UNIVERSITÉ DE FRIBOURG
UNIVERSITÄT FREIBURG
Département de Géosciences, Institut de Géographie

Travail de Master

Géotopes fribourgeois d'importance cantonale : approche méthodologique et inventaire

Réalisé par

Quentin Vonlanthen
Rte de la Gérine 22
1723 Marly

Sous la direction de

Dr. Luc Braillard & Prof. Reynald Delaloye

Fribourg, Août 2019

Images d’illustration de la page de garde :
Sélection de géotopes d’importance cantonale choisis dans ce travail.

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

Table des matières

1 Introduction et problématique 9

1.1 Inventaire, protection et valorisation du patrimoine géologique et géomorphologique fribourgeois 9

1.2 Objectif et questions de recherche 10

1.3 Structure du travail 11

2 Cadre théorique 14

2.1 La notion de géotope 14

2.1.1 Etymologie, synonymes et usages 14

2.1.2 Définitions, sens restreint et élargi 14

2.2 Caractéristiques des géotopes 17

2.2.1 Considérations spatiales 17

2.2.2 Géotopes actifs et géotopes fossiles 19

2.2.3 Géotopes naturels et géotopes artificiels 22

2.3 Catégorisation et typologie des géotopes 23

2.4 Intérêt, valeur et importance des géotopes 25

2.4.1 Intérêts géoscientifiques et intérêts annexes des géotopes 25

2.4.2 Valeur scientifique et valeurs additionnelles 29

2.4.3 Importance des géotopes : qu'est-ce qu'un géotope d'importance cantonale ? 31

2.5 Géotopes et paysage 33

2.5.1 Le paysage et ses dimensions objectives et subjectives 33

2.5.2 Le relief comme armature physique des paysages 34

2.5.3 Le substrat géologique et son influence paysagère 34

2.5.4 Les géotopes comme marqueurs et clés de compréhension du paysage 35

2.6 Géotopes et patrimoine 36

2.6.1 La *Déclaration internationale des droits de la mémoire de la Terre* 36

2.6.2 Les géotopes, des constituants du patrimoine naturel abiotique 37

2.6.3 Les processus de patrimonialisation 37

2.7 La géoconservation ou la protection du patrimoine géologique 39

2.7.1 Le concept de géoconservation 39

2.7.2 Protection du patrimoine géologique, un bref historique 39

2.7.3 Pourquoi protéger le patrimoine géologique ? 41

2.7.4 Comment protéger le patrimoine géologique ? 44

3 Contexte de la recherche 46
3.1 Cadre légal : la LPNat du 12 septembre 2012 46
3.2 La révision du plan directeur cantonal 48
3.3 L'inventaire des paysages d'importance cantonale 50
3.4 L'inventorisation des géotopes, un état des lieux 52
3.4.1 À l'internationale 52
3.4.2 Au niveau national : l'*Inventaire des géotopes suisses* 52
3.4.3 Les inventaires cantonaux 53
3.4.4 L'inventorisation des géotopes dans le canton de Fribourg 55

4 Aperçu géologique et géomorphologique du canton de Fribourg 56
4.1 Géologie des Préalpes 58
4.1.1 Paléogéographie et orogenèse de la chaine préalpine 58
4.1.2 Structure générale et accidents tectoniques majeurs 60
4.1.3 Préalpes médianes plastiques et rigides 62
4.1.4 Nappe du Gurnigel 64
4.1.5 Préalpes supérieures 66
4.1.6 Ultrahelvétique 68
4.2 Molasse du Plateau et molasse subalpine 70
4.2.1 Paléogéographie, divisions tectonique et stratigraphique du bassin molassique 70
4.2.2 Molasse marine inférieure (UMM) 72
4.2.3 Molasse d'eau douce inférieure (USM) 73
4.2.4 Molasse marine supérieure (OMM) 75
4.2.5 Molasse d'eau douce supérieure (OSM) 77
4.3 Contexte géomorphologique : évolution récente du relief fribourgeois 78
4.3.1 De l'histoire des roches et des déformations à celle des formes et du relief 78
4.3.2 Le Quaternaire : considérations chronologiques, climatiques et stratigraphiques 78
4.3.3 Evolution paléogéographique des 115'000 dernières années 80
4.3.4 Les différentes entités géomorphologiques du canton 84

5 Démarche et méthodes de sélection 85
5.1 Démarche générale, vision synoptique 85
5.2 Définition d'objectifs généraux et de critères d'évaluation 86
5.3 Consultation d'experts 87
5.3.1 Objectifs de la consultation 87

5.3.2 Démarche générale 87
5.3.3 Résultats et critiques de la méthode 88
5.4 Travaux existants : organisation, tri et présélection des données 89
5.4.1 Littérature générale, cartes et notices géologiques 89
5.4.2 *Géotopes suisses du canton de Fribourg* (ASSN, 2012) 91
5.4.3 *Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg* (Grandgirard, 1999) 94
5.4.4 *Liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale* (Berger, 1995) 100
5.4.5 *Inventaire spéléologique du canton de Fribourg* (SCPF, 2013) 102
5.4.6 *Inventaire des blocs erratiques du canton de Fribourg* (Bollin, 1995) 103
5.4.7 *Inventaire des sites fossilifères fribourgeois* (Berger, 1998 ; Yerly, 2012) 104
5.4.8 *Liste des unités stratigraphiques et coupes-types du canton* (CSS, Swisstopo) 106
5.4.9 *Inventaire des géomorphosites du Parc régional naturel Gruyère-Pays d'Enhaut* (Duhem, 2008 ; Bussard, 2014) 108
5.5 Documentation des géotopes 109
5.5.1 Réalisation de fiches d'inventaire 109
5.5.2 Création d'une base de données 109
5.5.3 Délimitation et représentation cartographique des géotopes 109

6 Sélection des géotopes d'importance cantonale 110
6.1 Grands ensembles structuraux et géotopes d'intérêt tectonique 111
6.2 Affleurements rocheux 115
6.2.1 Sites fossilifères 115
6.2.2 Structures sédimentaires, faciès pétrographiques, coupes-types et successions stratigraphiques remarquables 120
6.2.3 Géotopes résultant de l'exploitation humaine 125
6.3 Géotopes gravitaires 130
6.4 Géotopes karstiques 134
6.4.1 Formes karstiques de surface 135
6.4.2 Cavités et réseaux souterrains (géotopes spéléologiques) 138
6.4.3 Pertes et sources karstiques 143
6.5 Géotopes d'origine glaciaire et périglaciaire 146
6.5.1 Blocs erratiques 146
6.5.2 Formes d'érosion et de dépôts glaciaires 152
6.5.3 Formes périglaciaires fossiles et pergélisol de moyenne altitude 159

6.6 Géotopes fluviatiles 164
6.7 Géotopes lacustres et palustres 170

7 Discussion 174
7.1 Analyse des résultats de l'inventaire 174
7.1.1 Diversité des typologies et des intérêts géoscientifiques 174
7.1.2 Représentativité du substrat géologique et des dépôts quaternaires 178
7.1.3 Répartition spatiale : représentativité des zones géographiques et des entités géomorphologiques du canton de Fribourg 181
7.2 Forces de l'inventaire 185
7.3 Limites de l'inventaire 186

8 Conclusion et perspectives 188
8.1 Conclusion 188
8.2 Perspectives 189

9 Bibliographie 190

10 Annexes 203

Résumé

L'objectif principal de ce travail de Master est de **déterminer les géotopes fribourgeois d'importance cantonale** (ou GICs). La réalisation de cet inventaire est encadrée par la nouvelle *loi sur la protection de la nature et du paysage* (LPNat) adoptée en septembre 2012 et s'inscrit dans le cadre de la révision en cours du plan directeur cantonal.

Pour parvenir à cette sélection d'objets cantonaux, ce travail clarifie d'abord le concept encore peu connu de *géotope*. Ces sites géo(morpho)logiques d'importance ont été définis par Strasser et al. (1995 : 5) comme « *des portions de la géosphère délimitées dans l'espace et d'une importance géologique, géomorphologique ou géoécologique particulière. Ils sont des témoins importants de l'histoire de la Terre et donnent un aperçu sur l'évolution du paysage et du climat* ». Les géotopes sont également présentés comme des éléments essentiels des patrimoines naturel et paysager ce qui justifie que ces sites soient préservés au travers de mesures de géoconservation.

Le choix des géotopes d'importance cantonale nécessitant une bonne connaissance des spécificités géo(morpho)logiques du canton, ce travail propose ensuite un aperçu de la géologie et de la géomorphologie régionale en résumant l'histoire des roches, des déformations et des formes à l'origine des paysages des Préalpes et du plateau molassique fribourgeois.

La démarche méthodologique consiste ensuite à définir des objectifs généraux et à déterminer des critères de sélection pour l'inventaire. Une consultation d'experts a également été mise sur pied afin de récolter des propositions de géotopes et pour modérer la subjectivité d'une sélection effectuée par un unique contributeur. Ces nouvelles données ont été croisées avec celles des différents inventaires qui documentent déjà des sites géo(morpho)logiques remarquables du canton. La sélection finale s'est opérée par catégories thématiques et une liste de **92 géotopes d'importance cantonale** a été établie. Parmi ces objets, 11 ont été documentés au moyen de fiches d'inventaire disponibles en annexe.

Ces résultats ont finalement été soumis à une analyse quantitative qui a permis de vérifier le respect des objectifs généraux tout en soulevant les forces et les faiblesses de la méthodologie utilisée dans ce travail.

Remerciements

L'écriture d'un travail de Master représente un long cheminement, une quête solitaire semée d'embûches, de doutes, de ras-le-bol et de remises en question. C'est aussi la source de quelques satisfactions : celles de comprendre un peu mieux les spécificités géo(morpho)logiques de notre beau canton, de trouver soudain la bonne formulation, ou la couleur adéquate pour ses histogrammes.

Mais l'achévement d'un tel travail ne peut s'envisager qu'avec l'appui, l'encouragement et la contribution d'un certain nombre de personnes à qui je veux ici adresser ma reconnaissance.

Mes remerciements vont d'abord à mon superviseur, **Luc Braillard**, pour ses conseils avisés, sa disponibilité, ses encouragements et l'intérêt sincère porté à ce travail.

Je remercie également **Reynald Delaloye**, relecteur de cette thèse et Professeur qui a suscité chez moi un vif intérêt pour la géomorphologie au cours de mes études.

Ma reconnaissance va aussi à l'équipe de l'ex Service de la nature et du paysage (SNP), désormais intégré au nouveau Service des forêts et de la nature (SFN), pour leur accueil chaleureux lors d'un stage effectué fin 2018. Je remercie particulièrement **Michelle Schneuwly** qui a proposé ce projet de recherche à l'Université de Fribourg et qui a parcouru les (trop) nombreuses pages de ce travail.

Un grand merci aux cinq experts qui ont donné de leur temps pour proposer leur liste de géotopes d'importance cantonale **: M. Michel Joye, M. André Strasser, M. Raymond Plancherel, M. Sebastien Morard et M. Luc Braillard.**

Je remercie également M. **Emmanuel Gerber**, directeur adjoint du Musée d'histoire naturelle, M. **Michel Monbaron**, Professeur retraité de l'Université de Fribourg, ainsi que M. **Vincent Grandgirard**, auteur du remarquable *Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg*, avec qui j'ai pu échanger sur l'inventorisation, la préservation et la valorisation du patrimoine géologique fribourgeois.

J'exprime également toute ma reconaissance à **mes parents**, Patrick et Christine, ainsi qu'à **ma sœur** Ophélie qui m'ont toujours encouragé durant mes études et lors de la rédaction de ce travail. Merci aussi à tous **mes amis** de l'Université de Fribourg ou venant d'autres horizons qui ont contribué à la réussite de ces belles années estudiantines.

Je remercie enfin **Fiona Jaquet** qui partage ma vie et qui a relu l'ensemble de ce travail (300 pages sur des « tas de cailloux », tout de même) pour en corriger les innombrables fautes. Merci pour ton écoute, ta patience et ton soutien de tous les instants.

1 Introduction et problématique

1.1 Inventaire, protection et valorisation du patrimoine géologique et géomorphologique fribourgeois

La Suisse est mondialement réputée pour la beauté de ses paysages et la qualité de ses espaces naturels. Le canton de Fribourg n'est pas en reste et a su maintenir son caractère rural et un cadre naturel préservé. Toutefois, le dynamisme économique et la forte croissance démographique de ces dernières décennies ont sensiblement accru la pression de l'homme sur l'environnement. Ainsi, l'emprise humaine sur le territoire se fait chaque année plus forte et se manifeste par un étalement urbain conséquent et une augmentation significative des activités et infrastructures anthropiques.

Heureusement, les législations fédérales et cantonales garantissent une certaine protection de la nature et du paysage tandis que les plans directeurs cantonaux (PDc) et les plans d'aménagement locaux (PAL) encadrent le développement spatial du territoire. Depuis l'adoption de la *Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage* (LPN) en 1966, la préservation de la faune, de la flore et des écosystèmes a ainsi fortement progressé notamment grâce à la création d'espaces protégés : sites marécageux, zones alluviales, districts francs, zones de tranquillité, réserves ou parcs naturels, etc. Aujourd'hui, ces politiques publiques en faveur de la nature sont généralement accueillies favorablement par le grand public qui s'est peu à peu emparé de ces problématiques environnementales. La population exprime également un vif attachement au paysage qui constitue un élément majeur de l'identité régionale.

Malgré ces avancées réjouissantes, une dimension essentielle du paysage naturel demeure largement méconnue et n'a jusqu'alors pas bénéficié de mesures spécifiques de gestion. Il s'agit de la composante géologique et géomorphologique du territoire dont l'importance peine à être appréciée à sa juste valeur (Strasser et al., 1995 ; Grandgirard, 1997a ; Lugon et Reynard, 2003 ; Reynard, 2012). Si les concepts de *biotope* et de *biodiversité* sont aujourd'hui connus de tous, les notions de *géotope* et de *géodiversité* ne sont encore utilisées que par un cercle restreint de spécialistes (Sharples, 2002). Le **patrimoine géologique**, qui représente la part abiotique du patrimoine naturel, constitue pourtant le substrat de la vie et l'armature physique des paysages. Les **géotopes** en représentent les sites les plus remarquables et constituent, avant tout, de précieux témoins permettant de reconstituer l'histoire de la Terre. Au regard de la fragilité du monde vivant, ces objets géo(morpho)logiques peuvent sembler immuables et inaltérables. Une partie de cet héritage naturel est pourtant menacée et la prise en compte de la valeur intrinsèque des géotopes, qui justifie à elle-seule la préservation de ces objets, « *est d'autant plus important[e] que le patrimoine géo(morpho)logique est fini et non renouvelable* » (Grandgirard, 1997a : 48).

Avec la nouvelle *Loi sur la protection de la nature et du paysage* (LPNat), adoptée en septembre 2012, et la révision en cours du plan directeur cantonal (PDc), le canton de Fribourg dispose désormais d'une base légale et d'un contexte politique favorable à une réelle prise en compte du patrimoine géo(morpho)logique dans l'aménagement du territoire. Ce sont d'ailleurs les articles de la LPNat, présentés dans le détail au chapitre 3.1, qui guident la trame générale du présent travail. De manière analogue à la protection des biotopes, il s'agit de sélectionner des *géotopes d'importance cantonale* (abr. GICs), puis de documenter ces objets remarquables qui seront placés sous la responsabilité directe du canton. Bien qu'indispensable, ce recensement de sites dignes de protection ne suffit pas à garantir une gestion efficiente et généralisée du patrimoine géologique. Celle-ci passe aussi « *par une meilleure (re)connaissance de la valeur patrimoniale* » des géotopes (Bussard, 2014 : 2) et par le développement d'une certaine « *conscience géologique* » (Megerle et Beuter, 2011 : 78) dans toutes les sphères de la société. En présentant la diversité des géotopes et la remarquable richesse géo(morpho)logique du canton de Fribourg, ce travail peut contribuer à cette sensibilisation du public et constituer une première étape de valorisation de ce patrimoine trop peu considéré jusqu'ici.

1.2 Objectif et questions de recherche

L'objectif principal de ce travail de Master est de **déterminer les géotopes fribourgeois d'importance cantonale**. Se pose alors la question du comment, et donc de la méthodologie à mettre en place pour arriver à cette fin. Plusieurs questions de recherche naissent de cette reflexion méthodologique et guident la trame de ce travail.

Sur le **plan théorique** d'abord :

- Qu'est-ce qu'un géotope ? et un géotope d'importance cantonale ?
- Comment apprécier la valeur de ces objets ?
- Comment s'articule ce concept avec les notions de paysage et de patrimoine ?
- Pourquoi et comment protéger le patrimoine géo(morpho)logique ?

Il s'agit aussi d'investiguer le **contexte** dans lequel s'inscrit cet inventaire :

- Quelle base légale encadre la protection des géotopes ? et quel est le contenu précis de cette législation ?
- Par quel moyen les autorités cantonales et communales seront-elles guidées dans la gestion du patrimoine géologique ? et comment s'intégreront les résultats du présent travail dans les instruments d'amménagement du territoire ?
- Quel est l'état de la recherche sur l'inventorisation des géotopes (à l'étranger, en Suisse et dans les autres cantons) ?

La sélection des géotopes d'importance cantonale impose également de **solides connaissances sur la géologie et la géomorphologie** fribourgeoises :

- Quelle est l'histoire géo(morpho)logique du canton de Fribourg ?
- Quelles en sont les grandes unités géologiques et tectoniques ? et les spécificités et caractéristiques paysagères de chacune d'entre elles ?
- Quelles sont les évolutions paléogéographiques et processus morphogénétiques récents à l'origine des formes quaternaires qui caractérisent le relief fribourgeois ?

Viennent ensuite des **questions d'ordre méthodologique** qui orientent la démarche globale de sélection des géotopes d'importance cantonale :

- Quels sont les objectifs généraux de l'inventaire ? et quels sont les critères de sélection à utiliser pour distinguer les géotopes de plus grande valeur ?
- Comment mener à bien une consultation d'experts ? et traiter les résultats de cette enquête ?
- Quelles données existent déjà sur le patrimoine géo(morpho)logique fribourgeois ? et comment ordonner ces données en vue d'une sélection des objets d'importance cantonale ?
- Comment documenter les géotopes dans le cadre d'un inventaire ?
- Quelles sont les différentes catégories de géotopes représentés dans le canton ? et comment adapter les critères de sélection aux spécificités de ces objets ?

Il s'agit finalement de **contrôler les résultats obtenus et d'adopter un regard critique sur la méthodologie utilisée** :

- La sélection de géotopes d'importance cantonale répond-elle aux objectifs généraux de l'inventaire ?
- Quelles sont les forces et les limites de cette démarche de sélection ?

1.3 Structure du travail

Pour répondre à l'ensemble des questions listées ci-dessus, sept chapitres font suite à la présente introduction et structurent ce travail de master.

Le **chapitre 2** présente le cadre théorique et précise les concepts mobilisés dans ce travail. Il s'agit d'abord de clarifier la notion de géotope, terme dont l'usage est loin d'être univoque, et d'en énoncer les caractéristiques principales. Le **chapitre 2.3** décrit les différentes typologies qui servent à catégoriser ces objets géologiques tout en pointant le caractère arbitraire et réducteur propre à toute démarche de classification. Le **chapitre 2.4** distingue et définit les notions d'*intérêt*, de *valeur* et d'*importance* qui sont utilisées de façon différenciée dans ce travail. Les géotopes sont présentés comme des lieux d'importance pour les géosciences, mais aussi comme des sites d'intérêts écologique,

culturel (religieux, historique), paysager ou économique. Une définition du concept de *géotope d'importance cantonale*, fil conducteur de l'ensemble du travail, est également proposée à la fin de ce chapitre. Le fort lien qui existe entre les géotopes et le paysage constitue l'objet du **chapitre 2.5**. Il est ensuite question d'interroger la notion de *patrimoine naturel* et de décrire les processus qui concourent à la patrimonialisation des objets géologiques (**chapitre 2.6**). Pour conclure cette partie théorique, le **chapitre 2.7** présente le concept de géoconservation et en propose un bref historique. Les raisons pour lesquelles le patrimoine géologique devrait être protégé y sont énoncées et des mesures générales de gestion y sont proposées.

Le **chapitre 3** passe en revue la base légale et le contexte politique qui justifient et encadrent le présent travail. Le **chapitre 3.1** décrypte d'abord la nouvelle *Loi sur la protection de la nature et du paysage* (LPNat) en sélectionnant les articles qui concernent directement les géotopes. Le **chapitre 3.2** aborde ensuite la révision actuelle du plan directeur cantonal dans lequel devront s'intégrer les résultats du présent travail. Le **chapitre 3.3** propose finalement une revue des inventaires existants à l'échelle internationale, nationale, et dans les différents cantons suisses. Ces différents documents constituent des sources d'inspiration pour inventorier les géotopes fribourgeois d'importance cantonale.

Le **chapitre 4** propose un aperçu géologique et géomorphologique du canton de Fribourg en présentant les différentes unités géologiques qui composent le plateau et les Préalpes fribourgeoises. Le **chapitre 4.1** décrit brièvement l'orogenèse préalpine qui détermine la structure générale de la chaîne et la position actuelle de ses différentes nappes. Ces unités tectoniques font d'ailleurs chacune l'objet d'un sous-chapitre qui retrace l'histoire des roches qui les composent puisque le substrat influence fortement le paysage visible en surface. Le **chapitre 4.2** propose un survol du plateau molassique fribourgeois en reconstituant l'évolution paléogéographique de ce bassin d'avant-pays. Il décrit aussi les différentes unités lithostratigraphiques qui résultent de cette longue histoire sédimentaire, jalonnée de phases d'incursion et de régression marines. Le **chapitre 4.3** s'intéresse finalement au contexte géomorphologique et donc aux modifications récentes du relief fribourgeois qui garde la trace des multiples invasions glaciaires du Quaternaire et des processus morphogénétiques actifs durant le Tardiglaciaire et l'Holocène.

Le **chapitre 5** décrit l'approche globale et les différentes méthodes utilisées pour parvenir à la sélection des géotopes d'importance cantonale. Cette méthodologie est synthétisée en une unique figure présentée au **chapitre 5.1**. Les objectifs généraux guidant le choix des objets d'importance cantonale sont ensuite définis au **chapitre 5.2**. Cette sélection s'est notamment appuyée sur une consultation d'experts dont les objectifs, la démarche et les résultats sont relatés au **chapitre 5.3**. Elle se fonde aussi sur les différents travaux qui documentent déjà le patrimoine géo(morpho)logique fribourgeois. Ces

inventaires sont présentés au **chapitre 5.4** qui précise aussi la manière dont ces données sont organisées et triées en vue du choix final des GICs. Le **chapitre 5.5** spécifie enfin la méthode employée pour cartographier et documenter les différents objets cantonaux notamment au moyen de fiches d'inventaire spécialement conçues pour ce travail.

Le **chapitre 6** présente la sélection finale des géotopes d'importance cantonale, choix qui s'opère par catégories d'objets géologiques ou géomorphologiques. Chacune de ces catégories dispose d'un ou plusieurs sous-chapitres dédiés qui présentent l'intérêt scientifique, les sources de données disponibles, la méthode et les critères de sélection, la liste des GICs retenus, ainsi qu'une évaluation de la vulnérabilité et une proposition de mesures de gestion spécifiques au type de géotope sélectionné.

La partie discussion (**chapitre 7**) propose d'abord une analyse quantitative des résultats de l'inventaire pour s'assurer qu'ils répondent bien aux objectifs généraux fixés au chapitre 5.2. Il s'agit ensuite d'adopter un regard critique sur la méthode employée dans ce travail pour en révéler les forces et les faiblesses. Sur la base de l'expérience acquise dans ce travail, le chapitre 7 propose ainsi quelques recommandations à qui voudrait se lancer dans un projet analogue et s'atteler à l'inventaire du patrimoine géologique d'une région.

Le **chapitre 8** conclut le travail en proposant une synthèse des résultats et une réponse aux questions de recherche énoncées ci-dessus. Il s'agit également de présenter les perspectives que laisse entrevoir ce mémoire puisque le travail de description des GICs devra être poursuivi et que leur mise en valeur ne fait que commencer.

2 Cadre théorique

2.1 La notion de géotope

2.1.1 Etymologie, synonymes et usages

Contrairement au mot biotope, dont il partage la morphologie lexicale, le terme de **géotope** est encore peu connu en dehors d'un cadre scientifique spécialisé. Formé à partir du grec ancien *γη*, la « terre » et *τόπος*, le « lieu », le vocable serait né en ex-RDA au début des années 1960 (Grube & Wiebenstein, 1992). Son usage s'est ensuite plus largement répandu dans le monde germanophone et en Suisse romande à partir des années 1990 (Stürm, 1992, Lüttig, 1992; Wiedenbein, 1992 ; Strasser et al., 1995; Grandgirard, 1995). Il est synonyme de **géosite**, mot construit sur le radical latin et qui a la préférence des universités françaises, italiennes, espagnoles, portugaises et roumaines actives dans ce domaine de recherche (Rădulescu et al., 2016). Le terme *geosite* est également en usage dans la littérature anglophone (O'Halloran, 1994 ; Wilson, 1994 ; Wimbledon, 1996) et est adopté par des institutions internationales comme l'UNESCO, L'Union Internationale des Sciences Géologiques (IUGS) ainsi que l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature et ses ressources (IUCN) (De Wever et al., 2006). A noter qu'il existe également des terminologies non contractées comme *Earth science sites* ou *geoscience sites* (Reynard, 2004a). Dans ce travail, l'emploi du terme géotope sera privilégié afin de s'inscrire dans la continuité des travaux précédemment menés dans le canton de Fribourg.

2.1.2 Définitions, sens restreint et élargi

A l'instar du concept de paysage, la notion de géotope revêt un caractère polysémique. Dans la littérature scientifique, il est en effet possible de distinguer deux approches principales permettant de définir cette notion. L'une, restrictive, a la faveur des scientifiques naturalistes ; l'autre, plus large, est préférée par les chercheurs intégrant des considérations culturelles dans leurs travaux (Reynard, 2004b).

2.1.2.1 Définitions restrictives

La **définition restrictive** ou restreinte est utilisée par les chercheurs qui se focalisent sur les caractéristiques intrinsèques des géotopes. Ces sites sont alors uniquement appréhendés en tant qu'objets d'étude pour les sciences de la Terre. Dans ce sens, Strasser et al. (1995) s'accordent sur la définition suivante dans le rapport stratégique pour la protection des géotopes en Suisse :

> Les géotopes sont des portions de la géosphère délimitées dans l'espace et d'une importance géologique, géomorphologique ou géoécologique particulière. Ils sont des témoins importants de l'histoire de la Terre et donnent un aperçu sur l'évolution du paysage et du climat. (Strasser et al., 1995 : 5)

En introduction de ce même rapport, le groupe de travail attaché à l'Académie Suisse des Sciences Naturelles (ASSN) développe une description plus détaillée et largement reprise dans la littérature spécifique de ces 25 dernières années :

> Les géotopes sont des portions de territoire dotées d'une valeur pour les sciences de la Terre. Ce terme comprend donc des montagnes, des collines, des vallées, des vallum morainiques, des ravins, des grottes, des phénomènes karstiques, des berges et rivages, des carrières, des gravières, des mines, des portions de routes ou de chemin ou des blocs erratiques, des sites qui apportent des informations indiscutables et caractéristiques sur une situation ou un événement que la Terre a connu au cours des temps géologiques ou sur l'histoire de la vie et du climat. Les géotopes permettent de comprendre l'évolution spatiotemporelle 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. (Strasser et al., 1995 : 3)

Ces définitions insistent sur deux éléments clés. Premièrement, elles mettent en exergue la valeur paléogéographique des géotopes, c'est-à-dire leur qualité de témoins de l'histoire de la Terre. Ceux-ci constituent en effet de véritables archives et, en quelque sorte, la mémoire de cette dernière (chapitre 2.2.2). Dans un second temps, ces définitions *stricto sensu* soulignent l'indéfectible lien entre géotopes et paysage (chapitre 2.5). Ainsi, les géotopes constituent parfois de véritables « *monuments naturels* » qui marquent le relief. A plus large échelle, ces objets représentent des clés de compréhension des processus qui concourent à l'édification et à l'évolution constante du paysage.

2.1.2.2 Définitions élargies

D'autres auteurs (Panizza & Piacente, 1993, 2003; Panizza, 2001) utilisent plus volontiers une **définition élargie**. Sans renier la primauté des caractéristiques scientifiques énoncées ci-dessus, ces chercheurs incluent d'autres dimensions pour définir cette notion notamment la perception humaine du géotope ainsi que son usage et exploitation au cours du temps. La définition proposée par Reynard (2004a) dans l'*Encyclopedia of geomorphology* permet de bien saisir cette distinction :

> […] Geosites are defined as geological or geomorphological objects that have acquired a scientific (e.g. sedimentological stratotype, relict moraine representative of a glacier extension), cultural/historical (e.g. religious or mystical value), aesthetic (e.g. some mountainous or coastal landscapes) and/or social/economic (e.g. aesthetic landscapes as tourist destination) value due to human perception or exploitation. (Reynard, 2004a : 440)

Dans cette approche plus globale, le géotope est donc plus qu'un simple objet d'étude pour le géologue ou le géomorphologue. Il fait partie intégrante du patrimoine naturel et culturel, au même titre que les sites archéologiques ou historiques, les réalisations architecturales d'importance, les

édifices religieux ou les lieux à forte valeur symbolique (Reynard, 2004b, 2009a). L'accent est mis sur les synergies possibles entre les patrimoines géo(morpho)logique, bioécologique, historique et culturel (Pralong, 2004). Devient ainsi géotope tout objet géologique auquel on attribue une valeur, qu'elle soit scientifique, esthétique, historique, culturelle, sociale (Panizza et Piacente, 1993) et, selon Reynard (2004b), écologique.

2.1.2.3 Quelle définition pour quel usage ?

Afin d'illustrer l'influence du choix de l'une ou l'autre catégorie de définitions, prenons l'exemple du Moléson, montagne bien connue des Fribourgeois. En adoptant la notion de géotope *stricto sensu*, seules les caractéristiques propres aux sciences de la Terre seront considérées. Le Moléson sera alors uniquement appréhendé en tant que synclinal perché témoin des modalités de plissement des Préalpes et offrant des possibilités d'études stratigraphiques, paléontologiques et géomorphologiques. A l'échelle de l'édifice préalpin, l'importance de cet objet ne sera pas forcément évaluée comme exceptionnelle. A contrario, l'acception *lato sensu* permettra de considérer l'importance du lieu dans la culture gruyérienne, son statut de symbole ainsi que sa valeur esthétique liée à sa forme particulière et sa grande visibilité, la variété des milieux de vie pour la flore et la faune ou encore, l'intérêt économique du site fondé sur son exploitation touristique. En fonction de la pondération de ces critères, la valeur attribuée à ce géotope s'en trouvera grandement augmentée.

Ceci met en lumière les conséquences du choix d'une définition stricte ou élargie dans le cadre d'un travail sur les géotopes, plus encore lorsqu'il s'agit d'évaluer ces objets. Généralement, une définition restrictive est privilégiée dans un contexte d'aménagement du territoire où il s'agit de préserver le patrimoine géologique de destruction ou de dégradations. Dans ce cas, il est primordial de justifier la valeur géoscientifique d'un site afin d'en assurer la protection. Il en va de même pour les inventaires qui visent la sélection des sites les plus remarquables du point de vue des sciences de la Terre. Par contre, lorsqu'il s'agit de valoriser les géotopes ou de les inclure dans des projets de géotourisme, l'utilisation d'une définition élargie est plus adaptée. Celle-ci autorise la prise en compte d'autres critères tout en établissant des liens entre les différents intérêts patrimoniaux (Reynard, 2004b). Compte tenu des objectifs fixés au chapitre 1.2, c'est vers l'**utilisation d'une définition restrictive** que se tourne le présent travail.

2.2 Caractéristiques des géotopes

2.2.1 Considérations spatiales

2.2.1.1 Dimension et représentation géométrique

La diversité typologique des objets géologiques explique qu'il n'existe pas de taille standard, ni de dimension minimale ou maximale pour les géotopes. Un bloc erratique couvrira une surface de quelques mètres carrés alors qu'une formation géologique ou un ensemble de drumlins s'étendront sur un vaste territoire. Les géotopes doivent cependant être délimités dans l'espace et se distinguer de leur environnement, tâche qui peut se révéler complexe et quelque peu arbitraire. Ces objets peuvent constituer des éléments ponctuels (blocs erratiques, gouffres, sources), linéaires (affleurements le long d'une route) ou surfaciques (vallées, zones de lapiés, cônes de déjection).

