Une redéfinition du public a finalement été établie pour s'adapter au contenu qu'il semblait possible de produire (absence de pédagogue) et au message privilégié (impact des témoins glaciaires sur le territoire). Au final, on constate une contradiction entre le public voulu par le projet, le public visé par les créateurs de l'exposition et le public susceptible de visiter l'exposition.

Le message véhiculé par l'exposition

Sa substance

La conception de l'exposition, c'est-à-dire, le choix des thématiques qui allaient être abordées, a été amorcée lors d'une réunion de travail avec Anne Guyomard[5], responsable du Geopark Chablais (alors encore *Aspiring Chablais Geopark*), en décembre 2010. Il nous paraissait évident que cette exposition ne devait pas être un cours sur le fonctionnement des glaciers. La première raison est que le Chablais a cette particularité de n'avoir plus que quelques glaciers reliques (Muveran ID 45) et relativement atypiques (Martinets ID 5). Ce sont les témoins d'anciens glaciers qui sont actuellement visibles sur le territoire. Entre un appareil glaciaire classique et les terrasses de Thonon, la distance est trop grande pour se permettre d'attaquer avec cet angle de vue. La démarche « cours sur le fonctionnement des glaciers » aurait équivalu à placer un panneau didactique quelques kilomètres après l'objet en question, alors que ce dernier n'est plus visible qu'en tordant le cou et avec un mauvais angle de vue. Cette thématique occupe finalement un seul des 18 kakemonos qui font le corps de l'exposition.

La seconde raison est qu'une exposition sur une thématique très voisine « Des glaciers et des hommes » était présentée depuis plus d'une année à Chamonix. Nous voulions nous distinguer de cette autre exposition en orientant notre projet

5 Réunion pour la préparation de l'appel d'offre public pour l'exposition, le 15.12.2010, Thonon-les-Bains, A. Guyomard et A. Perret.

sur des thématiques exclusivement locales. Le message que nous avons choisi de véhiculer au travers de notre série de kakemonos et des trois postes interactifs était de **faire prendre conscience aux habitants du Chablais de l'impact des anciens glaciers sur leur territoire**.

Lors de cette réunion, nous avons établi les trois angles (scénarios) sous lesquels seraient abordés les témoins glaciaires chablaisiens afin de rendre compte du message sus-mentionné. Nous avons également défini la thématique particulière de chacun des kakemonos (Tab. 6.1).

Panneaux introductifs (2 kakemonos 1150 * 2150 mm)	
A	Un projet franco-suisse pour découvrir les atouts des trois Chablais (projet 123 Chablais et financeurs)
B	Un projet franco-suisse pour découvrir les atouts des trois Chablais (projet 123 Chablais et thèse)
1. Histoire des connaissances glaciaires (5 kakemonos 850 * 2150 mm)	
1.1	Les mystérieux blocs erratiques
1.2	La catastrophe du Giétro à l'origine de la théorie glaciaire
1.3	Du déluge biblique à la théorie glaciaire
1.4	Mais jusqu'où va le glacier du Rhône? (les glaces du lobe lyonnais à l'origine d'une controverse)
1.5	Le Chablais et la recherche actuelle
2. Chronologie des étapes de déglaciation (7 kakemonos 850 * 2150 mm)	
2.2	La valse du climat et des cycles glaciaires
2.3	Le dernier maximum d'extension glaciaire
2.4	L'étape de Genève: dernière extension du glacier du Rhône
2.5	Le retour du glacier dans le Petit Lac
2.6	Le glacier du Rhône à Monthey
2.7	Les dernières crues glaciaires
2.8	Le refroidissement du Petit Age Glaciaire
2.9	Les glaciers aujourd'hui
3. Témoins glaciaires et vie quotidienne (5 kakemonos 850 * 2150 mm)	
3.1	Matériaux de construction
3.2	L'eau
3.3	Terre viticole et terre à pâturages!
3.4	Risques et aléas
3.5	Les loisirs

Tab. 6.1 : Tab. 1: Les sujets abordés par chacun des kakemonos : deux panneaux d'introduction et trois thématiques déclinées en 5, 7 et 5 panneaux.

Le premier scénario choisi est, sans surprise, celui de l'**histoire des connaissances glaciaires**. Le premier panneau débute par une entrée thématique, celle des blocs erratiques qui sont le symbole phare des témoins glaciaires de la région (*Les mystérieux blocs erratiques 1.1*). Les panneaux suivants présentent les épisodes célèbres qui ont mené à la reconnaissance de la théorie glaciaire (*par ex. La catastrophe de Giétro à l'origine de la théorie glaciaire 1.2*). Cette série se termine par un panneau sur la recherche actuelle (*Les Chablais et la recherche actuelle 1.5*) afin de l'inscrire dans cette tradition longue de plus de 200 ans. Il nous semblait

important de présenter ces étapes de l'histoire de la théorie glaciaire comme une construction du savoir, une évolution non pas linéaire mais basée sur des quasi faits divers (panneau 1.2), un savoir chaotique qui doit se remettre en question (*Mais jusqu'où va le glacier du Rhône? 1.4*). Nous voulions également montrer l'importance des observations de terrain dans la construction de cette science (panneaux 1.1 et 1.4).

Le second scénario tente de montrer le **retrait glaciaire** depuis le dernier maximum local (LLGM) en se focalisant sur le Chablais. Les étapes du retrait sont illustrées grâce à une série de cartes de stades glaciaires. Afin de faire le lien entre ces « images » de la région et le territoire actuel, chacune des cartes et donc des grands stades de stagnation des glaciers est reliée à des témoins que l'on peut encore observer actuellement. Ces témoins ont été choisis parmi les points d'intérêt glaciaires pour l'inventaire des géosites glaciaires[6] en préparation. Nous avons privilégié les sites exemplaires, mais aussi les sites pour lesquels nous avions des photographies de bonne qualité.

Le troisième et dernier scénario met en évidence les liens entre **témoins glaciaires et vie quotidienne**, avec des exemples exclusivement locaux (vin, eau, loisir, risques, matériaux de construction). Pour développer ces thématiques, nous souhaitions nous faire épauler par des professionnels. Pour des raisons de calendrier et de moyens financiers, cela n'a pas été possible. Nous pensons que cette partie de l'exposition en particulier aurait mérité un approfondissement pour proposer une véritable interprétation du lien entre les témoins glaciaires et la vie quotidienne.

Les trois scénarios ont été conçus pour être indépendants les uns des autres. Il n'y a pas de chronologie stricte à respecter lors de la visite. Cette volonté d'indépendance des trois volets de l'exposition permettait de proposer trois points de vue qui pouvaient être découverts selon la sensibilité des visiteurs. Elle correspondait également au caractère itinérant de l'exposition, c'est-à-dire à la diversité des salles qui allaient pouvoir l'accueillir (Nugue, 2012). Pour plus de commodité, nous parlerons par la suite, des thématiques ou scénarios 1, 2 et 3 (Tab. 6.1).

Sa forme

Les **textes** véhiculent un bon tiers du message de l'exposition. Sensible aux impératifs de la vulgarisation, l'équipe chargée de la réalisation était consciente du fait que le vocabulaire scientifique devait être évité, ou, s'il semblait nécessaire, expliqué. Nous savions également que le texte devait être rédigé de manière à être attractif, non soutenu, de style peu formel, en introduisant par exemple, le mode interrogatif, etc. (Bitgood, 2000; Ham, 2007; Moscardo, 1999). Un effort a donc été fait pour élaborer des textes accessibles tout en leur conservant une validité scientifique. Sur incitation de la coordinatrice de l'exposition, tous les textes ont été systématiquement raccourcis. Par manque de temps et de compétence dans le domaine, aucun travail n'a été fait pour définir des niveaux de lecture ou une structure commune aux textes. Nous n'avons donc suivi aucune charte éditoriale (Nugue, 2012).

6 En raison du calendrier, la sélection ne s'est pas faite sur l'inventaire final mais sur la présélection de points d'intérêt glaciaires.

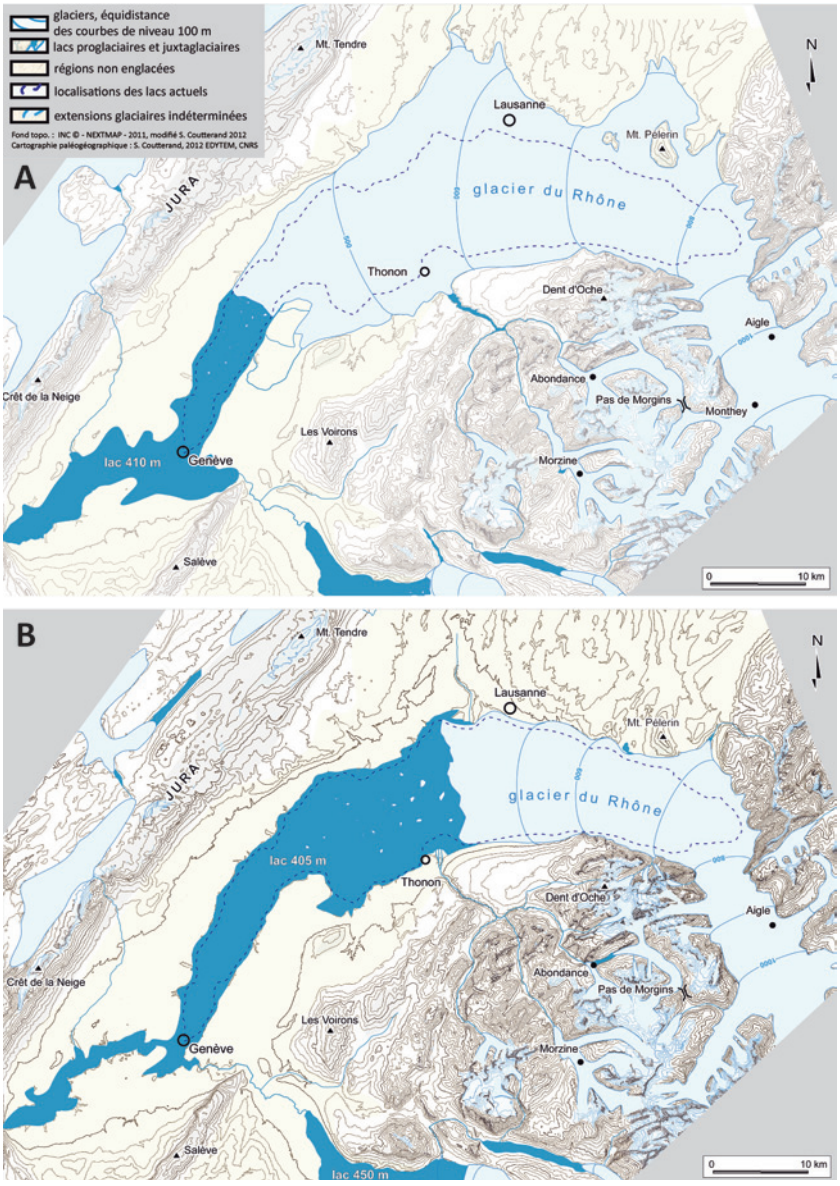


Fig. 6.3 : Cartes du stade du Petit Lac (A) et de Dorigny (B), réalisées par Sylvain Coutterand, pour l'exposition. Ces cartes sont centrées sur le Chablais, Léman compris.

Une part importante du visuel de l'exposition est tenue par des **cartes de stade glaciaire** (Fig. 6.3). Elles sont présentes sur la deuxième thématique de l'exposition (chronologie du retrait glaciaire), pour donner une idée de l'emprise des glaces sur la région et des étapes de la déglaciation. L'emploi de cartes présente des avantages comme des inconvénients. Il faut par exemple, garder à l'esprit que le public ne lit pas nécessairement les cartes, surtout lorsque ces dernières contiennent un grand nombre de symboles conventionnels (Regolini, 2012). Dans

ce cas, on peut supposer que c'est l'image globale donnée par la carte qui sera perçue, à la manière d'une photographie. Un des principaux défauts de notre série de cartes est qu'elle donne l'illusion que le retrait s'est effectué de façon plus ou moins linéaire, par une succession de stades de plus en plus restreints. En réalité, les glaciers ont subi une série de crues, pour lesquelles des témoins sont conservés, et une série de décrues, dont on ne connaît pas précisément l'ampleur. En outre, les cartes ne donnent aucune information sur la qualité de la reconstitution et peuvent donner une fausse impression de fiabilité.

Lors des différents comités de pilotage de la thèse, il avait été proposé que nous réalisions des cartes de stade de ce type, selon les sept grandes étapes que nous avons déjà mentionnées plus haut (cf. chapitre 4). Ces cartes n'étant pas réalisées au moment de la création de l'exposition, il a semblé plus pertinent d'utiliser des cartes déjà en partie dessinées par Sylvain Coutterand à une plus grande échelle (Coutterand, 2010). Certaines de ces cartes (par. ex. Egesen) ne couvraient pas le Chablais. Sylvain Coutterand a donc complété ses cartes pour qu'elles puissent correspondre au territoire. Nous avons finalement participé à la définition des contours glaciaires pour la région des Chablais, en fonction de notre connaissance de la littérature et des missions de terrain.



Fig. 6.4 : Exemple de photographie avec dessins pour indiquer le point d'intérêt de l'image. A. Cordon morainique supposé d'âge Egesen au cirque d'Antème (ID 55). B. Cordon morainique supposé contemporain du retrait du stade de Genève à Vacheresse, les Combes (ID 8). Photographies A. Perret et A. Berger.

Pour assurer une bonne qualité graphique de l'exposition (Fig. 6.4), il était prévu d'avoir recours à un **photographe professionnel**. Malheureusement et toujours pour des problèmes de calendrier, cette phase du travail à dû être largement anticipée (une année avant le début des travaux, soit en mai 2011). Nous avons donc constitué avec le photographe, sur la base des thématiques et du contenu des kakemonos préétablis en décembre 2010, une liste de sites à photographier. Cette liste était accompagnée d'indications précises des sujets visés sur chaque site (des formes géomorphologiques principalement). Le choix d'un photographe spécialisé dans les sujets de montagne et surtout, géologue de formation nous a grandement simplifié la tâche. Muni d'une liste de sites localisés et thématisés,

Antoine Berger a pu se rendre seul sur le terrain et selon son propre calendrier. Un photographe qui n'aurait eu aucune connaissance en géosciences n'aurait pas pu remplir cette mission, dans l'incapacité de voir dans le paysage le sujet à représenter.

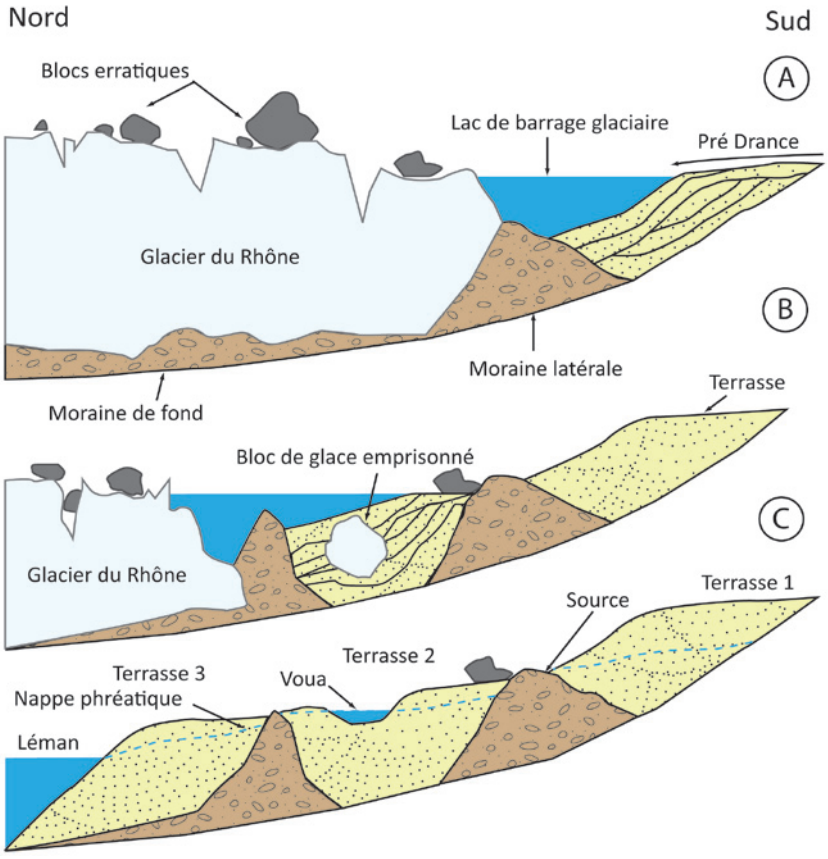


Fig. 6.5 : Schéma de la formation des terrasses de Thonon (ID 6), avec *vouas* (terme local qui désigne des kettles en eau), blocs erratiques et cordons morainiques. Modifié d'après Vial (1976).

La liste de sujets était très contraignante parce qu'elle nécessitait d'aller sur des sites précis. En effet, sur la base d'un budget permettant de photographier 50 sujets, nous avions établi une liste de sites couvrant les sept grandes étapes du retrait glaciaire régional. Nous savions que ce scénario serait le plus difficile à illustrer et nécessiterait des images de très bonne qualité. Nous souhaitions ainsi assurer que chacune des cartes de stade pourrait être illustrée par un site bien conservé, à l'aide d'une image esthétique. Cette démarche nous semblait être une base probante de sélection à l'attention du photographe, sachant que ni le contenu de l'exposition ni l'inventaire des géosites glaciaires n'étaient véritablement fixés à ce moment-là.

Lors de la réalisation de l'exposition, nous avons fait des compromis entre les sites qui nous paraissaient incontournables et les images que nous possédions 1) du photographe 2) dans nos collections personnelles (A. Perret et S. Coutterand).

Convaincue de la valeur des **schémas** pour l'explication (Martin, 2013), nous avons intégré un certain nombre d'éléments. Un bon schéma étant relativement long à réaliser, seule une faible partie des illustrations a été créée spécialement pour l'exposition. Nous avons également eu recours aux photographies rehaussées de traits colorés pour souligner des morphologies et indiquer précisément aux visiteurs le point d'intérêt d'une image (Fig. 6.4 et 6.5).

Les médias utilisés pour l'exposition

Les kakemonos

La majeure partie du matériel avait été déterminée lors du montage du projet 123 Chablais par Anne Guyomard. Il s'agissait de 20 kakemonos, de hautes toiles rectangulaires (format portrait 1150 x 2150 et 850 x 2150) sur enrouleur, qui se fixent sur des structures métalliques amovibles. Ce modèle de kakemonos est relativement haut (2 m 15) mais sa base se trouvant au sol, la surface pouvant contenir de l'information est réduite d'un mètre, sous peine de forcer le lecteur à plier les genoux. Ce type de médias est à classer dans la catégorie de supports d'interprétation indirecte (Martin, 2013), au même titre qu'un panneau didactique, par exemple. Il présente quelques avantages mais aussi quelques inconvénients par rapport à une interprétation personnelle (avec un guide, par exemple) (Moreira, 2012). Parmi les avantages de ce type de support statique, nous relevons leur disponibilité, le fait qu'ils soient conçus pour se suffire à eux-mêmes et qu'ils puissent servir à un grand nombre de personnes. Parmi leurs désavantages, il faut mentionner leur incapacité à répondre aux questions, leur manque d'interactivité, leur difficulté à maintenir l'intérêt et l'impossibilité de les actualiser. Conscient de ces faiblesses, le SIAC (A. Guyomard) avait prévu d'adjoindre aux 20 kakemonos trois postes d'expérimentation.

Choix et réalisation des postes d'expérimentation

Nous entendons par postes d'expérimentation des ateliers qui permettent aux visiteurs d'effectuer des manipulations. Ces postes devaient proposer, en alternance avec la lecture des kakemonos, une possibilité de prendre un rôle actif dans l'exposition. Bien qu'il s'agisse de la partie la plus créative, c'est celle qui nous a posé le plus de difficultés. Le choix des thématiques abordées par les trois postes ainsi que leur réalisation matérielle a été discutée en réunion, lors des séances de travail générales. Nous avons été contraints par le caractère itinérant de l'exposition plus que par l'enveloppe budgétaire. Il existait une grande incertitude quant aux conditions de surveillance proposées par les structures qui accueilleraient l'exposition. Le choix s'est donc très vite porté sur des postes sans matériel informatique, ni même électrique. Les trois thématiques qui ont émergé sont :

- Les **matériaux glaciaires** : mettre à disposition des matériaux glaciaires à manipuler pour faire prendre conscience de leur omniprésence sur le territoire (graviers, galets, sables).
- Les **cheminées de fées** du Pont de la Douceur (ID 9) : montrer un géosite incontournable du Chablais, mais relativement peu accessible, pour des

raisons de sécurité et d'environnement du site (chutes de pierres, présence d'un route à fort trafic, proximité du cours de la Dranse).

- La **dynamique glaciaire** : proposer une vision dynamique du glacier du Rhône. En raison des moyens techniques très limités que nous avions à disposition, nous n'avons pu proposer qu'une vision de retraits successifs, mais avec un angle de vue relativement différent des cartes de stades.

Chacune de ces thématiques a fait l'objet d'un *brainstorming* pour imaginer une manière de faire intervenir le public. Après de nombreuses hésitations, nous avons opté pour des mécanismes très simples où l'implication du visiteur se limite à toucher et soupeser des matériaux (Fig. 6.6.B) et à actionner un mécanisme (caché) qui montre des images successives (Fig. 6.6.C et D).

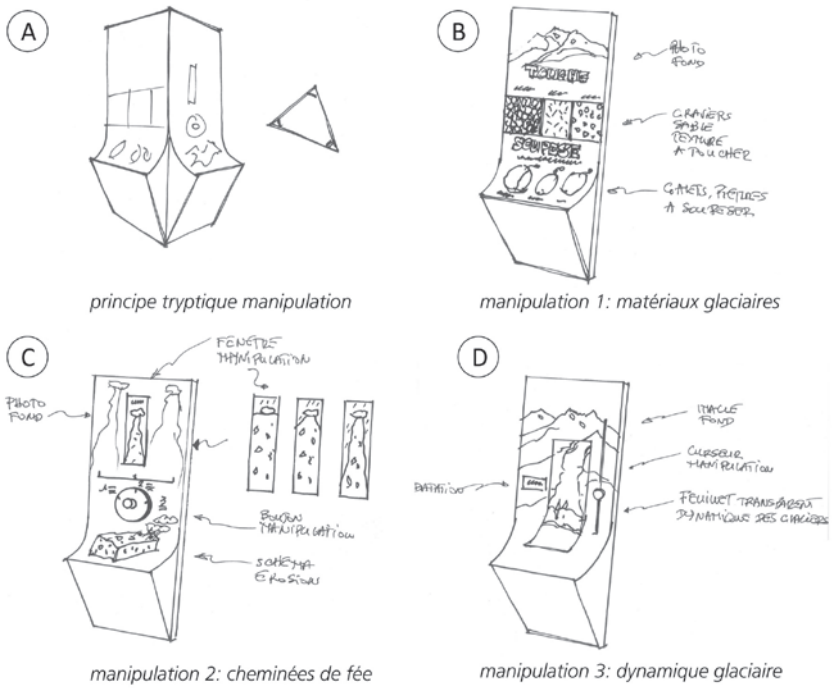


Fig. 6.6 : Croquis des trois postes d'expérimentation tels que proposés par le designer. A. Schéma de l'assemblage des trois postes. B. Poste sur les matériaux glaciaires. C. Poste sur les cheminées de fée. D. Poste sur la dynamique glaciaire.

Catalogue d'exposition

Un catalogue d'exposition a été réalisé sur la base des kakemonos (Perret et al., 2012). Il reprend leur contenu exact avec une disposition des éléments légèrement différente, pour s'adapter au format (210 X 210 mm). Ce catalogue, de bonne qualité graphique et d'impression, a été conçu pour être distribué gratuitement aux visiteurs et servir de souvenir après la visite. Etant donnée la matière très riche et dense des kakemonos (textes longs, nombreuses illustrations et cartes), ce matériel additionnel s'est avéré extrêmement bienvenu.

Livret pédagogique

En accord avec les buts du Geopark Chablais, l'exposition devait pouvoir être visitée par des scolaires. Il était donc prévu qu'elle soit accompagnée de livrets pédagogiques, pour des enfants entre 6 et 15 ans. Cette étape a été réalisée dans un second temps par N. Nugue (2012), assistante du géoparc. Nous n'avons pas du tout participé à ce volet, c'est pourquoi nous n'entrerons pas plus en détail sur ce sujet ici.

Sites et objets

L'appellation « site ou objet » d'un projet géotouristique peut s'appliquer à plusieurs éléments: lieu d'implantation d'un panneau didactique, périmètre considéré par une carte géologique simplifiée ou géosite. Dans tous les cas, il est recommandé de mener une réflexion sur le choix des sites et objets qui vont être représentés par le projet. Pour l'exposition sur le patrimoine glaciaire des trois Chablais, nous avons été confrontés à plusieurs problèmes qui sont venus contrevenir à ce choix. Par exemple, nous avons insisté pour faire figurer un maximum de sites locaux. Il aurait très certainement été possible de ne présenter que des images issues du Chablais, même pour les photographies avant / après, illustrant le retrait glaciaire, devenues des images classiques de l'évolution du climat (Dumoulin et al., 2010). Faute de temps, nous n'avons pas pu effectuer les recherches nécessaires pour retrouver des prises de vue anciennes. Nous avons donc eu recours aux collections personnelles, principalement celle de S. Coutterand. C'est pourquoi l'on voit apparaître dans l'exposition des glaciers chamoniards. Nous avons déjà abordé les problèmes de calendrier qui nous ont obligés à anticiper le travail du photographe. Finalement, il faut souligner que nous n'avons eu aucune contrainte d'ordre politique sur le choix des sites, situation qui peut pourtant survenir dans des projets de ce type (Perret et al., 2013b).

6.2.3. Réalisation (étape 3)

Nous avons déjà en partie exposé les éléments qui concernent la réalisation de l'exposition. Quelques précisions sont cependant nécessaires. Tout d'abord, l'équipe engagée sur cette exposition était constituée de cinq personnes (coordination, contenu scientifique, *designer* / scénographe), deux photographes, un comité scientifique et trois entreprises (réalisation des postes d'expérimentation et impressions) (Tab. 6.2). Au total, elle aura donc nécessité l'intervention d'une quinzaine de personnes, toutes tâches comprises[7].

Bien qu'amorcée en décembre 2010, la conception de l'exposition n'a véritablement débuté qu'en avril 2012, date de la première réunion, réunissant les scientifiques (S. Coutterand, A. Perret), le designer (Ph. Ducret) et la coordinatrice (N. Nugue). Les divers travaux étaient échelonnés sur 12 semaines, avec une inauguration fixée en juillet 2012. La phase de rédaction des textes et de production de toutes les cartes et schéma a duré 6 semaines. Ce laps de temps que nous avons vécu comme extrêmement court, nous a obligés à utiliser un maximum de matériaux déjà prêts et qui n'étaient, par conséquent, pas réalisés spécifiquement pour l'exposition (pas à destination du public cible, par exemple). Trois réunions formelles ont rassemblé les protagonistes principaux alors que quelques séances de travail supplémentaires ont été nécessaires, notamment pour l'intégration des (nombreuses) corrections

7 Hormis la phase de montage du projet Interreg que nous n'abordons pas ici.

apportées aux textes au fur et mesure des relectures. La relecture par le comité scientifique a été l'occasion de constater que les experts sont souvent en désaccord et qu'il est extrêmement difficile de respecter tous les avis.

Tâche	Personne / entreprise
Conception	A. Perret, N. Nugue, A. Guyomard
Coordination	N. Nugue
Textes, cartes, schémas	S. Coutterand, A. Perret
Photographies	A. Berger, C. Marchitto
Relectures, corrections	Comité scientifique du Chablais Geopark, N. Nugue, A. Perret
Design et scénographie	Philippe Ducret (Philéas Design)
Postes d'expérimentation (construction du mobilier)	Maquette 74 (sous-traitance)
Impressions (catalogue et flyer)	DocFactory (sous-traitance)
Impressions (kakemonos et livret pédagogique)	Buroplan (sous-traitance)

Tab. 6.2 : Tableau des tâches et du personnel affecté à la réalisation de l'exposition.

Au final, le choix des scénarios et des thématiques de chacun des kakemonos, effectué un peu moins de deux ans plus tôt, n'ont pas été remis en cause. Seuls les intitulés ont légèrement changé pour plus d'attractivité. Il faut mentionner également l'impact très fort de la mise en forme, travail effectué par le designer, sur le produit final (Fig. 6.7).

6.3. Résultats et discussion

6.3.1. Retour d'expérience

Nous aimerions rapporter ici quelques points qui relèvent de notre expérience personnelle, quant aux problèmes rencontrés durant cette période d'élaboration de l'exposition. Ils nous apparaissent aujourd'hui liés principalement aux contraintes exercées par le cadre matériel (le calendrier, principalement) et par les compétences de l'équipe affectée au projet, plus précisément au décalage que nous avons ressenti entre nos souhaits (méthodes, contenus) et ce qui a effectivement été réalisé pour cette exposition.

La plus grande difficulté que nous avons rencontrée tient à l'absence de professionnel de la médiation qui aurait pu guider la production des différents éléments (textes, cartes, schémas) et leur organisation sur les supports prédéterminés. Notre rôle dans cette exposition était, nous l'avons déjà évoqué, d'apporter la matière scientifique de l'exposition, mais également les thématiques qu'elle devait aborder. Il n'était pas dans nos attributions de gérer l'interprétation de ce contenu scientifique. Malgré tout, nous avions quelques idées de méthodologie, issues du travail amorcé au sein du groupe Relief (Martin et al., 2010), mais manquions alors d'expérience pour tenter d'orienter le travail dans cette direction. Nous reviendrons sur ce qu'implique ce manque de réflexion quand à l'interprétation du patrimoine glaciaire un peu plus loin. Il est également particulièrement difficile de prendre du recul sur son travail lorsque celui-ci doit présenter le contenu scientifique de sa thèse. Un épisode anecdotique s'est avéré assez révélateur sur le sujet : l'inauguration de l'exposition était annoncée, entre autre, par un flyer. L'équipe au complet a été consultée pour le choix d'une image qui apparaîtrait en premier plan

de ce flyer. Fouillant dans notre corpus de photographies, nous avions choisi deux images qui représentaient pour nous, le patrimoine glaciaire du Chablais. Notre préférence, en accord avec S. Coutterand, allait au bastion morainique du glacier Noir de Salanfe (Fig. 6.8. A). Le designer a donc préparé un flyer avec cette image. Pour tester l'impact de ce flyer sur le public, N. Nugue a demandé à quelques-unes de ses connaissances ce que leur évoquait cette image. Leur réponse a été extrêmement tranchée. Aucune d'entre elle n'a fait le rapprochement entre les « gravats » et le glacier. Les moraines, paysage minéral, leur évoquaient une contrée aride. A ce moment là du processus de création de l'exposition, autant S. Coutterand que moi-même étions incapables de distinguer notre propre intérêt pour le relief glaciaire de l'intérêt ou de la sensibilité du public. Il est ressorti de ce test informel que le flyer devait montrer un glacier s'il voulait attirer son public.

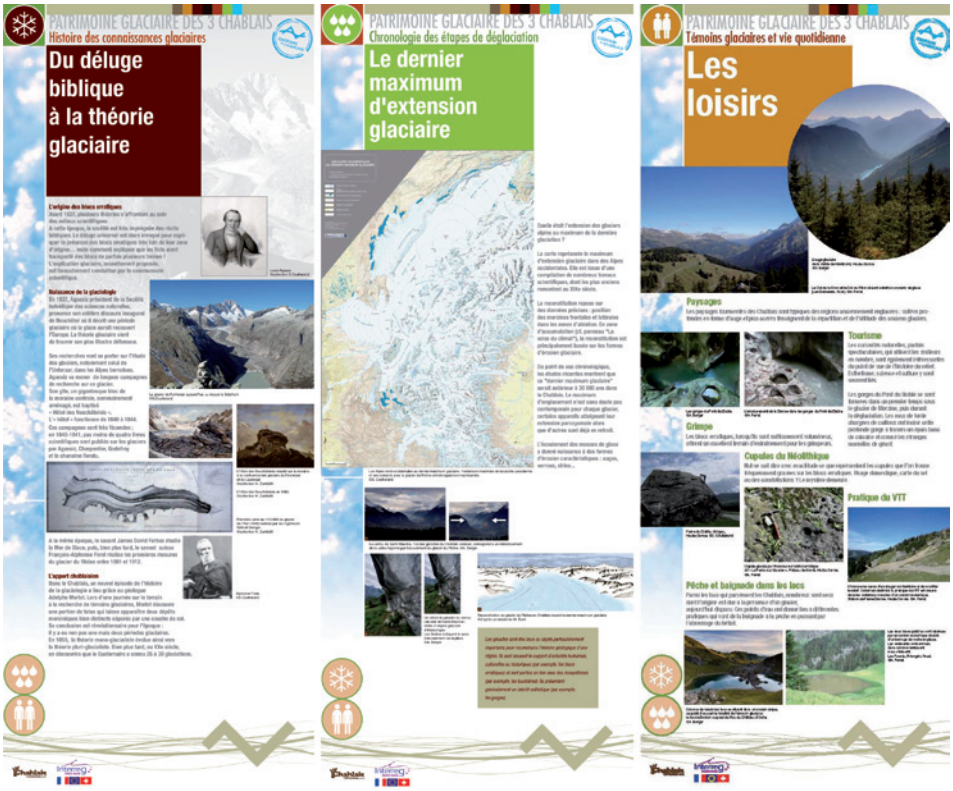


Fig. 6.7 : Trois exemples de kakemonos, un pour chacun des scénarios de l'exposition. A. Histoire des connaissances glaciaires. B. Chronologie des étapes de déglaciation. C. Témoins glaciaires et vie quotidienne. Grâce au travail du designer, les scénarios sont reconnaissables à leur couleur et à leur pictogramme.

La seconde difficulté relève du respect de la ligne que nous avions fixée pour l'exposition, c'est-à-dire la focalisation sur un sujet local. Le manque de temps et de moyens financiers pour rassembler ou créer des illustrations pertinentes (représentant des exemples locaux et non des sujets classiques) nous a obligée à ajouter des images hors contexte. C'est par ce biais que sont apparus, au milieu des images du Chablais, des glaciers chamoniards et des schémas réalisés dans d'autres contextes.

La troisième difficulté est liée au manque de ressources. Il nous semblait absolument essentiel de faire la part belle à la thématique « témoins glaciaires et vie quotidienne ». Les spécialistes de l'interprétation ne nous contrediraient pas sur ce point. Il faut établir un lien entre le visiteur et l'objet de l'interprétation, sous peine de ne rien lui apporter du tout (Moscardo, 2003; Tilden, 2007; Giordan & De Vecchi, 2010). Les cinq sujets dégagés pour leur implication sur le territoire offraient, selon nous, un fort potentiel d'accroche et présentaient l'avantage d'entretenir des liens variés avec les témoins glaciaires (processus différents, matériaux différents, acteurs différents, etc.). Sur ce point notre regret principal est de n'avoir pas pu faire appel à des apports extérieurs. Nous aurions en particulier voulu proposer des témoignages d'acteurs locaux directement concernés par ces thématiques (par exemple, des exploitants viticoles).

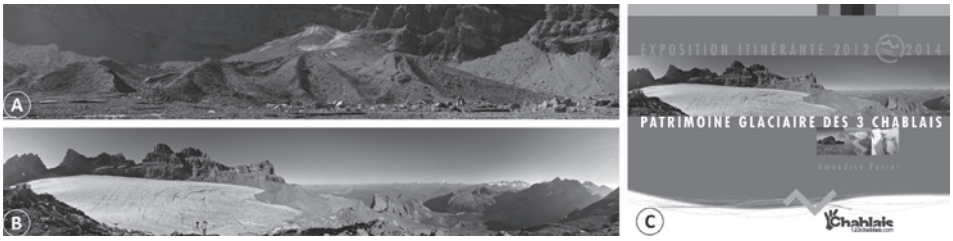


Fig. 6.8 : Choix des images pour le flyer de l'exposition sur le patrimoine glaciaire des trois Chablais. A. Bastion morainique du Glacier Noir, cirque de Salanfe. B. Glacier de Plan Névé, cirque de Salanfe. C. Couverture du catalogue d'exposition, sur le modèle du flyer. Photographies C. Marchitto.

La dernière difficulté est d'avoir eu à collaborer avec un autre scientifique spécialiste du domaine En effet, S. Coutterand a été engagé pour réaliser les textes et les figures de l'exposition. Engager un spécialiste pour mettre en valeur le travail d'un autre spécialiste était relativement maladroit dans ce contexte (Nugue, 2012). En effet, un scientifique n'est pas vierge d'idées propres et de conceptions personnelles sur sa spécialité. Croire que le contenu scientifique d'une exposition est nécessairement exempt de points de vue est une erreur. Chaque spécialiste apporte au contraire une interprétation de son sujet qui résulte de ses lectures, de ses expériences, de ses échanges avec d'autres spécialistes et de ses propres constructions intellectuelles. Or pour baser son travail, S. Coutterand n'avait à disposition quasiment aucun texte qui pouvait rendre compte des résultats des recherches sur le terrain effectuées dans le cadre de cette thèse, pourtant spécifiquement appliquée au territoire couvert par l'exposition. A cause de l'état d'avancement de nos propres travaux et du manque de temps pour pouvoir véritablement collaborer à la constitution du contenu de l'exposition, ce dernier résulte d'un compromis très rapidement établi et de nombreux renoncements

Nous étions d'autant plus sensible à cet aspect que l'exposition serait signée exclusivement A. Perret (Fig. 6.8).

6.3.2. Impressions des visiteurs

L'exposition est proposée au public chablaisien depuis le 17 juillet 2012. Elle a été exposée dans huits salles différentes, en Suisse et en France, pour des durées de 1 à 7 mois. Le catalogue a rencontré un vif succès, accentué certainement par le fait qu'il était tout d'abord distribué gratuitement. Il est actuellement épuisé et le SIAC étudie la possibilité de le rééditer. Bien que nous ne disposions d'aucun chiffre relatif à la fréquentation, nous pouvons tout de même affirmer que l'exposition a attiré des visiteurs. En l'absence d'enquête sur les caractéristiques de ces visiteurs, leur satisfaction ou encore leur perception avant/après la visite, il est assez hasardeux de tirer des conclusions sur l'impact du produit géotouristique. Grâce aux nombreuses impressions recueillies par la coordinatrice de l'exposition qui est également responsable de la gestion de son itinérance, nous pouvons cependant esquisser quelques réflexions sur ses points forts et ses points faibles, tels qu'ils nous ont été rapportés (Nugue, 2012; Perret et al., 2013a). Nous mettons en lien chacun de ces points avec la méthode AGM (Martin & Regolini, 2013; Martin et al., 2010) afin d'en tirer des enseignements pour l'élaboration de produits similaires.