2.2.1.2 Espace de référence

L'espace de référence d'un travail conditionne fortement le choix des géotopes, la manière de les délimiter et la valeur qui leur est octroyée. Un objet considéré comme géotope à une échelle locale (commune) ne le sera plus forcément dans un espace de référence plus étendu (canton). En effet, les caractéristiques de cet objet, unique dans les limites communales, seront peut-être mieux exprimées dans d'autres sites du canton. A contrario, un géotope reconnu internationalement revêtira une importance à l'échelle nationale, cantonale et locale.

2.2.1.3 Imbrication des échelles spatiales

L'espace de référence conditionne également l'échelle à laquelle les géotopes sont appréhendés. En effet, l'intérêt de certains sites n'est visible que lorsqu'une large échelle d'observation est adoptée.
Un certain recul sera ainsi nécessaire pour visualiser la structure plissée d'une chaîne préalpine. Celle-ci pourra être considérée comme un géotope à part entière si la lisibilité des plissements est particulièrement remarquable. Dans cette même chaîne de montagnes, le sédimentologue sera lui à la recherche d'un affleurement de taille bien plus réduite où il pourra même faire usage de sa loupe. Dans le cadre d'un inventaire, il faudra déterminer s'il est plus pertinent de considérer ces deux objets (la chaine dans son ensemble et l'affleurement rocheux localisé) comme un unique géotope ou comme deux géotopes distincts. Dans le second cas, on parlera de **géotope englobant** pour la chaîne de montagnes et de **géotope englobé** pour l'affleurement qu'elle renferme.

Cette problématique d'imbrication des échelles est aussi particulièrement forte en géomorphologie et est à l'origine de l'**approche « *systémiste* »** développée par Grandgirard (1995, 1996). Cette méthode distingue trois niveaux de complexité croissante comprenant quatre catégories de géotopes géomorphologiques (Fig. 1) :

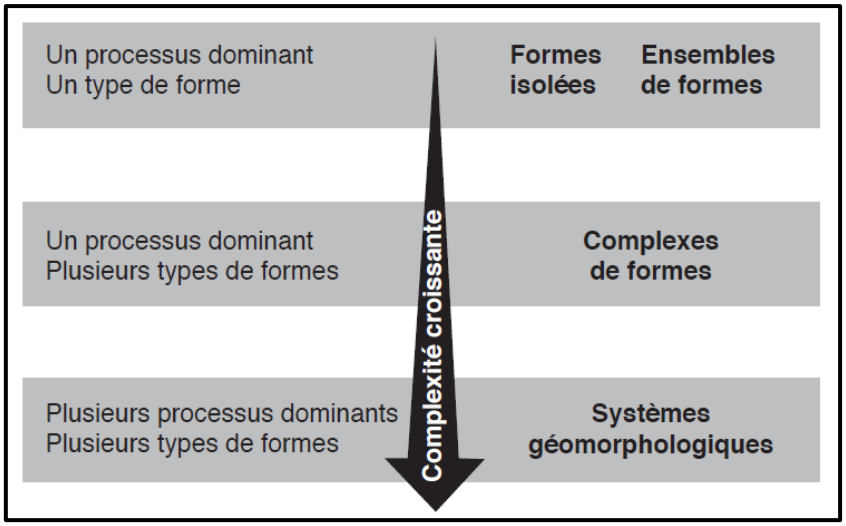


Fig. 1 : l'approche systémiste développée par Grandgirard (1995) permet de caractériser les géotopes géomorphologiques et d'appréhender la complexité des imbrications d'échelles spatiales.

- Les objets les plus simples constituent des **formes isolées** (p. ex. une doline ou un cordon morainique). Ces géotopes individuels représentent les « *constituants élémentaires du relief* » (Grandgirard, 1996). Lorsque plusieurs formes identiques occupent un secteur restreint, il peut être utile de les regrouper en un unique géotope. Ce dernier constituera alors un **ensemble de formes** de même type. Un alignement de dolines le long d'un système de failles où une succession de moraines constituent, par exemple, des ensembles de formes assez courants.

- Un **complexe de forme** englobe plusieurs types de formes qui sont toutes issues d'un même processus dominant. Un complexe karstique comptera par exemple des dolines, ouvalas, lapiés et cavités débouchant sur de vastes réseaux souterrains. Dans le même ordre d'idée, une marge proglaciaire sera composée d'une série de formes de plus petite taille (moraine frontale, eskers, kames, drumlins, kettles, sandur etc.). Pour évaluer ces géotopes complexes et composites, il faudra tenir compte aussi bien de la qualité individuelle des objets englobés que de la densité et de la variété des formes représentées.

- Les **systèmes géomorphologiques** correspondent à « *d'importantes concentrations de formes de types différents, résultant de l'activité synchrone ou successive de plusieurs processus interagissant sur la même portion d'espace* » (Grandgirard, 1996 : 82). Dans un inventaire général, il peut être pertinent de sélectionner ce genre de géotopes hybrides. Ceux-ci permettent en effet d'illustrer les combinaisons ou synergies morphogénétiques qui contribuent au façonnement, ancien et actuel, du relief. Ils permettent également d'apprécier les dynamiques de transfert (cascade sédimentaire) qui caractérisent certains géotopes actifs. Les vallons structuraux, bien représentés dans les Préalpes calcaires, constituent de bons exemples de systèmes géomorphologiques. Aujourd'hui soumis à des processus karstiques et gravitaires dominants, ces secteurs sont parsemés de formes glaciaires ou périglaciaires héritées qui témoignent de conditions climatiques passées.

2.2.2 Géotopes actifs et géotopes fossiles

2.2.2.1 Géotopes actifs : les forces de la nature en action

Les **géotopes actifs** permettent d'observer les forces de la nature à l'œuvre. Ils sont le siège de phénomènes en cours qui façonnent le relief et modifient leur propre état au fil du temps. Il s'agit majoritairement de géotopes géomorphologiques (voir chapitre 2.3) : glaciers, zones alluviales (Fig. 2) ou formes liées à des mouvements de terrain continus (glissements, tassements de versant, glaciers rocheux) ou épisodiques (cônes d'éboulis, chenaux torrentiels). Les processus en jeu (crues, glissements, chutes de pierres) sont susceptibles de menacer les activités et infrastructures anthropiques. C'est pourquoi l'activité de ces géotopes est souvent atténuée par des mesures actives de gestion du danger naturel. Ainsi, dans les régions où l'emprise humaine est forte, et les aménagements sécuritaires fréquents, seule une infime partie des géotopes actifs ont conservé leur dynamique naturelle originelle.

Fig. 2 : le lit alluvial de la Gérine entre Giffers et St-Silvestre est un bon exemple de géotope actif.

2.2.2.2 Géotopes passifs : des témoins de l'histoire de la Terre

Les **géotopes passifs** (ou inactifs) sont **hérités** de processus qui ne sont plus en cours et constituent les témoins des conditions géologiques ou climatiques passées, à l'origine de leur formation. Ces géotopes **fossiles** constituent des objets non renouvelables et toute atteinte à leur intégrité est irréversible (Grandgirard, 1997a). Ils doivent être considérés comme des archives précieuses permettant de reconstruire partiellement l'histoire de la Terre, de la vie et du climat.

Il faut mentionner ici la variabilité des périodes et échelles de temps considérées, elles-mêmes liées à la diversité typologique des géotopes. A titre d'exemple, un affleurement préalpin couvrira plusieurs millions d'années d'enregistrement sédimentaire alors qu'un amas de blocs dans un pâturage témoignera d'un éboulement quasi instantané et récent à l'échelle géologique. Dans le même ordre d'idée, les séquences de marées, conservées le long de quelques falaises molassiques du Plateau (Fig. 3), archivent des accumulations sédimentaires correspondant à des cycles tidaux journaliers. Ces structures sédimentaires pétrifiées figent donc un moment infime à l'échelle des temps géologiques. Tel un cliché émergeant d'un lointain passé, elles témoignent d'un environnement marin pourtant vieux de 20 millions d'années environ. Pour couronner ce paradoxe temporel, ces affleurements molassiques pourront être eux-mêmes surmontés de dépôts meubles issus d'un passé bien plus récent, et d'une histoire totalement différente, caractérisée par les cycles glaciaires du Quaternaire.

Fig. 3 : affleurement molassique présentant des structures sédimentaires remarquables (bordure de la Sarine à Arconciel).

A l'imbrication des échelles spatiales décrite précédemment s'ajoute donc la complexité de cet **enchevêtrement temporel** propre aux géosciences. La Terre restitue ainsi sa mémoire de manière lacunaire, effaçant de grandes portions de son histoire pour en exposer d'autres plus généreusement. Pour appréhender cette « *mémoire géodynamique* » (Marthaler, 2003), il peut être utile de séquencer cette histoire en trois parties : l'histoire des roches, celle des déformations tectoniques et celle des formes (Pralong, 2003). La première, qui est aussi la plus longue, permet la reconstitution des paléoenvironnements variés à l'origine des roches sédimentaires des Préalpes ou du Plateau. La deuxième raconte les chevauchements et les plissements internes des nappes préalpines ainsi que le soulèvement du bassin molassique. L'histoire des formes concernent les dépôts superficiels quaternaires et les formes d'érosion. Elle permet d'appréhender le modelage récent du relief fortement marqué par l'action érosive du dernier maximum glaciaire (il y a environ 25'000 ans environ, voir chapitre 4.3), la déglaciation progressive de nos régions (Tardiglaciaire) et les processus

morphogénétiques qui ont repris leur place au cours des dix derniers millénaires (Holocène). Il faut ajouter à ces trois histoires naturelles, celle de l'Homme dont les actions ont un impact non négligeable sur son environnement. Cette prise en compte de l'espèce humaine en tant qu'acteur géologique majeur est d'ailleurs à l'origine du concept d'Anthropocène développé par le Prix Nobel Paul Josef Crutzen il y a une vingtaine d'années.

2.2.2.3 Distinction entre géotopes actifs et passifs : limites méthodologiques

A première vue triviale, la distinction entre géotopes actifs et passifs est parfois moins évidente qu'il n'y parait. Dans certains cas, le géotope est sujet à une activité morphogénétique bien plus faible que par le passé. Les caractéristiques du géotope sont donc disproportionnées par rapport aux processus observables aujourd'hui. Cela concerne un certain nombre de géotopes fluviatiles avec des cours d'eau inadaptés à leur milieu. Canyons, gorges et vallées sont souvent **surdimensionnés** par rapport au débit des torrents, ruisseaux ou rivières qui les parcourent. Le même problème peut se poser avec des géotopes gravitaires pour lesquels il n'est pas toujours facile d'évaluer le degré d'activité. Certains glissements, très actifs par le passé, ne maintiennent aujourd'hui qu'une petite activité résiduelle.

Fig. 4 : le marais du Düdinger Moss peut être aussi bien être considéré comme un géotope passif ou actif, preuve de la limite de cette différenciation.

La distinction actif/passif est également liée au regard porté sur le géotope : un marais formé dans une dépression de culot de glace morte sera considéré comme actif en tant que zone humide sujette à des phénomènes de sédimentation en cours et passif en tant que témoin de l'occupation glaciaire d'une région (Fig. 4). Autres cas particuliers, les réseaux karstiques qui sont hérités de processus de dissolution de très longue durée mais qui peuvent être considérés comme actifs s'ils jouent un rôle hydrogéologique actuellement. Le concept de **géotope fonctionnel** nous parait ici adapté et convient aussi particulièrement aux paléovallées qui sillonnent le plateau fribourgeois. Invisibles en surface, ces vallées fluviatiles fossiles, aujourd'hui comblées de graviers würmiens ou plus anciens, constituent les plus grands aquifères du canton et sont le siège d'une circulation active des eaux souterraines.

2.2.3 Géotopes naturels et géotopes artificiels

Bien que la majorité des géotopes soit d'origine naturelle, leur mise au jour peut également résulter de l'activité humaine. On parlera alors de **géotopes artificiels** ou, plus exactement, de **géotopes mis au jour artificiellement**.

La construction d'infrastructures (routes, voies ferrées) ou l'ouverture de carrières, de gravières (Fig. 5) ou de mines dévoilent des géotopes enfouis jusqu'alors. La réalisation de grands chantiers peut également faire apparaître, pour un temps seulement, des objets d'un grand intérêt géo(morpho)logique. Se posent alors des problèmes similaires à la gestion des découvertes archéologiques (fouilles de sauvetage, extraction d'échantillons, photographies). En effet, il est rare que la seule valeur scientifique d'un géotope suffise à modifier un projet de grande ampleur. Il existe cependant quelques contre-exemples comme le chantier de la Transjurane où un rehaussement du coffrage de l'autoroute a permis la sauvegarde d'une partie des traces de dinosaures mises au jour (Marty et al., 2007). La gestion des gravières et carrières désaffectées peut également se révéler problématique puisque plusieurs intérêts de protection de la nature sont susceptibles de s'opposer. Un comblement peut ainsi être bénéfique en termes paysagers tout en portant atteinte au patrimoine géologique et, parfois, écologique.

Fig. 5 : l'exploitation des dépôts meubles quaternaires dans la gravière du Chaney dévoilent de belles coupes dans les graviers de progession sariniens.

Certaines infrastructures humaines liées à l'exploitation de matériaux (mines, carrières, gravières) font partie intégrante du patrimoine historique. A ce titre, elles constituent des témoins du rapport de l'Homme à son environnement et, plus particulièrement, à la géologie. On parlera alors de **géotopes géohistoriques**. Les carrières broyardes de grès coquilliers sont une bonne illustration de cette double dimension. La valeur de ces sites tient autant à leurs caractéristiques scientifiques propres (pétrographiques, sédimentologiques, stratigraphiques, paléontologiques) qu'à l'histoire de leur exploitation bimillénaire qui a contribué à l'activité économique et au patrimoine bâti de la région.

2.3 Catégorisation et typologie des géotopes

Les géotopes sont souvent classés en deux grandes familles : les **géotopes géologiques** et les **géotopes géomorphologiques**. Cette distinction doit beaucoup à la séparation courante de ces deux domaines dans les milieux académiques. Les premiers concernent le substrat rocheux ainsi que les dépôts meubles superficiels. Les seconds impliquent les formes (d'érosion ou de dépôt) constitutifs du relief et résultant de processus divers, parfois combinés. De par leur singularité, les **géotopes spéléologiques** (karst souterrain) font également assez souvent l'objet d'inventaires spécifiques.

En réalité, il existe autant de types de géotopes que de disciplines et de sous-disciplines des géosciences. A la suite de Grandgirard (1997b), Reynard (2004b) a proposé une typologie en dix groupes pour lesquels il développe les descriptions suivantes :

Typologie des géotopes selon Reynard (2004b)

Géotopes structuraux : surtout des objets géologiques de grande taille tels que plis, anticlinaux, synclinaux, chevauchements, failles, etc. L'érosion a taillé dans ces structures et façonné des sommets en pyramide, des arêtes ou des parois rocheuses.

Géotopes paléontologiques : affleurements rocheux contenant des fossiles et gisements de fossiles dans des terrains meubles, des milieux anaérobies (marais) ou la glace (permafrost). Grande importance pour la reconstitution de l'histoire de la vie: sous forme d'éléments fossilisés (os, squelettes, feuilles, bois lithifiés), de matériel osseux et de troncs […] piégés dans des dépôts non consolidés, d'empreintes.

Géotopes sédimentologiques : sites dans lesquels sont visibles les conditions typiques d'un milieu de sédimentation (glaciaire, fluviatile, lacustre, éolien, etc.). Géotopes actifs, qui permettent d'observer les processus sédimentaires en action (zones alluviales, sandurs, cônes torrentiels) ou passifs (rôle d'archives).

Géotopes minéralogiques, pétrographiques et géochimiques : cette catégorie recouvre les gîtes minéralifères et métallifères, les localités types de certaines pétrographies de roches et des lieux où ont été mesurés des indices géochimiques particuliers, ainsi que les roches présentant un intérêt particulier.

Géotopes stratigraphiques : affleurements présentant un profil type pour un âge géologique (stratotype), un faciès, une formation (succession stratigraphique) ou une transition paléoenvironnementale (par exemple une transition glaciaire-interglaciaire). Affleurements rocheux ou dans des sédiments meubles quaternaires (formations superficielles).

Géotopes géomorphologiques [ou géomorphosites] : à la fois des processus d'érosion et de sédimentation (zones alluviales actives, marges proglaciaires, laves torrentielles) et les formes du relief résultant de cette activité (glaciers rocheux, lapiés, cônes d'éboulis). Formations superficielles meubles du Quaternaire (moraines, glaciers rocheux) et formes d'érosion dans la roche (marmites glaciaires, lapiés d'un karst superficiel).

Géotopes hydrologiques et hydrogéologiques : sites dus à l'écoulement particulier des eaux de surface ou souterraines. Se confondent souvent avec les géotopes géomorphologiques (cascades, gorges, méandres, émergences karstiques) ou spéléologiques (cours d'eau souterrains). Nous proposons de n'inclure dans cette catégorie que les sites où l'eau est vraiment l'élément dominant (dynamique, caractéristiques physico-chimiques): sources thermales, minérales et karstiques, pertes, etc.

Géotopes spéléologiques : cavités (grottes et gouffres) et réseaux souterrains présentant une valeur scientifique, écologique ou historique particulière. Par définition, de nombreux géotopes spéléologiques se recoupent ou sont en liaison avec des géotopes géomorphologiques (karst superficiel) ou hydrogéologiques (pertes, émergences).

Géotopes géohistoriques : autant des sites de découvertes clés dans l'histoire des sciences de la Terre que des lieux historiques d'exploitation des ressources géologiques.

Géotopes géoculturels : sites ayant, en raison de leurs caractéristiques naturelles, joué un rôle particulier pour l'Homme au cours de son histoire. Ces géotopes n'ont pas forcément une valeur intrinsèque pour les sciences de la Terre. C'est leur utilisation par l'Homme qui leur donne de la valeur.

Tableau 1 : typologie des géotopes d'après Reynard (2004b).

Chaque discipline privilégie les objets dont elle se préoccupe et sur lesquels elle porte une attention particulière (Grandgirard, 1999b). Cette multiplicité des approches et des points de vue est inhérente à la segmentation des domaines de recherche en géosciences. Elle est à l'origine des difficultés rencontrées dans les projets visant l'identification, la description, l'évaluation et la comparaison des géotopes. En fonction de la spécialisation de l'observateur, un objet pourra être considéré comme négligeable ou comme un géotope de grande valeur. En guise d'exemple, un bloc erratique de lithologie fréquente n'aura guère d'intérêt minéralogique ou pétrographique mais le géomorphologue y verra un géotope clé si sa localisation permet d'élaborer ou de valider un modèle d'extension glaciaire. Dans les faits, il est rare qu'un objet appartienne uniquement à l'une des catégories précitées et un géotope est souvent considéré comme tel pour des raisons différentes. Ainsi, une gorge encaissée constituera le témoin d'une érosion fluviatile pour le géomorphologue tandis que l'incision du substrat rocheux offrira de remarquables coupes susceptibles de révéler des données structurales, stratigraphiques, sédimentologiques ou de mettre au jour un gisement fossilifère. Ces géotopes aux intérêts multiples ont l'avantage de faire consensus auprès des géoscientifiques ce qui facilite leur sélection dans des inventaires généraux.

2.4 Intérêt, valeur et importance des géotopes

Les concepts d'intérêt, de valeur et d'importance sont souvent utilisés indistinctement. Il convient ici de définir ces trois notions proches qui seront utilisées de manière différenciée dans ce travail.

2.4.1 Intérêts géoscientifiques et intérêts annexes des géotopes

Le mot **intérêt** sera ici utilisé dans le sens d'une qualité qui retient l'attention, captive l'esprit ou éveille la curiosité (Le Petit Robert, 2011). Dans un premier temps, l'intérêt d'un géotope concerne essentiellement les géosciences. Cet **intérêt géoscientifique** global pourra être décomposé en différents intérêts plus spécifiques en s'appuyant sur la typologie décrite au chapitre précédent : intérêt structural, paléontologique, sédimentologique, géomorphologique, etc. En se référant à la définition élargie des géotopes (voir chapitre 2.1.2.2), d'**autres intérêts** entrent en jeu et dépassent le cadre strict des géosciences :

- **Intérêt écologique** : une grande partie des géotopes constitue également des biotopes, soit des milieux biologiques offrant des conditions de vie favorables à des associations animales et végétales composant une biocénose. Les interactions entre ce biotope et cette biocénose caractérisent ainsi un écosystème distinctif. Les éboulis et gros blocs rocheux qui parsèment la Forêt du Lapé ou la *Stillwasserwald*, au pied des Gastlosen, offrent par exemple des micro-stations favorables à l'arolle (*pinus cembra*), essence généralement supplantée par l'épicéa dans des milieux topographiquement moins chaotiques. Ces arollières constituent elles-mêmes des habitats précieux pour une faune spécialisée comme les cassenoix mouchetés (Nussbaumer, 2016). A noter qu'en Suisse, l'intérêt écologique des zones alluviales ou des zones humides est reconnu depuis un certain nombre d'années. Ces géotopes bénéficient donc d'une protection indirecte (Fig. 6). Cependant, la (re)connaissance de leur intérêt géoscientifique propre fait encore largement défaut. Les formes géomorphologiques (cordons morainiques, verrous glaciaires, culots de glace morte, dolines, dépressions glacio-karstiques, etc.) à l'origine de ces zones humides tout comme leur potentiel d'archives climatiques ne sont encore que trop rarement considérés.

Fig. 6 : l'une des dolines de gypse du Mongeron (commune de Gruyères) est protégée de façon indirecte puisqu'elle constitue un site de reproduction de batraciens d'importance nationale (OFEV, 2017).

- **Intérêt culturel** : la dimension culturelle des géotopes est à considérer au sens large (Panizza et Piacente, 2003). Elle inclut aussi bien la perception subjective de ces objets géologiques que leur utilisation concrète au cours de l'histoire:

    - **intérêts religieux et symbolique :** un certain nombre de géotopes sont chargés de symboles ou ont acquis une importance religieuse. Les croix sommitales, très présentes en terres fribourgeoises, constituent un exemple parmi d'autres de ce rapport entre géotopes et religiosité. Au néolithique déjà, certains objets géologiques bénéficiaient d'une aura mystique ou ont constitué des lieux de culte dont les spécificités échappent encore aux archéologues actuels. En témoignent la « Pierre du dos à l'âne », bloc erratique marquant aujourd'hui la frontière valdo-fribourgeoise entre les localités d'Essertes (VD) et d'Auboranges (FR). Cette pierre redressée (ou *menhir*), qui a retrouvé sa position verticale en 1996, constitue le plus grand mégalithe de Suisse (Szönyi, 2007). Déjà évoqué, le statut symbolique du Moléson et son influence majeure sur la culture gruyérienne constitue également une bonne illustration, areligieuse cette fois-ci, de la dimension symbolique des objets géologiques qui imprègnent jusqu'aux traditions locales. Certains sites deviennent ainsi de véritables « *points d'ancrage de l'identité collective* » (Grandgirard, 1997a : 48).

    - **intérêts archéologique et historique :** les géotopes peuvent offrir des conditions favorables à l'établissement et au développement des sociétés humaines. Le canton de Fribourg est ainsi parsemé de sites archéologiques et historiques d'importance. Les colonies humaines se sont toujours servies des avantages offerts par leur environnement géologique. Dès la préhistoire, des abris sous roche naturels ont été occupés comme en témoignent les sites mésolithiques de la Souche (Mauvilly et al., 2008), des Arolles ou de Villeneuve (Mauvilly, 2009). Dans les Préalpes, des chasseurs-cueilleurs ont exploité des affleurements de roches siliceuses, des radiolarites notamment, pour la taille de leurs outils (Braillard et al., 2003). Depuis l'antiquité précoce et jusqu'à la fin du moyen Âge, la fonction défensive des châteaux, bourgs et villes explique leur implantation sur des collines d'érosion glaciaire (Gruyères, Romont, Rue), d'autres types d'éminences rocheuses (Surpierre, Vaulruz, Montsalvens) ou à l'intérieur des méandres de la Sarine ou de la Singine (Ogoz, Illens, Arconciel, Fribourg, Schönfels).

Fig. 7 : la cité médiévale de Romont s'est installée sur une colline d'érosion glaciaire pour tirer profit de cette position stratégique.

- **intérêts littéraire et artistique :** certains géotopes ont fait l'objet de description littéraire ou de production artistique qui assoient encore davantage leur dimension culturelle. Notons les nombreuses légendes locales comme celles impliquant le diable et sa grand-mère dans la formation du *Grossmutterloch* (*Sattelspitzen*) ou faisant des gorges du Gottéron le théâtre d'un combat à mort entre un moine et un dragon. Au-delà de ces fables, quelques hommes de lettres célèbres ont exprimé leur émerveillement face à ces objets naturels. Le cadre géomorphologique dans lequel s'intègre la vieille ville de Fribourg a notamment fait l'objet de descriptions par d'illustres écrivains parmi lesquels William Cox (1790), Alexandre Dumas Père (1832) ou encore Jacques Chessex au 20ème siècle (Dousse et Fedrigo, 2015). Les représentations iconographiques de géotopes font également partie du patrimoine culturel. On retiendra ici les poyas peintes, tradition vivante qui fait la part belle aux sommets préalpins, Moléson en tête.

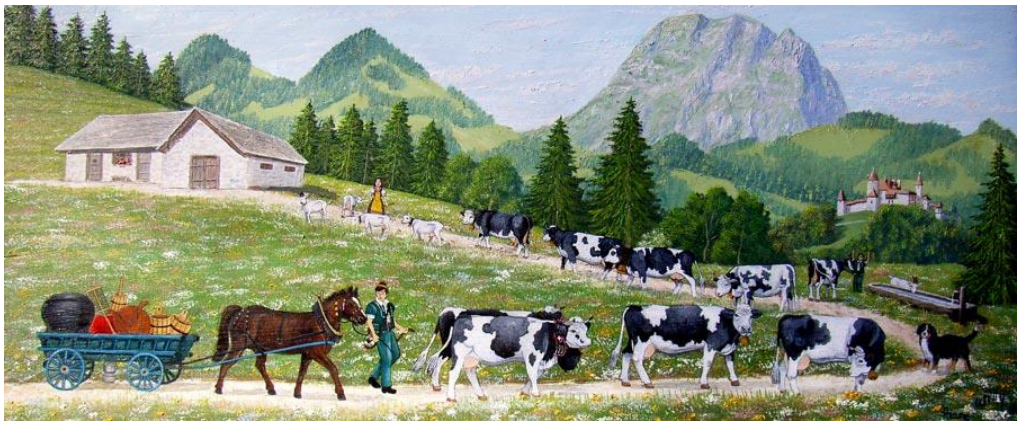


Fig. 8 : poya peinte représentant une montée à l'alpage dans la région du Moléson (© poyawilly.ch).

- **intérêt géohistorique :** cet aspect a déjà été abordé précédemment. L'intérêt géohistorique d'un géotope est premièrement lié à son exploitation en tant que ressources géologiques : extraction de graviers, de pierres de taille, de minerais ou de charbons p.ex. Cet intérêt concerne également les objets à l'origine de découvertes majeures pour les sciences de la Terre. Certains blocs erratiques bénéficient ainsi d'une renommée particulière pour avoir été étudiés par les pionniers des théories glaciaires mais aussi parce qu'ils constituent les premiers géotopes ayant bénéficié d'une protection en Suisse.

- **Intérêts esthétique et paysager:** une part non négligeable des géotopes revêtent un **intérêt scénique** indéniable. C'est d'ailleurs ce seul intérêt esthétique qui a longtemps justifié la protection des géotopes les plus spectaculaires alors désignés comme « *monuments naturels* » ou « *sites d'une beauté particulière* » (Reynard, 2005). Certains objets géo(morpho)logiques constituent ainsi de véritables curiosités naturelles au fort pouvoir d'attraction (cascades, glaciers, arches, canyon, buttes-témoins, champs de dunes, cheminées de fée). Plus que des géotopes constituant de simples affleurements (sites fossilifères, géotopes stratigraphiques ou sédimentologiques), c'est tout particulièrement les géomorphosites et les grands ensembles structuraux qui contribuent à la beauté du paysage. Cette

dimension paysagère des géotopes est d'ailleurs approfondie au chapitre 2.5. Si l'intérêt esthétique de certains objets géologiques fait l'unanimité, l'appréciation de cette valeur se heurte toujours à la subjectivité de l'observateur, ce qui rend difficile tout processus d'évaluation individuel.

- **Intérêt économique :** les profits économiques peuvent d'abord provenir de l'exploitation directe du substrat rocheux ou des dépôts superficiels. Cette extraction des ressources du sous-sol peut conduire à la destruction irréversible de certaines formes géomorphologiques (kames, cônes de déjection, terrasses lacustres ou alluviales) mais aussi offrir de nouvelles perspectives d'étude aux géologues (nouveaux affleurements ou coupes stratigraphiques). Les retombées économiques peuvent également être indirectes lorsque les caractéristiques géologiques d'un site ou d'une région représentent un fort **intérêt touristique**. Difficile d'imaginer le développement de la station de *Schwarzsee* sans l'attrait du Lac Noir, plan d'eau résultant d'instabilités de terrain caractéristiques des régions de flysch (Fig. 9). Le contexte géo(morpho)logique a également une influence directe sur le prix d'une surface foncière. Le cadre de vie offert par certains géotopes peut ainsi avoir des répercussions positives (terrasses structurales ou alluviales, collines, lac, etc.) ou négatives (géotopes actifs représentant un danger naturel) sur la valeur foncière des terrains à bâtir ou agricoles.

Fig. 9 : le Lac Noir occupe le fond de la vallée du Seeschlund. Le plan d'eau résulte de grands glissements de terrain, assez fréquents en zone de flysch, venus bloquer le cours de la Singine chaude il y a 6'000 ans environ (Dapples, 2002). Sa qualité paysagère a largement contribué au développement touristique de la station singinoise de Schwarzsee.

- **Intérêt éducatif :** de par leur exemplarité, les géotopes constituent des objets à forte valeur pédagogique. Sur le plan académique, ces sites constituent les objets d'étude des géoscientifiques mais aussi des lieux de transmission de leur savoir aux étudiants. En dehors du cadre universitaire ou scolaire, certains géotopes sont propices à la vulgarisation ou, moins péjorativement, à la démocratisation des connaissances en géosciences. Ces sites jouent également un rôle dans la sensibilisation du public à la fragilité du patrimoine géo(morpho)logique. Pour une médiation efficace, les géotopes doivent être mis en valeur et le public orienté et incité à la découverte. Sous l'impulsion de certaines universités (particulièrement celle de Lausanne), de services cantonaux ou fédéraux (Swisstopo notamment) ou de bureaux d'études privés, de nombreux projets de géotourisme ou de géovalorisation ont ainsi vu le jour ces dernières années en Suisse et dans le canton : visites guidées, sentiers didactiques, panneaux explicatifs, brochures d'excursion, applications mobiles, etc.

2.4.2 Valeur scientifique et valeurs additionnelles

Les notions de valeur et d'intérêts peuvent être employées comme synonymes. Dans ce travail cependant, une légère nuance est faite dans l'emploi de ces deux termes. La **valeur** est ici comprise comme « *une qualité estimée par un jugement* » (Le Petit Robert, 2011). Un intérêt devient donc valeur par un **processus d'évaluation** qui permet d'apprécier qualitativement ou de mesurer quantitativement les caractéristiques des géotopes. Cette étape d'évaluation est fondamentale pour comparer des objets géo(morpho)logiques de même type et constitue un préalable indispensable à la sélection des géotopes dans un inventaire. Encore faut-il déterminer les critères qui feront l'objet d'une évaluation et contribueront à la valeur globale du géotope.

Se référant à une définition stricte des géotopes, certains auteurs comme Grandgirard (1999c) ou Coratza et Giusti (2005) n'attribuent de valeur qu'aux intérêts propres aux géosciences. Ces chercheurs considèrent cette **valeur (géo)scientifique** comme unique argument permettant de justifier la sélection d'un géotope dans un inventaire. Pour la mesurer, Grandgirard (1999c) propose une évaluation fondée sur trois critères discriminants pour lesquels une note entre 0 et 3 est attribuée : la représentativité, l'intégrité et la rareté (Fig. 10). En fonction des objectifs de l'inventaire et des objets considérés, l'auteur prend également en compte la valeur paléogéographique et l'importance du géotope en tant que « *site d'étude particulier* » (voir chapitre 5.4.3).