Une exposition trop dense

Tout d'abord, une impression qui survient en entrant dans la salle : l'exposition est trop dense. En particulier, les textes prennent trop de place sur les kakemonos. L'ensemble manque d'espace vide, comme si on avait voulu éviter que l'esprit du visiteur ne vagabonde. Evidemment, tel n'était pas notre but, au contraire. Malgré un effort réel des rédacteurs pour réduire le volume de texte, ce dernier reste trop riche, trop descriptif et donc trop long. En réalité il ne suffit pas d'écrire un texte (scientifique), de l'expurger de son vocabulaire spécifique, puis de le condenser, méthodologie que nous avons appliquée spontanément. A notre avis, le pôle concerné par cette difficulté est le **message** dans son double aspect : la **substance** qui n'était pas assez bien définie et la **forme** qui n'a pas pu être adaptée en conséquence. Nous pensons que le résultat voulu aurait été mieux approché en adoptant une méthode différente qui aurait consisté à établir des objectifs de communication (par panneau, voire par famille de panneaux) et d'élaborer des textes d'emblée plus courts.

Conséquence de cette matière trop abondante, pas assez travaillée, les textes et illustrations descendent trop bas sur le kakemono, obligeant le lecteur zélé à plier le genou pour prendre connaissance de toute l'information proposée. Nous sommes là devant un problème d'adéquation entre le **média** dont nous n'avons pas assez bien cerné les limites matérielles et la **forme du message**, que nous n'avons pas réussi à épurer, malgré les injonctions de notre coordinatrice et les relectures successives. Les conséquences de cette mauvaise gestion de l'espace à disposition sont que, si le visiteur ne renonce pas simplement à entreprendre la lecture des kakemonos (Martin, 2013, p. 76), la matière située trop bas reste ignorée, étant située en zone de non lisibilité.

Des postes d'expérimentation inadaptés

Les postes d'expérimentation étaient le volet le plus attractif de cette exposition ; il se sont révélés les plus difficiles à mettre en place. Le résultat obtenu reflète, selon nous, ces difficultés. Deux problèmes majeurs ont été constatés par les responsables des lieux d'exposition. Premièrement le matériel est trop fragile. Un des mécanismes n'a d'ailleurs pas survécu à l'inauguration. Deuxièmement, les postes d'expérimentation n'attirent pas les adultes, alors qu'ils ont été conçus à taille adulte. Le premier problème tient principalement au manque de compétence au sein de l'équipe qui n'a pas pu jouer son rôle de maître d'œuvre auprès du fabriquant maquettiste, et ce, bien que des visites à l'atelier aient été organisées pour le suivi des travaux. Le **média** que nous souhaitions utiliser n'était pas suffisamment bien conçu. Le second problème semble révéler une mauvaise adéquation entre le **média** et le **public visé**. Plusieurs facteurs pourraient être impliqués et une étude plus approfondie donnerait certainement des pistes. Ce que nous pouvons proposer ici en première analyse est la perte de vue progressive du public-cible de notre exposition, au fur et à mesure de sa conception et face aux difficultés que nous avons eu à imaginer des postes d'expérimentation. En effet, il a été particulièrement ardu d'imaginer comment nous pouvions proposer de l'interactivité pour les thématiques « cheminées de fée » et « dynamique glaciaire ». Les propositions qui combinaient budget, robustesse, simplicité et absence d'entretien se sont finalement montrées assez pauvres.

Des géosites mal situés

Une des remarques formulées nous a particulièrement surprise. Les visiteurs, attirés par les images de qualité professionnelle, pour la plupart, grâce auxquelles nous présentions des géosites glaciaires, ont regretté que ces derniers n'aient pas été plus précisément situés, sur une carte par exemple, de façon à pourvoir se rendre sur les sites, suite à la visite de l'exposition. Il pourrait s'agir ici d'un problème de **forme du message**. En effet, un des éléments constitutifs d'une médiation est la part d'information factuelle à destination du visiteur (Regolini, 2012), qui lui permet de s'orienter dans un produit touristique ou didactique. Or, nous pensions, à tort, qu'un public local pourrait localiser les sites grâce aux lieux-dits que nous avons indiqués systématiquement en accompagnement du type géomorphologique (p. ex. cirque glaciaire de Salanfe, lac de barrage morainique de Damoz des Moulins, etc.). Nous avions perdu de vue que même Chablaisiens, les locaux n'étaient pas forcement coutumiers des zones de montagne où se situent une bonne partie des géosites présentés. De plus, les Chablaisiens suisses connaissent souvent mal le Chablais français et vice versa. Nous avions imaginé que le fait d'indiquer les emplacements des géosites sur les cartes de stade serait suffisant pour permettre aux visiteurs de se faire une idée de leur localisation. Bien que ne sachant pas précisément quels sites ont fait l'objet de ces remarques, nous pensons avec un peu de recul que ces cartes sont trop éloignées de la réalité vécue des visiteurs pour qu'ils puissent s'en servir comme repères. Dans le cas d'une exposition qui inviterait à la découverte de sites particuliers, un petit guide à emporter indiquant les accès constituerait un bon support et comblerait le manque d'information constaté. Il aurait été assez aisé d'insérer ce genre de contenu dans le catalogue d'exposition.

Des cartes de stades glaciaires pour évoquer la dynamique du retrait glaciaire

Les cartes de stades glaciaires ont été particulièrement appréciées du public. C'est également un élément qui avait fait l'unanimité dans notre comité de pilotage scientifique sur la manière de représenter la dynamique glaciaire régionale. Les cartes, dans ce contexte, sont des éléments de **média** (Regolini, 2012). Nous pensons que ce succès est dû principalement à deux aspects. Premièrement, ces cartes constituent un élément esthétique des kakemonos. Or l'esthétisme ou le « sens du beau » participe de façon déterminante de l'expérience d'un visiteur découvrant une exposition (Rodrigues Barbosa, 2003), par l'intermédiaire de l'émotion qu'il suscite. Cette émotion ressentie permet au visiteur d'établir un lien entre ce qu'il visite et sa propre expérience vécue. Lorsqu'il aura quitté le lieu de la visite, c'est de cette expérience dont il se souviendra. Le fait que les visiteurs aient trouvé ces cartes attractives montre une bonne adéquation du média avec le public. Deuxièmement, la succession des cartes, bien que physiquement statique, propose une vision évolutive dans le temps. Le visiteur est ainsi amené à faire travailler son imagination pour lier entre elles ces cartes (ces visions du territoire) pour recréer la dynamique glaciaire. Cet effet est maximisé si la disposition dans les différentes salles permet d'exposer côte à côte les kakemonos contenant les cartes. En effet, pour être lues comme continues, il faut impérativement que les objets à lier soient proches dans l'espace et placés dans le bon ordre (Bitgood, 2000), afin de minimiser l'effort mental fourni par le visiteur (Ham, 2007) et de maximiser les possibilités d'imagination (Bitgood, 2000). Cette continuité a été assurée dans les salles d'exposition, ce qui a pu contribuer au succès des cartes. Nous concluons ici que les cartes de stades sont un média adapté la transmission du message du retrait glaciaire.

Une bonne compréhension générale du public

Malgré tous les points problématiques que nous avons soulevés, l'impression générale des visiteurs est positive, voire très positive dans le cas d'un public sensibilisé[8]. D'une part, les textes sont jugés accessibles par les personnes qui ont pris le temps de lire l'exposition. Nous avons effectivement attaché de l'importance au style du texte. Même si ce travail n'a pas été réalisé avec beaucoup de rigueur, les efforts semblent avoir été fructueux. La bonne qualité des photographies a également été remarquée et semble avoir participé à la demande formulée d'informations supplémentaires pour la découverte du patrimoine *in situ*. D'autre part, le graphisme est attrayant. Il s'agit ici du travail essentiel de mise en forme du message fait par un professionnel : taille des titres, contraste des couleurs, etc. Plusieurs ouvrages proposent des pistes pour augmenter l'attractivité des supports d'exposition, notamment, dans le cadre de musées et d'expositions (voir

8 Nous avons eu l'occasion de faire visiter cette exposition à trois reprises, deux fois lors d'inaugurations (en France à la maison du Val d'Abondance, puis en Suisse au Musée historique du Chablais à la Porte du Scex, Vouvry) et une fois dans le cadre d'une semaine d'excursion de l'Association Française de l'Etude du Quaternaire (AFEQ). Nous considérons ce public comme averti. Lors de la première inauguration, nous avions une bonne représentation des guides interprètes du patrimoine (avec formation en géologie) ; la seconde rassemblait des membres de l'association du musée historique du Chablais (un public intéressé par les expositions en général,) et pour la dernière, les visiteurs étaient des spécialistes du Quaternaire.

par exemple Moscardo et al., 2007). Cette maîtrise de la signalétique a permis une bonne compréhension par le public des trois thématiques proposées.

6.4. Conclusion du chapitre valorisation

L'exposition sur le patrimoine glaciaire des Chablais est un produit qui présente un certain nombre de défauts mais qui a le mérite d'avoir été accompli dans les délais impartis et malgré les difficultés rencontrées. Dans tous les cas, ce produit a rempli les attentes des acteurs du projet 123 Chablais. Nous pensons qu'il faut voir dans cette expérience un essai extrêmement enrichissant. Le recours à un professionnel de la médiation apparaît essentiel, d'autant plus que des travaux très complets ont été réalisés sur les différentes facettes des produits géotouristiques. Un intérêt particulier devrait être accordé au concept d'interprétation, qui, s'éloignant de la vulgarisation scientifique, repense la transmission des savoirs et semble plus apte à préparer cette transmission. Les phases préparatoires d'éveil de l'intérêt et de révélation du sens des choses semblent nécessaires à cette transmission et peuvent être facilitées par un recours plus général et systématique à l'interactivité (Wagensberg, 2003).

7. Conclusion générale et perspectives

Ce dernier chapitre est l'occasion de revenir sur les objectifs que nous avons proposés en introduction de cette thèse. Nous débuterons par une discussion sur notre proposition de départ de considérer ce travail comme une forme de processus de patrimonialisation. Nous verrons ensuite si nous avons pu répondre aux principales questions de recherche que nous avions posées et de quelle manière. Nous discuterons également des perspectives que nous entrevoyons dans chacun des volets abordés (Patrimoine, Quaternaire, Inventaire, Valorisation). Nous reviendrons sur certaines difficultés que nous avons rencontrées, en lien principalement avec l'aspect appliqué de cette recherche.

7.1. Retour sur les objectifs de recherche

Ce travail répond en partie à un programme de développement territorial. Plusieurs objectifs étaient donc fixés dans le projet de thèse initial, dans des domaines relativement éloignés (sciences naturelles et sciences sociales), mais assez clairement circonscrits à la question du géopatrimoine. Face à la très grande similitude que nous avons pu constater entre les différentes missions qui nous étaient assignées (connaissance objective, inventaire, valorisation) et les étapes clefs du processus de patrimonialisation tel que synthétisé par G. Di Méo (2008) et J. Davallon (2002), nous avons choisi d'organiser ce travail comme une sorte de processus de patrimonialisation à échelle réduite. Le but de cette formalisation n'était pas d'affirmer que les objets de la géomorphologie sont susceptibles d'être considérés comme des objets du patrimoine, mais de tester, étape après étape, la cohérence des cette démarche et ses limites. L'avantage que nous en avons tiré est d'être parvenue à présenter des volets qui auraient pu être extrêmement disparates en une succession d'étapes qui se construisent les unes par rapport aux autres et se complètent.

7.1.1. Objectif 1 Géopatrimoine

Cet objectif de recherche, nous l'avons mentionné en introduction (chapitre 1), ne faisait pas partie du projet initial de thèse. Au fur et à mesure de nos discussions (collègues, amis, famille, milieux associatifs), nous avons ressenti le besoin d'éclaircir certains points conceptuels liés au patrimoine et aux objets des géosciences par rapport à ce concept dont l'évolution récente à fait éclater les limites (Heinich, 2009). Nous avons donc mené une sorte d'enquête littéraire afin de vérifier ce que concernait le terme de géopatrimoine.

Nous avons ainsi mis en évidence une sorte de double implication des sciences de la Terre par rapport au patrimoine. L'une place le chercheur au cœur d'un processus de patrimonialisation en cours, un peu particulier, parce qu'il est initié par une communauté de spécialistes (les géoscientifiques). Les motivations de ces spécialistes sont clairement exprimées (Giusti et al., 2013; Reynard & Coratza, 2013): il s'agit de protéger leurs objets d'étude, considérés comme des éléments à la fois environnementaux et culturels. Cette protection, pour devenir effective doit passer par une sorte de validation sociale afin d'acquérir un statut légal. Or, cette validation ne saurait être obtenue sans un effort de sensibilisation auprès du public, autorités politiques comprises. Nous avons parfois résumé cet enchaînement (sensibilisation, protection) en un transfert de connaissances entre le milieu scientifique et la société « civile ». Il nous apparaît, au terme de ce travail et après avoir abordé la question de la médiation scientifique (chapitre 6), que cette « communication » pourrait s'avérer plutôt complexe (Roqueplo, 1974). Si la finalité est bien la protection des objets abiotiques, nous pensons qu'une des motivations profondes du groupe social (les géoscientifiques) à l'origine du processus de patrimonialisation des objets des géosciences se rapprocherait plus de la transmission d'une vision du monde que de connaissances. Cette vision du monde serait aiguisée par un climat de crise ambiant, crise environnementale et sociale, mêlant de profondes modifications des milieux de vie aussi bien que des pratiques sociales. Plutôt que de rejeter cette motivation, nous pensons que les sciences de la Terre auraient avantage à en interroger les fondements et à en explorer les liens avec la société. En effet, les recherches, souvent empiriques, dans

le domaine de l'interprétation ont montré que la question d'un « sens profond des choses » était plus à même de susciter l'intérêt du public que tout autre discours technique.

La recherche qui est associée à ce processus de patrimonialisation en cours est orientée selon les étapes qui interviennent dans ce processus : amélioration de la connaissance objective, sélection et inventaire, valorisation et protection. Du fait de l'origine géoscientifique de cette démarche, il n'est pas étonnant que cette recherche soit orientée sur des objets définis dans le cadre de ces sciences (un affleurement, un cirque, une collection de fossiles). Il n'est pas étonnant non plus que les valeurs associées à ces objets pour juger de leur niveau d'importance (par exemple, dans un contexte de protection) comportent une forte composante géoscientifique. La question qui se pose au-delà de ces constatations est de savoir si, une fois dépassé le cercle restreint des géoscientifique, les valeurs associées au géopatrimoine pourront être reconnues par un groupe social plus large. Un élément de réponse est certainement à chercher dans l'essor récent des géoparcs, projets territoriaux au sein desquels le géopatrimoine est envisagé en termes de ressource et doit servir de base à un développement économique local et durable. La double implication que nous avons évoquée plus haut apparait dans les deux casquettes que se doit de revêtir le scientifique impliqué dans ce processus. Il est, d'une part, un des acteurs de la patrimonialisation, comme nous l'avons expliqué, et d'autre part, en prenant du recul, il peut se voir et interroger son activité en utilisant le champ du patrimoine pour essayer d'en comprendre la dynamique. C'est sur la base de cette double implication que nous avons souhaité mener cette recherche.

Question 1.1. Quelles sont les conditions qui pourraient nous permettre de parler de patrimoine glaciaire au sujet des témoins glaciaires chablaisiens ?

A la lumière de ce que nous avons proposé plus haut, nous répondons à cette question en utilisant la casquette d'observateur. Que se passe-t-il dans le Chablais autour des témoins glaciaires (et des objets des géosciences en général ?), quels en sont les acteurs impliqués et les actions qui en émergent ? Selon nous, il s'agit bien d'un processus de patrimonialisation en cours, dont cette recherche serait une sorte de modèle réduit. La dynamique la plus forte en est centrée sur le Chablais français, qui porte le projet de géoparc (chapitre 3), mais a trouvé des échos au niveau des territoires voisins (Chablais valaisans et vaudois, pour le projet 123 Chablais) et des appuis techniques dans deux Universités au sein desquelles ces thématiques sont développées (l'Université de Savoie à travers le laboratoire EDYTEM et l'Université de Lausanne à travers l'Institut de géographie et durabilité). Actuellement et malgré cette dynamique, il semblerait que l'intérêt porté aux témoins glaciaires ne puisse être qualifié de patrimonial qu'au niveau des acteurs impliqués dans le processus, c'est-à-dire un groupe encore relativement restreint et spécialisé. C'est du moins ce que suppose l'important effort de médiation entrepris par le Geopark Chablais (expositions, livrets, livres, géoroute, formation des AMM, évènements en lien avec la géologie, etc.) pour sensibiliser la population locale et touristique à cette ressource régionale. La création d'un géoparc et son acceptation au sein de l'EGN nous apparaît comme un signe probant de reconnaissance patrimoniale, mais ne suppose pas forcément que cette reconnaissance ait gagné l'ensemble de la population chablaisienne. Il faut cependant relativiser cette notion de « patrimoine » et la replacer dans le processus de patrimonialisation tel qu'il apparaît à la lumière de nombreuses études de cas (Duval, 2007; Portal, 2010;

Gauchon, 2010; Pasquier, 2011). Est-il besoin, pour parler de patrimoine que l'ensemble de la société se sente concernée par les objets en question ? Est-ce que le patrimoine doit être synonyme de reconnaissance durable ? A notre sens, la réponse à ces questions est deux fois non. Les trajectoires patrimoniales sont caractérisées à la fois par une dynamique cyclique et par une succession de reconnaissance et d'oubli (Reynard et al., 2011 ; Cayla et al., 2012). Parler de patrimoine glaciaire au sujet des témoins glaciaires chablaisiens nous semble donc particulièrement approprié du moment que l'on considère ce concept comme un cadre ou une dynamique de recherche. Les témoins glaciaires chablaisiens seraient sur la pente ascendante du processus (Fig. 2.2 chapitre 2) en direction d'une reconnaissance sociale élargie (Geopark Chablais) dont on ne sait pas si elle aboutira à une reconnaissance institutionnelle ferme (textes de lois).

Cette question du processus de patrimonialisation, tel qu'il s'élabore au niveau des géoparc mériterait, selon nous une véritable recherche qui pourrait, par exemple, englober les différents territoires français engagés dans cette voie (Chablais, Bauges, Ardèche, Beaujolais, etc.). En particulier, il serait intéressant d'interroger les différents acteurs identifiés et la population locale et touristique afin de mieux cerner leur implication dans le processus et le degré de reconnaissance de ce type de patrimoine en fonction des différents groupes d'acteurs.

Question 1.2. Quelles sont les spécificités du patrimoine glaciaire chablaisien sur lesquelles s'appuyer dans un contexte de développement local ?

Cette question nous replace dans le rôle d'acteur du patrimoine. Il s'agit cette fois-ci de guider le développement local qui souhaite s'appuyer sur un type de patrimoine spécifique. C'est dans cette situation que la recherche prend une tournure appliquée, non pas par rapport aux méthodes mises en œuvre, mais aux réponses qui sont attendues. C'est là aussi que nous atteignons une limite ferme par rapport à ce travail. Nous n'avons pas du tout abordé les questions de développement local. Cette thématique nécessiterait un travail à part entière, mobilisant des outils économiques que nous ne maîtrisons pas. Nous avons cependant cherché à répondre à la première partie de cette question, à savoir quelles sont les spécificités du patrimoine glaciaire chablaisien. Les éléments de réponse sont à chercher dans les chapitres 3 « trois Chablais, un territoire » et 5 « inventaire de géosites » de ce travail. Pour résumer ici brièvement nos conclusions, nous aimerions souligner trois aspects qui nous semblent être des atouts et deux éléments qui nous apparaissent comme des faiblesses et qui mériteraient de mobiliser les efforts des interprètes locaux.

Tout s'abord, les témoins glaciaires chablaisiens bénéficient d'une longue histoire géohistorique. Cet aspect offre l'avantage d'apporter une dimension temporelle, à échelle humaine, à ce patrimoine glaciaire. Ensuite, et nous avons abondement insisté sur ce point, des liens, nombreux et étroits, peuvent être établis entre témoins glaciaires et vie quotidienne. Ces liens concernent principalement le domaine de l'exploitation des ressources naturelles, des loisirs et des risques. Certains géosites ont la particularité de mêler une dimension géohistorique et une interaction avec la société, par exemple, les collines de Chessel-Noville (interprétations scientifiques multiples et relation avec un évènement catastrophique historique). Enfin, et ceci a été utilisé dans notre méthode de sélection, les témoins glaciaires se prêtent particulièrement à une présentation chronologique et en système de formes génétiquement liés. Cette double extension, temporelle et spatiale, a été mise à

profit dans le cadre de l'exposition sur le patrimoine glaciaire des Chablais pour reconstituer une histoire des fluctuations glaciaires locales et pour recréer les liens entre témoins isolés et dispersés sur le territoire mais liés par un même agent (un glacier), aujourd'hui disparu. Ce produit de valorisation ne constitue pour le moment qu'un élément isolé et devrait être accompagné d'autres projets déclinés sur le même concept afin d'en renforcer le message et d'en assurer la lisibilité.

Le point faible des témoins glaciaires chablaisiens est très certainement leur discrétion dans le paysage (prédominance de formes végétalisées et atténuées, masquées par le relief ; absence de formes véritablement spectaculaires), sauf pour les sites d'altitude qui sont toutefois difficiles d'accès. Au moins aussi handicapant, ce patrimoine est en grande partie fossile. Un véritable travail d'interprétation doit donc être entrepris pour contourner ces difficultés. L'utilisation de médias visuels, notamment, pourrait offrir des outils particulièrement intéressants (Martin, 2013).

7.1.2. Objectif 2 Quaternaire chablaisien

Le second objectif de ce travail nous a dirigée vers d'épineuses questions de chronologie glaciaire. Il nous est apparu assez rapidement qu'il nécessiterait de prendre en compte un terrain plus large que le Chablais. Malgré les nombreuses études réalisées sur le sujet, un vaste travail reste à accomplir et devrait mobiliser encore quelques générations de chercheurs.

Question 2.1. Quelles sont les zones d'ombre de la connaissance glaciaire régionale et comment combler partiellement ces lacunes de connaissances ?

Nous avons essayé d'intégrer un maximum d'ouvrages dans notre étude bibliographique et surtout des travaux de disciplines différentes. Cette démarche nous a semblé essentielle dans un contexte de synthèse bibliographique. Elle nous a montré toute l'étendue des techniques et méthodes qui pouvaient améliorer la connaissance du Quaternaire. La spatialisation de cette information est apparue comme un outil intéressant de visualisation des « données », avec toutes les faiblesses que nous avons mentionnées (nombre relativement faible d'études spatialisées par rapport à la base d'ouvrages, non prise en compte de la qualité des études et représentation polygonale « lissante ») (chapitre 4). D'un point de vue spatial, des lacunes ont été identifiées en particulier à l'intérieur des massifs (Dranses, Dents du Midi, vallées des Avançons). En revanche, les régions de la plaine du Rhône et du bassin lémanique ont été abondamment étudiées et instrumentées, de sorte qu'un schéma morphostratigraphique cohérent semble se mettre en place, au moins pour le glacier du Rhône (et pour les glaciers des Ormonts). Ce schéma propose une déglaciation en une série de stades et de récurrences qui ont servi de base à l'élaboration des cartes de stades glaciaires que nous présentons dans l'exposition (chapitre 6). Une lecture plus détaillée de la littérature fait cependant apparaître des lacunes temporelles. Peu de datations sont actuellement disponibles dans la région et les données proposées dans la littérature ne permettent pas d'établir une correspondance avec d'autres secteurs concernés par le même appareil glaciaire, c'est-à-dire le glacier du Rhône.

Nous avons choisi de combler les deux types de lacunes à l'aide de cartographies géomorphologiques, de reconstitutions de la dépression de la ligne d'équilibre glaciaire (DLEG) et de datations sur blocs erratiques par l'intermédiaire des isotopes cosmogéniques produits in situ (SED). Il faut préciser ici que ces deux premières

méthodes ont été appliquées sur une petite partie du terrain, faute de temps. Pour une reconstitution plus précise et homogène des fluctuations glaciaires régionales, elles devraient être appliquées à l'ensemble du terrain, doublées d'études sédimentologiques sur les dépôts quaternaires qui se situent à l'intérieur des massifs et dont on ne sait actuellement presque rien, en particulier en ce qui concerne les Dranses (Plancherel, 1998).

Question 2.2. Comment améliorer la connaissance de la chronologie glaciaire régionale ?

Pour répondre à cette question, plusieurs stratégies auraient été possibles. Disposant d'un certain budget, nous pouvions envisager des techniques de datation relativement coûteuses. Nous avons finalement choisi de tester une méthode quasi inédite pour la région, des datations SED appliquées sur des blocs erratiques cristallins. Cette méthode offrait l'avantage potentiel d'apporter un éclairage nouveau en utilisant des témoins qui n'avaient pas été exploités jusqu'ici. Elle nous permettait également de comparer nos résultats avec d'autres études effectuées sur différents glaciers alpins. De notre point de vue, elle permettait de rester dans un domaine relativement connu de la géomorphologie glaciaire et dans lequel nous nous sentions relativement à l'aise. Notre travail s'est effectué en deux phases pour lesquelles nous avons élaboré des stratégies différentes. La première phase a consisté à repérer et à échantillonner des blocs susceptibles d'avoir été déposés soit lors d'une phase de retrait du dernier maximum glaciaire local (LLGM), soit lors du retrait du stade de Genève. Les résultats que nous avons obtenus se sont avérés particulièrement difficiles à interpréter, en raison de l'isolement des blocs échantillonnés. Si nous pensons avoir obtenu des résultats pour le retrait du LLGM (26'000 – 19'300 ^{10}Be BP), le stade de Genève, quant à lui, n'a pas été renseigné (échantillons inutilisables).

La seconde phase s'appuie sur une série de cordons morainiques très bien conservés dans la vallée du Rhône à l'amont du verrou de Saint Maurice. Malgré une étude relativement fouillée, les datations ne nous permettent pas de nous prononcer au niveau de détail que nous espérions, à nouveau en raison de la rareté des blocs erratiques utilisables pour les datations cosmogéniques. Nous retenons de cette seconde série de datations un stade, peut-être de relativement longue durée, maintenu au niveau du verrou de Saint-Maurice à une altitude relativement haute et dans le front devait se terminer dans un lac aux environs d'Aigle. La fourchette d'âges cosmogéniques proposée pour ce stade est de 17'300 – 11'300 ^{10}Be BP, ce qui doit être considéré comme une valeur minimale, le bas de la fourchette correspondant plus probablement à la période de stabilisation du cordon morainique.

En conclusion de cette tentative pour améliorer la connaissance de la chronologie glaciaire, nous devons admettre que cette méthode (SED) se prête relativement mal à notre terrain, en l'absence de morphologies présentant des blocs erratiques échantillonnables. Nous pensons que ces éléments devraient être renforcés par l'utilisation d'autres archives sur des sites dont l'agencement des dépôts et la morphologie sont bien identifiés. Les datations en cours sur les terrasses de Thonon (équipe de R. Vassallo, Université de Savoie) devraient apporter leur lot d'informations. Une réexportation des matériaux de forage de l'aquifère d'Evian pourrait également constituer une piste de recherche future. Bien que ce soit difficile sur la majorité des sites, le croisement des archives devrait être privilégié. Nous

pensons en particulier aux profils polliniques et paléomagnétiques qui peuvent être réalisés dans certains dépôts organiques et lacustres. La méthode OSL, quant à elle, n'a pas encore été tentée dans la région. Elle pourrait éventuellement être appliquée aux terrasses de Thonon.

Une des questions que nous considérons comme majeure reste ouverte. Il s'agit de savoir si les discordances dans la datation des fluctuations glaciaires à l'échelle d'un même appareil – le glacier du Rhône tel que redéfini par les travaux de Coutterand et al. (2009) – sont dues à un problème de comparaison de méthodes différentes de datation ou s'il s'agit de résultats obtenus sur des témoins d'époques différentes que l'interprétation morphostratigraphique classique peine à distinguer (variabilité des dépôts quaternaires). En résumé, est-il possible que le bassin lémanique ait connu deux extensions majeures sans que leurs traces aient été conservées de la même manière sur toute la surface d'extension du glacier du Rhône ?

7.1.3. Objectif 3 Inventaire de géosites

Cet objectif était l'occasion de tester deux aspects des inventaires, la sélection des géosites et l'intégration de valeurs d'usage. Nous avons proposé des éléments de conclusion dans le chapitre 5, exclusivement consacré à cet inventaire ; nous ne reprenons ici que quelques points.

Question 3.1. Quels sont les sites les plus propices à la valorisation du patrimoine glaciaire régional ?

Cet aspect a été en partie abordé sous la question 1.3. Selon nous, les sites qui allient les points forts du patrimoine local (intérêt géohistorique et lien avec la société) devraient être exploités en priorité, de même que les sites plus spectaculaires (ou esthétiques). Le recours aux réseaux de sites, qu'ils soient liés d'un point de vue temporel ou spatial (morphogénétique), aussi bien que le fait de privilégier des complexes ou systèmes géomorphologiques, nous semblent être des propositions intéressantes sur lesquelles baser l'élaboration de produits de valorisation du géopatrimoine local. Cependant, ces pistes ne constituent qu'un aspect de la valorisation et ne permettent pas de définir, par exemple, ce qui pourrait constituer l'intérêt didactique d'un site (ou d'un réseau de sites). Nos essais pour introduire un critère de lisibilité, par exemple, ont montré à quel point cette notion est délicate. Nous pensons qu'une partie de la réponse à la question 3.1. ne se situe pas au niveau des sites eux-mêmes mais plutôt dans l'élaboration des médiations, lesquelles nécessitent de mener des recherches plus poussées sur la didactique des géosciences (Kozlik, 2014).

Question 3.1.1. Comment réaliser une sélection qui satisfasse aux principales attentes du projet : transparence de la méthode et intérêts des acteurs du développement local ?

La sélection du patrimoine reste une étape difficile à justifier. Dans un contexte où seul un nombre très restreint de sites doit être extrait d'un grand nombre de « candidats », nous avons proposé de privilégier une approche mixte (intégrale et spécifique), dans la mesure du possible, ou au contraire une approche clairement spécifique. Dans ce dernier cas, l'inventaire est à considérer comme un inventaire à thème. Le point central de cette question demeure cependant dans la conception des inventaires qui doivent être considérés comme des outils, répondant à des

objectifs spécifiques et élaborés en fonction de l'utilisation que l'on souhaite en faire. Un véritable travail de conception doit donc être effectué à la base de toute nouvelle démarche, afin de définir le type de sélection choisie, les valeurs et critères considérés et le type d'évaluation adéquate. Selon la même idée, il est souhaitable de considérer un inventaire comme une image ayant une validité limitée et dont le contenu doit être mis à jour pour correspondre à la réalité du terrain. En alliant transparence des méthodes utilisées (sélection, évaluation) et adaptation au contexte, les auteurs d'un inventaire devraient pouvoir en maximiser l'utilité.

Question 3.1.2. Comment mieux prendre en compte les valeurs d'usage des géosites dans la procédure d'évaluation des géosites ?

Cette question nous est apparue comme intimement liée à une meilleure définition des valeurs qui sont attribuées aux géosites. Dans une optique de gestion, des « valeurs » d'usage doivent être intégrées à l'inventaire, voire évaluées. Il faut cependant distinguer clairement les éléments qui constituent la valeur patrimoniale d'un site (scientifique, additionnelles), que nous considérons effectivement comme des valeurs, des éléments qui sont plutôt de l'ordre des caractéristiques des géosites et dont la définition est utile dans une optique de gestion : caractéristiques d'usage (par ex. conditions de visite, intérêt didactique) et besoin de protection.

7.1.4. Objectif 4 Médiation

Cet objectif a été concrétisé par l'élaboration d'une exposition itinérante (2012-2014) sur le patrimoine glaciaire des Chablais (chapitre 6). Nous avons exposé de façon relativement détaillée la préparation de cette exposition et avons proposé une lecture des phases d'élaboration selon la méthode AGM (approche globale de la médiation) (Martin et al., 2010; Martin & Regolini, 2013). Un retour partiel de la part des visiteurs nous permet de dégager quelques points forts et points faibles de ce produit de valorisation géotouristique et géodidactique ; cependant, nous retenons de cette expérience plus de questions ouvertes que de réponses.

Question 4.1. Quelles stratégies peuvent-elles être développées pour l'élaboration d'un produit de médiation du géopatrimoine local ?

Nous avons résumé sous la question de recherche 1.3. les spécificités du patrimoine glaciaire chablaisien. Il nous semble que ses points forts et points faibles constituent déjà des éléments de réponse à cette question 4.1. En effet, une stratégie de valorisation devrait s'appuyer sur les spécificités du patrimoine local, ne serait-ce que pour proposer des produits spécifiques et originaux. Outre cette remarque de bon sens, nous pensons qu'un travail sérieux devrait être entrepris, avant toute nouvelle production à destination du public, afin de cerner son profil, ses connaissances, ses conceptions, ses attentes et intérêts. Dans le domaine de la médiation scientifique, il semblerait que la méconnaissance du public (Roqueplo, 1974) reste un fort handicap. Quelques études permettent de dégager des lignes de conduite (Regolini, 2012; Regolini & Martin, 2012; Martin, 2013), notamment sur les éléments qui sont véritablement vus par les non scientifiques, mais elles demandent à être complétées. Nous sommes actuellement encore bien loin d'être en mesure d'appréhender l'impact de la médiation scientifique des géosciences sur la population.

7.2. Conclusion et perspectives

Il nous est relativement difficile de conclure ce travail en proposant un point de vue d'ensemble du patrimoine glaciaire chablaisien, aussi nous revenons brièvement sur deux points qui nous tiennent à cœur. Le premier concerne l'interdisciplinarité telle qu'elle a été pratiquée dans ce travail, le second, une question ouverte sur la médiation des géosciences et des sciences en général.

7.2.1. Articulation de la connaissance objective et de l'identification du géopatrimoine

Les différentes missions affectées à cette recherche étaient clairement multidisciplinaires. Pour couvrir les champs du géopatrimoine au Quaternaire et aboutir à un produit de valorisation, il était évident que nous allions devoir investir les champs des sciences sociales (géographie humaine et médiation) et des sciences naturelles (géomorphologie, géologie). Est-ce que cette multidisciplinarité peut-être envisagée en termes d'interdisciplinarité ? Peut-être, mais seulement dans une certaine mesure. Les recherches sur le Quaternaire répondent à des logiques de terrain. Les objectifs de datation ou de cartographie sont dictés par la dynamique des éléments naturels. A contrario, les recherches sur le géopatrimoine sont dictées par des logiques de société. Même si la base en est constituée d'objets naturels, les intérêts qui guident un processus d'inventaire peuvent être très nettement définis par des besoins d'acteurs (valorisation, didactique, gestion de la ressource). Il nous semble donc problématique de vouloir faire coïncider une amélioration des connaissances en fonction des objets du géopatrimoine. Une telle stratégie, dans le domaine des fluctuations glaciaires reviendrait à segmenter ou à individualiser des éléments qui doivent être envisagés en systèmes. Il faut donc convenir que l'interdisciplinarité, dans cette recherche ne fonctionne que dans le sens de la connaissance objective vers le géopatrimoine et non l'inverse. Il ne s'agit donc pas réellement d'interdisciplinarité. Cette réflexion nous permet d'expliquer en partie notre difficulté à produire un travail dont les calendriers se chevauchaient. Un grand nombre de missions de terrain ont été, par exemple, consacrées à l'établissement de cartes géomorphologiques. Ces cartes n'ont pu servir que partiellement dans la partie inventaire, dont la sélection n'a pas forcément retenu les sites qui avaient fait l'objet de cartographies.

7.2.2. La médiation du géopatrimoine

Tout au long de ce travail nous n'avons pas clairement établi de différence entre la médiation du géopatrimoine et la médiation des géosciences; or, les travaux sur la vulgarisation scientifique tendent à distinguer ces aspects, postulant, par exemple, que la science ne se transmet pas mais se pratique (Roqueplo, 1974). C'est notamment face à ce type d'interrogation que nous avons proposé que les géoscientifiques étudient plus précisément la vison du monde qui est devenue la leur en intégrant le monde des géosciences et en se familiarisant avec ses objets, ce qui leur permet de les « voir » (Lenclud, 1995) (cf. plus haut Question 1). Dans son travail sur la médiation des géoscience S. Martin (2013) propose de considérer une définition élargie du géopatrimoine, c'est-à-dire, enrichie de valeur « populaires ». Cette proposition suppose que nous soyons en mesure de reconnaître ces valeurs qui pourraient être foncièrement différentes des valeurs définies dans les

milieux scientifiques. Elle propose donc une communication à sens inverse de la vulgarisation : de la société « civile » vers les scientifiques. Dans une même optique d'amélioration de la communication science-société, nous avions envisagé, tout au début de ce travail, d'étudier la possibilité d'introduire l'incertitude dans les cartes de stades que nous devions établir pour l'exposition itinérante. L'objectif de cette recherche aurait été de présenter une science en évolution, et peut-être des questions de recherche plus que des résultats scientifiques. Cette prise de distance par rapport à l'objet cartographique nous semble d'ailleurs tout aussi importante dans un contexte scientifique. En effet, les contours attribués aux glaciers représentés sur les cartes résultent le plus souvent d'hypothèses et ne peuvent proposer qu'une interprétation des extensions glaciaires, avec par exemple, tous les problèmes liés à la synchronicité des réponses glaciaires aux modifications climatique. Cette question de la représentation de l'incertitude nous semble toujours aussi intéressante et mériterait certainement que l'on y consacre un travail de recherche.

Annexes

Les annexes sont disponibles en téléchargement, via le site web de l'IGD ou auprès de l'auteure.

1. Liste des ouvrages, étude bibliographique spatialisée (Fig. 4.1)

2. Cartes géomorphologiques (14 cartes)

    01 Plagnes-Cubourré (HS)
    02 Pertuis (HS)
    03 Recon - Chetillon - Croix - Eusin (VS)
    04 Savalène (VS)
    05 & 06 Antème - Soi (VS)
    07 Nant (VD)
    08 Paneirosse (VD)
    09 Salanfe (VS)
    10 Dreveneuse (VS)
    11 Bise & Darbon (HS)
    12 Novel
    13 Entre la Reille (VD)
    14 Fond de L'Hongrin (VD)

3. Lise des points d'intérêt glaciaires (101 sites)

4. Inventaire des géosites glaciaires et associés des Chablais (150 pages)

Bibliographie

Agassiz, L. (1840). *Etudes sur les glaciers*. Neuchâtel, Soleure: Jent et Gassmann.