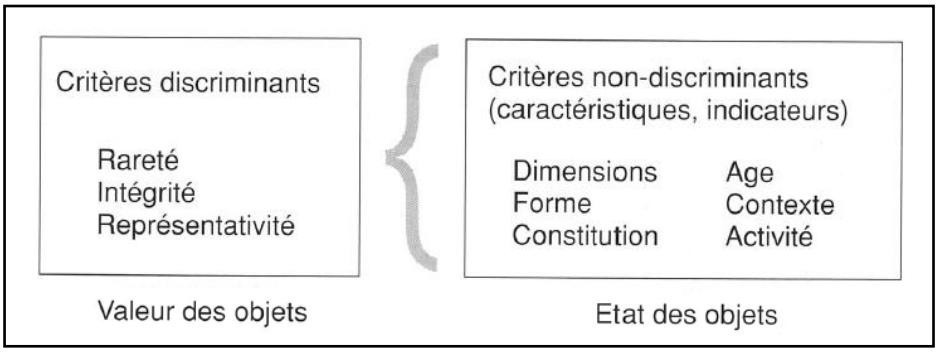


Fig. 10 : Grandgirard (1999c) distingue des critères discriminants qui permettent d'évaluer les géotopes et des critères non-discriminants utilisés pour les décrire et les caractériser.

A la suite des travaux de Panizza et Piacente (1993, 2003), d'autres chercheurs (Bruschi et Cendrero, 2005 ; Serrano et Gonzales-Trueba, 2005 ; Pralong, 2006 ; Pereira et al., 2007 ; Reynard et al., 2007) ont proposé des méthodes permettant d'évaluer les intérêts annexes décrits au chapitre précédent. On trouvera chez Reynard (2009b) ou chez Reynard et Coratza (2013) une revue de ces méthodologies plus inclusives, surtout dédiées aux géomorphosites, et qui répondent aux besoins spécifiques des projets de géoparcs ou de géotourisme. En Suisse romande, c'est surtout la méthodologie développée à l'Institut de géographie et durabilité de l'Université de Lausanne qui s'est imposée. De nombreux mémoires (Kozlik, 2006 ; Fontana, 2008 ; Pagano, 2008 ; Duhem, 2008 ; Genoud, 2008 ; Perret, 2008 ;

Maillard, 2009 ; Grangier, 2013, Bussard, 2014) ou thèses doctorales (Martin, 2013 ; Perret, 2014) ont appliqué cette méthode élaborée par Reynard et al. (2007) et plusieurs fois révisée depuis. Dans sa première version, l'approche lausannoise décompose la valeur globale d'un géotope en deux parties : une valeur scientifique centrale d'un côté et des **valeurs additionnelles** de l'autre (Fig. 11). L'évaluation de la valeur scientifique reprend la méthodologie proposée par Grandgirard (1999c) en moyennant les critères de représentativité, d'intégrité, de rareté et de valeur paléogéographique. Dans un second temps, une procédure reposant sur une série de critères permet de noter les valeurs additionnelles (culturelle, écologique, esthétique et économique) des géotopes.

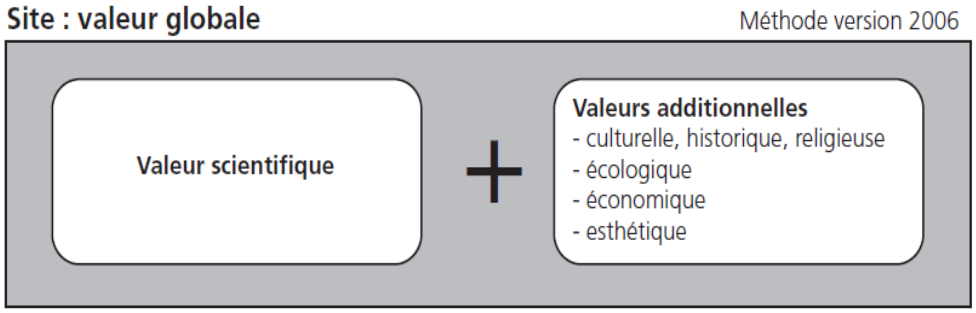


Fig. 11 : d'après Reynard et al. (2007b) la valeur globale d'un géotope constitue la somme de sa valeur scientifique (fondée sur la représentativité, l'intégrité, la rareté et la valeur paléogéographique) et de ses valeurs additionnelles (culturelle, écologique, économique, esthétique).

A la suite des mémoires de Grangier (2013) et Bussard (2014), la méthodologie d'évaluation lausannoise a encore été affinée pour prendre sa forme actuelle (Reynard et al., 2016). Deux changements majeurs ont été opérés (Fig. 12). Pour commencer, la valeur scientifique, centrale, et les valeurs additionnelles des géotopes ont été regroupées sous l'appellation de « ***valeurs intrinsèques*** ». En second lieu, l'intérêt économique n'est plus appréhendé comme une valeur à part entière et l'intérêt éducatif constitue désormais une « ***caractéristique d'usage et de gestion*** ». Les niveaux de protection et de valorisation des sites y sont ainsi évalués séparément, de manière qualitative et sans notation chiffrée. Ces critères ne participent donc plus à la valeur intrinsèque des géotopes.

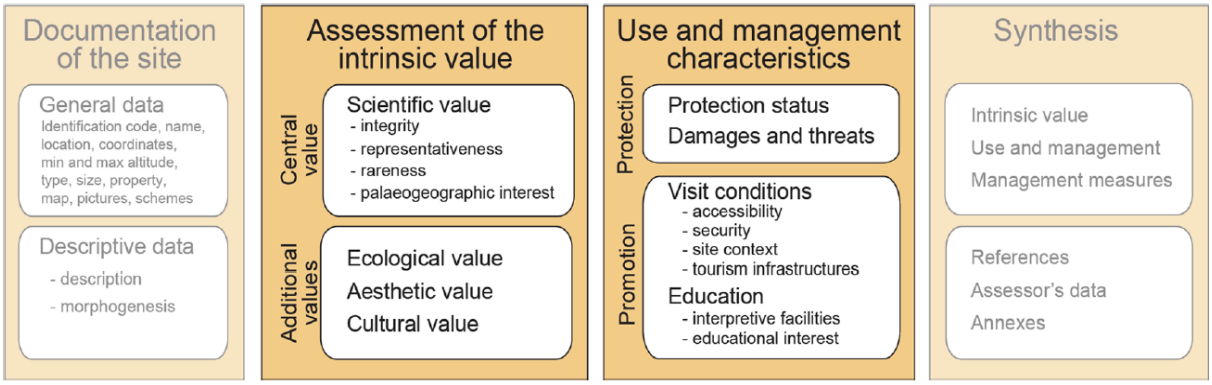


Fig. 12 : la nouvelle méthode de documentation et d'évaluation des géomorphosites d'après Reynard et al. (2016). Une distinction est faite entre la valeur intrinsèque (valeur scientifique centrale et valeurs additionnelles) et les caractéristiques d'usage et de gestion qui rendent compte de l'état de protection du site et de son niveau de valorisation.

Dans le présent travail, seule la valeur géoscientifique des géotopes sera évaluée de manière quantitative. Ce choix découle des objectifs et du contexte de l'*Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale*. Il s'agit ici de sélectionner les géotopes les plus importants du point de vue des géosciences et de confier la gestion de ces objets à l'autorité cantonale. Les caractéristiques écologiques, culturelles et esthétiques ne sont pas l'apanage des géotopes : un arbre remarquable peut tout autant partager ces qualités (Grandgirard, 1999b). De plus, le patrimoine naturel biotique tout comme le patrimoine culturel suisse bénéficie déjà d'un solide cadre législatif et de services fédéraux et cantonaux veillant à leur sauvegarde. Une évaluation quantitative de ces valeurs ne nous semble donc ni nécessaire ni judicieuse d'autant qu'elle fait appel à des compétences spécifiques (valeur culturelle et écologique) ou fait intervenir une appréciation éminemment subjective (valeur esthétique). Nous nous contenterons donc de signaler et de décrire brièvement ces éventuels intérêts annexes dans la rubrique « Appréciation des valeurs additionnelles » de la fiche d'inventaire. Pour finir, nous reprenons à notre compte le concept de « caractéristiques d'usage et de gestion » pour faire état des sollicitations humaines du géotope. La vulnérabilité du site ainsi que son état et potentiel de valorisation seront évalués sur une échelle de trois niveaux. A noter que ces deux derniers critères ne jouent aucun rôle dans l'étape initiale de sélection des *géotopes d'importance cantonale*.

2.4.3 Importance des géotopes : qu'est-ce qu'un géotope d'importance cantonale ?

Il convient ici de s'interroger sur le concept de « **géotope d'importance cantonale** » et de préciser la manière dont nous envisagerons cette notion dans la suite du travail. Dans ce cas particulier, l'importance d'un géotope ne s'exprime plus sur une échelle quantitative mais en rapport à un espace de référence déterminé ; ici, le canton de Fribourg. Puisqu'aucune définition-type n'existe dans la littérature spécialisée, nous proposons de définir les géotopes d'importance cantonale de la façon suivante :

> Les géotopes d'importance cantonale (abrégé par l'acronyme « GIC ») sont des portions de la géosphère qui, de par leur représentativité, leur intégrité, leur rareté et leur valeur paléogéographique, revêtent une qualité particulière et inédite à l'échelle du canton. Ces sites de référence documentent des événements significatifs de la longue et riche histoire géologique du territoire fribourgeois. Ils constituent des témoins-clés pour retracer l'histoire des roches et de la vie, reconstituer les fluctuations climatiques, et appréhender l'évolution spatiotemporelle des reliefs. Les GICs actifs illustrent quant à eux les processus dynamiques qui concourent au façonnement actuel du paysage. Pris dans leur ensemble, les GICs représentent ainsi la diversité typologique, spatiale et temporelle du patrimoine géo(morpho)logique du canton. La valeur et vulnérabilité de ces objets justifient le maintien, la préservation et la valorisation de cet héritage naturel.

Cette définition s'inspire de celle des « Paysages d'importance cantonale » (chapitre 3.3) et reprend les éléments soulevés par Strasser et al. (1995) pour définir les géotopes. Elle fixe une ligne directrice pour la sélection des objets de plus grande valeur et leur intégration à l'inventaire cantonal.

La notion d'importance reste toutefois subjective et déterminer un seuil entre une importance locale et cantonale relève d'un choix relativement arbitraire. Le nombre d'objets d'importance cantonale figurant à un inventaire ne dépend ainsi pas uniquement de la diversité géologique du territoire étudié. Le contexte dans lequel s'inscrit l'inventaire, les objectifs qui le sous-tendent, et la méthodologie employée sont tout autant déterminants. Pour s'en convaincre, le Tableau 2 compare les résultats de différents inventaires cantonaux (voir chapitre 3.4.3 pour une revue détaillée).

Canton	Références bibliographiques	Nbre de géotopes	Superficie du canton (Km^2)	Nbre de géotopes/ 100 km^2	Nbre de géotopes rapporté à la superficie de FR
Argovie	Baudepartment des Kantons Aargau, 1982, Winter, 2017	44	1'404	3.1	**52**
Turgovie	Naef et al., 1997 - Naef, 2000 - Naef, 2007 - Hipp, 2003	163	991	16.5	**275**
St-Gall	Stürm et al., 2003	195	2'025	9.6	**161**
Schwyz	Lienert et al., 2003	177	907	19.5	**326**
Jura	Monbaron et al., 2006 - Berger et al., 2007	305	838	36.4	**608**
Appenzell	Keller et al., 2007	141	415	34	**567**
Vaud	Pieracci et al., 2008	143	3'212	4.5	**74**
Bern	Blum, 2012	36	5'959	0.6	**10**

Tableau 2 : nombre de géotopes d'importance cantonale recensés dans les différents inventaires cantonaux existants. Le ratio de géotopes par 100 km^2 a été calculé puis rapporté à la superficie du canton de Fribourg. Cet indice indique une très forte variabilité entre les différents inventaires et illustre la relative subjectivité de la notion de GIC.

Le nombre de GICs référencés y est mis en relation avec la superficie cantonale puis rapporté à la surface du canton de Fribourg. Un grand canton comme Berne, qui s'étend des Alpes au Jura, ne disposent que de 36 GICs alors qu'Appenzell, de taille bien plus modeste et moins diversifié sur le plan géologique, en compte plus de 400. Cette disparité extrêmement forte d'un inventaire cantonal à l'autre illustre bien l'ambiguïté du concept de « géotope d'importance cantonale ». La méthodologie que nous emploierons dans ce travail se rapproche de celle appliquée pour l'*Inventaire des géotopes du canton de Vaud* (Pieracci et al., 2008) et n'est pas très éloignée de la démarche argovienne (Winter, 2017).

2.5 Géotopes et paysage

Dans la LPNat du canton de Fribourg, les termes de *paysage* et de *géotope* sont toujours utilisés de façon concomitante (chapitre 3.1). Cette proximité n'est pas anodine et reflète la forte relation qui existe entre ces deux notions. Le Service de la nature et du paysage (SNP) a d'ailleurs longtemps hésité à inclure géotopes et paysages remarquables dans un unique inventaire cantonal. Ce chapitre a donc pour but de préciser l'articulation qui existe entre ces deux concepts mais également d'introduire les notions de *morphologie*, de *modelé* et de *relief* qui leur sont apparentées.

2.5.1 Le paysage et ses dimensions objectives et subjectives

Le terme *paysage* constitue un bon exemple de mot qui, à force d'être employé de façon excessive et dans des contextes variés, tend à être vidé de son sens et à prendre des significations diverses, parfois contradictoires. Cet affaiblissement sémantique (Sgard, 1994) et ce caractère polysémique explique le grand flou qui accompagne l'usage de ce vocable. Les dictionnaires généralistes s'en tiennent ainsi à l'étymologie du mot et en proposent des définitions succinctes, par exemple : « *vue d'ensemble, qu'offre la nature, d'une étendue de pays, d'une région* » (CNRTL, 2002). Celles-ci reflètent l'usage courant du terme tout en faisant abstraction du rôle de l'homme dans le façonnement du paysage. Elles sont donc insuffisantes pour traiter de problématiques paysagères complexes.

Pour pallier à la faiblesse des définitions génériques, Reynard (2004c, 2005, 2009c) distingue deux manières d'aborder la notion de paysage : une approche naturaliste et une approche humaniste. L'approche naturaliste conçoit le paysage « *avant tout* [comme] *un agencement d'éléments biotiques et abiotiques, voire anthropiques, constituant le milieu vital pour les espèces animales et l'Homme* » (Reynard, 2004c : 10). Il s'agit ici de la dimension objective du paysage qui est décomposé en une multitude de composantes physiques en constante interaction : éléments abiotiques (roches, dépôts meubles, sols, eau), monde vivant (végétaux, animaux et êtres humains) et empreintes anthropiques (zones urbaines, constructions et infrastructures humaines). A l'opposé, la vision humaniste « *s'intéresse tout particulièrement au paysage subjectif, c'est-à-dire au paysage tel qu'il est perçu par l'Homme* » (Bussard, 2014 : 4). Cette approche humaniste interroge ainsi le rapport de l'Homme à son environnement et appréhende le paysage dans sa dimension culturelle. C'est cette vision qui prévaut dans la *Stratégie paysage de l'OFEV* (2011) dans laquelle « *Les paysages constituent l'environnement spatial du vécu et du ressenti de l'Homme et permettent à l'individu comme à la société de satisfaire leurs besoins physiques et psychiques* […]». Bien que fondées sur des points de vue différents, les visions objectives et subjectives du paysage ne sont pas pour autant antinomiques. En effet, la perception culturelle d'un paysage tout comme l'attachement identitaire qui lui est porté a des répercussions concrètes sur la manière de gérer les composantes tangibles qui le caractérisent.

2.5.2 Le relief comme armature physique des paysages

Le relief constitue l'armature physique des paysages et en détermine le caractère fondamental. La géomorphologie, à mi-chemin entre géologie et géographie, s'emploie à décrire et expliquer la morphologie de ce relief en étudiant sa genèse, son fonctionnement et son évolution dans le temps. Elle constitue donc une science fondamentale pour caractériser les paysages et en apprécier la valeur.

Le relief est dynamique et non pas figé comme on l'a longtemps cru. Il est le résultat d'une histoire longue et complexe et le produit de deux forces antagonistes : l'une, induite par la tectonique des plaques, crée le relief par volcanisme ou orogenèse ; l'autre, régie par la gravité et des processus d'érosion multiples, tend à le détruire. Ces mécanismes d'érosion, de transport et de sédimentation sont déterminés par le cadre géologique d'une part (type de substrat rocheux, contexte structural), mais également par des facteurs climatiques (températures, précipitations) et par une intervention plus ou moins forte de l'Homme dans ce système morphogénétique (Fig. 13). L'association des formes d'érosion et de dépôt qui en sont issues constituent différents types de modelés (glaciaires, karstiques, fluviatiles, etc.) et, à plus large échelle, le relief. Cette topographie des terrains (orientation et déclivité des pentes) a ensuite une très forte incidence sur les autres éléments du paysage.

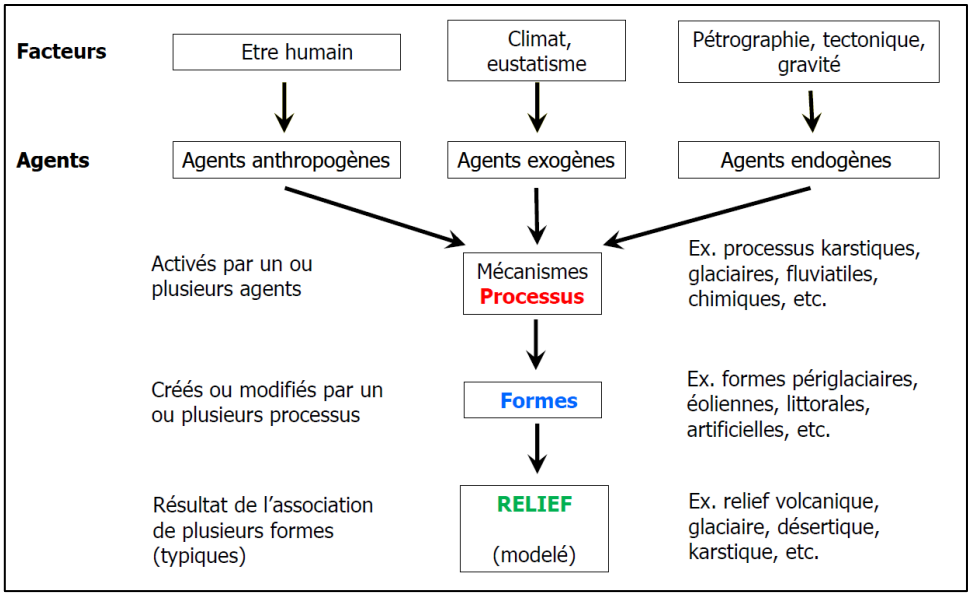


Fig. 13 : système morphogénétique qui conduit à la formation du relief (Reynard, 2004c ; modifié).

2.5.3 Le substrat géologique et son influence paysagère

Les différents types de substrats géologiques qui composent le sous-sol ont également une forte influence sur le paysage et ses multiples composantes. La résistance variable des roches à l'érosion explique, pour une part, les traits généraux des reliefs dont la morphogenèse vient d'être évoquée. Le lent processus de pédogenèse, qui aboutit à la formation d'un sol organique, débute par la désagrégation du substrat géologique sous-jacent. Les sols, qui se trouvent à l'interface entre la

lithosphère, l'hydrosphère, la biosphère et l'atmosphère, héritent ainsi d'une partie des propriétés des roches dont ils sont issus. Le type de végétation qui vient les coloniser reflète donc les conditions topoclimatiques et hydrologiques mais aussi les caractéristiques du soubassement géologique. Ce couvert végétal, ou alors son absence, détermine en grande partie l'aspect visuel d'un paysage et participe de sa typicité. La perméabilité des roches et dépôts quaternaires dictent également l'hydrologie de surface et souterraine avec parfois de très grandes variations sur un espace restreint. Dans les Préalpes par exemple, un versant calcaire sans aucun cours d'eau superficiel pérenne pourra faire face à des pentes plus douces, en zone de flysch, parsemées d'une multitude de zones humides et drainées par des réseaux hydrographiques extrêmement développés. Enfin, le cadre géologique est en interaction constante avec l'anthroposphère puisqu'il constitue à la fois une ressource et une contrainte pour l'Homme. Ce dernier est aujourd'hui un acteur majeur du paysage qu'il a largement artificialisé et sur lequel il exerce une forte emprise spatiale (chapitres 2.2.3 et 2.4.1).

2.5.4 Les géotopes comme marqueurs et clés de compréhension du paysage

Le lien entre paysage et géotopes géomorphologiques est relativement évident. Ces objets représentent en effet les morphologies les plus représentatives d'un certain modelé et en constituent, en quelque sorte, les formes archétypiques. Tout comme les grands ensembles géologiques ou structuraux, les géotopes géomorphologiques contribuent indéniablement à la beauté du paysage en tant qu'**éléments distinctifs et remarquables du relief**. Certains géotopes, véritables curiosités ou monuments naturels, se démarquent tout particulièrement par leur esthétisme ou impressionnent par leurs caractéristiques exceptionnelles : dimension inhabituelle (canyons, sommets, falaises, réseaux souterrains), forme particulière (arches, cheminées de fée, buttes-témoins, spéléothèmes), variation de couleurs (zones géothermiques ou volcaniques, oxydation de roches), etc. Il en va de même pour une partie des géotopes actifs qui sont quelquefois particulièrement spectaculaires (cascades, lits torrentiels, glaciers, zones géothermiques, etc.). Ils permettent d'observer *in situ* les dynamiques naturelles qui concourent au façonnement perpétuel du paysage.

Il existe toutefois un grand nombre de géotopes qui, sur le plan visuel, n'ont pas d'intérêt paysager particulier. C'est le cas de nombreux objets géologiques à l'aspect quelconque ou peu visibles du fait de leur localisation. Certains géotopes, notamment les roches affleurantes des carrières, peuvent même être perçues comme des éléments disgracieux du paysage. Malgré tout, ces géotopes constituent des **clés de compréhension des changements paysagers dans l'espace et dans le temps**. En effet, ces géotopes livrent des informations sur des paysages anciens et permettent la reconstitution de paléogéographies. Et, comme le précise Marthaler (2004 : 52), la géographie d'aujourd'hui n'est rien d'autre que « *le résultat d'une succession de paléogéographies* ».

2.6 Géotopes et patrimoine

2.6.1 La *Déclaration internationale des droits de la mémoire de la Terre*

La notion de patrimoine géologique (*geological heritage* ou *geoheritage* dans la littérature anglophone) a réellement émergée à la suite du 1er symposium international sur la protection du patrimoine géologique qui s'est tenu à Dignes-les-Bains (France) en juin 1991. Placé sous l'égide de l'UNESCO, ce colloque a réuni plus de 120 spécialistes, chercheurs et universitaires en provenance d'une trentaine de pays. Pour la première fois, des discussions se sont tenues sur la protection du patrimoine géologique à l'échelle mondiale. En clôture de ce symposium, les participants ont unanimement adopté la *Déclaration internationale des droits de la mémoire de la Terre* (coll., 1991 ; Tableau 3), rédigée en marge du congrès (Martini, 1994).

Déclaration internationale des droits de la mémoire de la Terre

1. Chaque Homme est reconnu unique, n'est-il pas temps d'affirmer la présence et l'unicité de la Terre ?
2. La Terre nous porte. Nous sommes liés à la Terre et la Terre est lien entre chacun de nous.
3. La Terre, vieille de quatre milliards et demi d'années est le berceau de la Vie, de renouvellement et des métamorphoses du vivant. Sa longue évolution, sa lente maturation ont façonné l'environnement dans lequel nous vivons.
4. Notre histoire et l'histoire de la Terre sont intimement liées. Ses origines sont nos origines. Son histoire est notre histoire et son futur sera notre futur.
5. Le visage de la Terre, sa forme, sont l'environnement de l'Homme. Cet environnement est différent de celui d'hier et différent de celui de demain. L'homme est l'un des moments de la Terre; il n'est pas finalité, il est passage.
6. Comme un vieil arbre garde la mémoire de sa croissance et de sa vie dans son tronc, la Terre conserve la mémoire du passé... Une mémoire inscrite dans les profondeurs et sur la surface, dans les roches, les fossiles et les paysages, une mémoire qui peut être lue et traduite.
7. Aujourd'hui les Hommes savent protéger leur mémoire : leur patrimoine culturel. A peine commence-t-on à protéger l'environnement immédiat, notre patrimoine naturel. Le passé de la Terre n'est pas moins important que le passé de l'Homme. Il est temps que l'Homme apprenne à protéger et, en protégeant, apprenne à connaître le passé de la Terre, cette mémoire d'avant la mémoire de l'Homme qui est un nouveau patrimoine : le patrimoine géologique.
8. Le patrimoine géologique est le bien commun de l'Homme et de la Terre. Chaque Homme, chaque gouvernement n'est que le dépositaire de ce patrimoine. Chacun doit comprendre que la moindre déprédation est une mutilation, une destruction, une perte irrémédiable. Tout travail d'aménagement doit tenir compte de la valeur et de la singularité de ce patrimoine.
9. Les participants du 1er Symposium international sur la protection du patrimoine géologique, composé de plus d'une centaine de spécialistes issus de trente nations différentes, demandent instamment à toutes les autorités nationales et internationales de prendre en considération et de protéger le patrimoine géologique au moyen de toutes mesures juridiques financières et organisationnelles.

Tableau 3 : La Déclaration internationale des droits de la mémoire de la Terre adoptée lors du 1er symposium international sur la protection du patrimoine géologique de Dignes-les-Bains (coll., 1991).

Si l'on peut regretter un ton quelque peu paternaliste et un style plus proche des courants philosophiques *New Age* que du langage scientifique, cette déclaration n'en constitue pas moins un document précieux, véritable manifeste pour la protection du patrimoine géologique, domaine largement laissé pour compte jusqu'alors.

2.6.2 Les géotopes, des constituants du patrimoine naturel abiotique

Au sens premier donné par son étymologie, le patrimoine désigne « *l'héritage du père* » c'est-à-dire « *les biens que l'on a hérités de ses ascendants* » (Le petit Robert, 2011). Dans la littérature anglophone, la notion de patrimoine est d'ailleurs traduite par le terme *heritage*. Par extension, le patrimoine constitue « *ce qui est transmis à une collectivité par les générations précédentes et qui est considéré comme un héritage commun* » (CNRTL, 2002). Le patrimoine est donc à la fois un legs du passé mais aussi un bien qu'il convient de préserver et de transmettre aux générations futures.

Au sens strict, le patrimoine est d'abord culturel et concerne les objets artistiques, architecturaux ou historiques remarquables, témoins privilégiés du passé de l'Homme. La notion de **patrimoine naturel** est moins évidente car elle impose une réflexion sur la place de l'être humain vis-à-vis de la nature et interroge ce concept-même de « nature » (Martin, 2013). Le patrimoine naturel n'existe pas en tant que tel mais nait du regard de l'homme qui le contemple, l'interprète, l'étudie, lui attribue une valeur et le charge de significations. Le patrimoine géo(morpho)logique, qui constitue la partie abiotique du patrimoine naturel, se situe donc à l'interface de la nature et de la culture (Vincent, 1995 ; Micoud, 2005 ; Portal, 2010). Tout comme les biens culturels et contrairement au patrimoine naturel vivant, les géotopes constituent des « *lieux de mémoire* » (Di Méo, 1994), non plus de la civilisation humaine mais de l'histoire de la Terre, de la vie et du climat. L'homme est à la fois le produit et l'héritier de cette histoire ce qui donne tout son sens à la locution utilisée par Grandgirard (1997) pour intituler l'un de ses articles: « *la mémoire de la Terre est notre mémoire* ».

2.6.3 Les processus de patrimonialisation

La **patrimonialisation**, ou mise en patrimoine, d'un objet ou d'un site nécessite une reconnaissance collective de ses valeurs (Duval, 2007). Cette reconnaissance patrimoniale est contextuelle puisqu'elle dépend autant de l'état des connaissances scientifiques que de la propension d'une société à considérer ces objets comme digne d'intérêt et de protection. Il ne suffit donc pas qu'un spécialiste décrète l'importance d'un objet pour que ce dernier intègre un patrimoine. De nombreux acteurs aux intérêts souvent divergents entrent en jeu dans ce mécanisme. Selon Di Meo (2008: 2) : *« pour qu'il y ait patrimoine, il faut des processus (sociaux au sens complet du terme) de patrimonialisation, soit des*

modalités bien précises de transformation d'un objet, d'une idée, d'une valeur […]». Il s'agit donc d'un long processus nommé *itinéraires de patrimonialisation* » (Gauchon, 2002) ou « *trajectoire patrimoniale* » (Portal, 2010) qui permet d'étendre la sphère de considération des géotopes des seuls milieux universitaires à l'ensemble de la société. Les différentes étapes de ce cheminement, souvent itératif et sinueux, ont été décrites par Di Méo (2008) et synthétisées par Martin (2013) sur la Fig. 14.

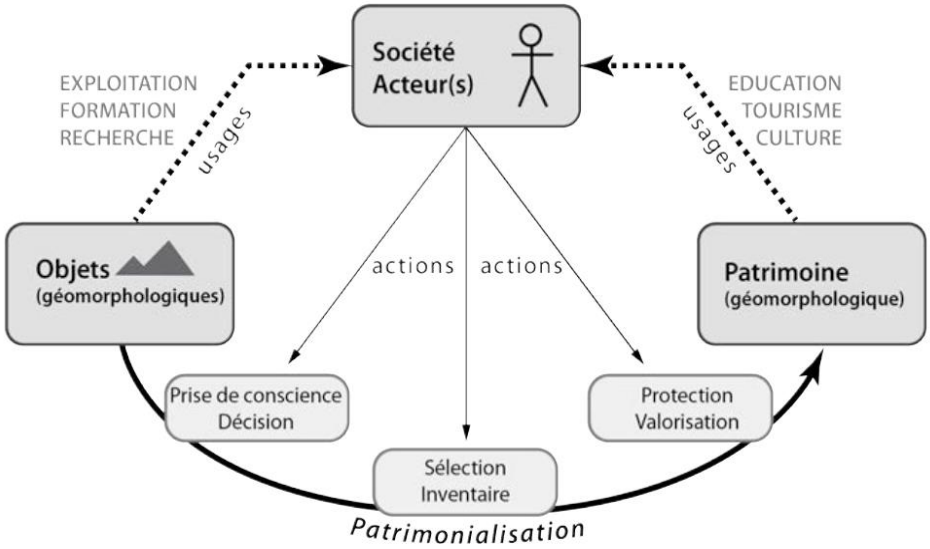


Fig. 14 : processus de patrimonialisation et relations avec les acteurs du patrimoine. (Martin, 2013 : 5, selon Di Méo, 2008)

Les spécialistes attribuent spontanément une valeur à certains sites géo(morpho)logiques qui constituent les objets de leurs recherches. Ces experts sont parfois tentés de penser que cette valeur va de soi (Martin, 2013). Il n'en est rien. Pour mettre à l'abri les géotopes, leur intérêt scientifique doit être transmis et intégré par les autres acteurs de la société (politiques, législateurs, administrations publiques, médias et population). La prise de conscience de cette valeur patrimoniale, souvent différée d'un groupe d'acteurs à l'autre, peut ensuite déboucher sur la décision de protéger ces objets et une inscription dans la loi. Dès lors se manifeste le besoin de sélectionner les sites de plus grande importance au travers d'un inventaire. Ce dernier constituera le document de référence pour protéger, exposer, et mettre en valeur ces sites d'intérêts. Ceux-ci ne constituent alors plus seulement les objets d'études des géoscientifiques mais des biens patrimoniaux bénéficiant à la société toute entière. Ils peuvent par exemple servir de support éducatif ou être intégrés à des projets de géotourisme profitant à l'ensemble d'une région. A chacune de ces étapes se jouent des médiations qui établissent des ponts et réduisent le décalage entre la culture savante des spécialistes et celle, lacunaire, des néophytes (Jacobi, 1999). Si l'inventaire permet de transmettre les connaissances scientifiques à tout-un chacun, il constitue alors un outil central de cette médiation et, par conséquent, une étape essentielle de la mise en patrimoine des géotopes.