Ammann, B., & Lotter, A. F. (1989). Late-glacial radiocarbon and palynostratigraphy on the Swiss Plateau. *Boreas*, *18*, 109–126.

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

Arn, R., & Campy, M. (1990). Un problème de paléogéographie glaciaire au maximum würmien dans la zone circumalpine: le glacier jurassien. *Bulletin de la Société neuchâteloise des sciences naturelles*, *113*, 115–131.

Arn, R., Moscariello, A., Nicoud, G., & Schoeneich, P. (s. d.). *Le « stade lémanique »* (Rapport non publié). Groupe de travail Quaternaire lémanique.

Arn, R., Moscariello, A., Nicoud, G., & Schoeneich, P. (1996). *Excursion « stade lémanique »*. Livret-guide. S-Quat Groupe suisse du Quaternaire.

Aubert, D. (1965). Calotte glaciaire et morphologies jurassiennes. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, *58*(1), 556–578.

Aubert, D. (1989). La protection des blocs erratiques dans le canton de Vaud. *Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles*, *79*(3), 185–205.

Audétat, M., & Heiss, G. (2001). *Inventaire spéléologique du Jura Vaudois, partie ouest*. La Chaux-de Fonds: Publication de l'Académie suisse des sciences naturelles.

Badoux, H. (1960). *Monthey : topographie: carte nationale 1:50000, partie NW de la feuille 272 St-Maurice et annexe de la feuille 271 Chablais, agrandie au 1:25000 : notice explicative*. Berne: Kümmerly et Frey.

Badoux, H. (1965a). Feuille 1264 Montreux, carte 47. Carte géologique de la Suisse 1:25'000. Berne.

Badoux, H. (1965b). Thonon-Châtel (630). Carte géologique de la France au 1:50'000. BRGM, Orléans.

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

Badoux, H., & Burri, M. (1971). Feuille 1305 Dents de Morcles, carte 58 de l'atlas géologique de la Suisse 1:25'000. Berne.

Badoux, H., & Chessex, R. (1960). 37 Monthey, carte nationale 1:50000, partie NW de la feuille 272 St-Maurice et annexe de la feuille 271 Chablais, agrandie au 1:25000. Berne: Kümmerly et Frey.

Badoux, H., Chessex, R., Jeannet, A., Lugeon, M., & Rivier, F. (1960). Monthey, carte 37 de l'atlas géologique de la Suisse 1:25'000. Berne.

Badoux, H. & Gabus, J.-H. (1990). Notice explicative de la feuille 88 Les Diablerets. Atlas géologique de la Suisse 1:25'000. Berne: Commission géologique Suisse.

Badoux, H., Gabus, J. H., & Mercanton, C.-H. (1990). Feuille 1285 Les Diablerets, carte 88 de l'atlas géologique de la Suisse 1:25'000. Ittigen bei Bern.

Balco, G., Briner, J., Finkel, R. C., Rayburn, J. A., Ridge, J. C., & Schaefer, J. M. (2009). Regional beryllium-10 production rate calibration for late-glacial northeastern North America. *Quaternary Geochronology*, *4*(2), 93–107.

Balco, G., Stone, J. O., Lifton, N. A., & Dunai, T. J. (2008). A complete and easily accessible means of calculating surface exposure ages or erosion rates from ^{10}Be and ^{26}Al measurements. *Quaternary Geochronology*, *3*(3), 174–195.

Barbault, R. (2011). La biodiversité : tissu vivant de la Terre. *www.futura-sciences.com*. Consulté 22 mai 2013, à l'adresse http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/developpement-durable/d/biodiversite_1015/c3/221/p3/

Barlet, A., & Gaudiot, M. (2003). *Valorisation géologique et hydrogéologique du territoire Leader+ du Gal du Haut-Chablais en vue de la candidature au label European Geopark* (Rapport de stage). IUP Montagne, Université de Savoie, Chambéry.

Beaudevin, C. (2000). Contribution à l'étude de l'altitude atteinte par les glaciers quaternaires dans quelques vallées alpines. *Géologie Alpine*, *76*, 83–116.

Bergeron, L. (1996). *Le patrimoine industriel: un nouveau territoire*. Paris: Editions Liris.

Berrebi, Y. (2006). *Les sentiers didactiques. Analyse de la perception du public face à quatre réalisations géodidactiques* (Mémoire de Licence). Université de Lausanne, Lausanne.

Bersier, A. (1954). *Les collines de Noville-Chessel, crêtes de poussée glaciaire*. Lausanne: Impr. Baud.

Bertrand, G. (1968). Paysage et géographie physique globale. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, *93*(3), 249–272.

Besson, O., Rouiller, J.-D., Frei, W., & Masson, H. (1991). Campagne de sismique-réflexion dans la vallée du Rhône (entre Sion et Martigny, Suisse). *Bulletin de la Murithienne*, *109*, 45–63.

Bezat, E. (2008). *Contribution pollinique à l'étude du Pléistocène de la région lémanique (Suisse): paléoenvironnement des derniers 800'000 ans* (Thèse de doctorat). Université de Lausanne, Lausanne.

Billet, P. (1994). L'émergence d'un droit du patrimoine géologique en France. In *Actes du premier symposium international sur la protection du patrimoine géologique* (Vol. 165, p. 17–19). Digne-les-Bains, 11-16 juin 1991: Mémoires de la société géologique de France.

Bini, A., Buoncristiani, J.-F., Coutterand, S., Ellwanger, D., Felber, M., Florineth, D., Schoeneich, P. (2009). La Suisse durant le dernier maximum glaciaire (LGM). Wabern: Bundesamt für Landestopografie Swisstopo.

Bitgood, S. (2000). The role of attention in designing effective interpretive labels. *Journal of Interpretation Research*, *5*(2), 31–45.

Blanchet, R. (1844). *Terrain erratique alluvien du bassin du Léman et de la vallée du Rhône de Lyon à la mer.* Lausanne: G. Bridel.

Blavoux, B. (1965). *Les sources minérales d'Evian : étude climatologique, hydrogéologique et hydrochimique des formations fluvio-glaciaires quaternaires du Bas-Chablais* (Thèse de doctorat). Centre de Recherche Géodynamiques de Thonon, Université de Paris, Paris.

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*, *3*, 69–79.

Blavoux, B., & Brun, A. (1966). Caractéristiques sédimentologiques et palynologiques des terrains würmiens de la région d'Evian, d'après le sondage de Sionnex (Haute-Savoie). *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, *263*, 212–215.

Blavoux, B., Brun, A., & Olive, P. (1980). Quaternaire lémanique (coupe de la Dranse). Pluralité des glaciations. Stades et interstades du Würm. In G. Monjuvent & J. Winistorfer (Eds), *Glaciations quaternaires dans les Alpes franco-suisses et leurs piémonts* (Vol. 56, p. 263–265). Géologie Alpine.

Blavoux, B., & Dray, M. (1971). Les sondages dans le complexe quaternaire du Bas-Chablais et leurs enseignements stratigraphiques, leur intérêt pour l'hydrologie et l'hydrochimie régionales. *Revue de Géographie physique et de géologie dynamique*, *13*, 17–34.

Bollati, I. (2011). *Active geomorphosites in different morphoclimatic environnements: processes, evolution, erosion rates and strategies for educational dissemination* (Thèse de doctorat). University of Milan, Milan.

Bosson, J.-B. (2012). Internal structure and evolution of a small debris-covered glacier: Les Diablerets, Switzerland. In *Geophysical Research Abstracts* (Vol. 14). Vienne.

Bourdier, F. (1958). *Le Bassin du Rhône au Quaternaire: géologie et préhistoire* (Thèse d'état). Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

Bravard, A., Debray, D., & Isler, V. (1991). *Atlas climatique de la Haute-Savoie*. Chamonix: Association météorologique départementale.

Breton, T. (2009). *Les terrasses de Thonon-les-Bains: messages morphosédimentaires* (Rapport de stage de Master 1). Université de Savoie, Chambéry.

Brocx, M. (2008). *Geoheritage: from global perspectives to local principles for conservation and planning*. Perth : Western Autralian Museum.

Bronowski, J. (1973). *The ascent of man*. London: BBC Books.

Brun, A. (1966). Révision de la stratigraphie des dépôts quaternaires dans la basse vallée de la Dranse (Haute-Savoie). *Revue de géographie physique et de géologie dynamique*, *8*, 399–404.

Brun, A. (2000). Révision des données polliniques dans le Pléistocène du Bas-Chablais (Haute-Savoie): Implications chronostratigraphiques et pluralité des glaciations. *Quaternaire*, *11*, 41–51.

Brun, A., & Delibrias, G. (1967). Datations et caractéristiques palynologiques des sédiments glaciaires de la coupe d'Armoy (Haute-Savoie). *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, *264*, 215–217.

Bruschi, V. M., & Cendrero, A. (2005). Geosite evaluation; can we measure intangible values? *Il Quaternario*, *18*(1), 293–306.

Bruschi, V. M. & Cendrero, A. (2009). Direct and parametric methods for the assessment of geosites and geomorphosites. In E. Reynard, P. Coratza & G. Regolini-Bissig (Eds.), *Geomorphosites* (p. 73-88). München: Pfeil.

Buchmann, M. (2014). *Géopatrimoine dans la région du Moesano - entre protection de la nature et valorisation du paysage* (Mémoire de Master). Université de Lausanne, Lausanne, en préparation.

Buoncristiani, J.-F., & Campy, M. (2002). Carte du dernier maximum glaciaire (LGM).

Burek, C. V., & Prosser, C. D. (2008). The history of geoconservation: an introduction. *Geological Society, London, Special Publications*, *300*(1), 1–5.

Burri, F., Burri, M., & Weidmann, M. (1968). Les graviers de Bioley-Orjulaz (Vd). *Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles*, *70*, 16.

Burri, M. (1961). Les dépôts quaternaires de la vallée du Rhône entre St-Maurice et le Léman. *Bulletin de la Murithienne*, *78*, 36–59.

Burri, M. (1963). Le Quaternaire des Dranses. Étude géologique des sédiments quaternaires de la feuille Thonon au 1:50'000 de la Carte Géologique de France. *Mémoires de la Société vaudoise des sciences naturelles*, *142*, 230–262.

Burri, M. (1974). Histoire et préhistoire glaciaires des vallées des Drances (Valais). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, *67*, 135–154.

Burri, M. (1977). Sur l'extension des derniers glaciers rhodaniens dans le bassin lémanique. *Bulletin des laboratoires de Géologie, Minéralogie, Géophysique et du Musée géologique de l'Université de Lausanne*, *223*, 1–9.

Burri, M. (1981). Les terrasses lémaniques: géologie. *Archives suisses d'anthropologie générale*, *45*, 107–115.

Burri, M. (1997). Géologie récente de Finges et de ses environs (VS). *Bulletin de la Murithienne*, (115), 5–27.

Bussard, J. (2014). *Conservation et valorisation du patrimoine géomorphologique du Parc Naturel Régional Gruyères - Pays-d'Enhaut : État des lieux et perspectives* (Mémoire de Master). Université de Lausanne, Lausanne, en préparation.

Calcere, & Relief. (2013). *Aspiring Geopark des Monts d'Ardèche* (Dossier de candidature EGN). Jaujac: Parc Naturel Régional des Monts d'Ardèche.

Campy, M. (1985). Dynamique d'une marge glaciaire au maximum würmien. La Combe d'Ain (Jura). *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, *1985*, 65–74.

Cayla, N. (2009). *Le patrimoine géologique de l'arc alpin : De la médiation scientifique à la valorisation géotouristique* (Thèse de doctorat). Université de Savoie.

Cayla, N., Hoblea, F., Biot, V., Delamette, M., & Guyomard, A. (2012). De l'invisibilité des géomorphosites à la révélation géopatrimoniale. *Géocarrefour*, (3-4), 171–186.

Chablais Région. (2013). Economie | Chablais.ch. *Chablais.ch*. Consulté 16 janvier 2013, à l'adresse http://www.chablais.ch/synthese?SERVICE=page &p=17732927827738658

Charollais, J., & Badoux, H. (1990). Suisse lémanique, Pays de Genève et Chablais. *Guides géologiques régionaux*. Paris: Masson.

Charollais, J., Plancherel, R., Monjuvent, G., & Debelmas, J. (1998). *Notice explicative, carte géol. France (1:50'000), feuille Annemasse (654)*. Orléans: BRGM.

Chastel, A. (1986). La notion de patrimoine. In P. Nora (Dir.), *Les lieux de mémoire*, Vol. 2, La Nation, (p. 405–446). Paris : Gallimard.

Chastel, A., & Babelon, J.-P. (2004). *La notion de patrimoine*. Paris: L. Levi.

Chazal, V., & Grange, S. (2002). *Le Quaternaire dans le Bas-Chablais: les phases glaciaires dans le bassin lémanique au cours du Würm* (Mémoire de Master 2). Chambéry: Laboratoire LGHAM, Université de Savoie.

Clapperton, C. (1995). Fluctuations of local glaciers at the termination of the Pleistocene: 18-8 ka BP. *Quaternary international*, *28*, 41–50.

Collectif. (2011). *Les trois Chablais, du Léman aux Alpes*. Grenoble: Glénat.

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

Coutterand, S. (2010). *Étude géomorphologique des flux glaciaires dans les Alpes nord-occidentales au Pléistocène récent. Du maximum de la dernière*

glaciation aux premières étapes de la déglaciation (Thèse de doctorat). Université de Savoie, Chambéry.

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*, 35–43.

Coutterand, S., & Jouty, S. (2009). *Glaciers: mémoire de la planète*. Paris: Hoëbeke.

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), 85–94.

Coutterand, S., & Reynard, E. (2011). The Lateglacial of Hérens valley (Valais, Switzerland): palaeogeographical and chronological reconstructions of deglaciation stages. In *Abstract Volume 18th INQUA Congress* (Vol. 1914). Bern, Switzerland.

Coutterand, S., Schoeneich, P., & Nicoud, G. (2009). Le lobe glaciaire lyonnais au maximum würmien: glacier du Rhône ou/et glaciers savoyards? *Collection EDYTEM, Cahiers de Géographie*, *8*, 11–22.

Davallon, J. (1991). Produire les hauts lieux du patrimoine. In A. Micoud (Dir.), *Des hauts lieux. La construction sociale de l'exemplarité* (p. 85–102). Paris : Editions du CNRS

Davallon, J. (2002). Comment se fabrique le patrimoine ? In Qu'est-ce que transmettre*?* Hors série de *Sciences humaines*, *36*, Consulté à l'adresse http://www.scienceshumaines.com/comment-se-fabrique-le-patrimoine-jean-davallon_fr_12550.html

Davey, A. (1997). Concept of significance in geoheritage assessment. In *Pattern and Process: Towards a Regional Approach to National Estate Assessment of Geodiversity* (p. 15–19). Canberra: Australian Heritage Commission and Environment Forest Taskforce.

De Charpentier, J. (1841a). *Essai sur les glaciers et sur le terrain erratique du bassin du Rhône*. Lausanne: M. Ducloux.

De Wever, P., Le Nechet, Y., & Cornee, A. (2006). *Vade-mecum pour l'inventaire national du patrimoine géologique*. Paris: Société géologique de France.

Delibrias, G., Guillier, M. T., & Labeyrie, J. (1969). Gif natural radiocarbon measurements III. *Radiocarbon*, *11*, 327–344.

Delunel, R. (2010). *Evolution géomorphologique du massif des Ecrins-Pelvoux depuis le Dernier Maximum Glaciaire – Apports des nucléides cosmogéniques produits in-situ* (Thèse de doctorat). Université Joseph-Fourier - Grenoble I, Grenoble.

Dépraz, S. (2008). *Géographie des espaces naturels protégés. Genèse, principes et enjeux territoriaux*. Paris: Armand Colin.

Di Méo, G. (1994). Patrimoine et territoire, une parenté conceptuelle. *Espaces et sociétés*, *78*(4), 15–34.

Di Méo, G. (2008). Processus de patrimonialisation et construction des territoires. In *Regards sur le patrimoine industriel, Actes du colloque de Poitiers Patrimoine et industrie en Poitou-Charentes : connaître pour valoriser, 12-14 septembre 2007, Poitiers-Châtellerault* (p. 87–109). Poitiers-Châtellerault: Geste éditions.

Dorthe-Monachon, C. (1986). *Contribution à l'étude de la morphologie glaciaire de la vallée de l'Arve (Haute-Savoie, France) - Essai de reconstitution paléogéographique* (Thèse de doctorat). Université de Lausanne, Lausanne.

Dorthe-Monachon, C. (1993). *Étude des stades tardiglaciaires des vallées de la rive droite du Rhône entre Loèche et Martigny*. Lausanne: Institut de Géographie.

Dorthe-Monachon, C., & Schoeneich, P. (1993). Ligne d'équilibre des glaciers: le stade de référence de 1850 dans les Alpes calcaires occidentales. *Geographica Helvetica*, 3, 125–134.

Doughty, P. (2008). How things began: the origins of geological conservation. *Geological Society, London, Special Publications*, *300*(1), 7–16.

Douxami, H. (1904). Observations géologiques aux environs de Thonon-les-Bains (dépôts pléistocènes récents. *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, *138*, 395–398.

Dowling, R. K., & Newsome, D. (Eds.) (2010). *Global Geotourism Perspectives*. Wallingford : Goodfellow Publishers Limited.

Dray, M. (1970). *Etude hydrogéologique du Quaternaire de la région de Thonon - Haute-Savoie* (Thèse de doctorat). Université de Paris, Paris.

Dray, M. (1975). Le sondage de Chessy (Haute-Savoie): contribution nouvelle à la géologie du Quaternaire du Bas-Chablais. *Archives des Sciences de Genève*, *24*, 57–72.

Dray, M. (1993). Les terrasses de Thonon: aspects géologiques de la déglaciation würmienne et intérêt hydrogéologique. *Quaternaire*, *4*, 77–82.

Duhem, V. (2008). *Inventaire et proposition de mesures de valorisation des géomorphosites du PNR Gruyère - Pays-d'Enhaut* (Mémoire de Master). Université de Lausanne, Lausanne.

Dumoulin, H., Zryd, A., & Crispini, N. (2010). *Glaciers: Passé-Présent. Du Rhône au Mont-Blanc*. Genève: Slatkine.

Dunai, T. (2010). *Cosmogenic nuclides : principles, concepts and applications in the earth surface sciences* (Vol. 1-1). Cambridge: Cambridge University Press.

Dupuy, D. (2006). *Étude des sédiments quaternaires, de la molasse et sa tectonique, dans le Grand Lac (Léman) à partir de données sismiques 2D et 3D* (Thèse de doctorat). Université de Lausanne, Lausanne.

Duval, M. (2007). *Dynamiques spatiales et enjeux territoriaux des processus de patrimonialisation et de développement touristique. Etude comparée des gorges de l'Ardèche et du Karst slovène* (Thèse de doctorat). Université de Savoie, Chambéry.

Dvorak, C.-A. (2008). *Approche dendroécologique du régime thermique des éboulis froids et des glaciers rocheux fossiles* (Mémoire de Master). Université de Lausanne, Lausanne.

Dvorak, C.-A., Lambiel, C., & Stoffel, M. (2011). Etude dendroécologique des épicéas nains. Etude de cas dans la combe de Dreveneuse (Valais, Suisse). In C. Lambiel, E. Reynard, & C. Scapozza (Eds.), *La géomorphologie alpine : entre patrimoine et contrainte. Actes du colloque de la Société Suisse de Géomorphologie, 3-5 septembre 2009, Olivone* (p. 113–126). Lausanne: Université de Lausanne, Institut de géographie.