2.7 La géoconservation ou la protection du patrimoine géologique

2.7.1 Le concept de géoconservation

La géoconservation désigne l'ensemble des mesures mises en place pour la protection et la préservation du patrimoine géologique. Le concept a d'abord émergé dans le monde anglo-saxon dans les années 1990 (Sharples, 1993, 1995 ; Eberhard, 1997). Résumant les réflexions de leurs prédécesseurs, Burek et Prosser (2008) en ont proposé la définition suivante :

> [Geoconservation is an] action taken with the intent of conserving and enhancing geological and geomorphological features, processes, sites and specimens. As successful conservation often depends on understanding and valuing the feature, process, site, or specimens to be conserved, the actions taken often also include promotional and awareness raising activities. (Burek et Prosser, 2008: 3)

Il faut mentionner ici la nuance sémantique qui existe dans l'emploi du vocable « conservation » en langue anglaise et française (Bussard, 2014). En français, le mot conservation est assez restrictif et comprend l'idée d'un maintien dans un état intact ou dans le même état (le Petit Robert, 2011). Il est donc plus proche de la notion anglaise de *preservation.* L'usage francophone du mot géoconservation, directement et improprement traduit de l'anglais, est donc plutôt inapproprié puisqu'il donne l'impression d'une mise sous cloche des objets géologiques. Il eût été plus judicieux de parler de protection ou de préservation du patrimoine géologique, des termes qui introduisent l'idée d'une mise à l'abri de ces objets face à un danger ou une menace. Ces terminologies se rapprochent plus de la définition ci-dessus qui décrit la géoconservation comme une gestion globale et intégrative des intérêts patrimoniaux des gétopes sans en faire pour autant des sites inaccessibles.

2.7.2 Protection du patrimoine géologique, un bref historique

Les grottes de *Baumannshöle* en Allemagne sont généralement considérées comme les premiers sites géologiques ayant bénéficié d'un statut légal de protection (Erikstad, 2008). Visitées par Goethe à la fin du 18ème siècle, ces grottes font l'objet d'un décret de protection daté de 1668. Il faudra cependant attendre le 19ème siècle pour des politiques de protection plus généralisées.

2.7.2.1 Théorie glaciaire et protection des blocs erratiques en Suisse

Si l'on excepte le cas isolé de *Baumannshöle*, la Suisse a fait figure de pionnière dans la protection des objets géologiques. Au 19ème siècle, Le pays constitue le berceau de la théorie glaciaire qui doit beaucoup aux observations du paysan bagnard Jean-Pierre Perraudin, aux travaux du géologue écossais James Hutton et aux recherches des naturalistes suisses Ignace Venetz, Jean de Charpentier et Louis Agassiz. C'est à l'initiative de ce dernier que fût protégée la *Pierre à Bot* (Neuchâtel, Suisse),

premier bloc erratique mis sous protection en 1838. Par la suite, l'*Appel aux Suisses pour les engager à conserver les blocs erratiques* (1867), lancé par Alphonse Favre et Bernard Studer, initia un vaste programme d'inventorisation des blocs erratiques et contribua à la protection de centaines de blocs à l'échelle nationale (Reynard, 2004d). Cet appel fut d'ailleurs bien reçu dans le canton de Fribourg où, dès 1869, le Conseil d'Etat pria son inspecteur en chef des forêts « *de veiller à ce qu'aucun bloc erratique ne fût détruit dans les forêts cantonales, et de noter sur un calque de la carte Stryienski (1; 50'000), les blocs remarquables* » (de Girard, 1907 : 117). Dans les décennies qui suivirent, un certain nombre de blocs furent déclarés « *inviolables* » et firent l'objet de dons au Musée cantonal d'Histoire naturelle. Aujourd'hui, le Musée d'Histoire naturelle de Fribourg (MHNF) possède ainsi une partie des blocs erratiques du canton et dispose d'une collection en plein air aux abords du musée.

2.7.2.2 Les premiers parcs nationaux américains et européens

La seconde moitié du 19ème siècle est aussi marquée par la création des premiers parcs nationaux américains : le Yellowstone, premier parc naturel au monde fondé en 1872 suivi de celui de Yosemite (1890), du Mont Rainier (1899) et du Crater Lake (1902). La protection de ces grands espaces visait autant la sauvegarde du vivant, notamment face au fléau du braconnage, que la préservation des monuments et curiosités naturels (cascades, volcans, dômes granitiques, geysers, etc.) d'une valeur géologique et scénique indéniable (Gray, 2004 ; Erikstad, 2008). Au début du 20ème siècle, le concept traverse l'Atlantique et le premier parc national européen s'établit à Abisko en Suède dès 1909. La Suisse suit le mouvement avec le Parc national suisse fondé dans les Grisons en 1914.

2.7.2.3 Un patrimoine toujours en manque de reconnaissance

Depuis cette période d'avancées majeures, la protection de la nature s'est très largement focalisée sur les espèces animales et végétales, surtout à partir des années 1970. En Suisse, cette décennie a vu la fondation de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et des services cantonaux de protection de la nature. La préservation de la faune, de la flore et des écosystèmes a ainsi fortement progressée avec la création d'espaces protégés (biotopes, réserves ou parcs naturels) qui ont parfois permis la sauvegarde indirecte de géotopes. Cependant, le patrimoine géologique en tant que tel, considéré à tort comme immuable et inaltérable, n'a pas bénéficié de la même attention (Strasser et al., 1995; Grandgirard, 1997a; Lugon et Reynard, 2003).

L'Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels (IFP) initié en 1977 a tout de même permis le recensement et la protection de certains objets géologiques d'importance à l'échelle nationale : le *Luegibodenblock* (BE), les Pyramides d'Euseigne (VS), le Jardin des glaciers à Lucerne, les Gorges de la Singine (FR), etc. L'IFP inventorie également des régions particulièrement abondantes en

géotopes : Breccaschlund, Vanil Noir ou Mont Vully pour ne citer que des exemples fribourgeois. Malheureusement son équivalent cantonal, l'*Inventaire des sites naturels du canton de Fribourg* (CCPNP & OCAT, 1978) tout comme l'*Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg* (Grandgirard, 1999a) qui lui a fait suite n'ont jamais obtenu de statut juridiquement contraignant et n'ont pas été suivis d'actions politiques concrètes.

La nouvelle loi cantonale sur la protection de la nature et du paysage du 12 septembre 2012, à l'origine du présent travail, ouvre donc une nouvelle aire en actant enfin le besoin de protection des géotopes. Pour la première fois, la législation du canton de Fribourg considère ainsi le patrimoine géo(morpho)logique comme un domaine à part entière de la protection de la nature et du paysage (Chapitre 3.1).

2.7.3 Pourquoi protéger le patrimoine géologique ?

2.7.3.1 Le constat d'une menace

La valeur des géotopes et souvent leur existence même est méconnue. Par conséquent, ces objets sont souvent endommagés ou détruits par simple ignorance. Outre ce manque préjudiciable de (re)connaissance, l'urbanisation du territoire et l'extension croissante des activités humaines constituent les dangers principaux qui menacent le patrimoine géologique (Grandgirard, 1999b). De nombreuses actions anthropiques peuvent ainsi porter atteinte à l'intégrité des géotopes :

- L'**exploitation de matériaux** peut conduire à la destruction irrémédiable de géotopes: p.ex. des formes géomorphologiques quaternaire (kames, cônes de déjections, terrasses alluviales) ou des affleurements de grande valeur (gisements fossilifères ou structures sédimentaires rares p. ex.). Paradoxalement, l'exploitation des ressources du sous-sol peut conduire à la mise au jour temporaire de géotopes (coupes stratigraphiques, fossiles, …) qui seraient restés enfouis et inconnus sans intervention humaine.

- Les **constructions** de bâtiments et de grandes infrastructures (voies ferrées, routes, parkings, golfs, terrains de foot, pistes de ski) nécessitent une modification du relief et une maitrise des processus géomorphologiques menaçants (excavations, terrassement, nivellement et stabilisation de terrain, imperméabilisation du sol, filets de protection contre les chutes de pierres, etc.).

- Les **décharges et remblais** qui occupent des dépressions artificielles (gravières, carrières) ou naturelles (vallées, zones déprimées, dolines, etc.). Ces comblements masquent la morphologie originelle des terrains et ont des répercussions importantes sur les écoulements superficiels et souterrains.

- Les **autres déprédations** : les activités de loisirs, agricoles, touristiques ou militaires ont également des impacts non négligeables sur le patrimoine géo(morpho)logique : exploitation, déplacement ou enfouissement de blocs erratiques, piétinement de formes fragiles, destruction de spéléothèmes en

milieu karstique souterrain, fouilles sauvages et collectes de fossiles ou de minéraux, optimisation des terrains agricoles, destruction et pollution liées à des exercices de tirs, etc.

L'impact sur les géotopes ne concerne pas uniquement les formes du relief. L'emprise humaine sur le territoire implique une très large modification des processus morphogénétiques si bien qu'il n'existe plus beaucoup de géotopes actifs qui ont conservé leur caractère et dynamique naturels :

- **Aménagement de cours d'eau** : la plupart des cours d'eau suisses et fribourgeois sont fortement artificialisés : corrections du cours naturel, barrages hydroélectriques formant des lacs de retenue, ouvrages sécuritaires (digues, enrochement, seuils, bassins de rétention). La dynamique alluviale et le transfert sédimentaire sont largement entravés par ces aménagements.

- **Drainages** : le drainage des zones humides a permis une extension significative des terres agricoles cultivables. La correction des eaux du Jura a par exemple permis le développement de la plus grande surface maraîchère de Suisse dans le *Grosses Moos*. Mais cette tendance généralisée à l'expansion et à l'optimisation agricole a entrainé la disparition des tourbières et la raréfaction des zones inondées soumises à des processus limno-palustres.

- **Prélèvements d'eau** : le débit des cours d'eau et le remplissage des lacs peuvent être altérés par des captages ou pompages d'eau pour l'irrigation, la consommation des ménages, l'approvisionnement des industries, les infrastructures touristiques (canons à neige, piscines, golfs). Le prélèvement excessif des eaux souterraines peut également conduire à un affaissement des terrains en surface et à la destruction de la porosité du sous-sol.

- **Stabilisation, lutte contre l'érosion** : En Suisse, un certain nombre de mesures sont prises pour limiter les processus naturels susceptibles de causer préjudices aux infrastructures humaines : stabilisation de versants, ancrages ou filets de protection sur les parois rocheuses, enrochement des berges des torrents, limitation des glissements de terrain par drainage, etc.

Le relief est donc largement remodelé par la main de l'Homme qui, depuis quelques siècles déjà, façonne son environnement à un rythme bien plus effréné que ne le font les seuls agents naturels. Cette empreinte humaine sur le paysage tend malheureusement à effacer ces reliques du passé que constituent les géotopes fossiles. Elle modifie également les dynamiques naturelles qui participent depuis toujours à l'édification des paysages. Ce constat illustre la nécessité de préserver les géotopes qui échappent encore aux altérations et destructions anthropiques.

La **vulnérabilité** des objets géologiques est extrêmement variable. Elle découle de la fragilité propre de chaque géotope mais aussi du niveau de menace qui pèse sur ce dernier. En général, les objets de très grande taille, les géotopes déjà inclus dans des espaces protégés ainsi que les sites peu accessibles du fait de leur altitude, escarpement ou isolement, ne nécessitent pas de mesures spécifiques de protection. A contrario, certains géotopes sont particulièrement fragiles et/ou fortement exposés.

Outre les géotopes actifs, c'est le cas des objets géologiques situés en périphérie urbaine ou dans des secteurs fortement sollicités par les activités humaines: domaines skiables, places d'exercices militaires, zones d'exploitations touristiques, etc. Il en va de même pour les formes quaternaires constituées de sédiments meubles exploitables. Ces formes superficielles représentent des ressources en matériaux faciles d'accès et donc particulièrement rentables. De par leur attrait économique, ces géotopes risquent d'être entièrement détruits ou alors de subir des dégradations conséquentes réduisant considérablement leur valeur scientifique et paysagère.

2.7.3.2 Un bien pour les sciences et la société toute entière

Les chapitres précédents ont déjà apporté un certain nombre d'arguments en faveur de la sauvegarde du patrimoine géologique et géomorphologique. Sur la base des travaux de Daly et al. (1994), Wilson (1994) et Grandgirard (1997b), nous proposons ici un bref récapitulatif des raisons qui justifient la préservation des géotopes :

- Ceux-ci constituent d'abord les **objets d'étude pour les sciences de la Terre**. Les géotopes représentent des sites indispensables pour le maintien et le progrès des connaissances en géologie et en géomorphologie qui sont avant tout des disciplines scientifiques de terrain.

- Les géotopes sont des **lieux de transmission des connaissances scientifiques**. Pour la formation universitaire, il est indispensable de disposer de sites intacts et exemplaires afin d'illustrer les notions théoriques enseignées en cours. Dans le cadre d'excursions ou de travaux pratiques, ces sites permettent aux étudiants d'appliquer des méthodes de recherche et de se confronter à la réalité du terrain.

- Cette valeur pédagogique et éducative des géotopes n'est pas strictement réservée au milieu académique ou scolaire. Elle peut bénéficier à toute personne intéressée par les géosciences. La documentation et la mise en valeur de sites facilement accessibles permet de faire découvrir l'histoire de la Terre au plus grand nombre. Les géotopes constituent donc des **objets de médiation** entre le monde académique et le reste de la société.

- Les **géotopes participent à la typicité et à la beauté des paysages**. De plus, ils constituent quelque fois des lieux singuliers d'une valeur esthétique indéniable. Leur sauvegarde s'inscrit donc dans une démarche de protection du paysage.

- Les objets géologiques cumulent souvent des qualités qui dépassent le cadre des géosciences. La préservation des géotopes permet de maintenir ces caractéristiques annexes (intérêts écologique, culturel, religieux ou historique, paysager ou esthétique) qui en font des **lieux de vie spécifiques pour la faune et la flore et des sites privilégiés d'identification territoriale**.

La conservation du patrimoine géologique et géomorphologique dépasse donc le seul intérêt des sciences de la Terre. La géoconservation bénéficie également à la protection de la nature, à la préservation des paysages et répond aux besoins des spécialistes et de la société toute entière.

2.7.4 Comment protéger le patrimoine géologique ?

Les mesures de gestion et de protection des géotopes sont très variables puisqu'elles dépendent des caractéristiques de ces sites et sont dictées « *par la valeur des objets, par l'importance des menaces et par la probabilité d'occurrence de ces dernières* » (Grandgirard, 1999b). De manière générale, quatre types d'actions peuvent être mises en place pour préserver l'intégrité des géotopes fossiles ou maintenir les dynamiques qui caractérisent les géotopes actifs :

1. **La mise sous protection totale ou partielle :**

   La valeur et la fragilité de certains géotopes peut exiger des mesures de protection strictes. Il pourra se révéler nécessaire d'interdire purement et simplement l'accès à certains sites : p.ex. une cavité souterraine qui renfermerait des spéléothèmes remarquables ou un gisement riche en minéraux précieux ou en fossiles rares. Pour se prémunir de tout vandalisme ou fouille sauvage, il sera par ailleurs judicieux de ne pas communiquer l'importance du site ou divulguer sa localisation précise (Strasser et al., 1995). D'autres géotopes, particulièrement les formes géomorphologiques fossiles du Quaternaire, sont moins sensibles et plus difficilement altérables à l'échelle d'un individu. Elles peuvent par contre être dégradées ou totalement détruites en cas d'exploitation de matériaux ou de travaux de terrassement. Pour assurer la préservation des caractéristiques remarquables de ces géotopes, toute modification significative du relief doit être interdite. Ces mesures de protection totales ou plus ciblées ne concernent que des géotopes qui sont explicitement menacés.

2. **L'aménagement et l'entretien des sites :**

   Certains sites particulièrement accessibles et fréquentés doivent être aménagés afin de réduire l'impact des visiteurs qui les arpentent. Il suffira souvent d'encadrer le flux de promeneurs (chemins pédestres, sentiers didactiques, barrières, passerelles) pour éviter d'éventuels dommages au patrimoine géologique. Il arrive également qu'une intervention humaine soit indispensable au maintien des caractéristiques singulières d'un géotope. Un couvert pourra par exemple protéger certains sites fragiles (traces de dinosaures, paléoplages, fossiles *in situ*) des agents météoriques. Le rafraichissement d'affleurements ou le maintien d'une bonne visibilité (déboisement, élimination de la végétation pionnière) constitue également un exemple d'une intervention anthropique bénéfique. Citons encore en illustration les emblématiques Pyramides d'Euseigne, menacées par l'action érosive des eaux de ruissèlement, mais dont la durée de vie est prolongée par un scellement anthropique.

3. **La compensation :**

   Les propriétés de tout géotope étant uniques et généralement non renouvelables, la destruction de ces objets constitue une perte irremplaçable. Cependant, lorsqu'une atteinte est absolument inévitable, la mise en place de mesures compensatoires peut constituer un moindre mal. Cette politique de compensation, déjà employée pour la gestion des biotopes, consiste à garantir la préservation d'un site aux caractéristiques similaires à l'objet détruit. Il est même envisageable d'imposer des mesures compensatoires comme le financement d'une valorisation d'un site équivalent.

4. **L'information et la mise en valeur :**

   Comme relevé dans les chapitres précédents, l'intérêt des géotopes peine encore à être pleinement reconnu en dehors du monde académique et ce malgré une modification récente de la législation cantonale. Communiquer sur la valeur patrimoniale et la fragilité de ces objets est donc fondamental pour une protection efficiente. Comme l'évoquent très justement Megerle et Beuter (2011 : 78) : « *au vu du grand nombre de géotopes dispersés dans l'espace, des mesures de protection légales ne pourraient concerner que les formations uniques les plus précieuses. C'est pourquoi le développement d'une «**conscience géologique**» est indispensable pour une protection généralisée des géotopes. Cela suppose une **sensibilisation du grand public** sur la valeur et la vulnérabilité des géotopes* ». La **géovalorisation** ou, à plus large échelle, le géotourisme, contribuent à cette information au public tout en suscitant l'adhésion de la population à des mesures de conservation du patrimoine géologique. La mise en valeur d'un site peut prendre des formes diverses : infrastructures d'accueil, visites guidées, sentiers didactiques, panneaux explicatifs, brochures d'excursions, applications mobiles, etc. Généralement positive, il n'est pas exclu que cette valorisation ait des répercussions néfastes sans un encadrement adéquat. Un site remarquable peut en effet être victime de son succès et mis à mal par une affluence excessive et des comportements inappropriés (surfréquentation, piétinement, dégradation). Cependant, lorsque ces impacts négatifs sont minimisés (sensibilisation du public, balisage, concentration du flux de visiteurs), la géovalorisation permet d'accélérer la patrimonialisation des géotopes et constitue, de fait, un outil indispensable de la géoconservation (Bussard, 2014).

Les quatre catégories d'actions présentées ci-dessus sont très générales. La diversité typologique des géotopes exige pourtant des mesures de gestion spécifiques à chaque classe d'objets et adaptées aux particularités de chaque site. Ces mesures plus ciblées seront précisées au moment de la sélection des géotopes d'importance cantonale qui se fera par catégorie d'objets géologiques (chapitre 6). De plus, la fiche d'inventaire qui documentera chaque GIC disposera d'une rubrique traitant spécifiquement de la vulnérabilité et des mesures de gestion propres au site en question. Pour l'heure, 11 fiches d'inventaire ont été réalisées et sont disponibles en Annexe X. Ces fiches sont provisoires et le travail de documentation des géotopes d'importance cantonale se poursuivra au-delà de ce travail (voir chapitre 5.5.1).

3 Contexte de la recherche

Ce chapitre présente le cadre légal et le contexte politique qui sous-tendent ce travail. Le chapitre 3.1 s'intéresse à la nouvelle *Loi sur la protection de la nature et du paysage* (LPNat) et aux articles qui concernent directement les géotopes. Le chapitre 3.2 aborde la révision actuelle du plan directeur cantonal qui intégrera les résultats du présent travail. Le chapitre 3.3 propose finalement une revue des inventaires existants à l'échelle internationale, nationale, et dans les différents cantons suisses. Ces inventaires constituent des sources d'inspiration pour celui des GICs du canton de Fribourg.

3.1 Cadre légal : la LPNat du 12 septembre 2012

Fribourg est le premier canton suisse à s'être muni d'une base légale qui mentionne explicitement le terme de géotope. Il s'agit de la nouvelle *Loi sur la protection de la nature et du paysage* (LPNat) du 12 septembre 2012. Entrée en vigueur au 1er janvier 2014, cette loi fait suite au message N° 274 du Conseil d'Etat au Grand Conseil du 13 septembre 2011 et est accompagnée du *Règlement sur la protection de la nature et du paysage* (RSF 721.0.11) du 27 juin 2014. L'introduction du concept de géotope dans la LPNat est à l'origine du présent travail et en détermine les principaux objectifs. Il est donc nécessaire de parcourir les articles qui la constituent et d'en extraire les passages impliquant les géotopes.

Dans les dispositions générales du chapitre premier, la LPNat stipule :

> ***Art. 1*** *But et objets*
>
> *[1] La présente loi a pour but de* ***préserver et promouvoir la richesse et la diversité des patrimoines naturel et paysager*** *du canton, en tant qu'éléments clés du développement durable.*
>
> *[2] Elle vise en particulier :*
>
> *c) à ménager l'aspect caractéristique du paysage et à* ***préserver les géotopes*** *;*
>
> *e) à* ***promouvoir la sensibilisation*** *à la nature et au paysage et à* ***améliorer les connaissances*** *en la matière.*

Deux objectifs sont ainsi mis en exergue à propos des géotopes. Il s'agit premièrement de les préserver des menaces auxquelles ils pourraient être exposés. La loi reconnait donc pour la première fois le besoin de protection de ces objets et le principe de géoconservation. Il s'agit également de promouvoir le patrimoine naturel et paysager, les géotopes se trouvant à l'intersection de ces deux domaines. Dans cette optique, l'Art. 2 et 30 du Règlement RSF 721.0.11 souligne le rôle de la DICS qui « *veille à favoriser, dans les programmes de formation, une prise de conscience de l'importance que revêt* […] *la préservation des paysages et géotopes* » et du MHNF qui « *organise des activités d'information et de sensibilisation du public dans le but de promouvoir auprès de la population* […] *une prise de conscience de la valeur et du rôle des paysages et géotopes »*.

Dans le chapitre 3, la LPNat précise les dispositions précédentes et énumère les principes suivants:

> ***Art. 32*** *Principes*
>
> *[1] Lorsqu'ils revêtent un **intérêt particulier sur les plans esthétique**, **typologique**, **scientifique** ou **éducatif**, les paysages et géotopes caractéristiques doivent dans la mesure du possible être préservés des atteintes qui en altèrent le caractère.*

Lors de la phase de sélection des GICs, les différents intérêts cités dans la loi doivent être pris en compte. Il faut cependant spécifier la manière d'intégrer ces critères dans la démarche de sélection. L'intérêt esthétique, déterminant pour désigner les paysages les plus remarquables, est plus difficile à appréhender lorsqu'il s'agit d'évaluer la valeur des géotopes. En effet, cette notion est fortement subjective et n'est pas uniquement liée aux caractéristiques géo(morpho)logiques de ces objets puisque le couvert végétal ou des constructions humaines peuvent contribuer à la beauté d'un site. De plus, certains sites importants sur le plan géoscientifique n'ont aucune valeur esthétique particulière. Nous n'utiliserons donc pas l'intérêt esthétique comme un critère discriminant mais veillerons tout de même à intégrer des géotopes dont les qualités scéniques sont appréciées de tous (gorges, cascades, plans d'eau, etc.). A notre sens, les intérêts typologiques et éducatifs émanent directement de l'intérêt scientifique et lui sont donc subordonnés. C'est donc cet intérêt scientifique qui sera évalué et justifiera l'importance cantonale d'un géotope. L'inventaire devra cependant respecter un certain équilibre en reflétant la diversité typologique et la richesse géo(morpho)logique du territoire fribourgeois en accord avec l'Art. 1, al. 1 de la loi cantonale.

Les Articles 33 et 34 mentionnent ensuite les responsabilités qui incombent au canton pour garantir la gestion des géotopes :

> ***Art. 33*** *Rôle de l'Etat*
>
> *[1] En complément des inventaires établis par la Confédération, l'**Etat inventorie les principaux** paysages et **géotopes caractéristiques du canton**.*
>
> *[2] Sur la base de ces inventaires, le Conseil d'Etat fixe, **dans le plan directeur**, les lignes directrices en matière de protection, de gestion et d'aménagement du paysage ainsi que les **principes généraux de protection pour les différentes catégories de géotopes** ; il **désigne en outre les objets d'importance cantonale**.*

Le canton se charge donc de désigner les objets d'importance cantonale tout en établissant des principes généraux de protection adaptés à chaque catégorie de géotopes. Il s'agit là de la finalité du présent travail et l'objet du chapitre 6. Une fois définis, ces principes généraux et la liste des GICs seront inscrits dans le plan directeur cantonal dont la révision actuelle est abordée au chapitre suivant.

Le canton n'est pas le seul acteur impliqué dans la préservation du patrimoine géologique et les tâches suivantes sont déléguées aux communes :

> ***Art. 34*** *Tâches des communes*
>
> *[1] Les communes exercent les tâches suivantes :*
>
> *a) elles complètent au besoin les inventaires fédéraux et cantonaux et* ***désignent les objets d'importance locale****;*
>
> *b) elles assurent, dans leur plan d'aménagement local, u****ne protection, une gestion ou un aménagement approprié*** *des objets concernés, conformément aux principes fixés dans le plan directeur ;*
>
> *c) elles prennent, à l'égard des objets menacés ou spécialement vulnérables, les autres* ***mesures de protection*** *imposées par les circonstances ;*
>
> *d) elles* ***favorisent*** *dans la mesure du possible la* ***mise en valeur de ces objets****.*

Cet extrait de loi est particulièrement important puisqu'il exprime formellement la volonté de protéger d'autres géotopes que les seuls objets d'importance cantonale. De manière analogue à la gestion des biotopes, les communes doivent ainsi désigner des objets d'importance locale à intégrer dans leur plan d'aménagement. Les géotopes non retenus en tant que GICs ne devraient donc pas être délaissés mais bien bénéficier d'un statut à l'échelle locale. La responsabilité de leur protection incomberait alors aux communes qui devraient également s'assurer de la valorisation des sites qui s'y prêteraient. A notre avis, l'ensemble des informations existantes sur le patrimoine géologique du canton (voir chapitre 5.4 pour une revue) devraient être centralisé dans une base de données unique pour que les administrations communales puissent prendre connaissance des sites d'intérêt présent sur leur territoire.

3.2 La révision du plan directeur cantonal

Les Art. 4 et 33 de la LPNat spécifient que « *les grandes lignes de la politique du canton en matière de protection de la nature et du paysage sont définies dans le* ***plan directeur cantonal*** » dans lequel « *le Conseil d'Etat fixe* […] *les lignes directrices en matière de protection, de gestion et d'aménagement du paysage ainsi que les principes généraux de protection pour les différentes catégories de géotopes* ».

Le plan directeur cantonal (PDc) est présenté de la manière suivante par la Direction de l'aménagement, de l'environnement et des constructions du canton de Fribourg (DAEC) :

> Le plan directeur définit le développement spatial du canton et coordonne toutes les activités qui lui sont liées, tout en les orientant durablement. Il est le support principal de l'aménagement du territoire d'un canton et son outil de planification primordial. Son application s'étend sur une période d'environ 10 ans,

> mais il est conçu de manière à permettre des adaptations en tout temps. Il peut ainsi tenir compte très rapidement des éventuelles modifications des conditions-cadre. Ce document stratégique se base aussi bien sur des études cantonales, des plans sectoriels et des inventaires que sur l'expérience et la pratique de l'administration cantonale en matière d'aménagement du territoire […]. (DAEC, 2017 : 12)

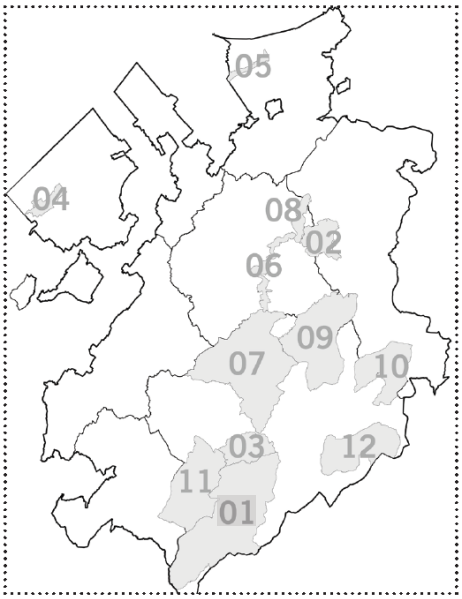
Il s'agit donc du principal instrument d'aménagement du territoire en Suisse. Ce document stratégique vise un développement spatial cohérent et durable des activités et infrastructures du canton. Il fixe une orientation générale pour différentes thématiques territoriales : urbanisation et équipements, mobilité, espace rural et naturel, environnement. Chacun de ces thèmes comporte de nombreux volets plus spécifiques pour lesquels le plan directeur établit des principes généraux et des objectifs à atteindre. Le PDc définit également la répartition des tâches entre les différents acteurs (communes, régions, cantons, Confédération) qui collaborent à sa mise en œuvre.

La dernière mouture du plan directeur cantonal date de 2002. Ce document ne répond plus aux problématiques qui accompagnent la forte croissance démographique et le dynamisme économique actuel du canton de Fribourg. Il est donc en cours de révision totale. Le PDc doit notamment intégrer les nouveaux principes énoncés dans les lois fédérales (LAT) ou cantonales (LATeC, LPNat) récemment révisées. Le volet thématique « paysage », déjà présent en 2002, sera totalement renouvelé et les géotopes bénéficieront pour la première fois d'un chapitre dédié. Rédigé par le SNP, ce chapitre expliquera la valeur que représente le patrimoine géologique tout en proposant des mesures générales de gestion. L'utilisateur sera renvoyé à la liste des « géotopes d'importance cantonale » et, à terme, aux fiches d'inventaire documentant chacun d'entre eux. La réalisation de ces fiches se poursuivra au-delà du présent travail qui en propose une première ébauche en Annexe IX. Pour le moment, seuls 11 objets bénéficient d'une fiche d'inventaire dont la forme et le contenu doivent encore être finalisés.

Avant d'être définitives, la liste des GICs proposée dans ce travail ainsi que les mesures de gestion inscrites dans le PDc devront faire l'objet d'une validation politique. Les résultats de l'inventaire seront présentés au Conseil d'Etat qui devra les approuver et pourra proposer des modifications. A l'horizon 2020, les paysages et géotopes d'importance cantonale seront mis conjointement en consultation publique puis soumis à un examen de la Confédération. **Il est donc fort possible que la sélection de GICs proposée dans le présent travail ne corresponde pas à la liste officielle qui sera validée au terme de ces différentes étapes de consultation politique**.

3.3 L'inventaire des paysages d'importance cantonale

La désignation de « paysages d'importance cantonale », abrégé par l'acronyme « PIC », se fait en parallèle de ce travail de Master. Cette tâche incombe au Service de la nature et du paysage (SNP), qui vient d'intégrer le nouveau Service des forêts et de la nature (SFN), désormais placé sous la direction de la Direction des institutions, de l'agriculture et des forêts (DIAF). Il existe une certaine filiation entre l'inventaire des paysages et celui des géotopes d'importance cantonale, ces deux projets étant largement complémentaires. En effet, la sélection des PICs adopte une vision globale du paysage en considérant ses dimensions multiples et en intégrant des points de vue variés, parfois divergents. A l'opposé, l'inventaire des GICs comble une lacune en se focalisant spécifiquement sur la composante géo(morpho)logique du paysage, essentielle, mais peut-être la plus faiblement considérée jusqu'à aujourd'hui. Ce chapitre résume l'avancée actuelle du *concept cantonal des paysages* et la méthodologie qui a conduit au choix de douze paysages d'importance cantonale qui seront présentés au Conseil d'Etat pour validation (Fig. 15).



1. Vallée de l'Intyamon
2. Campagne de Pierrafortscha
3. Gruyères et alentours
4. Terrasses de Cheyres-Châbles-Font
5. Rive nord du lac de Morat
6. Gorges de la Sarine
7. Lac de la Gruyère
8. Sarine en ville de Fribourg
9. Massif de la Berra et du Cousimbert
10. Lac Noir
11. Massif du Moléson et Teysachaux
12. Chaîne des Gastlosen et Hochmatt

Fig. 15 : distribution des paysages d'importance cantonale. Etat au printemps 2019 (© SNP).

En guise d'étude préliminaire, le SNP a d'abord attribué un mandat à la *Fondation suisse pour la protection et l'aménagement du territoire* pour réaliser un inventaire complet de la «typologie des paysages culturels caractéristiques du canton de Fribourg». Cette étude achevée en 2015 a d'ailleurs fait l'objet d'un ouvrage richement illustré (Hapka, 2018). Le nombre de paysages référencés était cependant trop important pour que tous soient considérés comme des objets d'importance cantonale. Le SNP a donc mis sur pied un groupe de travail intégrant des représentants des services de l'Etat et d'ONG, l'Association des communes fribourgeoises et l'Union fribourgeoise du tourisme. Entre novembre 2016 et septembre 2017, le bureau d'études Urbaplan a ainsi dirigé plusieurs séances au

terme desquelles douze PICs provisoires ont été choisis. Cette sélection s'est fondée sur une évaluation quantitative de cinq fonctions essentielles du paysage (production, nature, patrimoine, tourisme et cadre de vie) à partir des critères de rareté et de typicité. La réalisation de fiches descriptives provisoires et une première délimitation de ces objets a conclu la première phase de ce projet. Dans un second temps, chaque paysage a fait l'objet d'un atelier participatif auquel différents acteurs locaux étaient conviés. Ces douze rencontres, organisées entre octobre 2018 et janvier 2019, ont permis d'échanger sur l'avenir de ces paysages en déterminant leurs atouts mais en identifiant aussi les atteintes qui pourraient les menacer. Ces séances ont permis de mieux saisir les besoins propres à chaque site, de définir des objectifs généraux, et de déterminer des mesures spécifiques pour la préservation, la gestion et l'aménagement des différents paysages concernés. Les fiches d'inventaire et les limites des objets sont actuellement révisées sur la base des propositions soulevées lors de ces ateliers participatifs. Les résultats de ces ateliers participatifs seront prochainement communiqués aux communes concernées lors d'une séance de restitution.

Ces douze objets d'importance cantonale viennent compléter six paysages, entièrement ou partiellement fribourgeois, figurant à l'*Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels*, souvent désigné par l'abréviation IFP (OFEV, 2013). Dans le futur, ces objets d'importance nationale et le nouvel inventaire des PICs doivent garantir une évolution qualitative et harmonieuse des paysages les plus remarquables du canton. Ceci passe par le maintien de leurs composantes typiques ou rares et donc par une attention particulière accordée aux géotopes et au patrimoine géologique dans son ensemble.

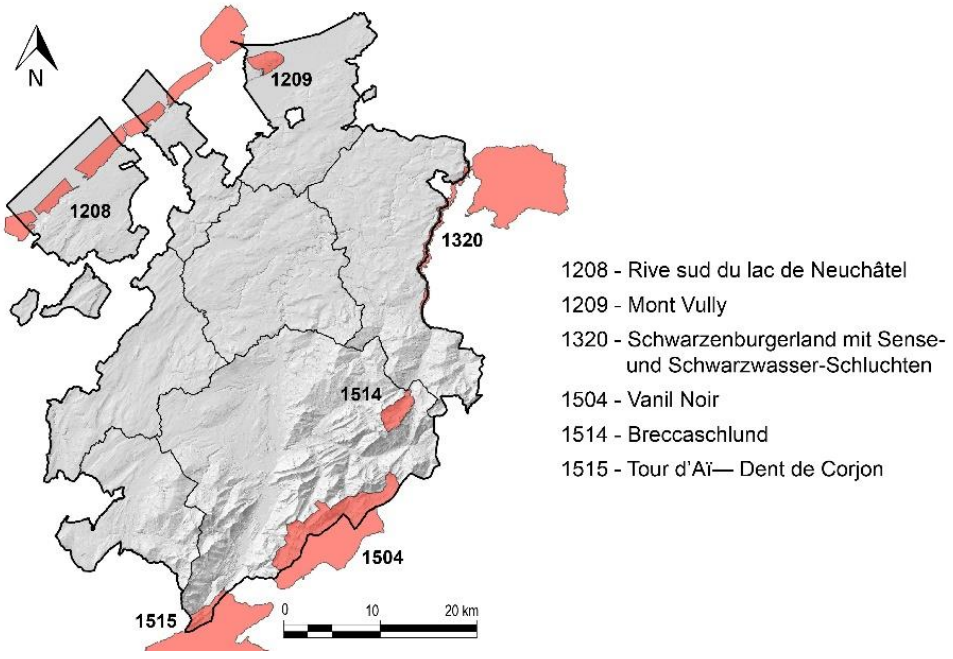


Fig. 16 : distribution des six objets de l'inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels (IFP) qui concernent le canton de Fribourg (OFEV, 2013).

3.4 L'inventorisation des géotopes, un état des lieux

3.4.1 À l'internationale

A l'échelle internationale, l'UNESCO établit sa célèbre liste du Patrimoine mondial qui compte actuellement 1'092 sites classés en trois catégories distinctes : les biens culturels, naturels ou mixtes. Parmi les objets naturels ou mixtes, un certain nombre sont en fait des géotopes exceptionnels ou alors, des espaces d'un grand intérêt géo(morpho)logique. En Suisse, les objets *Alpes suisses Jungfrau-Aletsch* (BE, VS), *Monte San Giorgio* (TI) ou *Haut lieu tectonique suisse Sardona* (GL, SG, GR) correspondent parfaitement à cette description.

Sur le plan mondial, la protection des géotopes passe aussi par la création de géoparcs qui sont « *des surfaces dans lesquelles le patrimoine géologique et géomorphologique, riche et diversifié, est valorisé dans une perspective de développement économique durable* » (Jordan et al., 2004 : 151). En Europe, la coordination entre ces différents espaces protégés est assurée par l'*European Geoparks Network* (Zouros, 2004). Au niveau mondial, l'UNESCO (1999) recense 140 géoparcs de renommée internationale répartis dans 38 pays. L'organisation onusienne soutient également le *Global Geoparks Network* qui assure le partage de compétences géoscientifiques entre experts du monde entier. La Suisse compte aujourd'hui deux géoparcs inaugurés au début des années 2000 et cinq à l'état de projet (Jordan et al., 2004). Pour le moment, aucun d'entre eux ne bénéficie d'un label international. Malgré tout, le Groupe de travail pour les géotopes en Suisse a créé en 2004 un comité spécialisé dans les géoparcs qui participe activement aux discussions internationales. Ce collège veille également au bon développement des projets en cours et tente de mettre en place un label « Géoparc suisse » pour assurer le respect de certaines exigences minimales.

3.4.2 Au niveau national : l'*Inventaire des géotopes suisses*

Le Groupe de travail pour les géotopes en Suisse a été créé par l'Académie suisse des sciences naturelles (ASSN) en 1993. Ce collège d'experts s'est alors fixé pour but de promouvoir la recherche tout en coordonnant des actions en vue d'inventorier, de protéger et de valoriser les géotopes suisses. Suite à une enquête menée dans l'ensemble des cantons, un rapport stratégique, intitulé *Géotopes et la protection des objets géologiques en Suisse* (Strasser et al., 1995), a vu le jour deux ans plus tard. Ce document insiste sur l'importance scientifique des géotopes et met en exergue le manque de connaissance et de considération accordées au patrimoine géologique à l'échelle nationale et cantonale. Il constitue un document de référence pour la plupart des projets d'inventaire réalisés depuis. Dans le même temps, plus de 1000 formulaires ont été envoyés à des institutions ainsi qu'à des experts de l'ensemble du pays afin de récolter des propositions de géotopes (Grandgirard, 1997b). Cet important travail a débouché sur une première liste de **géotopes d'importance nationale**

comprenant pas moins de 401 sites, documentés de façon très inégale (ASSN, 1999). Un groupe de projet, présidé par Jean-Pierre Berger de l'Université de Fribourg, et soutenu par l'ASSN et l'Office fédérale de l'environnement (OFEV), s'est ensuite attelé à l'uniformisation et à la mise à jour de fiches descriptives tout en réduisant la liste à 248 géotopes (Berger et al., 2008). En 2010, un document concernant les délimitations et la numérisation de ces objets a été rendu (Constandache et al., 2010). Martin (2011) a ensuite proposé une analyse quantitative de l'inventaire en s'interrogeant tout particulièrement sur la distribution spatiale de ces objets et leur capacité à refléter la diversité géologique du pays. Ce travail a permis de corriger un certain nombre de lacunes et incohérences dans les données et de développer une application cartographique en ligne. En mars 2011, une liste révisée de **322 géotopes** a finalement été approuvée lors d'une séance du groupe de travail (Berger et al., 2011). Elle a fait l'objet d'un rapport final publié fin 2012 (Reynard et al., 2012).

Les données relatives à cet inventaire sont gérées par l'ASSN. Elles sont aujourd'hui disponibles sur le portail cartographique de la Confédération (map.geo.admin.ch) qui permet d'accéder à l'ensemble des fiches descriptives documentant ces géotopes. L'inventaire n'a cependant jamais obtenu de statut juridiquement contraignant au niveau fédéral. Il n'a donc pas de caractère officiel. C'est pourquoi, l'OFEV a recommandé l'abandon de la dénomination *Inventaire des géotopes d'importance nationale* en usage à l'origine du projet (Reynard, 2012). L'appellation ***Inventaire des géotopes suisses*** a finalement été choisie pour éviter toute confusion. D'après les membres du groupe de travail, cet inventaire ne vise pas l'exhaustivité et doit plutôt être considéré comme une liste de sites d'intérêt proposés par la communauté scientifique. La prise en compte de ces géotopes dans des politiques d'aménagement du territoire dépend d'ailleurs du bon vouloir des autorités cantonales qui n'ont aucune obligation en la matière. Les géotopes fribourgeois qui figurent à cet inventaire sont présentés au chapitre 5.4.2.

3.4.3 Les inventaires cantonaux

3.4.3.1 Un état de la situation

Une grande partie des cantons suisses disposent déjà d'un ou de plusieurs inventaires de géotopes. Un bref état des lieux a été réalisé dans le cadre de la révision de l'*Inventaire des géotopes suisses*, achevée en 2012 (Reynard, 2012). Différents services cantonaux ont été contactés et le résultat du sondage résumé sur la Fig. 17. D'après nos recherches, la situation n'a guère évolué depuis.

Trois cantons ont fait office de précurseurs en réalisant des inventaires de leur patrimoine géo(morpho)logique dans les années 1980 : **Argovie** (Baudepartment des Kantons Aargau, 1982) qui a opéré une réactualisation de sa liste récemment (Winter, 2017), **Zürich** (Kyburz et al., 1983) et **Zoug**

(Vogel, 1986) qui intègre également les paysages d'importance du canton. Le terme de géotope apparait pour la première fois explicitement avec l'inventaire réalisé aux **Grisons** par Weidmann (1994) alors que Vogel (1995) concrétise un second inventaire pour le compte du canton de **Lucerne**. Les travaux de Grandgirard (1994, 1995, 1996, 1997 a et b), sous mandat du canton de **Fribourg,** débouchent sur le premier inventaire d'orientation strictement géomorphologique (Grandgirard, 1999a). La méthode d'évaluation développée par l'auteur tout comme le rapport stratégique pour la conservation des géotopes en Suisse (Strasser et al., 1995) influenceront grandement les projets d'inventaire ultérieurs. C'est notamment le cas pour les inventaires des cantons de **Thurgovie** (Naef et al., 1997 ; Naef, 2000 ; Hipp, 2003, 2004), de **St-Gall** (Stürm et al., 2003), de **Schwyz** (Lienert, 2003) et d'**Appenzell** (Keller et al., 2007). A l'exception de Bâle et de Schaffhouse, les autres cantons alémaniques disposent tous, à ce jour, d'un inventaire terminé ou en cours de réalisation.

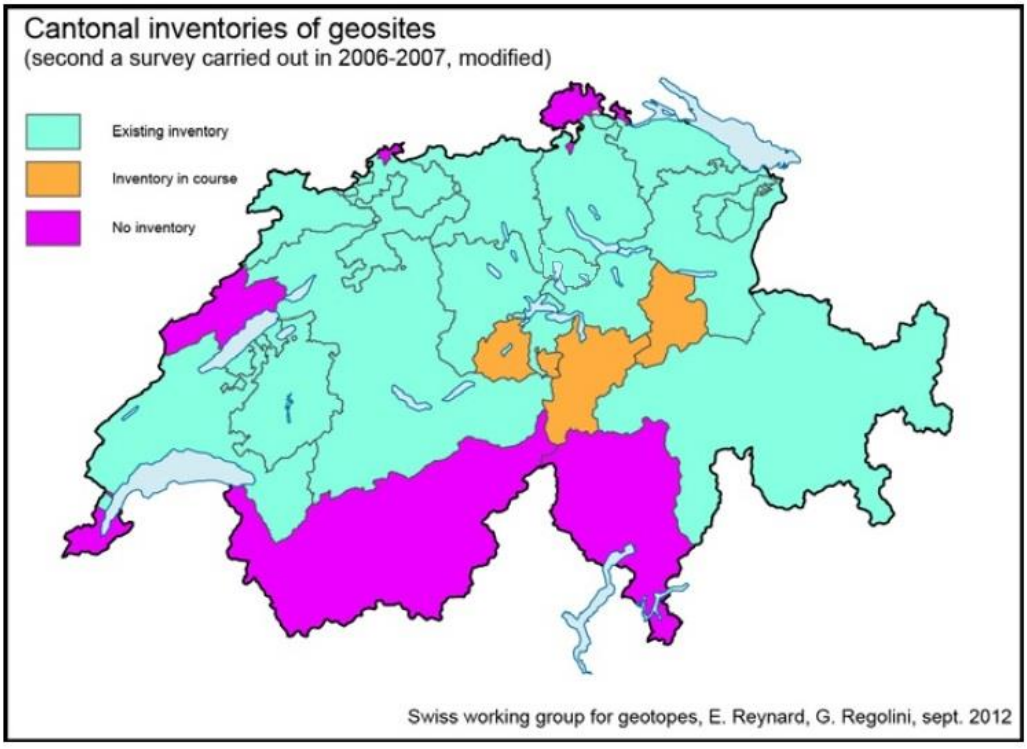


Fig. 17 : état d'avancement des inventaires cantonaux de géotopes (Reynard, 2012 ; modifié).

La situation est moins réjouissante en Suisse romande et italienne puisque le Tessin, Genève, Neuchâtel et le Valais n'ont pas mis en route de projet d'inventaire. Pour ces deux derniers cantons, il existe pourtant un document faisant l'état des lieux de la situation tout en apportant des recommandations méthodologiques et une première proposition de géotopes à retenir (Rieder, 1997 ; Lugon et al., 2003). Le canton du **Jura** dispose quant à lui de deux inventaires bien fournis. L'un, sur le modèle de celui de Grandgirard (1999a), recense pas moins de 258 géotopes géomorphologiques (Monbaron et al., 2006). Le second se focalise sur 47 géotopes géologiques (Berger & Dumas, 2007). L'Office de l'environnement du canton prévoit, à terme, d'adjoindre un inventaire spéléologique tout

en reclassant l'ensemble des géotopes selon trois niveaux d'importance (nationale, cantonale, locale). Le Service des forêts, de la faune et de la nature (SFFN) du canton de **Vaud** et son Centre de conservation de la faune et de la nature (CCFN) s'est également doté d'un inventaire de géotopes (Pieracci et al., 2008) qui catalogue 143 objets d'une grande variété typologique.

3.4.3.2 Contexte de réalisation et mise en application des inventaires

Le contexte de réalisation de ces inventaires est très variable d'un canton à l'autre. Certains ont été mandatés par les administrations cantonales, souvent le service responsable de l'aménagement du territoire (Argovie, Zürich, Zoug, Thurgovie, St-Gall, etc.) ou le service en charge de la protection de la nature et du paysage qui y est quelquefois rattaché (Grisons, Lucerne, Nidwald, Jura, Vaud, etc.). Dans d'autres cantons, la réalisation de ces inventaires a été initiée par la communauté scientifique afin de sensibiliser les autorités politiques à la problématique des géotopes. A Berne, l'inventaire de 36 géotopes d'importance cantonale a été réalisé dans le cadre d'un travail de Master (Blum, 2012). A Schwyz et Appenzell, des groupes de travail rattachés à des sociétés de sciences naturelles locales ont été mis sur pied avec un soutien financier du canton. Les inventaires sont généralement accompagnés d'un rapport explicatif faisant parfois l'objet d'une publication. Certains cantons ont rendus ces données publiques en les intégrant à leur géocatalogue en ligne alors que d'autres ont choisi d'en réserver l'accès à leurs services administratifs. Dans ce cas, l'accès aux données est payant et la consultation des rapports ne peut se faire que dans les archives des administrations cantonales.

La plupart des inventaires ont été réalisés avant même que les législations cantonales ne fixent des objectifs spécifiques en termes de géoconservation. Il s'agit souvent d'inventaires relativement exhaustifs qui comptent un grand nombre d'objets. Ils visent en premier lieu à montrer la richesse du patrimoine géologique régional, peu connu et non considéré jusqu'alors. Ces inventaires n'ont donc que très rarement de statut légal contraignant et leur portée opérationnelle est donc plutôt réduite.

3.4.4 L'inventorisation des géotopes dans le canton de Fribourg

Le canton de Fribourg dispose déjà de plusieurs inventaires généraux, ou plus spécifiques, sur le patrimoine géologique régional. Le principal document est bien sûr l'*Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg* de Grandgirard (1999a). Ce projet est uniquement porté sur la géomorphologie et n'aborde pas les autres objets géologiques. D'autres inventaires, souvent moins détaillés, sont restés plus confidentiels et sont quelque peu tombés dans l'oubli. Le chapitre 5.4 propose une revue de l'ensemble des données disponibles sur le patrimoine géologique du canton. C'est à partir de ces différentes sources d'information que seront sélectionnés les géotopes fribourgeois d'importance cantonale au chapitre 6.

4 Aperçu géologique et géomorphologique du canton de Fribourg

Du fait de sa localisation, à cheval entre les Préalpes et le plateau molassique, le canton de Fribourg jouit d'un environnement géologique riche et varié qui se déploie sur un territoire relativement restreint (1671 km^2). Il en va de même de sa géomorphologie qui change du tout au tout entre le NO et le SE du canton. Seule une quarantaine de kilomètres sépare ainsi les paysages lacustres et vastes plaines maraichères du Lac et de la Broye des plus hautes cimes préalpines de la Gruyère.

Pris dans leur ensemble, les géotopes d'importance cantonale se doivent de refléter cette diversité géo(morpho)logique. En tant que sites de référence, ces objets constituent en effet des clés pour décrypter la longue et riche histoire géologique de la région fribourgeoise et pour appréhender les singularités des différentes entités paysagères du canton. La compréhension de ce cadre géologique et géomorphologique régional s'impose ainsi comme un préalable indispensable à une sélection cohérente et représentative des GICs. Ce chapitre propose donc un survol de la géologie fribourgeoise en exposant d'abord la distribution spatiale des unités tectoniques majeures du canton (Fig. 18 et 19). Le chapitre 4.1 présente ensuite les caractéristiques structurales des Préalpes et aborde les spécificités des différentes nappes constitutives de la chaine. De façon analogue, le chapitre 4.2 se focalise sur le bassin molassique fribourgeois qui couvre environ les deux-tiers du canton. L'accent est mis sur l'évolution paléogéographique de ce bassin d'avant-pays et sur la distinction des trois grands groupes lithostratigraphiques qui constituent le sous-bassement rocheux du plateau fribourgeois. Enfin, le chapitre 4.3 s'intéresse, non plus à l'histoire des roches et de leur déformation, mais à celle du modelage récent du relief qui doit beaucoup à l'action érosive du dernier maximum glaciaire et aux processus morphogénétiques actifs au cours du Tardiglaciaire puis de l'Holocène.

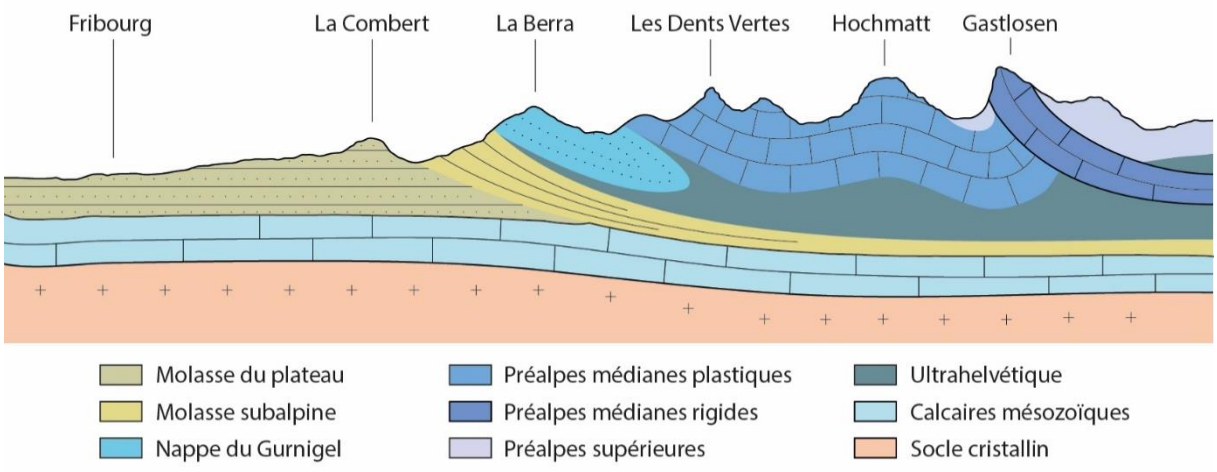


Fig. 18 : coupe géologique simplifiée des différentes unités tectoniques entre Fribourg et les Gastlosen. Tracé de la coupe, voir Fig. 19. Rebetez et Rebetez (2010), couleurs modifiées.

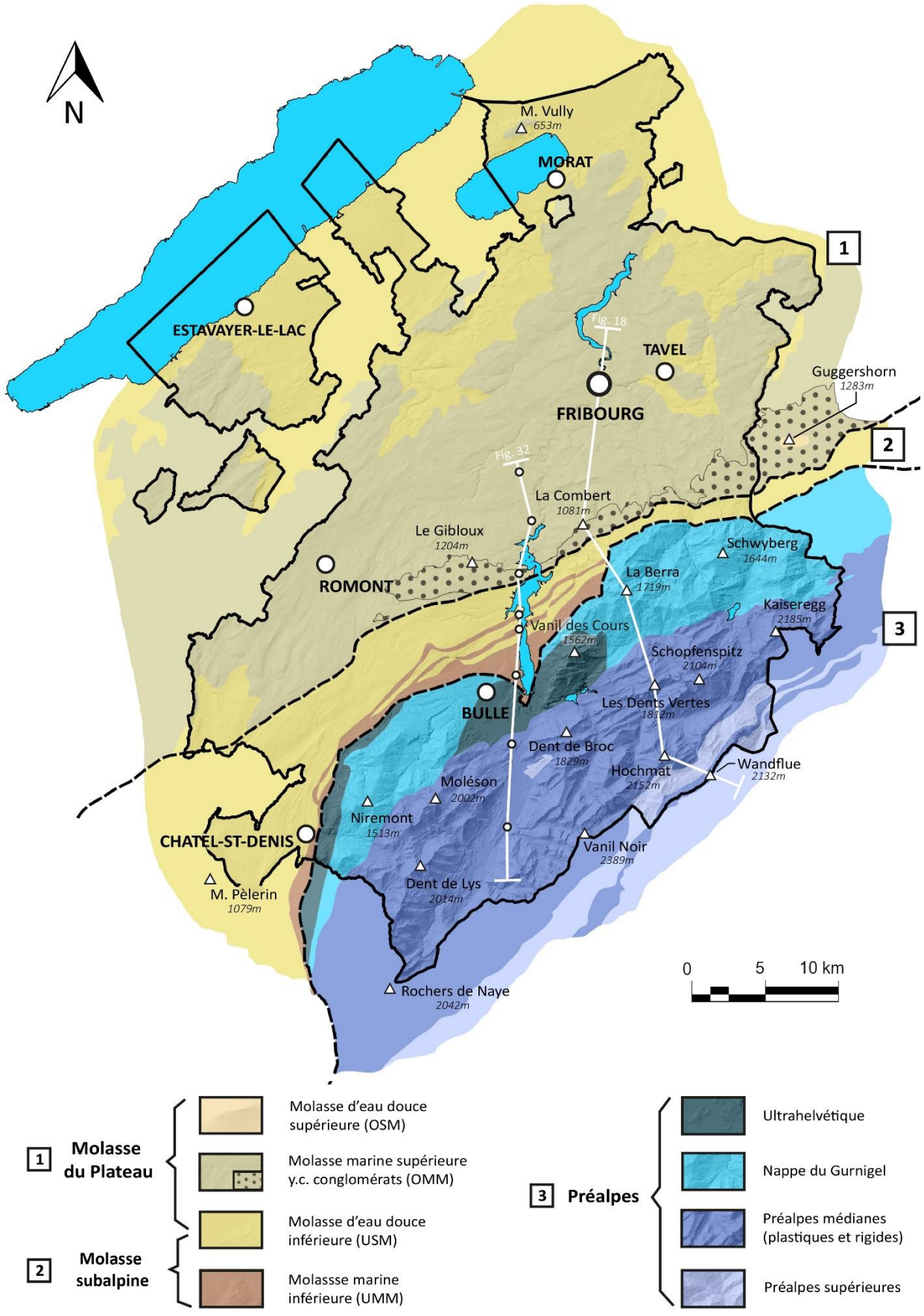


Fig. 19 : carte géologique schématique du canton de Fribourg. Distribution des unités tectoniques basée sur Plancherel (1982, non publié) et modifiée d'après les données géologiques numérisées Geocover. Fond de carte : modèle numérique de terrain (swissALTI^{3D}, éclairage NW45°, © Swisstopo). Les deux tracés correspondent aux coupes géologiques présentées aux Fig. 18 et Fig. 32.

4.1 Géologie des Préalpes

4.1.1 Paléogéographie et orogenèse de la chaine préalpine

Les Préalpes constituent une chaîne de montagnes de moyenne altitude intercalée entre le plateau molassique au NO et les Alpes proprement dites au SE. Cet arc montagneux s'étend de la vallée de l'Arve à celle de l'Aar et est scindé en deux parties par le Rhône: les Préalpes du Chablais en rive gauche et les Préalpes romandes en rive droite du fleuve. C'est à cette dernière unité qu'appartiennent les Préalpes fribourgeoises. En terme tectonique, les Préalpes constituent une klippe, c'est-à-dire un ensemble de nappes de charriage déplacées de leur lieu d'origine jusqu'à leur position actuelle puis séparées de leurs racines par le soulèvement des Alpes calcaires et l'érosion (Fig. 20).

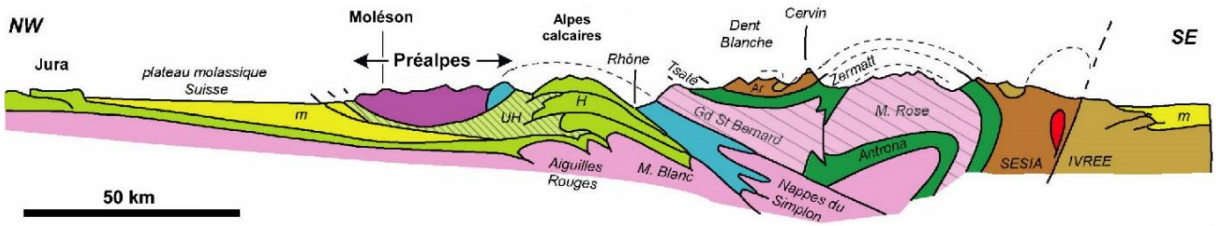


Fig. 20 : coupe géologique simplifiée montrant la position des Préalpes dans l'édifice alpin (Agard et Lemoine, 2003).

Les roches qui constituent ces différentes nappes se sont formées dans les multiples domaines sédimentaires de l'océan téthysien (Fig. 21). Ce dernier s'est ouvert au Trias avec la déchirure de la Pangée et a atteint sa plus grande extension au Jurassique. Au Crétacé, la Téthys a ensuite entamé sa fermeture jusqu'à à la fin de l'Eocène (Marthaler, 2002). Les roches des Préalpes se sont donc formées entre 250 et 35 millions d'années (Ma) environ dans des environnements marins extrêmement variés (plateformes carbonatées, mers peu profondes, lagunes, talus continentaux, zones bathyales voire abyssales) répartis entre le continent européen au nord et la marge apulienne au sud. La diversité de ces milieux sédimentaires et leur évolution au cours du temps expliquent la grande variété des roches observables dans les Préalpes. Les propriétés lithologiques des calcaires, marnes et flyschs, principales roches de l'édifice préalpin, conditionnent fortement le paysage actuel de la chaîne. En effet, ces lithologies n'ont pas réagi de la même manière aux contraintes tectoniques de l'orogenèse alpine. De plus, ces roches ont plus ou moins bien résisté à l'attaque incessante de l'érosion qu'elles subissent depuis leur émersion.

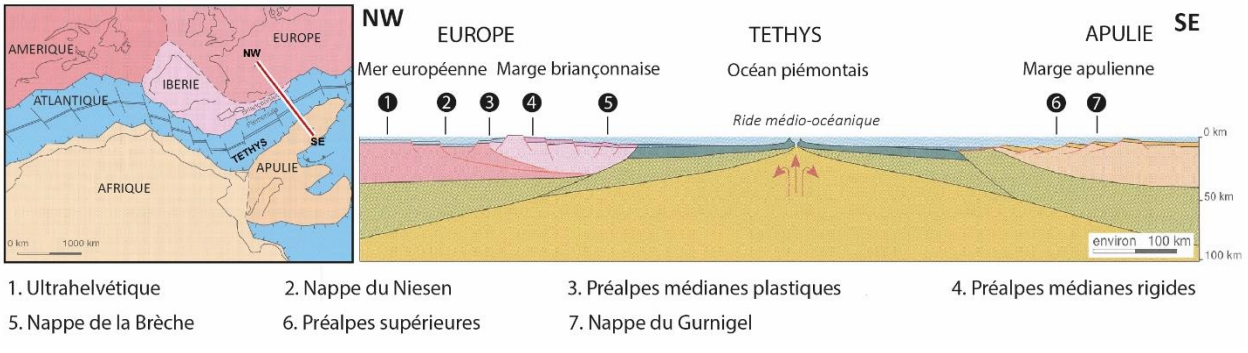


Fig. 21 : paléogéographie simplifiée des domaines sédimentaires de la Téthys au Jurassique moyen. Marthaler (2002), modifié.

On dénombre généralement six nappes préalpines soit, de la plus basse à la plus élevée tectoniquement : l'Ultrahelvétique, la nappe du Niesen, la nappe des Préalpes médianes (rigides et plastiques), la nappe du Gurnigel et la nappe des Préalpes supérieures (qui comprend quatre sous-unités : Sarine, Dranses, Simme et Gêts). Mises à part les nappes internes du Niesen et de la Brèche, l'ensemble de ces unités sont représentées dans les Préalpes fribourgeoises. La position actuelle de ces nappes résulte d'un processus complexe lié à la poussée de la marge apulienne (ou adriatique) vers le nord. Dès le Crétacé, ce mouvement provoque la fermeture progressive de la Téthys et la subduction successive de l'océan piémontais, de la péninsule briançonnaise puis des bassins bordant la marge européenne, ce qui forme un grand prisme d'accrétion. En plongeant sous la micro-plaque apulienne, les nappes s'individualisent peu à peu. En se décollant de leur socle, elles viennent chevaucher les unités qui les précèdent pour former l'empilement énoncé précédemment (Fig. 22). Ceci explique qu'une nappe des plus exotiques comme celle du Gurnigel, vraissemblablement formée à l'extrême sud de la Téthys, se retrouve aujourd'hui en bordure du bassin molassique pour constituer la limite nord de l'édifice alpin. Elle vient y chevaucher l'Ultrahelvétique, qui a subi un déplacement beaucoup plus court, et la molasse subalpine.