Encyclopédie Larousse. (2009). Géologie. In *Encyclopédie Larousse*. Consulté à l'adresse http://www.larousse.fr/encyclopedie/nom-commun-nom/g%C3%A9ologie/55121

Epard, J.-L. (1990). *La nappe de Morcles au sud-ouest du Mont-Blanc* (Thèse de doctorat). Université de Lausanne, Lausanne.

Falsan, A., & Chantre, E. (1879). *Monographie géologique des anciens glaciers et du terrain erratique de la partie moyenne du bassin du Rhône*. Paris: Masson.

Faure, M. (2000). *Du produit agricole à l'objet culturel. Les processus de patrimonialisation des productions fromagères dans les Alpes du Nord* (Thèse de doctorat). Université Lumière Lyon II, Lyon.

Favre, A. (1859). *Mémoire sur les terrains liasique et keupérien de la Savoie*. Genève: Fick.

Favre, A. (1867). *Recherches géologiques dans les parties de la Savoie, du Piémont et de la Suisse voisine du Mont-Blanc*. Paris: Masson.

Favre, E., & Schardt, H. (1887). *Description géologique des Préalpes du canton de Vaud et du Chablais jusqu'à la Dranse et de la chaîne des Dents du Midi formant la partie nord-ouest de la feuille 17*. Schmid, Francke & Company.

Federici, P. R., Granger, D. E., Ribolini, A., Spagnolo, M., Pappalardo, M., & Cyr, A. J. (2012). Last Glacial Maximum and the Gschnitz stadial in the Maritime Alps according to ^{10}Be cosmogenic dating. *Boreas*, *41*, 277–291.

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. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, *84*, 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. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, *84*, 359–368.

Fiore, J. (2007). *Quaternary Subglacial Processes in Switzerland: Geomorphology of the Plateau and Seismic Stratigraphy of Western Lake Geneva* (Thèse de doctorat). Université de Genève, Genève.

Fiore, J., Girardclos, S., Pugin, A., Gorin, G., & Wildi, W. (2011). Würmian deglaciation of western Lake Geneva (Switzerland) based on seismic stratigraphy. *Quaternary Science Reviews*, *30*(3-4), 377–393.

Florineth, D., & Schlüchter, C. (1998). Reconstructing the Last Glacial Maximum (LGM) ice surface geometry and flowlines in the Central Swiss Alps. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, *91*, 391–407.

Florineth, D., & Schlüchter, C. (2000). Alpine evidence for atmospheric circulation patterns during the Last Glacial Maximum. *Quaternary Research*, *54*, 295–308.

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. *Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles*, *71*, 1–13.

Fuertes-Gutiérrez, I., & Fernández-Martínez, E. (2010). Geosites Inventory in the Leon Province (Northwestern Spain): A tool to introduce geoheritage into regional environmental management. *Geoheritage*, *2*(1-2), 57–75.

Gabus, J. H. (1958). *L'Ultrahelvéthique entre Derborence et Bex* (Vol. 106). Berne: Kümmerly et Frey

Gabus, J. H., Lemdal, G., & Weidmann, M. (1987). Sur l'âge des terrasses lémaniques au SW de Lausanne. *Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles*, *78*, 419–429.

Gagnebin, E. (1934). 483 St-Maurice, avec annexes des feuilles: 485 Saxon, 525 Finhaut, 526 Martigny. Berne: Commission géologique de la Soc. Helv. des sciences nat.

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*, *58*, 335–416.

Gagnebin, E., Reinhard, M., Oulianoff, N., de Loys, F., Lugeon, M., Hotz, W., Kaenel, F. (1934). Feuille 1304 St-Maurice, carte 8. Carte géologique de la Suisse 1:25'000. Bern.

Gallay, A. (1981). Un bilan de nos connaissances sur les terrasses lémaniques. *Archives suisses d'anthropologie générale*, *45*, 106–206.

Garavaglia, V., & Pelfini, M. (2011). Glacial geomorphosites and related landforms: a proposal for a dendrogeomorphological approach and éducational trails. *Geoheritage*, *3*(1), 15–25.

Gauchon, C. (2002). Les sites naturels classés entre 1906 et 1930 dans les Alpes du Nord : entre tourisme et protection, bilan et actualité. *Revue de géographie alpine*, *90*(2), 15–31.

Gauchon, C. (2010). *Tourisme et patrimoines : un creuset pour les territoires ?* (Thèse de HDR). Université de Savoie, Chambéry.

Genoud, M. (2008). *Inventaire, évaluation et projets de valorisation des géomorphosites du Val de Bagnes* (Mémoire de Master). Université de Lausanne, Lausanne.

Gentizon, C. (2004). La géomorphologie et les paysages dans les réserves naturelles : études de cas. In E. Reynard & J.-P. Pralong (Eds.), *Paysages géomorphologiques* (Vol. 27, p. 111–121). Lausanne: Institut de Géographie Université de Lausanne.

Geomorphosites IAG working group. (2006). *Geomorphosites, research, protection and education*, rapport non publié.

Gillespie, A., & Molnar, P. (1995). Asynchronous maximum advances of mountain and continental glaciers. *Reviews of Geophysics*, *33*, 311–364.

Giordan, A., & De Vecchi, G. (2010). *Aux origines du savoir: la méthode pour apprendre*. Nice: Ovadia.

Girardclos, S. (2001). *Sismostratigraphie et structure sédimentaire en 3D d'un bassin lacustre, du retrait glaciaire à nos jours (Lac Léman, Suisse)* (Thèse de doctorat). Université de Genève, Genève.

Giusti, C. (2010). Introduction au numéro spécial : « Des géosites aux géomorphosites : comment décoder le paysage ? Processus géodynamiques, modelés et formes du relief, environnements passés et actuels ». *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, *2*, 123–130.

Giusti, C. (2012). Sciences du relief ou géomorphologie ? *Cybergeo : European Journal of Geography*.

Giusti, C., & Calvet, M. (2010). L'inventaire des géomorphosites en France et le problème de la complexité scalaire. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, *2*, 223–244.

Giusti, C., Reynard, E., Bollati, I., Cayla, N., Coratza, P., Hobléa, F., Dorina I., Martin S., Megerle H., Pelfini M., Regolini G., Sellier D., Zorn, M. (2013). A new network on mountain geomorphosites. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (Vol. 15, p. 6706).

González-Trueba, J. J. (2007). *El Macizo central de Los Picos de Europa : geomorphología y sus implicaciones geoecológicas en la alta montaña cantábrica* (Thèse de doctorat). Universidad Cantabria, Santander.

Gosse, J. C., & Phillips, F. M. (2001). Terrestrial in situ cosmogenic nuclides: theory and application. *Quaternary Science Reviews*, *20*, 1475–1560.

Grandgirard, V. (1996). Gestion du patrimoine naturel, l'inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg. *UKPIK, Cahiers de l'Institut de Géographie de l'Université de Fribourg*, (8), 181–195.

Grandgirard, V. (1997a). Géomorphologie et gestion du patrimoine naturel. La mémoire de la Terre est notre mémoire. *Geographica Helvetica*, *2*, 47–56.

Grandgirard, V. (1997b). *Géomorphologie, protection de la nature et gestion du paysage* (Thèse de doctorat). Université de Fribourg, Fribourg.

Grandgirard, V. (1999). L'évaluation des Géotopes. *Geologia inssubrica*, *4*, 59–66.

Grangier, L. (2013). *Quelle place pour le géotourisme dans l'offre touristique du Val d'Hérens et du Vallon de Réchy ? État du patrimoine géo(morpho) logique et propositions de valorisation* (Mémoire de Master). Université de Lausanne, Lausanne.

Gravari-Barbas, M. (1996). Le « sang » et le « sol ». Le patrimoine facteur d'appartenance à un territoire urbain. *Géographie et cultures*, *20*, 55–68.

Gray, M. (2004). *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature*. Chichester: Wiley.

Gray, M. (2008). Geodiversity: the origin and evolution of a paradigm. *Geological Society, London, Special Publications*, *300*(1), 31–36.

Gross, G., Kerschner, H., & Patzelt, G. (1976). Methodische Untersuchungen über die Schneegrenze in Alpinen Gletschergebieten. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, *12*, 223–251.

Guffroy, B. (1988). *Cartographie géomorphologique du massif du Mont de Grange (la Chapelle d'Abondance, Haute Savoie)*. Mémoire de maîtrise en géographie physique.Mémoire de Maîtrise, Université de l'Isles 1, l'Isles.

Guffroy, B. (1991). *Évolution géomorphologique de la partie sud du synclinal du Mont de Grange et risques associés* (Mémoire de Licence). Université des Sciences et Techniques de Lille-Flandres-Artois, Lille-Flandres-Artois.

Guiter, F. (2003). *Contribution pollen-analytique à l'histoire de la végétation au cours des derniers 100'000 ans dans la région d'Evian (Haute Savoie, France): Implications pour la chronologie du dernier glacier du Rhône* (Thèse de doctorat). Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille, Aix-Marseille.

Guiter, F., Andrieu-Ponel, V., Beaulieu de, J.-L., Ponel, P., Nicoud, G., & Blavoux, B. (2005). Impact anthropique sur la végétation de la région d'Evian depuis le Néolithique moyen: l'enregistrement pollinique de la Beunaz (971 m n.g.f., Haute-Savoie, France). *Comptes Rendus Biologies*, *328*, 661–673.

Guiter, F., Triganon, A., Andrieu-Ponel, V., Ponel, P., Hébrard, J.-P., Nicoud, G., De Baulieu J.-L., Brewer S., Guibal, F. (2005). First evidence of «in situ» Eemian sediments on the high plateau of Evian (Northern Alps, France):

implications for the chronology of the Last Glaciation. *Quaternary Science Reviews*, *24*, 35–47.

Guiter, F., Triganon, A., Andrieu-Ponel, V., Ponel, P., Hébrard, J.-P., Nicoud, G., & De Baulieu, J.-L. (2006). About the presence of Eemian peats in the Geneva basin and its implications: A replay to comments by Preusser et al. *Quaternary Science Reviews*, *25*, 648–651.

Guyomard, A. (2006). *Etude structurale et hydrogéologique de la terminaison occidentale du Massif des Mémises et de ses relations avec le complexe détritique quaternaire d'Evian* (Thèse de doctorat). Université de Savoie, Chambéry.

Guyomard, A. (2007). *Les lacs du Chablais: des glaciers à l'eau, une géologie vivante*. Perrignier: GAL Haut Chablais.

Guyomard, A., Josnin, J.-Y., Hippolyte, J.-C., & Fudral, S. (2009). Contemporaneous multi-scale structures in the Montagne des Mémises (Préalpes du Chablais, Haute-Savoie, France). *Swiss Journal of Geosciences*, *102*, 3–4.

Haeberli, W. (2005). Investigating glacier-permafrost relationships in high-mountain areas: historical background, selected examples and research needs. *Geological Society, London, Special Publications*, *242*(1), 29–37.

Haeberli, W., & Penz, U. (1985). An attempt to reconstruct glaciological and climatological characteristics of 18 ka BP ice conditions in and around the Swiss Alps. *Z. Gletscherkd. Glazialgeol*, *21*, 351–361.

Ham, S. H. (1992). *Environmental interpretation: A practical guide for people with big ideas and small budgets*. Golden, Colorado: Fulcrum Publishing.

Ham, S. H. (2007). Can interpretation really make a difference? Answers to four questions from cognitive and behavioral psychology. In *Proceedings of the Interpreting World Heritage Conference 25-29 March 2007* (p. 42–52). Vancouver: NAI.

Heinich, N. (2009). *La fabrique du patrimoine : De la cathédrale à la petite cuillère*. Paris: Maison des Sciences de l'Homme.

Héritier, S. (2002). *Environnement et patrimoine, tourisme et aménagement dans les parcs nationaux des montagnes de l'Ouest canadien (Banff, Jasper, Yoho, Kootenay, Revelstoke, Glacier, Lacs Waterton)* (Thèse de doctorat). Université de Savoie, Chambéry.

Hertzog, A. (2011a). Entretien avec Jean-Paul Amat. *EchoGéo*, *18*.

Hertzog, A. (2011b). Les géographes et le patrimoine. *EchoGéo*, *18*.

Hipp, R. (2004). Beispiele zur Umsetzung des Geotopschutzes im Kanton Thurgau. In *Paysages géomorphologiques*, *Compte-rendu du séminaire de 3ème cycle CUSO 2003* (Vol. 27, p. 161-173). Lausanne: Institut de Géographie.

Hobléa, F. (2008). *Les géomorphosites: une ressource patrimoniale*. Conférence dans le cadre du cours « Géomorphosites et paysages », Université de Lausanne, Lausanne.

Hobléa, F., Cayla, N., Guyomard, A., Peisser, C., & Renau, P. (2011). Géosciences et projets de territoire : comparaison et conciliation de trois projets de géoparcs dans les Préalpes françaises du Nord. In E. Reynard, L. Laigre, & N. Kramar (Eds.), *Les géosciences au service de la société. Actes du colloque en l'honneur du Professeur Michel Marthaler, 24-26 juin 2010, Lausanne* (p. 21–36). Lausanne: Université, Institut de géographie.

Hooke, J. M. (1994). Strategies for conserving and sustaining dynamic geomorphological sites. In D. O'Halloran, C. Green, & M. Harley (Eds), *Geological and Landscape Conservation* (p. 191-195). London: Geological Society.

Hugi, F. J. (1830). *Naturhistorische Alpenreise*. Solothurn, Leipzig: Amiet-Lutiger.

IGUL. (2009). *Les géosciences au service de la société*. Invitation et appel à contributions au colloque en l'honneur du professeur Michel Marthaler. 24-26 juin 2010. Faculté des Géosciences et de l'Environnement.

INSEE. (1986). *Les comptes rendus du patrimoine naturel.* Paris: INSEE.

Ivy-Ochs, S. (1996). *The dating of rock surface using in situ produced Be10, Al26 and Cl36, with exemples from Antarctica and the Swiss Alps* (Thèse de doctorat). ETH-Zütich, Zürich.

Ivy-Ochs, S., Kerschner, H., Kubik, P. W., & Schlüchter, C. (2006). Glacier response in the European Alps to Heinrich Event 1 cooling: the Gschnitz stadial. *Journal of Quaternary Science*, *21*, 115-130.

Ivy-Ochs, S., Kerschner, H., Maisch, M., Christl, M., Kubik, P. W., & Schlüchter, C. (2009). Latest Pleistocene and Holocene glacier variations in the European Alps. *Quaternary Science Reviews*, *28*(21-22), 2137-2149.

Ivy-Ochs, S., Kerschner, H., Reuther, A., Preusser, F., Heine, K., Maisch, M., Schlüchter, C. (2008). Chronology of the last glacial cycle in the European Alps. *Journal of Quaternary Science*, *23*, 559-573.

Ivy-Ochs, S., Schäffer, J., Kubik, P. W., Synal, H.-A., & Schlüchter, C. (2004). Timing of deglaciation on the northern Alpine foreland (Switzerland). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, *97*, 47-55.

Jacobi, D., Schiele, B., & Cry, M.-F. (1990). Note de synthèse: La vulgarisation scientifique et l'éducation non formelle. *Revue française de pédagogie*, *91*(1), 81-111.

Jeannet, A. (1918). *Monographie géologique des Tours d'Aï et des régions avoisinantes (Préalpes vaudoises)*. Berne: A. Francke.

Joly, F. (2000). *Le patrimoine géomorphologique: concepts, évaluation, médiatisation. Application au cas du Littoral Nord-Pas-de-Calais.* (Thèse de doctorat). Université des sciences et techniques de Lille, Lille.

Jorda, M., Rosique, T., & Évin, J. (2000). Données nouvelles sur l'âge du dernier maximum glaciaire dans les Alpes méridionales françaises. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, *331*(3), 187-193.

Jordan, P., Hipp, R., & Reynard, E. (2004). La protection des géotopes et la création de géoparcs en Suisse. In *Paysages géomorphologiques* (Vol. 27, p. 151-160). Lausanne: Institut de Géographie.

Joyce, E. B. (1997). Assessing geological heritage. In R. Eberhard (Ed.), *Pattern and process: towards a regional approach to national estate assessment of geodiversity* (p. 35-40). Canberra: Australian Heritage Commission.

Joyce, E. B. (2010). Australia's geoheritage: history of study, a new inventory of geosites and applications to geotourism and geoparks. *Geoheritage*, *2*(1-2), 39-56.

Keller, O., & Krayss, E. (1993). The Rhin-Linth glacier in the upper Würm. A model of the Last Alpine Glaciation. *Quaternary international*, *18*, 15-27.

Kelly, M., Buoncristiani, J.-F., & Schlüchter, C. (2004). A reconstruction of the last glacial maximum (LGM) ice-surface geometry in the western Swiss Alps and contigous Alpine regions in Italy and France. *Eclogae geologicae Helvetiae*, *97*, 57-75.

Kerrien, Y. (1998). Annemasse (654). Carte géologique de la France au 1:50'000. Orléans.

Kilian, W. (1924). Les dépôts fluvio-glaciaires de la rive méridionale du Lac Léman et de leur régime hydrologique (Evian, Amphion, Thonon). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, *179*, 114-117.

Knowles, M. S. (1973). *The modern practice of adult education*. New York: Association Press.

Kohl, C. ., & Nishiizumi, K. (1992). Chemical isolation of quartz for measurement of in-situ -produced cosmogenic nuclides. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *56*(9), 3583-3587.

Kozlik, L. (2006). *Les géomorphosites culturels des vallées du Trient, de l'Eau Noire et de Salanfe. Inventaire, évaluation et valorisation* (Mémoire de Licence). Université de Lausanne, Lausanne.

Kozlik, L. (2014a). *Didactique des sciences de la Terre. Recherche appliquée en communication scientifique et technique dans le domaine du géotourisme* (Thèse de doctorat). Université de Lausanne, Lausanne, en préparation.

Kozlik, L. (2014b). La place du géopatrimoine dans les parcs naturels régionaux de l'arc jurassien. *Collections EDYTEM* (Vol. 15, p. 35-41).

Kozlowski, S. (2004). Geodiversity. The concept and scope of geodiversity. *Przeglad Geologiczny*, *52*(8/2), 833-839.

Kramar, N. (2005). Enjeux didactiques et épistémiques liés à l'utilisation d'un modèle historique en sciences de la Terre. In *Actes des XXVIIes Journées internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques, techniques et industrielles* (p. 1-9). Paris: A. Giordan, J.-L. Martinand & D. Raichvarg.

Lahouze, M.-N. (1981). Variations du niveau du Léman: dates carbone 14. *Archives suisses d'anthropologie générale*, *45*, 181-187.

Lambiel, C., Bardou, E., Delaloye, R., Schoeneich, P., & Schütz, P. (2008). *Permafrost-Vaud. Etat des lieux de la distribution du pergélisol et du risque périglaciaire dans le canton de Vaud* (Rapport d'étude non publié). Lausanne: Institut de Géographie, Université de Lausanne.

Lamory, J.-M. (2005). *Chablais*. Greboble: Glénat.

Larousse. (2012a). Définitions : kakemono. *Dictionnaire de français Larousse*. Consulté à l'adresse http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/kakemono/45296

Larousse. (2012b). Encyclopédie Larousse en ligne - vulgarisation. *Encyclopédie Larousse en ligne*. Consulté à l'adresse http://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/vulgarisation/102313

Larrère, C., & Larrère, R. (1997). *Du bon usage de la nature : pour une philosophie de l'environnement*. Paris: Aubier.