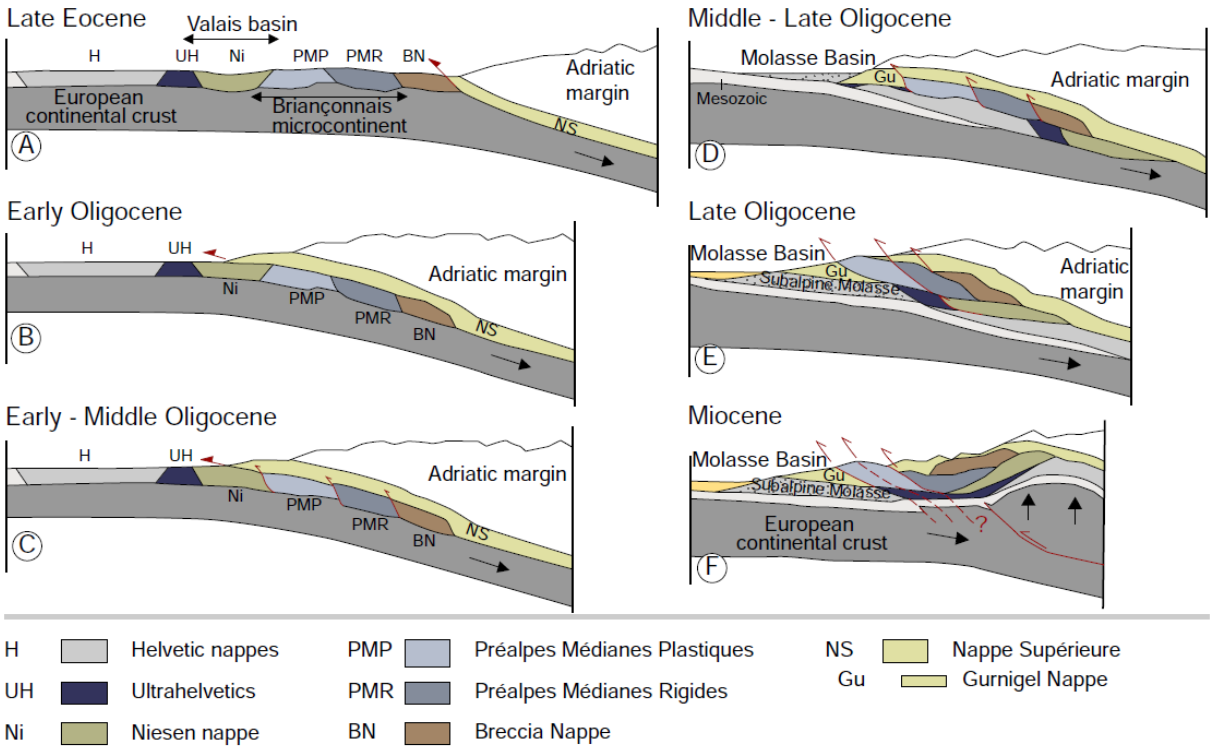


Fig. 22 : schéma illustrant la chronologie de mise en place des nappes constitutives des Préalpes. Matzenauer (2012) d'après Wissing et Pfiffner (2002).

4.1.2 Structure générale et accidents tectoniques majeurs

D'un point de vue structural, les nappes préalpines s'organisent selon un axe SO/NE comme le montre l'orientation générale des plans de chevauchement et des plis anticlinaux et synclinaux. Cette structure plissée est surtout marquée dans les Préalpes médianes plastiques, ce qui leur a d'ailleurs valu cette désignation. La morphologie des Préalpes est également caractérisée par une seconde direction dominante, quasiment Nord/Sud. Cette orientation subméridienne correspond à de grands accidents tectoniques, des décrochements sénestres qui parcourent l'ensemble de l'édifice préalpin et se prolongent, de façon moins manifeste, dans l'avant-pays molassique (Plancherel, 1979).

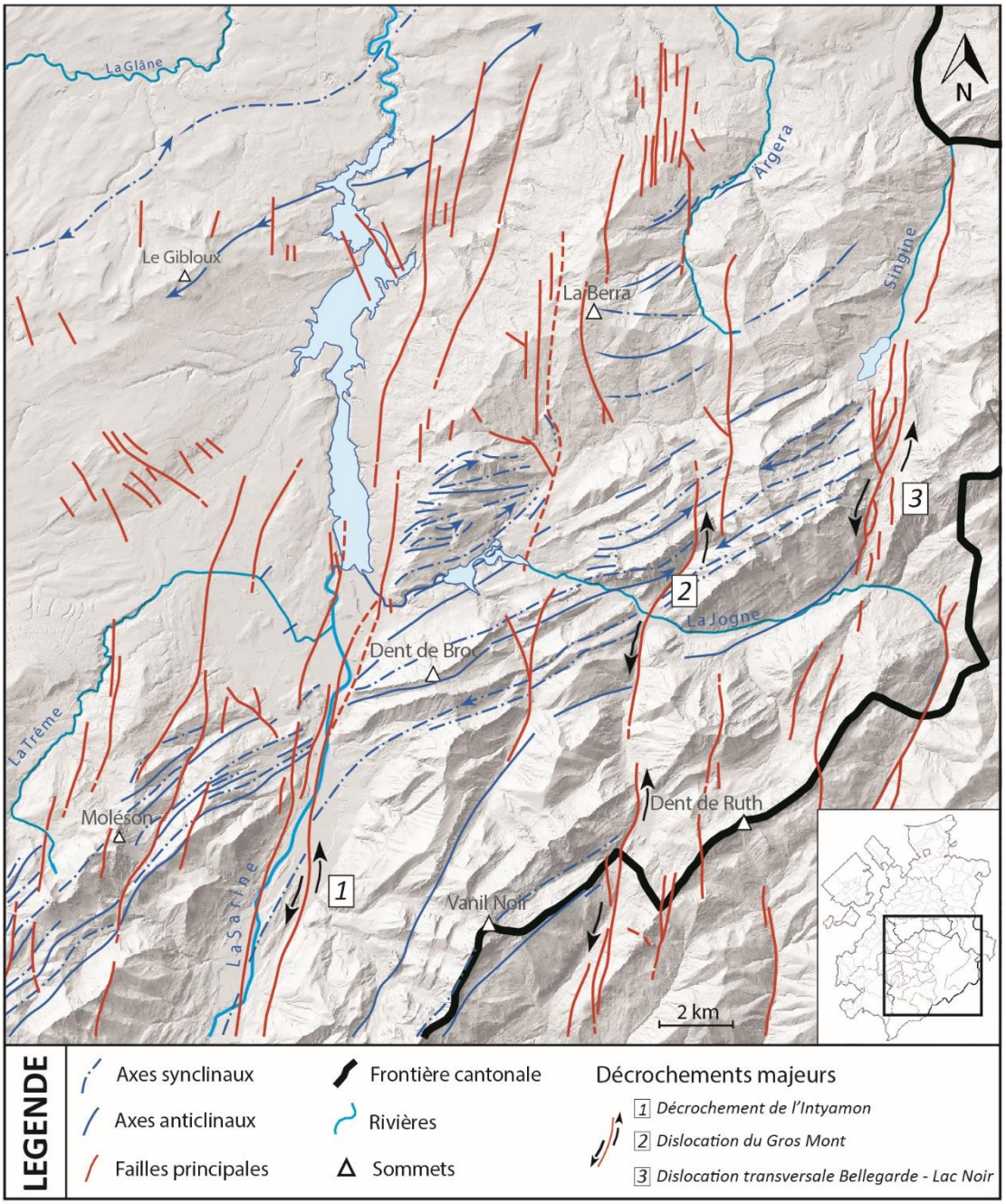


Fig. 23 : relief des Préalpes fribourgeoises avec les deux directions dominantes qui dictent la structure de la chaîne. La direction SO/NE correspond aux plans de chevauchement et aux axes des plis tandis que l'orientation N/S correspond à de grands décrochements. D'après Braillard et al. (2003) et Plancherel (1979).

Ces zones de dislocations sont parcourues de nombreuses failles le long desquelles les roches ont été fracturées et décalées les unes par rapport aux autres. Venus recouper obliquement les faisceaux de plis des médianes plastiques, ces accidents cisaillants ont offert des zones de faiblesse à l'érosion. Ils sont donc à l'origine d'une bonne partie des cols et vallées latérales des Préalpes fribourgeoises, lieux de passage privilégiés des chasseurs-cueilleurs du Mésolithique (Braillard et al., 2003). Plancherel (1979) recense trois accidents transversaux majeurs en terres fribourgeoises (Fig. 23) :

- Premièrement, les « *décrochements de l'Intyamon* ». Dans cette vallée, la Sarine suit d'abord l'axe du synclinal de la Gruyère entre Montbovon et Enney où cette structure bifurque brusquement à l'ENE. La Sarine maintient pourtant sont tracé méridien et traverse obliquement les structures plissées des médianes plastiques entre les Dents de Broc et du Chamois et les collines rocheuses de Gruyères-Bérauta et du Mont. Le creusement de ce passage étroit a été largement favorisé par les dislocations majeures qui affectent ce secteur.

- Deuxièmement, la « *dislocation du Gros Mont* » qui affecte le haut vallon du même nom. Au sud, ce système de failles se prolonge jusqu'à la Sarine, qu'il atteint au niveau du Crêt, à proximité de Rougemont (VD). Au nord, ce décrochement suit la vallée du Gros Mont et traverse la Jogne pour entailler les Dents vertes. Un relais de cet accident affecte la région du Pré de l'Essert et semble se prolonger jusque dans les flyschs du Plasselbschlund.

- Finalement, la « *dislocation transversale Bellegarde - Lac Noir* » (Plancherel, 1976) qui est à l'origine de l'*Euschelspass* entre le village de Jaun et la région du Lac Noir. Le prolongement nord de cet accident suit la vallée de la Singine chaude. Au sud, c'est probablement une continuation lointaine ou un relais de cette dislocation qui sectionne les Gastlosen au niveau du Wolfsort.

La morphologie générale des Préalpes est ainsi le produit d'une histoire complexe qui s'étend sur des millions d'années. La structure actuelle est déterminée à la fois par le chevauchement et la déformation des différentes nappes qui constituent la chaîne mais aussi par les grandes lignes de fractures induites par les fortes contraintes de l'orogenèse alpine. L'érosion a ensuite exacerbé cette morphologie en attaquant plus efficacement les secteurs les moins résistants (chapitre 4.3). A plus petite échelle, les traits morphologiques des paysages préalpins sont directement liés aux roches qui en constituent l'ossature. Les quatre nappes représentées dans le canton présentent ainsi des reliefs bien spécifiques qui conditionnent la diversité paysagère des Préalpes fribourgeoises. La distribution de ces unités au sein du canton, les séries stratigraphiques qu'elles renferment ainsi que leur influence sur la géomorphologie font l'objet des sous-chapitres qui suivent.

4.1.3 Préalpes médianes plastiques et rigides

La nappe des Préalpes médianes constitue l'unité tectonique la plus représentée dans les Préalpes fribourgeoises. Elle est subdivisée en deux sous-unités bien distinctes : les médianes plastiques qui forment la partie frontale de la nappe et les médianes rigides qui en constituent la partie arrière et méridionale (Lugeon & Gagnebin, 1941). Dès le Jurassique et jusqu'à l'Eocène, les roches constitutives de ces unités se sont formées en milieu marin, le long de la marge passive du microcontinent briançonnais (Mosar et al., 1996). Les médianes rigides trouvent leur origine dans un milieu de plateforme carbonatée aux multiples îlots, lagons et récifs coralliens (domaine briançonnais). Les médianes plastiques sont quant à elles issues d'un bassin plus profond, situé en marge de cette plateforme (domaine subbriançonnais). Il en résulte un enregistrement sédimentaire quasi continu dans les médianes plastiques alors que les médianes rigides sont caractérisées par une série stratigraphique comportant d'importantes lacunes sédimentaires (Fig. 24).

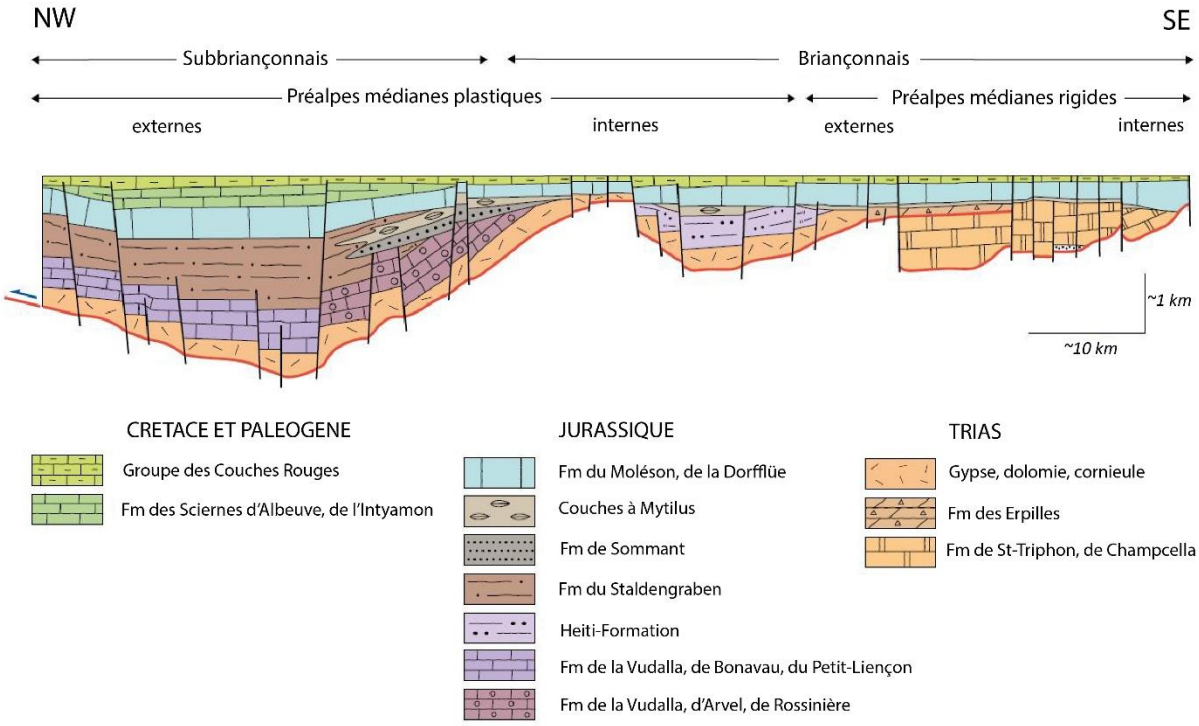


Fig. 24 : coupe palinspastique de la Nappe des Préalpes médianes. Ce profil montre les différents domaines sédimentaires du microcontinent briançonnais qui déterminent la série stratigraphique lacunaire des Préalpes médianes rigides et celle, plus complète, des Préalpes médianes plastiques. Braillard (2015) d'après Baud et Septfontaine (1980).

Ceci explique le comportement tectonique divergent de ces unités lors de l'orogenèse alpine. Dans les médianes plastiques, l'alternance de formations calcaires compétentes et de niveaux marneux plus tendres a favorisé les structures plissées, caractérisées par une succession de synclinaux et d'anticlinaux. A l'inverse, l'absence de niveaux incompétents dans la série stratigraphique réduite des médianes rigides a déterminé la déformation cassante de cette unité, avec le redressement de grandes écailles monoclinales.

Géographiquement, les Préalpes médianes rigides sont peu représentées dans le canton de Fribourg. Seule l'écaille monoclinale formant la chaîne des Gastlosen (au sens large) témoigne, de manière particulièrement exemplaire, de ce style tectonique cassant. Plus étendues, les Préalpes médianes plastiques englobent tous les autres sommets dépassant les 1800m d'altitude (Fig. 25). Cette unité comprend la chaîne allant des Rochers de Naye (VD, 2042m) à la Dent de Lys (2014m); le massif Moléson (2002m) - Teysachaux (1909m); la structure plissée de la Dent de Broc (1828m), du Chamois (1838m) et du Bourgo (1908m) et son prolongement au-delà du Motélon et de la Jogne; Les Vanils et les crêtes du vallon des Morteys qui se rejoignent au Vanil Noir (2389m), plus haut sommet du canton; la Hochmatt (2151m); le secteur Kaiseregg (2185m) – Schaffberg (2238m) et le massif du Schopfenspitz (2104m), point culminant du Breccaschlund (Fig. 19).

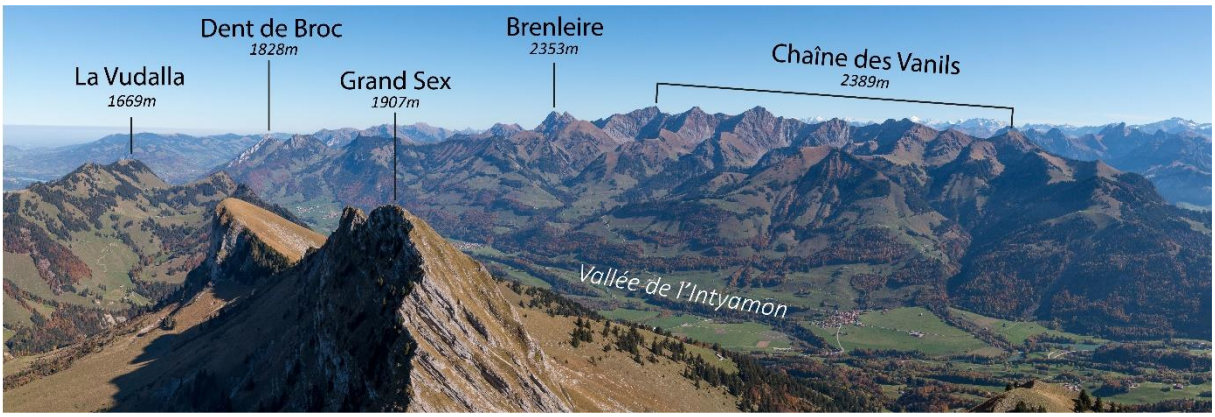


Fig. 25 : vue panoramique depuis la Dent de Lys (2014m) sur une partie des sommets fribourgeois appartenant aux Préalpes médianes plastiques.

Les calcaires massifs du Malm (*Fm du Moléson*) constituent les roches les plus compétentes des Préalpes médianes plastiques et sont particulièrement résistantes aux agents d'érosion. Avec les calcaires plaquetés du Crétacé inférieur (*Fm des Sciernes d'Albeuve*), les calcaires massifs constituent ainsi l'ossature des reliefs (falaises imposantes, sommets, arêtes, crêtes et ressauts) correspondant souvent à des flancs d'anticlinaux ou à des synclinaux perchés. A l'inverse, les formations plus marneuses (Trias, Dogger, Crétacé supérieur, Tertiaire) déterminent des reliefs plus doux comme des cols, des combes ou des replats (Pasquier, 2005). Ces morphologies contrastées ont été accentuées par l'érosion différentielle active durant les cycles glaciaires du Quaternaire. La forte fracturation et la grande pureté des calcaires massifs et, dans une moindre mesure, des calcaires plaquetés, sont propices aux phénomènes de karstification. Les modelés karstiques de surface tout comme les réseaux karstiques souterrains sont ainsi particulièrement développés dans de nombreux secteurs des Préalpes médianes. La forte perméabilité du substrat calcaire et la présence de grands collecteurs souterrains expliquent également la rareté des écoulements de surface dans ces régions.

4.1.4 Nappe du Gurnigel

La nappe du Gurnigel a longtemps été rattachée à l'Ultrahelvétique. Ces deux unités étaient alors regroupées sous l'appellation de « Préalpes externes » ou « Préalpes bordières » (Gagnebin, 1924). Cette désignation désormais obsolète avait le mérite de rendre compte de la situation géographique particulière de ces nappes, au front des Préalpes et en bordure du bassin molassique. Aujourd'hui, la provenance paléogéographique de la nappe du Gurnigel est sujette à conjecture : Ultrahelvétique pour certains ou piémontais-ligure pour d'autres (Braillard, 2015), comme indiqué sur la Fig. 21. Depuis le plateau fribourgeois, les sommets emblématiques de la nappe du Gurnigel forment les premiers contreforts du massif préalpin (Fig. 26). Dans le sud du canton, les flyschs du Gurnigel constituent le substrat de la Corbetta (1401m), sur lequel est installée la station de ski des Paccots. Au nord du village veveysan se déploie ensuite le massif boisé du Niremont (1514m) et des Alpettes (1413m) prolongé, en rive droite de la Trême, par le massif de la Chia (1382m). Ces reliefs bordent la vallée reliant Bulle à Châtel-St-Denis et constituent les bassins versants de la Trême et de la Veveyse. En rive droite de la Sarine, la nappe du Gurnigel occupe un vaste territoire qui intègre, d'ouest en est, l'arrête Berra (1719m) – Cousimbert (1633m) – Chrüzflue (1263m) ; le Plasselbschlund où la Gérine prend sa source ; la crête reliant la Patta (1616m) au Gross Schwyberg (1644m) ; et les vallées de la Singine chaude et froide et du *Muscherenschlund*, dominées par le massif du Ättenberg (1614m).

Fig. 26 : vue panoramique sur les Préalpes depuis l'hôpital cantonal de Fribourg. Hormis les collines molassiques comprenant des bancs conglomératiques comme la Feyla ou la Combert, les premiers reliefs sont formés par des massifs appartenant à la nappe du Gurnigel (la Berra, Schwyberg). Ces montagnes aux pentes douces sont surpassées par quelques sommets des Préalpes médianes plastiques (Kaiseregg, Chörblispitz, Brenleire, Vanil Noir), en arrière-plan.

La nappe du Gurnigel est composée d'un substrat de flysch qui dépasse localement les 1000m d'épaisseur (Van Stuijvenberg, 1979). Il s'agit d'une roche à dominante siliciclastique qui intègre des grès, des marnes et des argilites. Il est également possible d'y trouver des calcaires et des conglomérats. Le flysch est caractérisé par une alternance monotone et régulière de bancs gréseux et d'intervalles argilo-marneux (Fig. 27). Cette structure sédimentaire particulière, nommée séquence de Bouma, résulte de dépôts turbiditiques liés à d'importantes avalanches sédimentaires sous-marines.

Celles-ci dévalaient un talus continental avant de se sédimenter dans un bassin profond, entre 2500 et 5000m sous la surface (Braillard, 2015).

Fig. 27 : structure sédimentaire caractéristique d'un dépôt turbiditique dans la carrière de flysch de la Tatüre.

Les caractéristiques lithologiques du flysch en font une roche plutôt tendre, responsable d'un relief aux pentes généralement douces et aux sommets arrondis. Ces lignes de crête se situent entre 1400 et 1500 m dans la région du Niremont et ne dépassent 1700m qu'à la Berra en rive droite de la Sarine. Le flysch est aussi particulièrement sensible à des processus d'altération liés à la décarbonatation du substrat d'origine. Les éléments non dissouts (marnes et grès) forment une couverture détritique de 50 à 200 cm que les géotechniciens classifient sous l'appellation de « sol de flysch » (Braillard, 2015). Ces produits d'altération (ou altérites) renforcent l'imperméabilité de ces régions où abondent les zones humides et où se développent des réseaux hydrographiques extrêmement denses et ramifiés.

Le flysch du Gurnigel est également le théâtre de nombreuses instabilités de terrains. En cas de pendage défavorable, la lithologie particulière du flysch rend possible les glissements au niveau du substrat rocheux. Ce processus était notamment impliqué lors du tassement, suivi de l'écroulement, du sommet de la carrière de Tatüre en janvier 1995 (*Freiburger Nachrichten*, 28.01.1995). Néanmoins, dans la plupart des cas, l'horizon de cisaillement ne se trouve pas au niveau de la roche en place mais concerne les sédiments meubles quaternaires (produits d'altération, colluvions ou matériel morainique), particulièrement abondants sur les versants en raison de la faible résistance du flysch à l'érosion. Qu'elle soit d'origine naturelle (fortes précipitations, fonte des neiges, érosion naturelle des zones basses du versant) ou anthropique (excavation artificielle) une légère modification de l'équilibre, souvent précaire, des versants peut déclencher la mise en mouvement de cette couverture sédimentaire.

4.1.5 Préalpes supérieures

La *Nappe Supérieure des Préalpes* (Caron, 1972) également appelée *Préalpes supérieures* (Braillard, 2015) doit son nom à sa position tectonique particulière. En effet, les roches qui la composent coiffent l'édifice préalpin « *en chevauchant à la fois la nappe des Préalpes médianes et la nappe de la Brèche par l'intermédiaire des wildflyschs éocènes de ces dernières* » (Caron, 1972 : 57). Elle ne constitue pas pour autant les sommets les plus élevés de la chaîne. Au contraire, depuis sa mise en place, une grande partie de la nappe a été décapée et elle occupe aujourd'hui essentiellement des zones de dépressions encadrées par les calcaires résistants des Préalpes médianes. Les Préalpes supérieures sont subdivisées en quatre unités tectoniques, élevées au rang de nappes par Caron (1972), et définies en fonction de critères stratigraphiques et structuraux. De la plus basse à la plus élevée tectoniquement, il s'agit de la nappe de la Sarine, des Dranses, de la Simme et des Gets (qui n'affleure pas en territoire fribourgeois). A noter que la désignation de *nappe de la Simme* a longtemps été utilisée *sensu lato* pour désigner l'ensemble de ces nappes supérieures, ce qui porte parfois à confusion.

A l'échelle du canton de Fribourg, les Préalpes supérieures occupent un espace plutôt réduit. La nappe de la Sarine se rencontre de manière très isolée dans l'Intyamon où elle occupe la combe qui domine le village d'Estavannens, entre la dent du Chamois et celle du Bourgo (Fig. 28). Il s'agit d'un lambeau de flysch passé au-dessus des Préalpes médianes lors de l'orogenèse de la chaîne (Caron et al., 1980). Les Préalpes supérieures se déploient également de part et d'autre de la chaîne des Gastlosen. Au cours du Mio-Pliocène, l'écaillage des calcaires massifs a perforé les nappes de flysch sus-jacentes avant que l'érosion ne finisse d'isoler ces deux secteurs. Côté fribourgeois, les Préalpes supérieures concernent ainsi une bande étroite allant du Jeux de Quilles à la station de ski de Jaun. Les nappes de la Simme des Dranses et de la Sarine y occupent le cœur d'un synclinal et sont encadrées par les massifs calcaires des médianes rigides au SE, représentées par les Gastlosen, et plastiques au NO avec la Hochmatt et la crête du Oberrüg (Fig. 29). Cette structure se prolonge au-delà du Jaunbach où les flyschs de la nappe de la Sarine déterminent une importante zone de glissement parcourue par la route menant du Jaun au Jaunpass (1508m). Cette route traverse ensuite les Préalpes médianes rigides au-dessus du hameau de Weibelsried puis, au sortir du tunnel de la Plagersflue, sillonne à nouveau les reliefs des nappes appartenant aux Préalpes supérieures jusqu'au fameux col bernois.

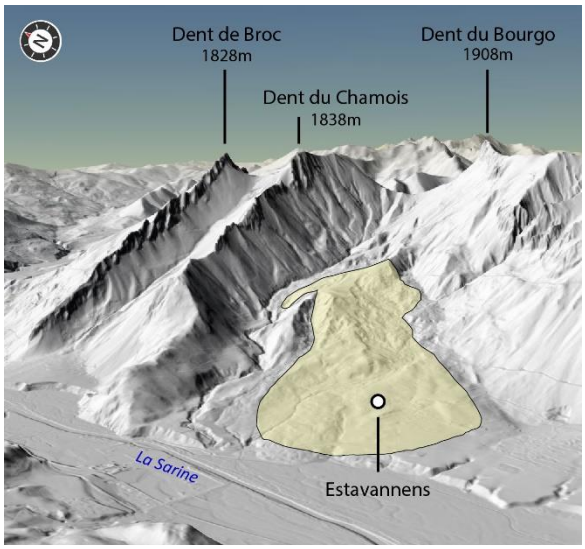


Fig. 28 : localisation indicative du Flysch d'Estavannens qui occupe la combe de Perreires (©Swisstopo).

Les formations constitutives des Préalpes supérieures sont essentiellement composées de flyschs provenant du même domaine paléogéographique que ceux de la nappe du Gurnigel (zone bathyale à abyssale de la marge sud de la Téthys). Cette lithologie explique encore une fois le fort développement hydrographique ainsi que le caractère hydromorphe et la propension aux glissements des sols de ces régions. Les Préalpes supérieures ont cependant la particularité d'intégrer d'importants olistolithes composés de roches dures du Jurassique et Crétacé inférieur : des calcaires à filaments ou à Aptychus et, surtout, des radiolarites. La forte résistance de ces roches aux agents érosifs contraste avec la tendresse du flysch qui les emballe. L'érosion différentielle, très active durant les périodes glaciaires du Quaternaire, a ainsi sculpté les reliefs du Jeu de Quilles, de la Gueyraz et du Brendelspitz, véritables proéminences s'extirpant d'un paysage bien plus émoussé (Fig. 29).

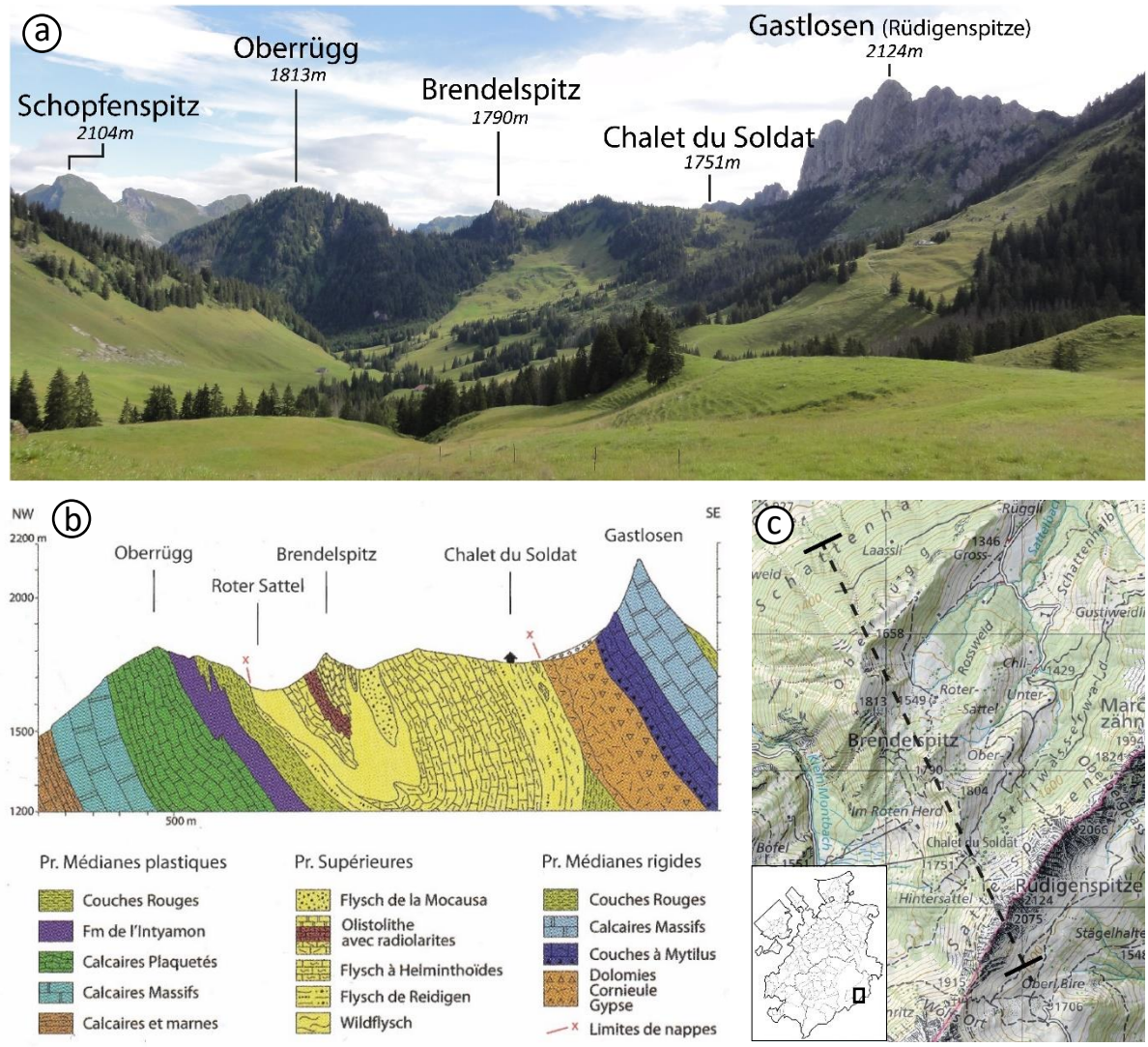


*Fig. 29 : **a)** vue panoramique depuis l'alpage de Fregima Derrey en direction du NE. Au premier plan, le paysage déprimé et adouci est déterminé par le substrat de flysch sous-jacent. Au second plan, la crête menant de l'Oberrüg aux Gastlosen exprime les particularités géologiques de ce synclinal avec un cœur occupé par les Préalpes supérieures comprenant des olistolithes (ici, le pic de la Brendelpitz) et encadrées par les calcaires des Préalpes médianes plastiques et rigides. **b)** coupe géologique correspondant à ce secteur (Braillard et Rebetez, 2009). **c)** situation géographique avec tracé de la coupe géologique b.*

4.1.6 Ultrahelvétique

Ce complexe tectonique serait issu de la marge continentale européenne, dans une zone intermédiaire assez profonde située entre le bassin helvétique au nord et le bassin valaisan au sud (Stampfli et al., 2002 ; Fig. 21). Les roches formées entre le Jurassique et l'Eocène ont subi une histoire tectonique extrêmement longue et complexe liée à la fermeture tardive du bassin sédimentaire et aux chevauchements successifs des nappes préalpines et helvétiques. En témoigne une structure intensément plissée et faillée qui forme des écailles, des olistolithes ou des diverticules. Pour plus de détails, nous renvoyons à la notice géologique de la feuille « Gruyère » (Pasquier, 2005) qui liste et synthétise les travaux préexistants sur ce sujet.