Le Roy, M. (2012). *Reconstitution des fluctuations glaciaires holocènes dans les Alpes ocidentales. Apport de la dendrochronologie et des datations par isotopes cosmogéniques in situ* (Thèse de doctorat). Université de Grenoble, Le Bourget-du-Lac.

Lemée, G., & Bourdier, F. (1950). Une flore pollinique tempérée incluse dans les moraines dites würmiennes d'Armoy près de Thonon (Haute-Savoie). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, *230*, 2313-2315.

Lenclud, G. (1995). Quand voir, c'est reconnaître. Les récits de voyage et le regard anthropologique. *Les terrains de l'enquête*, *1*, 113-129.

Lliboutry, L. (1975). Loi de glissement d'un glacier sans cavitation. *Annales de Géophysique*, *31*(2), 207-226.

Lovelock, J. (1979). *Gaia: A New Look at Life on Earth*. Oxford: Oxford University Press.

Lugeon, M. (1896). *La région de la Brèche du Chablais : (Haute-Savoie)*. Paris: Libr. polytechnique Baudry.

Lugeon, M., & Gagnebin, E. (1941). *Observations et vues nouvelles sur la géologie des Préalpes romandes* (Vol. 7). Lausanne.

Lugon, R., Pralong, J.-P., & Reynard, E. (2006). Patrimoine culturel et géomorphologie: le cas valaisan de quelques blocs erratiques, d'une marmite glaciaire et d'une moraine. *Bulletin de la Murithienne*, 124, 73-87.

Magnier, E. (2013). *Neige artificielle et ressource en eau en moyenne montagne : impacts et problèmes environnementaux. L'exemple du Chablais (France, Suisse).* (Thèse de doctorat). Université de Lausanne et Université de Paris IV.

Maillard, B. (2009). *Inventaire des géomorphosites des vallées d'Entremont et de Ferret. Propositions de valorisation* (Mémoire de Master). Université de Lausanne, Lausanne.

Maisch, M. (1981). *Gazialmorphologische und Gletschergeschichtliche Untersuchungen im gebiet zwischen Landwasser- und Albulatal (Kt. Graubünden, Schweiz)* (Thèse de doctorat). Geographisches Institut der Universität Zürich, Zürich.

Maisch, M. (1982). Zur Gletscher- und Klimageschichte des alpinen Spätglazials. *Geographica Helvetica*, *2*, 93-104.

Mandier, P. (1984). *Le relief de la moyenne vallée du Rhône au Tertiaire et au Quaternaire: essai de synthèse paléogéographique* (Thèse d'Etat). Université de Lyon 2, Lyon.

Mandier, P. (2003). Reconstitution de l'expansion glaciaire de piedmont des stades A et D des glaciers würmiens du Rhône et de l'Isère : implication et origine de leur disparité. *Quaternaire*, *14*(2), 129-133.

Marthaler, M. (2008). *Le Cervin est-il africain? : Une histoire géologique entre les Alpes et notre planète*. Lausanne: LEP.

Martin, S. (2013). *Valoriser le géopatrimoine par la médiation indirecte et la visualisation des objets géomorphologiques* (Thèse de doctorat). Université de Lausanne, Lausanne.

Martin, S., & Regolini, G. (2013). Élaborer et évaluer des produits géotouristiques L'approche globale de la médiation. *Espaces*, *315*, 112-121.

Martin, S., Regolini-Bissig, G., Perret, A., & Kozlik, L. (2010). Élaboration et évaluation de produits géotouristiques. *Téoros*, *29*(2), 55-66.

Martini, G. (1994). Bilan général de la protection du patrimoine géologique en France. *Mémoires de la Société géologique de France*, *165*, 111-118.

Masse, M.-O., Morissette, A., Hetu, B., Tita, G., & Vigneault, B. (2011). *Inventaire du patrimoine géomorphologique de l'archipel des Îles-de-la-Madeleine et identification des stratégies de valorisation géotouristique* (Rapport présenté à la Conférence régionale des élu(e)s Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine. Îles-de-la- Madeleine (Québec): Centre de recherches sur les milieux insulaires et maritimes (CERMIM).

Masson, H., Baud, A., Escher, A., Gabus, J. H., & Marthaler, M. (1980). Paléokarsts crétacés et tertiaires dans la nappe de Morcles. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, *73*, 331-349.

Mauz, I. (2012). Les justifications mouvantes de la patrimonialisation des espèces « remarquables ». L'exemple du bouquetin des Alpes. *Ethnographiques. org*.

Megerle, H. (2008). *Geotourismus. Innovative Ansätze zur touristischen Inwertsetzung und nachhaltigen Regionalentwicklung*. Nürnberg: Marc Olivier Kerrsting.

Mercier, N. (2008). Datation des sédiments quaternaires par luminescence stimulée optiquement : un état de la question. *Quaternaire. Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 19(3), 15-204.

Merveilleux du Vignaux, P. (2003). *L'aventure des parcs nationaux. La création des Parc nationaux français, fragments d'histoire*. Montpellier: Atelier Technique des Espaces Naturels.

Meyer De Stadelhofen, C. (1964). Note préliminaire au sujet de l'étude géoélectrique de la Plaine du Rhône : étude géoélectrique du cône de l'Orbe. *Bulletin des laboratoires de géologie, minéralogie de l'Univ. de Lausanne*, *68*(314).

Meyer De Stadelhofen, C. (1966). *Carte des résistivités de la plaine du Rhône*. Berne: Série Géophysique n°7.

Micoud, A. (1995). Du « patrimoine naturel de l'humanité » considéré comme un symptôme. *Droit et Société*, *30/31*, 265-279.

Moindrot, C. (1961). La protection des paysages naturels et agricoles en Grande-Bretagne. *L'information géographique*, *25*(3), 104-108.

Monjuvent, G., & Nicoud, G. (1988a). Interprétation de la déglaciation rhodanienne au Würm, des moraines « internes » à la cuvette lémanique. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, *2*, 129-140.

Monjuvent, G., & Nicoud, G. (1988b). Modalités et chronologie de la déglaciation würmienne dans l'arc alpin occidental et les massifs français: synthèse et réflexions. *Quaternaire*, *2*, 147-156.

Morard, S. (2011). *Effets de la circulation d'air par effet de cheminée dans l'évolution du régime thermique des éboulis froids de basse et moyenne altitude* (Thèse de doctorat). Université de Fribourg, Fribourg.

Moreira, J. C. (2012). Interpretative panels about the geological heritage. A case study at the Iguassu Falls National Park (Brazil). *Geoheritage*, *4*(1-2), 127-137.

Morlot, A. (1859). Sur le terrain quaternaire du bassin du Léman. *Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles*, *6*, 101-108.

Mosar, J. (1991). Géologie structurale dans les Préalpes médianes (Suisses). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, *84*, 689-725.

Moscardo, G. (1999). *Making visitors mindful: principles for creating quality sustainable visitor experiences through effective communication*. Champaign: Sagamore.

Moscardo, G. (2003). Interpretation and sustainable tourism: functions, examples and principles. *Journal of Tourism Studies*, *14*(1), 112-123.

Moscardo, G., Ballantyne, R., & Hughes, K. (2007). *Designing interpretive signs. Principles in practice*. Golden: Fulcrum.

Moscariello, A. (1996). *Quaternary Geology of the Geneva Bay: sedimentary record, palaeoclimatic and palaeoenvironmental reconstruction since the Last Glacial Cycle* (Thèse de doctorat). Université de Genève.

Moscariello, A., Pugin, A., Wildi, W., Beck, C., Chapron, E., De Batist, M., Clauwenberghe, T. V. (1998a). Déglaciation würmienne dans des conditions lacustres à la terminaison occidentale du bassin lémanique (Suisse occidentale et France). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, *91*, 185-201.

Moscariello, A., Schneider, A. M., & Filippi, M. L. (1998b). Late glacial and early Holocene palaeoenvironmental changes in Geneva Bay (Lake Geneva, Switzerland). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeooecology*, *140*, 51-73.

Nash, R. (1989). *The rights of nature: a history of environmental ethics*. Madison, Wis.: University of Wisconsin Press.

Nicoud, G., Coddet, E., Blavoux, B., & Dray, M. (1993). Les complexes détritiques de marge glaciaire active dans le Bas-Chablais (Bassin lémanique, France): Implications hydrogéologiques. *Quaternaire*, *4*, 69-76.

Nugue, N. (2012). *Exposition patrimoine glaciaire des trois Chablais. Coordination générale de conception et réalisation* (Mémoire de Master 2). Université de Savoie, Chambéry.

O'Halloran, D. (Éd.). (1994). *Geological and landscape conservation : proceedings of the Malvern International Conference 1993* (Vol. 1-1). London, Royaume-Uni: Geological Society.

Ochs, M., & Ivy-Ochs, S. (1997). The chemical behavior of Be, Al, Fe, Ca and Mg during AMS target preparation from terrestrial silicates modeled with chemical speciation calculations. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, *123*(1–4), 235-240.

Olive, P. (1972). La région du lac Léman depuis 15'000 ans: données paléoclimatiques et préhistoriques. *Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique*, *14*, 253-264.

Origet du Cluzeau, C. (2007). *Le tourisme culturel*. Paris: PUF.

Paccot, S. (2003). *Diagnostic sur la thématique de la géologie pour la valorisation du patrimoine sur le territoire Leader + du Syndicat Intercommunal du Pays*

de la Côte et du Redon (Rapport de stage). IUP Montagne, Université de Savoie.

Pagano, L. (2008). *Inventaire des géotopes géomorphologiques du Val Bavona et du Val Rovana. Sélection, évaluation et perspectives* (Mémoire de Master). Université de Lausanne, Lausanne.

Panizza, M. (1996). *Environmental Geomorphology*. Amsterdam : Elsevier.

Panizza, M. (2001). Geomorphosites: Concepts, methods and examples of geomorphological survey. *Chinese Science Bulletin*, *46*(1), 4-5.

Panizza, M., & Piacente, S. (1993). Geomorphological Assets Evaluation. *Zeitschrift für Geomorpologie N.F.*, *Suppl.-Bd* (87), 13-18.

Panizza, M., & Piacente, S. (2003). *Geomorfologia culturale*. Bologna: Pitagora Editrice.

Panizza, M., & Piacente, S. (2005). Geomorphosites: a bridge between scientific research, cultural integration and artistic suggestion. *Il Quaternario*, *18*(1), 3-10.

Panizza, M., & Reynard, E. (2005). Géomorphosites: définition, évaluation et cartographie. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, *3*.

Pasquier, J. (2011). *Processus de patrimonialisation des sites religieux dans les espaces protégés de montagne : la Grande Chartreuse (Préalpes du Nord) et la vallée de la Qadisha-forêt des Cèdres du Dieu (Nord-Liban)* (Thèse de doctorat). Université de Grenoble, University St Joseph.

Penck, A., & Brückner, E. (1909). *Die Alpen im Eiszeitalter*. Leipzig: H. Tauchnitz.

Pereira, P. (2006). *Patrimonio geomorphologico: conceptualizaçao, avaliaçao e divulgaçao. Aplicaçao ao Parque Natural de Montesinho* (Thèse de doctorat). Universidade do Minho, Braga.

Pereira, P., & Pereira, D. (2010). Methodological guidelines for geomorphosite assessment. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, *2*, 215-222.

Pereira, P., Pereira, D., & Caetano Alves, M. I. (2007). Geomorphosite assessment in Montesinho Natural Park (Portugal). *Geographica Helvetica*, *3*, 159-168.

Perret, A. (2008). *Inventaire de géomorphosites du Parc Jurassien vaudois. Essai d'intégration des géotopes spéléologiques et valorisation géomorphologique des réserves naturelles.* (Mémoire de Master). Université de Lausanne, Lausanne.

Perret, A. (2010). *Les glaciations quaternaires dans le Chablais. Synthèse bibliographique.* Université de Savoie, Laboratoire EDYTEM, Université de Lausanne, Institut de Géographie (Rapport non publié).

Perret, A., & Coutterand, S. (2012). Patrimoine glaciaire des trois Chablais, exposition itinérante 2012-2014. SIAC.

Perret, A., Coutterand, S., & Nugue, N. (2012). *Patrimoine glaciaire des trois Chablais. Catalogue de l'exposition itinérante 2012-2014*. Thonon-les-Bains: SIAC.

Perret, A., Guyomard, A., Reynard, E., Delannoy, J.-J., & Nugue, N. (2013). Itinerant exhibition in the Chablais area. Association of « objective knowledge » and « interpretation method » to elaborate a geotourism product. In *Abstract Volume 11th Swiss Geoscience Meeting* (Vol. 21, p. 5-6). Lausanne.

Perret, A., Martin, S., Guyomard, A., Kramar, N., & Marthaler, M. (2013). A simplified geological map of the Chablais Geopark. In *Abstract Volume 11th Swiss Geoscience Meeting* (Vol. 21, p. 4-5). Lausanne.

Perret, A., & Reynard, E. (2011). Inventaire des géomorphosites du Parc jurassien vaudois (Col du Marchairuz, Vaud). In C. Lambiel, E. Reynard, & C. Scapozza (Eds.), *La géomorphologie alpine : entre patrimoine et contrainte. Actes du colloque de la Société Suisse de Géomorphologie, 3-5 septembre 2009, Olivone* (p. 19–34). Lausanne: Université, Institut de géographie.

Perret, A., Reynard, E., & Delannoy, J.-J. (2011). Reconstitution des principaux stades glaciaires du Chablais : base scientifique pour la valorisation d'un patrimoine glaciaire régional. In E. Reynard, L. Laigre, & N. Kramar (Eds.), *Les géosciences au service de la société. Actes du colloque en l'honneur du Professeur Michel Marthaler, 24-26 juin 2010, Lausanne* (p. 91–103). Lausanne: Université, Institut de géographie.

Perret, G. (2012). *De mémoires d'ouvriers*. Documentaire, La Vaka Productions et Cinémathèque des pays de Savoie et de l'Ain.

Petit Robert. (2011). *Petit Robert de la langue française*. Paris: Robert.

Phillips, M., & Mighall, T. (2000). *Society and exploitation through nature*. Harlow: Pearson Education.

Pieracci, K., Reynard, E., Marchant, R., Meisser, N., Borel, G., & Baud, A. (2008). *Inventaire des géotopes du Canton de Vaud: Rapport*. Saint-Sulpice: Centre de conservation de la faune et de la nature.

Pieracci, K., Reynard, E., Marchant, R., Meisser, N., Borel, G., Baud, A., Gmür, P. (2008). *Inventaire des géotopes du Canton de Vaud*. Service des forêts de la faune et de la nature, Centre de conservation de la faune et de la nature.

Plancherel, R. (1979). Aspects de la déformation en grand dans les Préalpes médianes plastiques entre Rhône et Aar: implications cinématiques et dynamiques. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, *72*, 145-214.

Plancherel, R. (1990). Les Préalpes du Chablais. Présentation générale. In *Suisse Lémanique pays de Genève et Chablais* (p. 183-190). Paris: Masson.

Plancherel, R. (1998). *Notice explicative, carte géol. France (1/50'000), feuille Samoëns-Pas-de-Morgins (655)*. Orléans: BRGM.

Plancherel, R., Broquet, P., & Caron, C. (1998). Samoëns - Pas-de-Morgins (655). Carte géologique de la France au 1:50'000. Orléans.

Pomel, C. (2009). *Étude de la formation des hautes terrasses de la région de Thonon-les-Bains* (Rapport de projet personnel). Chambéry: Université de Savoie.

Portal, C. (2010). *Reliefs et patrimoine géomorphologique. Applications aux parcs naturels de la façade atlantique européenne* (Thèse de doctorat). Université de Nantes.

Pralong, J.-P. (2005). A method for assessing tourist potential and use of geomorphological sites. *Géomorphologie: Relief, Processus, Environnement*, *3*, 189-196.

Pralong, J.-P. (2006). *Géotourisme et utilisation de sites naturels d'intérêt pour les sciences de la Terre* (Thèse de doctorat). Université de Lausanne, Lausanne.

Pralong, J.-P., & Reynard, E. (2005). A proposal for classification of geomorphological sites depending on their tourist value. *Il Quaternario*, 18(1), 315-321.

Prell, W. L., Imbrie, J., Martinson, D. G., Morley, J. J., Pisias, N. G., Schackleton, N. J., & Streeter, H. F. (1986). Graphic correlation of oxygen isotope stratigraphy, application to the late Quaternary. *Paleoceanography*, *1*, 137-162.

Preusser, F. (2004). Towards a chronology of the Late Pleistocene in the northern Alpine Foreland. *Boreas*, *33*, 195-210.

Preusser, F., & Schlüchter, C. (2004). Dates from an important early Late Pleistocene ice advance in the Aare Valley, Switzerland. *Eclogae Geologicae Helveticae*, *97*, 245-253.

Preusser, F., Schlüchter, C., Drescher-Schneider, R., Ivy-Ochs, S., & Kelly, M. (2006). Comment on «First evidence of «in situ» Eemian sediments on the High plateau of Evian (Northern Alps, France): implications for the chronology of the Last Glaciation» by F. Guiter, A. Triganon, V. Andrieu-Ponel, J.-P. Hébrard, G. Nicoud, J.-L. De Beaulieu, S. Brewer, F. Guibal. *Quaternary Science Reviews*, *25*, 645-647.

Pugin, A., Bezat, E., Weidmann, M., & Wildi, W. (1993). Le bassin d'Ecoteaux (Vaud, Suisse): témoin de trois cycles glaciaires quaternaires (The Ecoteaux basin (Vaud, Switzerland): a record of the three Quaternary glacial cycles). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, *86*(2), 343-354.

Putkonen, J., & O'Neal, M. (2006). Degradation of unconsolidated Quaternary landforms in the western North America. *Geomorphology*, *75*(3–4), 408-419.

Putkonen, J., & Swanson, T. (2003). Accuracy of cosmogenic ages for moraines. *Quaternary Research*, *59*(2), 255-261. doi:10.1016/S0033-5894(03)00006-1

Raymond, D., Deffontaines, B., Ferhi, A., Dorioz, J.-M., & Rudant, J.-P. (1996). Néotectonique de la région sud-lémanique (Haute-Savoie, France): approche multisource (imagerie optique et hyperfréquences, analyse morphostructurale). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, *89*, 949-973.

Regolini, G. (2012). *Cartographier les géomorphosites: objectifs, publics et propositions méthodologiques* (Thèse de doctorat). Université de Lausanne, Lausanne.

Regolini, G., & Martin, S. (2012). Bâtir la médiation de la géomorphologie sur ce qui est vu. Une première approche de la perception des formes du relief alpin par les non-spécialistes. *Géocarrefour*, *3-4*, 199-209.

Reynard, E. (1997). *Géomorphologie périglaciaire* (Matériaux pour les cours et séminaires n° 30 (polycopié)). Lausanne: IGUL.

Reynard, E. (2004a). Geosites. In A. S. Goudie (Ed.), *Encylopedia of Geomorphology* p. 440. London: Routledge.

Reynard, E. (2004b). Géotopes, géo(morpho)sites et paysages géomorphologiques. In E. Reynard & J.-P. Pralong (Éd.), *Paysages géomorphologiques* (Vol. 27, p. 123-136). Lausanne: Institut de Géographie Université de Lausanne.

Reynard, E. (2004c). Protecting Stones: conservation of erratic blocks in Switzerland. In R. Prikryl (Éd.), *Dimension Stone 2004. New perspectives for a traditional building material* (p. 3-7). Leiden: Balkema.

Reynard, E. (2005). Géomorphosites et paysages. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, *3*, 181-188.

Reynard, E. (2006). *Fiche d'inventaire des géomorphosites* (Rapport non publié). Lausanne: Université de Lausanne.

Reynard, E. (2009). Geomorphosites: definitions and caracteristics. In *Geomorphosites* (p. 9-20). München: Pfeil.

Reynard, E., Arnaud-Fassetta, G., Laigre, L., & Schoeneich, P. (2009). Le Rhône alpin vu sous l'angle de la géomorphologie: état des lieux. In *Le Rhône: dynamiques, histoire et société* (p. 75-102). Sion: Archives de l'Etat du Valais.

Reynard, E., Baillfard, F., Berger, J.-P., Felber, M., Heitzmann, P., Hipp, R., Von Salis, K. (2007). *Géoparcs en Suisse. Un rapport stratégique, Groupe de travail sur les géotopes en Suisse*. Berne. Consulté à l'adresse www.geosciences.scnat.ch

Reynard, E., Berger, J.-P., Constandache, M., Felber, M., Grangier, L., Häuslmann, P., Simon Martin. (2012a). *Révision de l'inventaire des géotopes suisses : rapport final*. Lausanne: Groupe de travail pour les géotopes en Suisse.

Reynard, E., & Coratza, P. (2007). Geomorphosites and geodiversity: a new domain of research. *Geographica Helvetica*, *62*(3), 138-139.

Reynard, E., & Coratza, P. (2013). Sientific research on geomorphosites. A review of the activities of the IAG Working Group of Geomorphosites over the last twelve years. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, (36), 1-10.

Reynard, E., Coratza, P., & Regolini-Bissig, G. (Eds.). (2009). *Geomorphosites*. München: Pfeil.

Reynard, E., Fontana, G., Kozlik, L., & Scapozza, C. (2007). A method for assessing « scientific » and « additional values » of geomorphosites. *Geographica Helvetica*, *3*, 148-158.

Reynard, E., Hobléa, F., Cayla, N., & Gauchon, C. (2011). Les hauts lieux géologiques et géomorphologiques alpins. *Revue de géographie alpine*, *99*(2), 1-15.

Reynard, E., Holzmann, C., Lambiel, C., & Phillips, M. (2005). Légende géomorphologique de l'IGD et Guide pratique pour le levé de cartes géomorphologiques. Lausanne. Institut de Géographie, Université de Lausanne.

Reynard, E., Laigre, L., & Kramar, N. (Eds.). (2011). *Les géosciences au service de la société. Actes du colloque organisé en l'honneur du Professeur Michel Marthaler 24-26 juin 2010, Lausanne* (Vol. 37). Lausanne: Institut de Géographie de l'Université de Lausanne.

Reynard, E., Monbaron, M., & Marthaler, M. (2004). Paysages géomorphologiques. In *Compte-rendu du séminaire de 3ème cycle CUSO 2003* (Vol. 27, p. 1-7). Lausanne: Institut de Géographie, Université de Lausanne.

Reynard, E., Perret, A., Grangier, L., & Kozlik, L. (2012c). Methodological approach for the assessment, protection, promotion and management of geoheritage. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (Vol. 14, p. 3740).

Rivas, V., Rix, K., Frances, E., Cendrero, A., & Brunsden, D. (1997). Geomorphological indicators for environmental impact assessment: consumable and non-consumable geomorphological resources. *Geomorphology*, *18*(3–4), 169-182.

Rodrigues Barbosa, C. (2003). Le sens du beau dans les expositions scientifiques l'émotion du visiteur. In B. Pellegrini (Éd.), *Sciences au musée, sciences nomades* (p. 343-351). Genève: Georg.

Roqueplo, P. (1979). Technique et idéologie. *Culture et technique*, 1, 19-27.

Rosselli, A., & Olivier, R. (2003). Modélisation gravimétrique 2.5D et cartes des isohypses au 1:100'000 du substratum rocheux de la Vallée du Rhône entre Villeneuve et Brig (Suisse). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 96, 399-423.

Rouiller, S. (2002). *A la découverte de Salanfe.... D'une étude géologique et géomorphologique à la création d'un sentier didactique.* (Mémoire de Licence). Université de Lausanne, Institut de Géographie, Lausanne.

Sauvage, J. (1967). Etude palynologique des sédiments du la Léman (« Oldest Dryas » à Actuel). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, *264*, 250-253.

Scapozza, C. (2013). *Stratigraphie, morphodynamique, paléoenvironnements des terrains sédimentaires à forte déclivité du domaine périglaciaire alpin* (Thèse de doctorat). Université de Lausanne, Lausanne.

Schaer, J.-P. (2000). Agassiz et les glaciers: sa conduite de la recherche et ses mérites. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, *93*, 231-256.

Schardt, H. (1898). Les régions exotiques du versant Nord des Alpes suisses (Préalpes du Chablais et du Stockhorn et les Klippes): leurs relations avec l'origine des blocs et brèches exotiques et la formation du Flysch. *Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles*, *34*, 113-219.

Schardt, H. (1908a). La Pierre des Marmettes et la grande moraine de blocs de Monthey (Valais). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, *10*(4), 556-566.

Schardt, H. (1908b). Tauretunum (article). In *Dictionnaire géographique de la Suisse* (Vol. Tome 5). Neuchâtel.

Schlüchter, C. (1988). The deglaciation of the Swiss-Alps : a paleoclimatic event with chronological problems. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, *25*, 141-145.

Schlüchter, C., & Röthlisberger, C. (1995). 100'000 Jahre Gletschergeschichte. In *Gletscher im ständigen Wandel* (p. 47-63). Zürich.

Schoeneich, P. (1992). Glaciers rocheux fossiles dans les Préalpes vaudoises. *Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles*, *82*, 35-55.

Schoeneich, P. (1993). Comparaison des systèmes de légendes français, allemand et suisse - principes de la légende IGUL. In P. Schoeneich & E. Reynard (Eds.), *Cartographie géomorphologique - Cartographie des risques* (Vol. 9, p. 15-24). Lausanne: Institut de Géographie Lausanne.

Schoeneich, P. (1998a). *Le retrait glaciaire dans les vallées des Ormonts, de l'Hongrin et de l'Etivaz (Préalpes vaudoises).* (Thèse de doctorat). Institut de géographie, Université de Lausanne.

Schoeneich, P. (1998b). Corrélation du dernier maximum glaciaire et de la déglaciation alpine avec l'enregistrement isotopique du Groenland. *Quaternaire*, *9*, 203-215.

Schoeneich, P. (1999a). Le Duzillet - cadre géologique et stratigraphique. In D. Weidmann & B. Becker (Eds.), *Les troncs d'arbres fossiles des gravières de Duzillet (Ollon, VD, Suisse) et l'évolution du Chablais au tardi- et postglaciaire* (Vol. 3, p. 311-324). Lausanne: Société vaudoise des sciences naturelles.

Schoeneich, P. (1999b). Les terrasses quaternaires du Léman. In Slatkine (Éd.), *Découvrir le Léman 100 ans après François-Alphonse Forel* (p. 415-429). Nyon: Musée du Léman.

Schoeneich, P. (2002). Le lobe lyonnais: glacier du Rhône et/ou glaciers savoyard? Excursion annuelle de l'AFEQ, 8-11 mai 2002, annexe au livret guide, 3p.

Schoeneich, P. (2004). La naissance violente d'un terroir. In H.-L. Guignard, F. Baatard, & R. Barras (Éd.), *Noville et Rennaz* (p. 14-21). Association de l'Académie du Chablais.

Schoeneich, P. (s. d-a.). *La « récurrence » des glaciers locaux du Chablais* (Rapport non publié). Groupe de travail Quaternaire lémanique.

Schoeneich, P. (s. d.-b). *Le culot de glace morte du Léman* (Rapport non publié). Groupe de travail Quaternaire lémanique.

Schoeneich, P., & Corboud, P. (1999). The « dating » of the Tinière trench by A. Morlot in 1856-1866: one of the first attempts of absolute dating in archeology and quaternary geology. In *Actes du 3ème symposium international C14 et archéologie* (p. 105-111). Paris: Revue d'Archéométrie.

Schoeneich, P., Coutterand, S., Gamond, J.-F., Hajdas, I., Ivy Ochs, S., Ménard, G., & Preusser, F. (2011). The age of the LGM in the Western and Northwestern Alps (Switzerland and France). Results from various dating techniques. In *Abstract Volume 18th INQUA Congress*. Vienne.

Schoeneich, P., Dorthe-Monachon, C., Jaillet, S., & Ballandras, S. (1997). Le retrait glaciaire dans les vallées des Préalpes et des Alpes au Tardiglaciaire. Présenté au 8e Colloque International sur les Alpes dans l'Antiquité. *Bulletin d'études préhistoriques et archéologiques alpines*. Numéro spécial, 23-37.

Schoeneich, P., & Nicoud, G. (1998). *Excursion Rhone Glacier Transect*. IGCP 378 - Circumalpine Quaternary correlations.

Schoeneich, P., Reynard, E., Pierrehumbert, G., 1998. Geomorphological mapping in the Swiss Alps and Prealps, in: *Hochgebirgskartographie Silvretta '98*. Presented at the Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Kriz K, 145–153.

Secrétariat technique conjoint INTERREG IV A France-Suisse. (2012, octobre 19). Dossier de presse: programme opérationnel de coopération territoriale européenne interreg IV A France-Suisse 2007-2013. STC Interreg IV A France-Suisse. Consulté à l'adresse http://www.clients-cms.com/CMS/documents/2981/communique_presse/DP-Interreg-v4-171012.pdf

Serrano, E., & González-Trueba, J. J. (2005). Assessment of geomorphosites in natural protected areas: the Picos de Europa National Park (Spain). *Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement*, *3*, 197-208.

Serrano, E., & Ruiz-Flano, P. (2007). Geodiversity. A theoretical and applied concept. *Geographica Helvetica*, *3*, 140-147.

Sharples, C. (1993). *A methodology for the identification of significant landforms and geological sites for geoconservation purposes* (Report to). Tasmania: Forestry Commission.

Sharples, C. (2002). Concept and principles of geoconservation. Tasmanian Parks & Wildlife Service website. Consulté à l'adresse http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/Attachments/SJON-57W3YM/$FILE/geoconservation.pdf

SIAC. (2010). *Démarche Géoparc Chablais. Dossier pour la nomination au réseau des Géoparcs Européens et au réseau mondial des Géoparcs de l'UNESCO* (Dossier de candidature) (p. 266). Thonon-les-Bains: SIAC.

SIAC. (2012a). Cahier des charges. Réalisation d'une exposition consacrée au patrimoine glaciaire des 3 Chablais. SIAC.

SIAC. (2012b). *SCot - Rapport de présentation, diagnostic et étude d'impact sur l'environnement*. Thonon-les-Bains: Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Chablais.

SIAC. (s. d.). Les géo-patrimoines. *http://www.siac-chablais.fr*. Consulté 17 novembre 2013, à l'adresse http://www.siac-chablais.fr/creer-geoparc/les-geo-patrimoines.html

Smith, J. A., Seltzer, G. O., Farber, D. L., Rodbell, D. T., & Finkel, R. C. (2005). Early Local Last Glacial Maximum in the Tropical Andes. *Science*, *308*(5722), 678-681.

Stock, E. (1997). Geo-processes as heritage. In R. Eberhard (Ed.), *Pattern and process: towards a regional approach to national estate assessment of geodiversity* (p. 41-50). Canberra: Australian Heritage Commission.

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 pour la protection des géotopes en Suisse.

Stuber, A. (1997). La protection des géotopes: la dynamique engendre la diversité. In *Manuel de la protection de la nature en Suisse*, p. 83-91. Lausanne : Delachaux et Niestlé.

Stuiver, M., & van der Plicht, J. (Eds.). (1998). Calibration Issue. *Radiocarbon*, *40*(3).

Stürm, B. (1994). Intégration de la protection du patrimoine géologique dans l'aménagement du territoire en Suisse, Mém. Soc. Géol. France, *165*, 93-97.

Tilden, F. (2007). *Interpreting our heritage*. Chapel Hill: University of North Carolina Press.

Tornatore, J.-L. (2010). L'esprit de patrimoine. *Terrain*, *55*, 106-127.

Triganon, A. (2002). *Géométrie et fonctionnement d'un aquifère quaternaire du bassin Lémanique. Etude géologique et application de nouvelles méthodes isotopiques sur le système hydrominéral d'Evian (France)* (Thèse de doctorat). Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, Avignon.

Triganon, A., Nicoud, G., Guiter, F., & Blavoux, B. (2005). Contrôle de la construction de l'ensemble détritique de la région d'Evian par trois phases glaciaires durant le Würm. *Quaternaire*, *16(1)*, 57-63.

UNESCO. (1972). Convention concernant la protection du patrimoine mondial, culturel et naturel. Consulté à l'adresse http://whc.unesco.org/fr/conventiontexte/

UNESCO. (2003). Convention pour la sauvegarde du patrimoine culturel immatériel. UNESCO, Paris. Consulté à l'adresse http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001325/132540f.pdf

UNESCO. (2010). *Global Geoparks Network: Guidelines and Criteria for National Geoparks seeking UNESCO's assistance to join the Global Geoparks Network* (p. 12). Consulté à l'adresse http://www.globalgeopark.org/UploadFiles/2012_9_6/GGN2010.pdf

UNESCO, & EGN. (2001). Agreement of co-operation between the Divison of Earth Sciences of UNESCO and the Network of European Geoparks. Almeria.

Venetz, I. (1833). Mémoire sur les variations de la température dans les Alpes de la Suisse (rédigé en 1821). *Mémoire de la Société Helvétique des Sciences Naturelles*, *1*(2), 1-28.

Venetz, I. (1861). *Mémoire sur l'extension des anciens glaciers. Ouvrage rédigé entre 1857 et 1858. Publication posthume*. Zurich.

Veschambre, V. (2007). Patrimoine : un objet révélateur des évolutions de la géographie et de sa place dans les sciences sociales. *Annales de géographie*, *656*(4), 361-381.

Vial, R. (1975). Le Quaternaire dans le Bas-Chablais (Haute-Savoie). Les derniers épisodes de retrait glaciaire. *Géologie alpine*, *51*, 129-144.

Vial, R. (1976). *Étude géologique et hydrogéologique de la région de Thonon-Douvaine (Haute-Savoie)* (Thèse de doctorat). Université scientifique et médicale de Grenoble, Grenoble.

Villaret, P., & Burri, M. (1965). Les découvertes palynologiques de Vidy et leur signification pour l'histoire du lac Léman. *Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles*, *69*, 1-19.

Vivien, F.-D. (2005). Et la nature devient patrimoine... In C. Barrère, D. Barthélemy, M. Nieddu, & F.-D. Vivien (Éd.), *Réinventer le patrimoine. De la culture à l'économie, une nouvelle pensée du patrimoine* (p. 45-70). Paris: L'Harmattan.

Wagensberg, J. (2003). The real object and triple interactivity in modern scientific museology. In B. Pellegrini (Ed.), *Sciences au musée, sciences nomades* (p. 73-90). Genève: Georg.

Weidmann, M. (1974). Sur quelques gisements de vertébrés dans le Quaternaire du canton de Vaud. *Bulletin des laboratoires de géologie, minéralogie, géophysique et du musée géologique de l'Univ. de Lausanne*, *209*, 10.

Welten, M. (1982). *Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen in den westlichen Schweizer Alpen: Bern-Wallis* (Vol. 95). Basel: Birkhäuser.

Wetter, W. (1987). *Spätglaziale Gletscherstände in den Täler des Avançon und der Gryonne* (Rapport non publié).

Wildi, W., & Pugin, A. (1998). Histoire géologique du relief du bassin lémanique. *Archives des Sciences de Genève*, *51*, 5-12.

www.jura.ch. (s. d.). Arbres remarquables - République et Canton du Jura. Consulté 14 décembre 2012, à l'adresse http://www.jura.ch/DEE/ENV/Forets/Annee-de-la-foret/Arbres-remarquables/Des-arbres-remarquables-comme-ambassadeurs-de-la-foret-jurassienne.html

Zech, R., Glaser, B., Sosin, P., Kubik, P. W., & Zech, W. (2005). Evidence for long-lasting landform surface instability on hummocky moraines in the Pamir Mountains (Tajikistan) from 10Be surface exposure dating. *Earth and Planetary Science Letters*, *237*(3–4), 453-461.

Zouros, N. (2004). The European Geoparks Network. Geological heritage protection and local development. *Episodes*, *27*(3), 165-171.

Zouros, N. (2007). Geomorphosites assesssment and managment in protected areas of Greece. Case study of Lesvos island - Coastal geomorphosites. *Geographica Helvetica*, *3*, 169-180.

N° 44 Gabriela WERREN (2013) : Maps as risk mitigation tools. Adaptation of the Swiss hazard assessment and mapping methodology to a Moroccan site: Beni Mellal. Lausanne : Université, Institut de géographie et durabilité. 226 pages.

N° 43 Mariano BONRIPOSI (2013) : Analyse systémique et prospective des usages de l'eau dans la région de Crans - Montana - Sierre (Suisse). Lausanne : Université, Institut de géographie et durabilité. 298 pages.

N° 42 Sabine JAQUET (2013) : Identité, projet, changement : des représentations sociales aux leviers de l'action publique. Pour un mode de gouvernance axé sur le développement territorial. Etude de cas : canton du Jura (Suisse). Lausanne : Université, Institut de géographie et durabilité. 264 pages.

N° 41 Simon MARTIN (2013) : Valoriser le géopatrimoine par la médiation indirecte et la visualisation des objets géomorphologiques. Lausanne : Université, Institut de géographie et durabilité. 273 pages.

N° 40 Cristian SCAPOZZA (2013) : Stratigraphie, morphodynamique, paléoenvironnements des terrains sédimentaires meubles à forte déclivité du domaine périglaciaire alpin. Lausanne : Université, Institut de géographie et durabilité. 551 pages.

N° 39 Philippe HERTIG (2012) : Didactique de la géographie et formation initiale des enseignants spécialistes. Conception et première évaluation du nouveau dispositif de formation initiale des enseignants de géographie du secondaire supérieur à la HEP Vaud. Lausanne : Université, Institut de géographie. 260 pages.

N° 38 Géraldine REGOLINI (2012) : Cartographier les géomorphosites. Objectifs, publics et propositions méthodologiques. Lausanne : Université, Institut de géographie. 294 pages.

N° 37 Emmanuel REYNARD, Laetitia LAIGRE, Nicolas KRAMAR (eds) (2011) : Les géosciences au service de la société. Actes du colloque organisé en l'honneur du Professeur Michel Marthaler, 24-26 juin 2010, Lausanne. Lausanne : Université, Institut de géographie. 262 pages.

N° 36 Christophe LAMBIEL, Emmanuel REYNARD, Cristian SCAPOZZA (eds) (2011) : La géomorphologie alpine: entre patrimoine et contrainte. Actes du colloque de la Société Suisse de Géomorphologie, 3-5 septembre 2009, Olivone. Lausanne : Université, Institut de géographie. 273 pages.

N° 35 Géraldine REGOLINI-BISSIG, Emmanuel REYNARD (eds) (2010) : Mapping Geoheritage. Lausanne : Université, Institut de géographie.127 pages.

N° 34 Lawali DAMBO (2007) : Usages de l'eau à Gaya (Niger) : entre fortes potentialités et contraintes majeures. Thèse de doctorat, 354 pages. Version couleur sur CD-ROM annexé.

UNIL | Université de Lausanne

Institut de géographie et durabilité

Quartier - Mouline
Géopolis
CH-1015 Lausanne

www.unil.ch/igd

ISBN 978-2-940368-21-1