Dans le canton, les roches ultrahelvétiques constituent le substrat du massif du Montsalvens qui culmine au Vanil des Cours (1562m). Cette petite chaîne domine la partie méridionale du Lac de la Gruyère avec sa succession de replis anticlinaux très resserrés qui contrastent avec le paysage adouci des environs (Fig. 30 et Fig. 31). Son versant SE, moins acéré, est occupé par les villages de Châtel-sur-Montsalvens, Crésuz et Cerniat. Au nord, la limite avec le massif de La Berra (nappe du Gurnigel) se fait par l'intermédiaire du Mélange infrapréalpin au niveau de l'alpage de la Guille. La lithologie calcaire du Montsalvens est à l'origine d'un modelé karstique peu marqué mais détermine une hydrologie de surface bien moins développée que dans les flyschs du Gurnigel avoisinants à cause de l'infiltration des eaux de ruissellement.

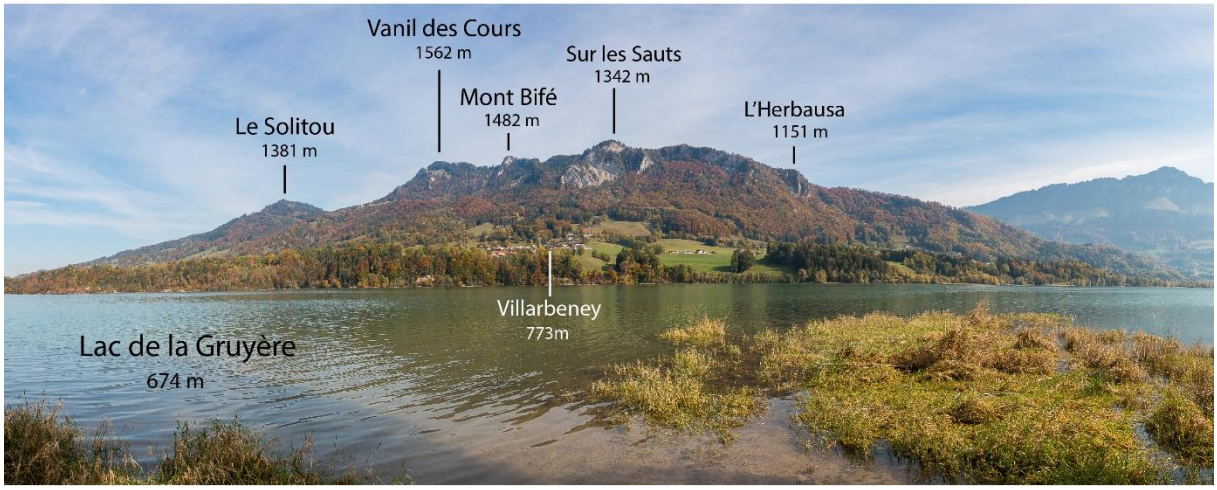


Fig. 30 : massif du Montsalvens depuis la pointe des Laviaux.

En rive gauche de la Sarine, le substratum ultrahelvétique détermine aussi les collines du Bois de Bouleyres et du Sauteaux. Fortement émoussés par le glacier de la Sarine, ces reliefs boisés sont séparés par le cours de la Trême et dominent légèrement la vaste plaine de Bulle.

En Veveyse, l'Ultrahelvétique se retrouve en position d'écaille entre la molasse subalpine (UMM) sous-jacente et la nappe du Gurnigel venue s'appuyer contre ses assises marno-calcaires lors de l'orogenèse préalpine (Weidmann, 1993). L'Ultrahelvétique constitue donc le soubassement occidental des Alpettes (1413m), du Niremont (1514m) et de la Corbetta (1401m) et se trouve entaillé par les Veveyses de Fégire et de Châtel qui mettent au jour d'imposantes parois riches en fossiles. Dans le canton de Vaud, les roches ultrahelvétiques se retrouvent ensuite en position sommitale et forment le substrat rocheux de la station des Pléiades (1362m) qui surplombe le Léman. D'un point de vue paysager, les roches les plus résistantes, souvent des calcaires comportant des niveaux siliceux, forment une série de collines allongées bien visibles à l'Est de Châtel-St-Denis et de Semsales.

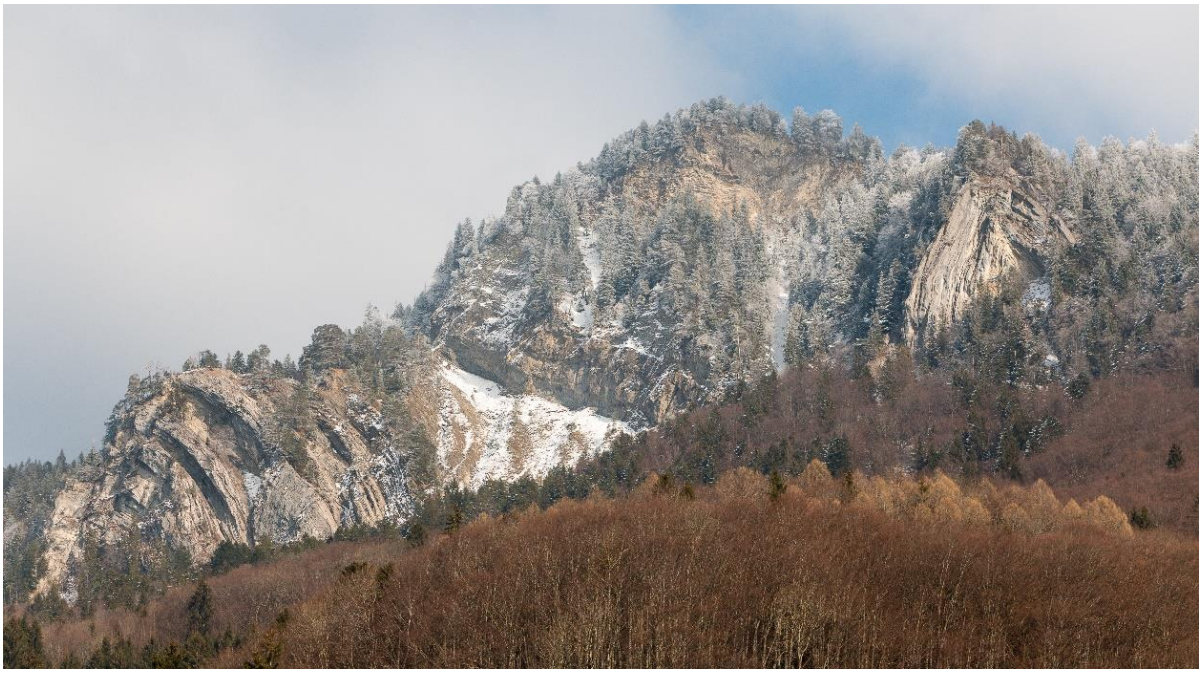


Fig. 31 : replis anticlinaux resserrés qui caractérisent le versant Est du Massif du Montsalvens, au-dessus du village de Villarbeney.

4.2 Molasse du Plateau et molasse subalpine

4.2.1 Paléogéographie, divisions tectonique et stratigraphique du bassin molassique

Le bassin molassique qui occupe le Plateau suisse est un exemple classique de bassin d'avant-pays. La forte subsidence engendrée par l'orogenèse alpine a formé un grand sillon au front de la chaîne. Entre le Rupélien (Oligocène) et le Serravallien (Miocène), soit de 34 à 10 millions d'années environ, cette zone déprimée a été progressivement comblée par d'épais dépôts provenant de l'érosion du massif alpin en surrection. Dans son sens large, le terme « molasse » désigne ainsi, non seulement les grès, mais bien l'ensemble des roches formées dans ces conditions particulières, indépendamment de toute considération granulométrique ou pétrographique : marnes, arénites, conglomérats, poudingues.

Structuralement, le bassin molassique est divisé en deux secteurs distincts (Berger, 1989 ; Fig. 32):

- La **molasse du Plateau**, épaisse de plusieurs kilomètres, forme la majeure partie du moyen pays suisse et fribourgeois. Elle s'est constituée à bonne distance du massif alpin ou après les derniers grands épisodes de la mise en place des Préalpes ce qui explique qu'elle soit peu tectonisée et déformée. La structure des couches est restée quasiment horizontale, hormis de légers anticlinaux et synclinaux dont le pendage n'excède que rarement quelques degrés. La limite nord de la molasse du Plateau correspond aux contreforts du Jura, soit au-delà de la frontière cantonale.

- La **molasse subalpine** qui borde les Préalpes et qui a été déformée par les derniers épisodes de l'orogenèse alpine. Elle peut être considérée comme allochtone puisque les sédiments qui la composent ont probablement été déplacés vers le nord sur une distance variant de 50 à 100km. Les couches de molasse y ont été tectonisées (plissement, failles) par la poussée (pré)alpine et quelques écailles de roches assez dures se trouvent redressées en position subverticale. Cette molasse porte bien son nom puisqu'elle est aujourd'hui partiellement recouverte par les nappes préalpines du Gurnigel ou de l'Ultrahelvétique.

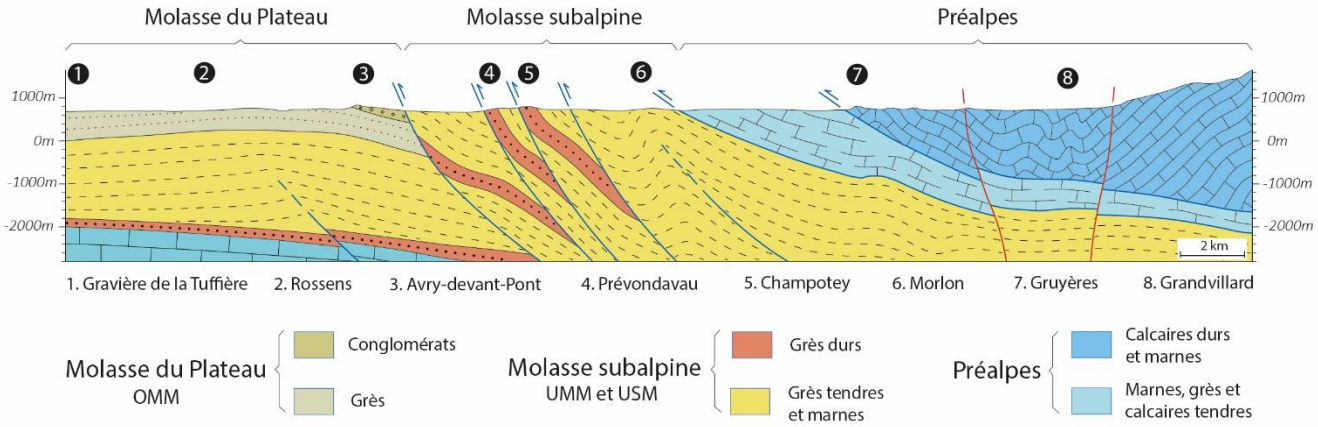


Fig. 32 : coupe géologique NS à travers la Gruyère, de la gravière de la Tuffière jusqu'aux reliefs dominant Lessoc (Braillard, 2017). Pour le tracé de la coupe, voir Fig. 19.

En plus de cette distinction d'ordre tectonique, la molasse suisse est divisée en quatre unités lithostratigraphiques dont les formulations abrégées (UMM, USM, OMM, OSM) sont issues de la littérature germanophone (*untere Meeresmolasse*, *untere Süsswassermolasse*, *obere Meeresmolasse*, *obere Süsswassermolasse*). Les variations significatives de faciès entre ces différentes molasses rendent compte d'un important changement de milieu sédimentaire lié à des phases d'incursions et de régressions marines dans le bassin molassique entre le début de l'Oligocène et le Miocène moyen (Fig. 33). Les caractéristiques de chacune de ces unités molassiques, leur distribution au sein du canton de Fribourg et leur influence paysagère constituent le propos des sous-chapitres suivants.

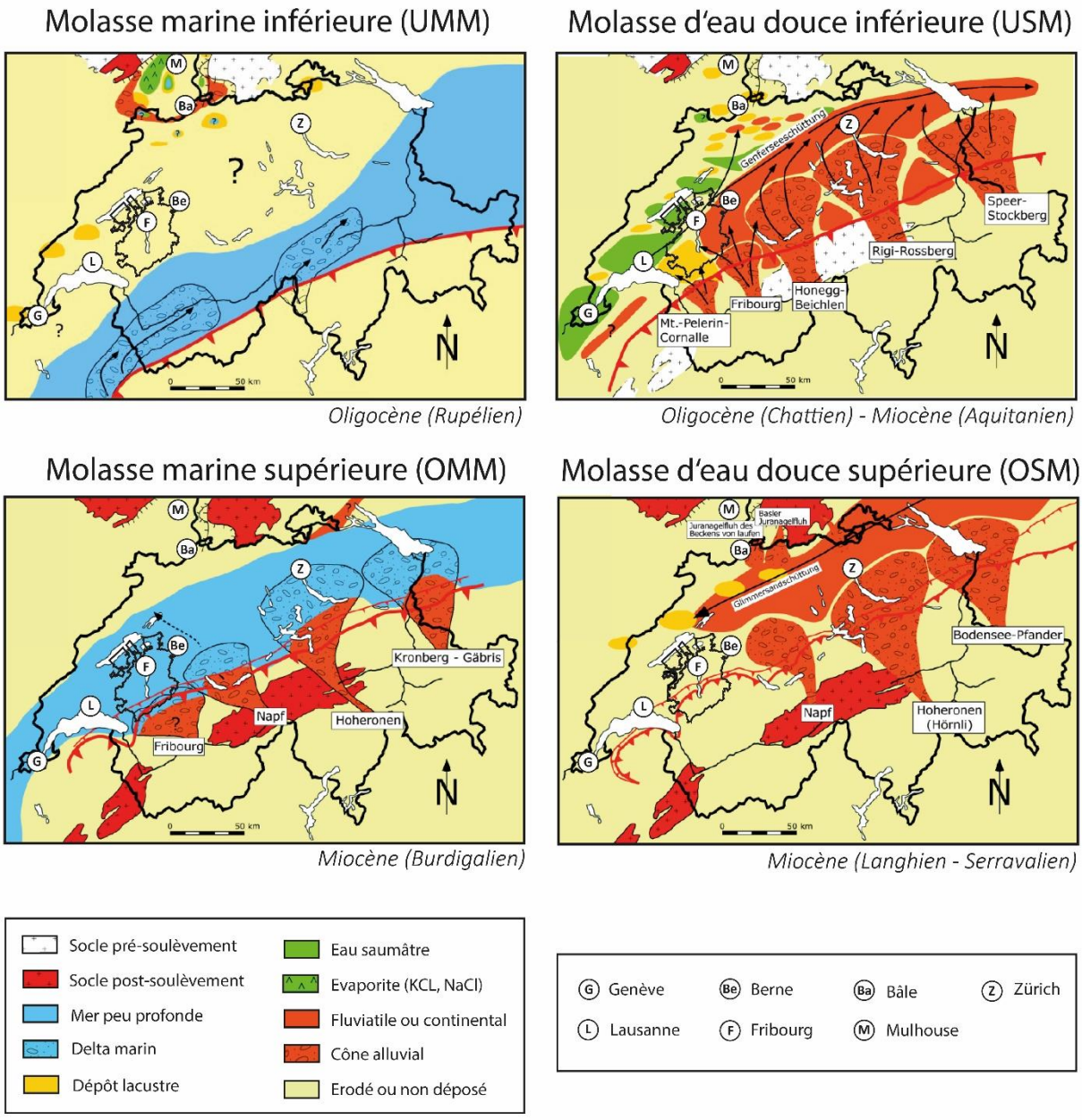


Fig. 33 : évolution du contexte paléogéographique du plateau suisse entre le Rupélien et le Serravalien. Assemblage de cartes réalisées par Becker (2003).

4.2.2 Molasse marine inférieure (UMM)

La molasse marine inférieure (UMM) constitue l'unité la plus ancienne et donc la plus basse stratigraphiquement. C'est pourquoi elle est peu présente en surface et affleure uniquement sous forme d'écailles à la faveur de chevauchements tectoniques de la molasse subalpine. Elle résulte d'un environnement paléogéographique composé d'une mer peu profonde et proche des côtes qui a occupé le bassin périalpin durant le Rupélien (env. 34 à 28 Ma). En témoignent les fossiles mis au jour qui se rapportent à des traces de vie aussi bien marine que terrestre : anthracotherium, rhinocéros, crocodiles, tortues, poissons, mollusques saumâtres et d'eau douce et fragments de charbon. Une partie de ces restes pétrifiés, en premier lieu un fossile exceptionnel de sirénien découvert à Vaulruz en 1877, sont aujourd'hui exposés au Musée d'histoire naturelle de Fribourg.

L'UMM comprend deux formations distinctes, celle de Vaulruz et celle de Cucloz qui sont toutes deux constituées de bancs marneux et gréseux. La dureté des grès, redressés en position subverticale par la tectonique, détermine localement des reliefs marqués entre Semsales et Corbières. A titre d'exemple, mentionnons le château de Vaulruz, établi sur un promontoire de grès qui a donné son nom à la formation. Plus au NE, le resserrement du Lac de la Gruyère au niveau de Corbières est marqué par deux collines allongées (Champotey, Prévondavau) qui dominent la rive gauche du plan d'eau (Fig. 34). Tout comme à Vaulruz ou à Vuippens, des pierres de taille ont longtemps été extraites dans ces reliefs gréseux. La carrière de Prévondavau, désormais occupée par un petit plan d'eau, a été exploitée jusqu'au milieu du 20ème siècle (De Girard, 1896 ; De Quervain, 1969).

Fig. 34 : le resserrement du Lac de Gruyère au niveau de Corbières s'explique par la présence de grès dur constitutif de la molasse marine inférieure (UMM). L'écaillage de cette unité détermine les reliefs des Joux d'Everdes et de Sur le Mont entre les hameaux du Villard et de Champotey.

4.2.3 Molasse d'eau douce inférieure (USM)

Au début du Chattien (~28 Ma), le comblement sédimentaire et l'abaissement du niveau global des océans entraînent le retrait de la mer. Durant près de 10 Ma, le bassin molassique devient une vaste plaine d'inondation comportant des faciès fluviatiles et lacustres spatialement très diversifiés, qui n'auront de cesse d'évoluer au cours du temps (Weidmann, 1987).

Aux débouchés des vallées alpines, de tumultueuses rivières y déposent des graviers et de gros galets émoussés qui forment de vastes cônes alluviaux. Ces dépôts proviennent du décapage des flyschs et olistolithes des Préalpes supérieures (Weidmann, 1993). Ils constituent aujourd'hui les fameux ***Poudingues du Mont Pèlerin*** (VD, 1080m) qui déterminent également les reliefs fribourgeois situés entre Attalens, Châtel-St-Denis et Maracon. La série stratigraphique présente une alternance entre des niveaux conglomératiques résistants, les poudingues à proprement parler, et des bancs plus tendres composés de marnes silteuses et de grès argileux. Soumises à l'érosion glaciaire, ces lithologies particulières ont formé des structures « en escalier », bien marquées sur les versants du Mont Pèlerin et du Mont Vuarat. L'érosion différentielle exercée par le Glacier du Rhône sur ce substrat est également à l'origine des collines très allongées situées au nord de Châtel-St-Denis et de Remaufens.

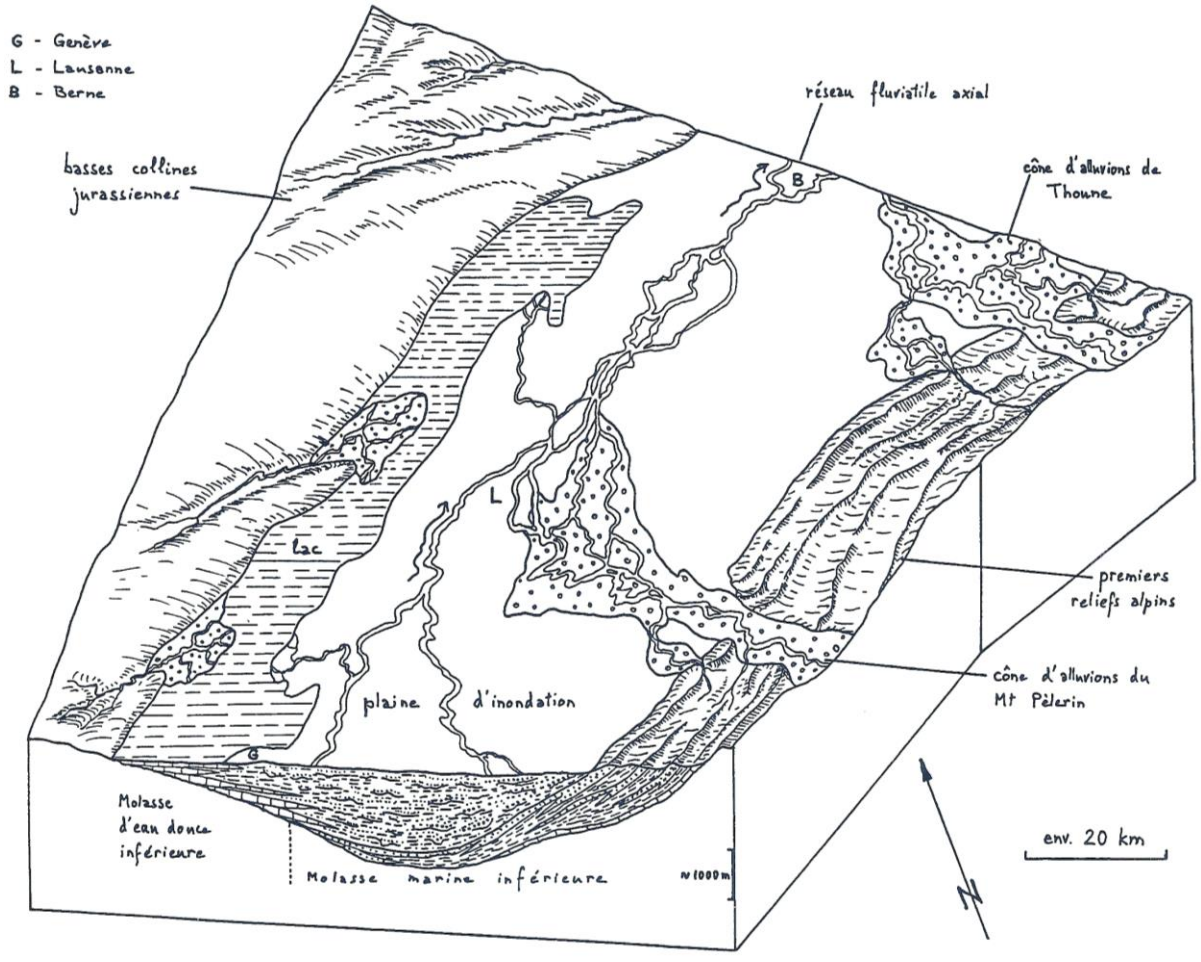


Fig. 35 : paléogéographie de la Suisse occidentale vers 27 Ma (Chattien, Oligocène). Weidmann (1987) d'après Rigassi (1978).

En s'éloignant des reliefs alpins, les rivières prennent des cours méandriformes et déposent des sédiments de plus en plus fins (sable, limons). Elles divaguent à travers de vastes plaines d'inondation envahies par des marécages et des lacs où s'accumulent calcaires d'eau douce et débris végétaux. Un climat plutôt chaud, de type subtropical ou de savane, favorise une végétation abondante sur les terres émergées et une forte production de biomasse dans les zones humides. Ce paléoenvironnement fluvio-palustre, oxydant et riche en bioclastes, est à l'origine de la ***Molasse rouge*** (ou *couches de Chaffa*). Contemporaine des poudingues du Mont Pèlerin, mais déposée en milieu beaucoup plus distal par rapport aux Alpes, cette roche n'affleure que sporadiquement dans le canton de Fribourg. Issue d'un milieu similaire mais légèrement plus récente, la **Molasse à charbon** constitue la formation la plus représentée de la molasse subalpine fribourgeoise (Weidmann, 1993). Dans la région qui englobe les localités de St-Martin, Semsales et Grattavache, ces filons charbonneux ont été exploités dès la fin du 18ème siècle dans des carrières à ciel ouvert puis dans des mines souterraines (Ritter, 1925 ; Claude, 1974 ; Vial, 1988). Jusqu'en 1914, ces mines de lignite ont notamment fourni un combustible bon marché à une importante fabrique de verre auquel le hameau et la commune châteloise de la Verrerie doivent leur toponyme. Fermées au début du 20ème siècle, ces mines ont été rouvertes durant les deux guerres mondiales pour soutenir l'effort de guerre. Vers le NE, la molasse à charbon change de faciès et est beaucoup plus pauvre en débris charbonneux et lits calcaires. Au niveau des assises du Gibloux, de la Berra ou du Schwyberg, on la désigne alors plus volontiers sous l'appellation de *Couches de Gérignoz* (Mornod, 1949).

Dès l'Aquitanien (~23 Ma), qui marque le début du Miocène, la poussée exercée sur le bassin molassique par l'orogenèse alpine se fait moins forte. La nappe du Gurnigel occupe désormais sa position actuelle, au front des Préalpes, où elle vient recouvrir une partie des dépôts molassiques. La molasse miocène est donc peu déformée et déposée en couches horizontales. Elle constitue la molasse dite « du Plateau » (Chapitre 4.2.1). C'est le cas de la ***Molasse grise de Lausanne*** qui représente la limite supérieure de l'USM en Suisse occidentale. En terres fribourgeoises, cette formation affleure dans les communes glânoises d'Ursy et de Rue ainsi qu'au nord du canton, entre Estavayer, Noréaz, Courtepin et Morat. Par ailleurs, quelques cours d'eau comme le Gottéron, la Taverna, l'Arborgne, la Sarine ou la Singine ont suffisamment incisé la molasse marine supérieure pour mettre au jour l'USM sous-jacente. D'un point de vue paysager, seuls les niveaux gréseux de la Molasse grise de Lausanne affleurent et déterminent quelques reliefs alors que les termes marneux ont été affouillés par l'érosion glaciaire et sont recouverts de moraines (Choffat & Aubert, 1983).

4.2.4 Molasse marine supérieure (OMM)

Au Burdigalien (~ 20 à 16 Ma), la mer envahit une dernière fois le bassin molassique. Elle forme un long bras arqué en bordure des Alpes qui relie la Téthys (future Méditerranée) au sud, à la Parathétys (à l'origine de la Mer noire et Caspienne) au nord. L'étroitesse de cette voie marine favorise un régime de marées qui remobilise l'abondant apport détritique provenant de l'érosion de l'édifice alpin (Homewood et al., 1989). En position proximale, ces sédiments clastiques forment de vastes cônes deltaïques alimentés par des rivières chargées d'alluvions. La zone côtière est caractérisée par des estuaires, des baies et des plages sableuses soumis à l'action des vagues et aux cycles tidaux. Plus au large, le fond marin, situé sous une tranche d'eau ne dépassant pas 100 ou 200m, est affecté par des courants profonds induits par les marées. La limite nord du bassin est caractérisée par des côtes rocheuses et des plages précédées par une guirlande d'îles liée aux premiers plissements jurassiens (Weidmann, 1987).

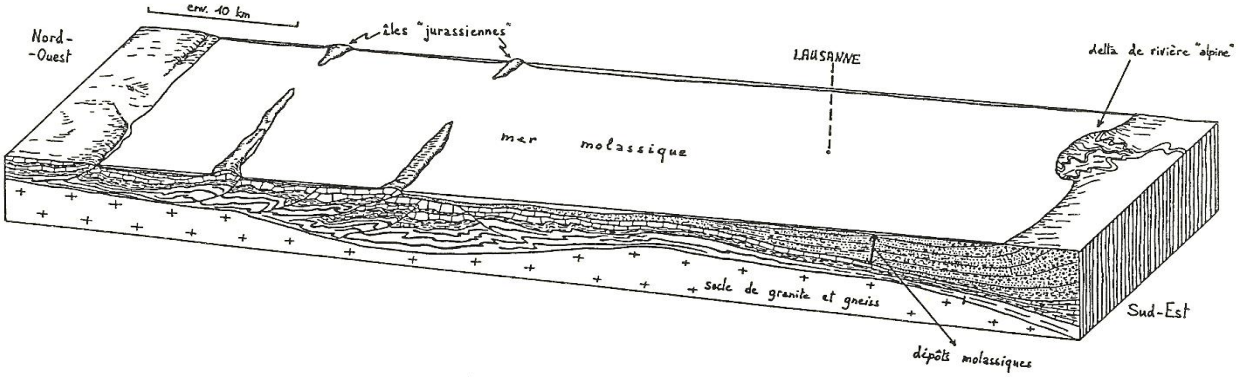


Fig. 36 : paléogéographie de la voie marine burdigalienne en Suisse occidentale entre 20 et 16 Ma environ. Weidmann (1987) d'après Rigassi (1978).

Cette paléogéographie très schématique (Fig. 36) comporte en réalité une infinie variété de faciès qui ont été largement étudiés dans le canton de Fribourg (Homewood & Allen, 1981 ; Allen et al., 1985 ; Allen & Homewood, 1984 ; Homewood, 1978, 1981 ; Homewood et al., 1985, 1989, Lejay, 1991). La transgression burdigalienne, qui se manifeste stratigraphiquement par le contact de l'OMM sur l'USM, a également fait l'objet de travaux majeurs (Homewood, 1978 ; Berger, 1985, 1989, 1992a, 1992b). Les affleurements de molasse, qui ont préservé les traces de cette transition entre un milieu continental et un milieu marin, constituent des témoins essentiels de l'histoire géologique régionale et, à ce titre, des géotopes de grande valeur.

La Molasse marine supérieure (OMM) constitue le substrat le plus représenté dans le canton de Fribourg. Elle est subdivisée en deux sous-unités, récemment élevées au statut de Formation plutôt que de Couches (strati.ch). Du bas vers le haut, il s'agit de :

- la ***formation de la Singine*** (Burdigalien inférieur), anciennement « Couches de la Singine ».
- la ***formation du Belpberg*** (Burdigalien moyen), anciennement « Couches du Belpberg ».

La ***Formation de la Singine*** est principalement constituée de grès et intègre quelques rares niveaux conglomératiques ou silteux. La teinte verdâtre de cette molasse, dominante sur le plateau fribourgeois, est liée à la présence de glauconite, un minéral argileux qui témoigne du caractère marin de la roche. Largement recouverte par les dépôts quaternaires, celle-ci affleure essentiellement le long des principaux cours d'eau du canton. En effet, la relative résistance du grès à l'érosion a contraint les rivières à y inciser de profondes gorges qui offrent de remarquables coupes aux géologues (Fig. 37).

Fig. 37 : la falaise de près de 100 m qui domine le canyon de la Sarine et le Lac de Pérolles, au niveau de Breitfeld, est formée dans la Molasse marine supérieure (OMM) et appartient à la Formation de la Singine.

Cette lithologie gréseuse dominante incorpore localement des bancs et lentilles de **grès coquilliers** durs qui caractérisent le substratum d'une partie de l'exclave staviacoise. Cette roche sédimentaire bioclastique est particulièrement riche en fossiles marins. Composée de valves de lamellibranches, de grès et d'une grande proportion de ciment calcaire qui la rend particulièrement résistante, elle a été exploitée sur près de deux millénaires dans la région broyarde. Sur les nombreuses carrières ouvertes entre les villages de Murist et de Châtillon, seules celles de Seiry et de la Molière font encore aujourd'hui l'objet d'une petite exploitation. Sur le plan paysager, l'occurrence de ces bancs coquilliers très résistants se traduit par des reliefs bien marqués et particulièrement élevés pour cette région du canton.

Enfin, la ***Formation du Belpberg*** constitue la partie supérieure et donc la plus récente de l'OMM en Suisse occidentale. Comprenant des bancs conglomératiques plus résistants que la molasse gréseuse sous-jacente, elles constituent les reliefs les plus élevés de l'avant-pays fribourgeois : le Gibloux (1205m), la Combert (1081m), la Feyla (1087m), et les hauteurs de St-Silvestre (891m). La bonne cohésion de ces conglomérats dessine de belles lignes de crêtes sur les flancs du Gibloux et de part et d'autres de la partie terminale du Lac de la Gruyère (La Perreire, Russile, Sur Charmont, Vers les Châteaux). Les niveaux conglomératiques témoignent de l'important cône deltaïque, dit du Gibloux,

qui progradait vers le nord dans l'ancienne voie marine burdigalienne (Homewood et al., 1989). Anciennement nommées « Helvétien » (Emmenegger, 1961), la *Formation du Belpberg* intègre des horizons fossilifères riches en bivalves. Conservées en position de vie, ces coquilles constituent un rare témoignage de la vie marine burdigalienne (Rutsch, 1928 ; Schoepfer, 1989).

Fig. 38 : le Gibloux constitue le plus haut relief molassique du canton, ce qui s'explique essentiellement par la résistance des bancs conglomératiques de la Formation du Belpberg qui le constitue.

4.2.5 Molasse d'eau douce supérieure (OSM)

A la fin du Burdigalien, la mer se retire définitivement du bassin molassique. L'environnement de dépôt redevient, à peu de choses près, ce qu'il était avant l'incursion marine. Toutefois, la Molasse d'eau douce supérieure (OSM) qui s'y est accumulée a été érodée dans la partie occidentale du Plateau, alors qu'elle est dominante à l'Est, de l'Emmental au Lac de Constance (Trümpy, 1980). L'OSM n'affleure donc pas dans le canton de Fribourg mais le Schwendelberg (BE, 1294m) et le Guggershorn (BE, 1283m), composés de conglomérats calcaires résistants nommés *Nagelfluh*, domine l'ensemble du paysage vallonné de la Singine.

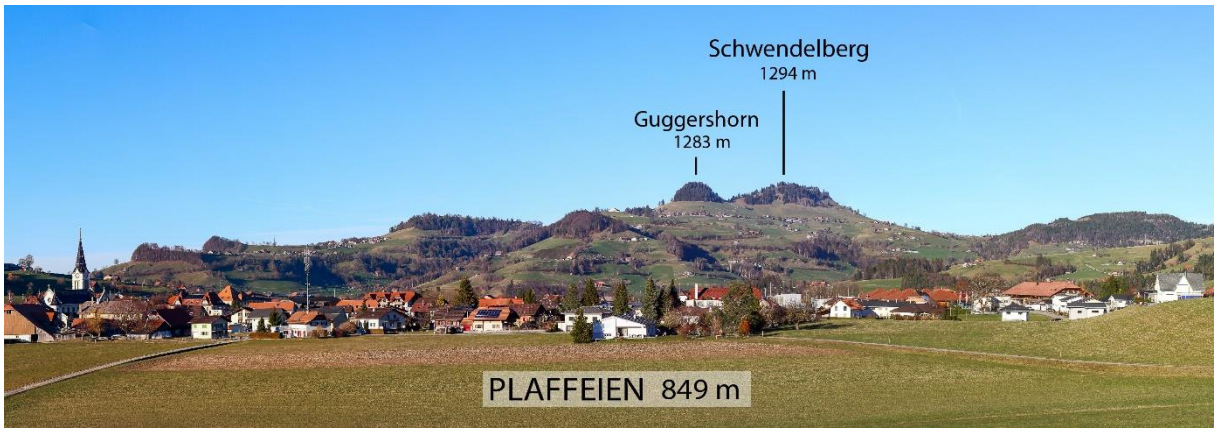


Fig. 39 : les éminences du Guggershorn (1283 m) et du Schwendelberg (1294 m), tout juste en terres bernoises, sont formées de conglomérats calcaires résistants (Nagelfluh) typiques de la molasse d'eau douce supérieure. Si ces reliefs emblématiques sont bien visibles depuis le district singinois, l'OSM n'affleure pas dans le canton de Fribourg où elle est totalement érodée.

4.3 Contexte géomorphologique : évolution récente du relief fribourgeois

4.3.1 De l'histoire des roches et des déformations à celle des formes et du relief

Vers 10 Ma d'années environ, la poussée alpine, répercutée à travers le bassin molassique, initie l'orogenèse du Jura. Pris en étau entre les Alpes et cet arc montagneux en formation, le plateau suisse s'élève peu à peu pour atteindre son altitude moyenne actuelle, entre 400 et 600 m au-dessus du niveau de la mer. Cette élévation d'origine tectonique conclut plusieurs millions d'années d'accumulation sédimentaire dans le bassin d'avant-pays périalpin. L'une après l'autre, les différentes unités molassiques se trouvent ainsi exposées aux agents d'érosion qui font disparaitre plusieurs centaines de mètres d'épaisseur de roche. Emergées depuis bien plus longtemps et soumises à des processus d'altération de plus forte intensité, les nappes préalpines ont subi un décapage plus important encore.

Le façonnement des Préalpes et du bassin molassique s'inscrit donc dans une longue durée mais la géomorphologie fribourgeoise est également le produit d'une histoire bien plus récente qui a vu des changements paysagers conséquents sur une période extrêmement courte à l'échelle des temps géologiques. Cette histoire est celle du Quaternaire, et plus particulièrement des 115'000 dernières années qui correspondent à la dernière incursion des glaciers sur le territoire fribourgeois, à leur retrait progressif au cours du Tardiglaciaire et à l'Interglaciaire actuel, l'Holocène. Ces différents épisodes sont présentés succintement dans les chapitres qui suivent.

4.3.2 Le Quaternaire : considérations chronologiques, climatiques et stratigraphiques

4.3.2.1 Cadre géochronologique

D'un point de vue géochronologique, le Quaternaire constitue la troisième période de l'ère Cénozoïque (Cohen et al., 2018). Le terme est hérité de l'ancienne dénomination des ères géologiques (Primaire, Secondaire, Tertiaire) et servait à désigner les formations meubles plus jeunes que les roches consolidées du Tertiaire (Desnoyers, 1829). Longtemps objet de débats, sa base a été récemment abaissée à 2.58 millions d'années, ce qui correspond à la limite inférieure de l'étage Gélasien (Mascarelli, 2009). Le Quaternaire est aujourd'hui subdivisé en deux époques : le **Pleistocène** (2.58 Ma à 11.7 ka cal BP), qui recouvre l'ensemble des glaciations qu'a connu la période, et l'**Holocène** (11.7 ka cal BP à aujourd'hui), qui correspond à l'interglaciaire dans lequel nous nous trouvons. Le Quaternaire représente donc le **passé récent de la Terre**, une période marquée par des cycles Glaciaire-Interglaciaire mais aussi par l'expansion du genre *Homo* dont notre espèce constitue aujourd'hui le dernier représentant.

4.3.2.2 Contexte paléoclimatique : cycles glaciaires du Quaternaire

Sur le plan climatique, le Quaternaire représente l'aboutissement d'un refroidissement progressif et généralisé de la Terre initié au cours de l'Eocène. Cette période est également caractérisée par de **fortes oscillations climatiques et une succession de cycles Glaciaire-Interglaciaire**. Ceux-ci sont régis par la fluctuation de trois paramètres orbitaux terrestres mis en évidence par Milutin Milanković (1930, 1942): l'excentricité de l'orbite, l'obliquité de l'axe de rotation et la précession des équinoxes. En combinant ces cycles astronomiques de différentes périodicités, le mathématicien serbe a calculé une insolation estivale de l'hémisphère nord au plus bas tous les 100'000 ans environ. Ce déficit radiatif, d'amplitude relativement faible, suffit à initier des boucles de rétroactions qui font peu à peu basculer le système climatique terrestre vers une période glaciaire. En dix ou vingt mille ans, l'entrée en glaciation est achevée : deux nouveaux Inlandsis (fennoscandien et nord-américain) se constituent, les glaciers alpins s'étendent, le taux de gaz à effet de serre diminue significativement tandis que le niveau marin s'abaisse d'une centaine de mètres environ (Joye, 2017). La sortie de glaciation suit plus ou moins le schéma inverse avec une transition climatique plus brutale qui aboutit à une période tempérée de l'ordre d'une dizaine de milliers d'années appelée « interglaciaire ».

Cette théorie astronomique des fluctuations glaciaires a été confirmée dans les années 70 par l'étude isotopique de l'oxygène ($\delta^{18}O$) piégé dans les sédiments océaniques (Hays et al. 1976). Ces données paléoclimatiques ont permis de subdiviser l'ensemble du Quaternaire en une centaine de stades isotopiques marins (ou MIS pour *Marine Isotope Stages*) qui correspondent à des périodes froides (stades, chiffres pairs) ou des phases plus tempérées (interglaciaire ou interstades, chiffres impairs). Ces oscillations climatiques sont également archivées dans les calottes antarctiques et groenlandaises où l'analyse de microbulles d'air permet la reconstitution de la paléo-atmosphère des 840'000 dernières années (Projet EPICA, 2005). Ces indicateurs climatiques montrent que **30 à 50 glaciations globales ont eu lieu au cours du Quaternaire** (Anderson et al., 2007), soit bien plus que le modèle des quatre grandes glaciations popularisé par Penck & Brückner (1909). Ces données dévoilent également de brusques changements de température au cours de chaque glaciation ou interglaciaire. Ces dérèglements rapides du climat, notamment les *cycles de Dansgaard-Oeschger* et les *événements de Heinrich*, témoignent de l'extrême complexité climatique du Quaternaire où se superposent des cycles de longue et de plus courte durée. Dans le canton de Fribourg, ces cycles climatiques globaux se sont traduits par de multiples phases d'invasions et de retraits glaciaires

4.3.2.3 Approche lithostratigraphique : les dépôts quaternaires

Le Quaternaire constitue donc un intervalle de temps chronostratigraphique caractérisé par des fluctuations climatiques extrêmes. Mais pour les géologues, le terme désigne également une **réalité lithostratigraphique** bien concrète, c.-à-d. l'ensemble des dépôts sédimentaires continentaux non consolidés accumulés au cours de cette période : moraines, graviers, loess, etc. Dans les Préalpes et sur le Plateau fribourgeois, il subsiste essentiellement des dépôts contemporains ou postérieurs à la dernière glaciation puisque chaque récurrence glaciaire a effacé une grande partie des accumulations sédimentaires plus anciennes[1]. L'étude stratigraphique de ces enregistrements sédimentaires permet de reconstituer l'évolution paléogéographique récente de la région fribourgeoise. La stratigraphie complète ainsi l'approche géomorphologique qui s'intéresse essentiellement aux formes héritées de cette histoire et aux processus à l'origine de ces reliefs.

4.3.3 Evolution paléogéographique des 115'000 dernières années

4.3.3.1 Dernière glaciation : cadre chronologique et paléoclimatique

Dans le domaine alpin, la **dernière glaciation** est appelée « **glaciation de Würm »** depuis les travaux de Penk et Brückner (1909). La littérature récente utilise également la dénomination « **glaciation de Birrfeld** » en se référant à la nouvelle terminologie de glaciostratigraphie proposée par Graf (2009) et adoptée par le Comité Suisse de Stratigraphie (CSS) pour désigner les dépôts glaciaires ou proglaciaires de l'avant-pays suisse au nord des Alpes (Strati.ch).

La glaciation würmienne débute vers 115 ka BP environ, après un interglaciaire de 15'000 ans qui a succédé à l'avant-dernière glaciation (nommée Riss ou Beringen). Elle débute par le Glaciaire ancien (115 à 75 ka BP), encore peu rigoureux sur le plan climatique, suivi par le Pléniglaciaire (75 à 19 ka BP), nettement plus froid et comprenant trois phases d'avancée glaciaire indépendantes. A l'échelle globale, le maximum de la dernière glaciation (**LGM** pour *Late Glacial Maximum*) est atteint à la toute fin du Pléniglaciaire supérieur, entre 23 et 19 ka BP selon Clark & Mix (2000). La glaciation würmienne se termine avec le Tardiglaciaire (19 à 11.7 ka cal BP) auquel succède le Postglaciaire (ou Holocène) qui correspond à l'Interglaciaire actuel (11.7 ka BP à aujourd'hui).

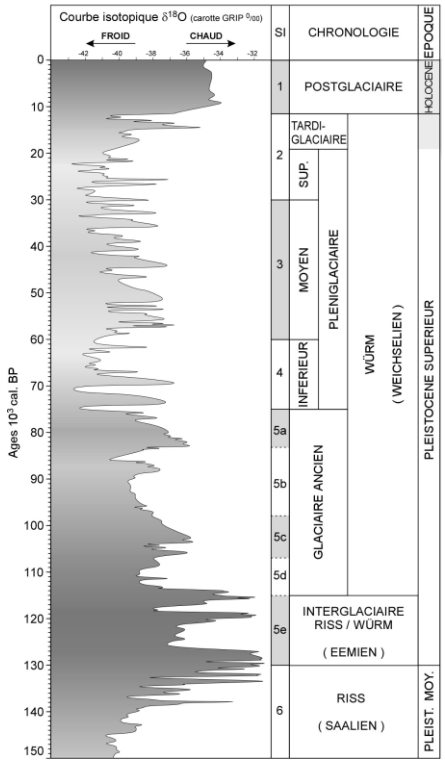


Fig. 40 : Cadre chronostratigraphique du Pléistocène supérieur (Braillard, 2006).

[1] Des dépôts antérieurs à la dernière glaciation sont tout de même conservés dans certains bassins ou vallées glaciaires surcreusés ou alors dans des paléovallées fluviatiles incisées dans le substrat rocheux.

4.3.3.2 Dernier maximum glaciaire (LGM) : un canton sous la glace

En bordure de l'édifice alpin, les différents systèmes glaciaires ont souvent atteint leur extension maximale en décalage avec le LGM global si bien que certains auteurs utilisent les notions de **LIME** (*Last Ice Maximum Extent*) ou **LLGM** (*Last Local Glacial Maximum*). Le LLGM du glacier du Rhône - nommé aussi « glacier valaisan » par certains auteurs - a par exemple été daté autour de **24 ka cal BP** par Ivy-Ochs et al. (2004). Cette date correspond donc plus ou moins à l'englacement maximal du canton de Fribourg lors de la glaciation würmienne. Cette situation paléogéographique générale est présentée sur la Fig. 41.

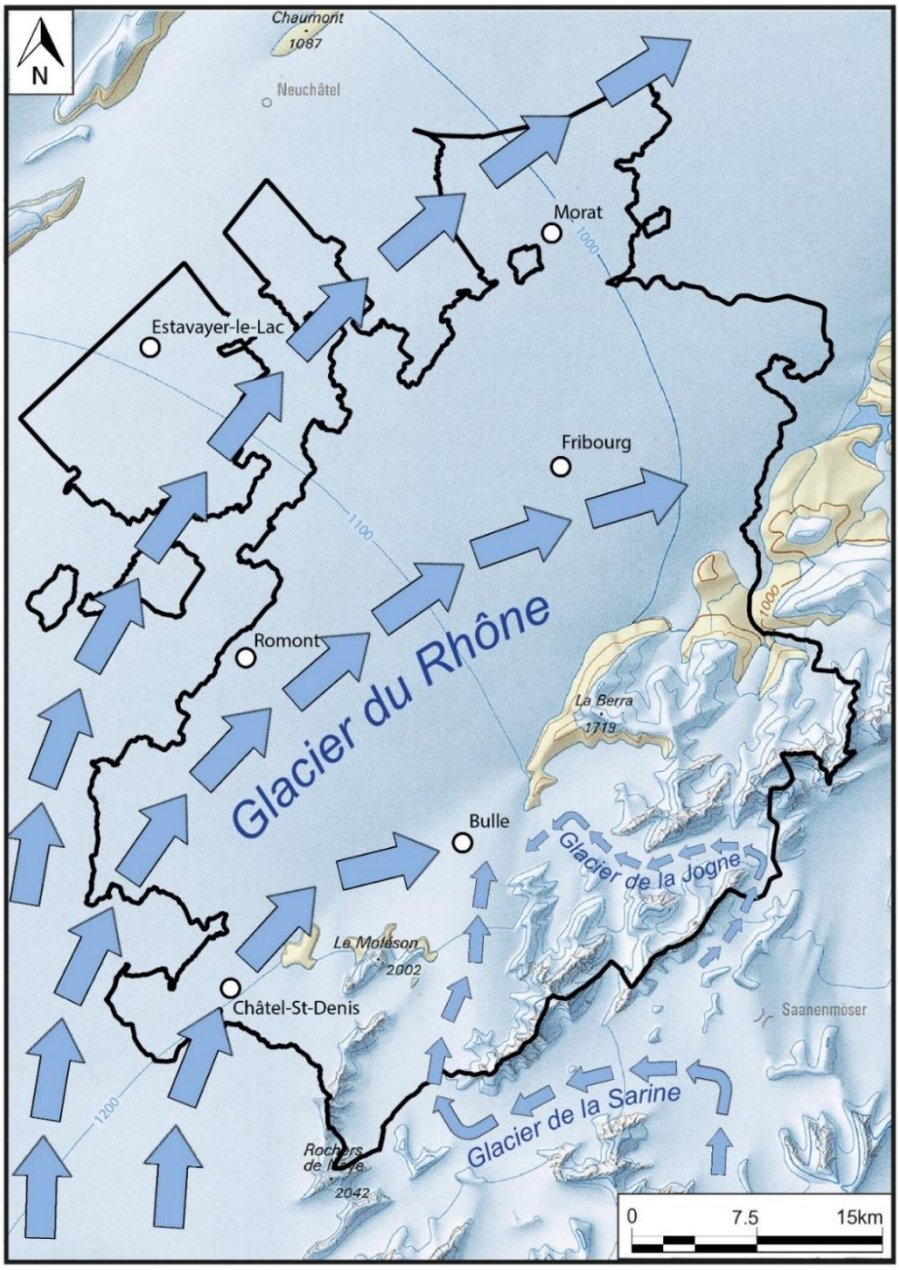


Fig. 41 : Le canton de Fribourg durant le dernier maximum glaciaire ou LGM (Bini et al., 2009). Les flèches bleues représentent les mouvements des principaux glaciers (Rhône, Sarine et Jogne). A noter que la distribution de la glace et des secteurs non-englacés est indicative puisque la carte utilise une échelle au 1/500 000. Elle donne donc un aperçu à l'échelle de la Suisse sans être extrêmement précise au niveau régionale. .

Au LGM, la glace occupe donc la majeure partie du canton de Fribourg. Le glacier du Rhône couvre l'ensemble du plateau fribourgeois et vient s'appuyer contre la bordure externe des Préalpes. La glace atteint une altitude d'environ 1300 m sur le flanc NW du massif du Niremont-Les Alpettes (Pugin, 1989), et un peu moins au niveau de La Berra et du Cousimbert. Le sommet du Gibloux se trouve proche de la surface sans que l'on puisse vraiment déterminer s'il était enfoui sous la glace ou non. Le glacier de la Sarine s'écoule quant à lui dans la vallée de l'Intyamon et conflue avec la langue rhodanienne dans la région de Bulle. Dans les Préalpes, des glaciers locaux envahissent les vallées et les cirques montagneux tandis que des calottes recouvrent une partie des massifs fribourgeois. A basse altitude, seule la région Plasselb-Planfayon-Brünisried semble avoir été libre de glace au cours de cette période (Fig. 41). Globalement, le paysage ressemble donc à celui du Groenland ou de l'Antarctique actuels avec un vaste territoire englacé d'où émergent des *Nunataks* (Fig. 42).

Fig. 42 : confluence entre le glacier de la Sarine (à gauche) et celui du Rhône (à droite) lors du LGM (env. 21 ka BP). DNA studios / L. Braillard (2008).

Ces flux glaciaires ont exercé une forte activité érosive sur la roche en place tout en détruisant les formes sédimentaires qui témoignaient de la glaciation rissienne et de l'interglaciaire Riss/Würm. Certaines accumulations antérieures au LGM ont tout de même échappé à ce décapage. C'est notamment le cas des « ***Graviers de la Tuffière*** » (Van de Meer, 1982) qui sont « *des dépôts de sandur datant de la progression du glacier de la Sarine, probablement lors d'un stade glaciaire non précisé du Würm précoce* » (Weidmann, 2005 : 36). Conservés dans d'anciennes vallées fluviatiles (paléovallée de la Sarine notamment) ou dans de vastes bassins surcreusés (Broye, Intyamon), ces dépôts fluvioglaciaires constituent aujourd'hui les principaux aquifères du canton mais aussi une ressource en matériaux largement exploitée. Ces accumulations sont aujourd'hui scellées par les dépôts morainiques abandonnés au moment du retrait glaciaire.

4.3.3.3 Tardiglaciaire : une déglaciation lente et saccadée

Le **Tardiglaciaire** (19 à 11.7 ka cal BP) constitue la dernière phase de la glaciation würmienne et marque la déglaciation progressive du canton de Fribourg. Cette période de réchauffement global comprend deux stades froids, le Dryas ancien et le Dryas récent qui encadrent l'interstade tempéré Bølling/Allrød.

Dans le canton de Fribourg, la **fonte des glaces** s'est opérée en différentes phases et a été ponctuée par des périodes de stagnation, voire de réavancées du glacier de la Sarine ou d'appareils glaciaires préalpins. Bien plus volumineux, le glacier rhodanien a mis plus de temps que les glaciers de plus petites dimensions pour se retirer progressivement du territoire fribourgeois. Avec la fonte des glaces, de nombreux **lacs de barrage glaciaire** ont vu le jour, dans les vallées latérales préalpines d'abord, puis sur le plateau fribourgeois. Le plus grand d'entre eux fût certainement le paléolac de la Gruyère. Entre 17 et 15 ka, alors que le bassin de Bulle et l'Intyamon étaient déjà déglacés, le glacier du Rhône barrait encore la vallée de la Sarine à la hauteur d'Avry-devant-Pont. Le lac ainsi formé atteignait 760 m d'altitude et remontait jusque au niveau du village de Lessoc (Blumer & Braillard, 2004). Après la fonte de la glace, le paléolac a subsité plusieurs milliers d'années grâce à la présence de barrages morainiques qui ont été progressivement érodés par la Sarine, conduisant à l'abaissement du niveau du lac puis à sa disparition au cours de l'Holocène.

Le Tardiglaciaire est également caractérisé par une **intense activité morphogénique**. En effet, la fonte des glaces alimentait d'innombrables rivières dont le débit était sans commune mesure avec ce que l'on peut observer aujourd'hui. Ces cours d'eau ont remobilisé l'énorme volume de sédiments abandonnés par les glaciers. La réorganisation du réseau hydrographique et l'abaissement du niveau de base régional ont également conduit à l'incision de gorges de raccordement en région préalpine et à l'encaissement des rivières du plateau (Sarine et Singine en tête) dans le substratum molassique. En régions de montagne, les espaces récemment déglacés se sont retrouvés en état d'instabilité à cause de l'absence de sol et de végétation fixatrice, de la fonte du pergélisol et de la décompression glaciaire. Les différentes formes (gravitaires, glaciaires, fluviatiles, périglaciaires) héritées de ces processus géomorphologiques très actifs durant le Tardiglaciaire sont détaillées au chapitre 6.

4.3.3.4 Holocène : 10'000 ans d'interglaciaire

L'**Holocène** correspond à l'Interglaciaire actuel qui a débuté il y a 11.7 ka d'années environ. Les changements paysagers y ont été beaucoup moins marqués qu'au cours du Tardiglaciaire. Cette seconde époque du Quaternaire a tout de même subi des fluctuations climatiques qui peuvent être reconstituées avec une grande précision notamment grâce à l'analyse palynologique des sédiments forés dans les tourbières. Dans le canton de Fribourg, les sites d'Echarlens et de Seedorf ont par exemple fourni des données paléoclimatiques tout à fait remarquables.

4.3.4 Les différentes entités géomorphologiques du canton

Avant de réaliser son *Inventaire géomorphologique du canton de Fribourg*, Grandgirard a publié un *Aperçu géomorphologique du canton de Fribourg* que l'auteur présente de la manière suivante : *«* [le travail] *a tout d'abord consisté à mettre en évidence les traits dominants ainsi que les spécificités des reliefs fribourgeois. Le territoire cantonal a ensuite été subdivisé en entités géomorphologiques sur la base de critères objectifs* » (Grandgirard, 1994 : 23 ; Fig. 43). Dans le cadre d'une sélection des géotopes d'importance cantonale, il est intéressant d'intégrer ce travail qui prend en compte les spécificités géologiques et l'histoire géomorphologique récente du territoire cantonal. Le chapitre 7.1.3 mettra ainsi la liste des GICs sélectionnés en lien avec ces différentes entités géomorphologiques.

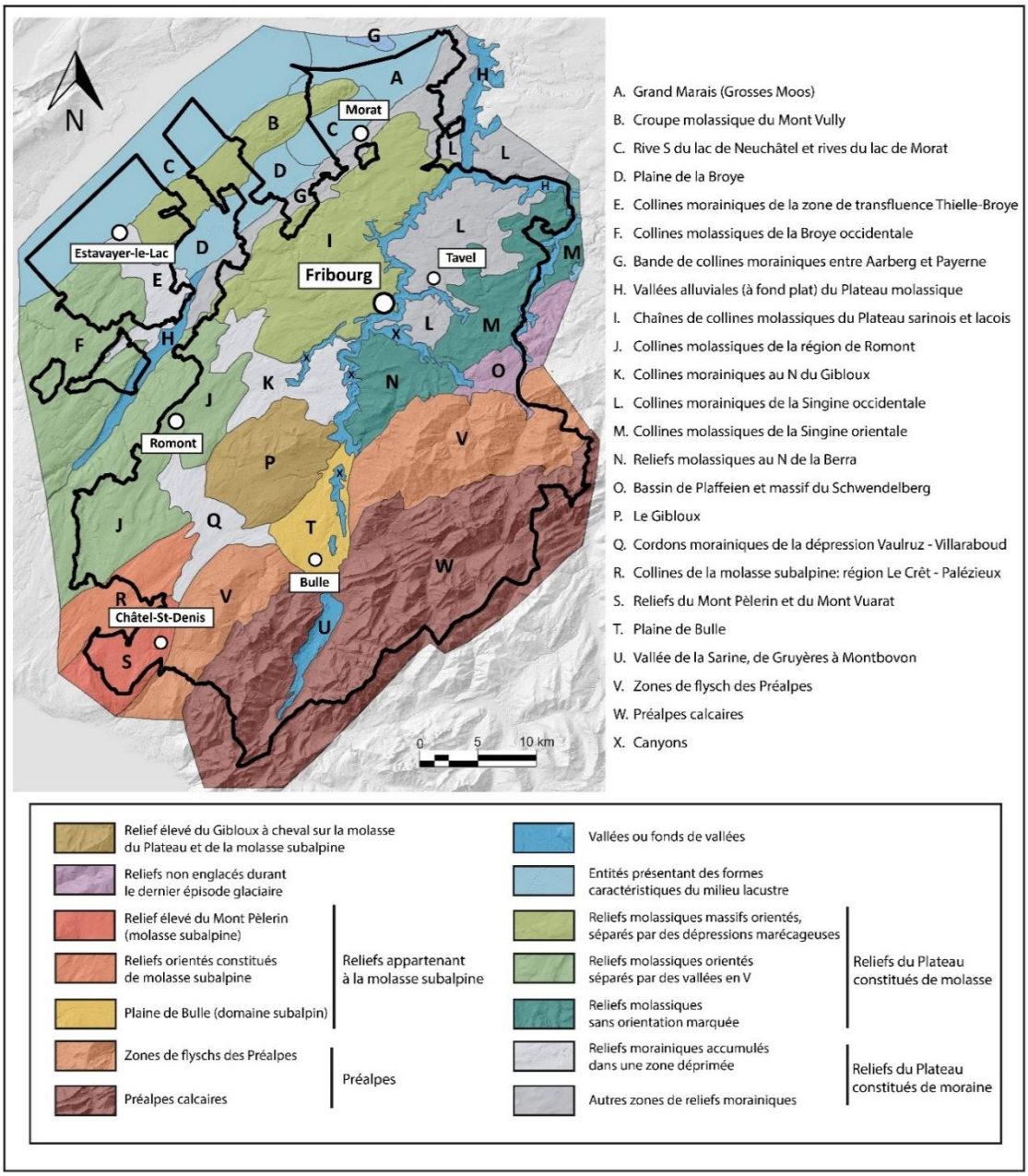


Fig. 43 : Aperçu géomorphologique du canton de Fribourg : partition du territoire en entités géomorphologiques et mise en évidence des liens de parenté existant entre ces dernières. Grandgirard (1994), numérisé et modifié avec ajout d'un modèle numérique de terrain (swissALTI^{3D}, éclairage NW45°, © Swisstopo).

5 Démarche et méthodes de sélection

5.1 Démarche générale, vision synoptique

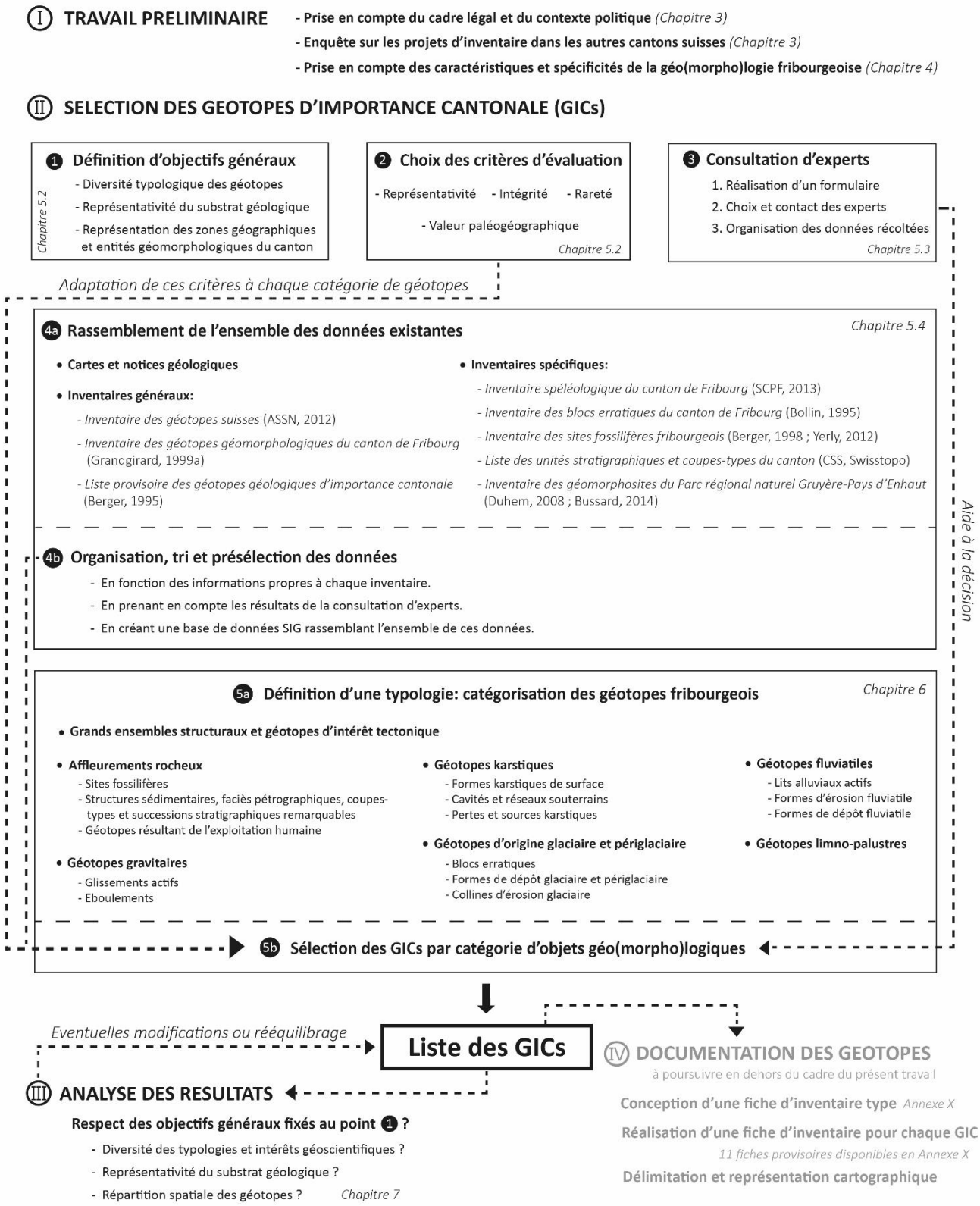


Fig. 44 : vision synoptique de la méthode utilisée pour la sélection et l'inventorisation des géotopes fribourgeois d'importance cantonale.

5.2 Définition d'objectifs généraux et de critères d'évaluation

La sélection des géotopes d'importance cantonale est guidée par trois objectifs principaux qui découlent de l'interprétation de la LPNat (Chapitre 3.1) et de la définition des GICs proposés au chapitre 2.4.3 :

- **Diversité typologique et représentativité des différents intérêts géoscientifiques :**
  Les chapitres 2.2 et 2.3 ont montré la grande diversité des géotopes qui sont des objets de taille, de formes et d'intérêts variés. L'inventaire des géotopes d'importance cantonale se doit de refléter ces différentes catégories d'objets géologiques et d'inclure aussi bien des géotopes actifs que fossiles. L'ensemble des domaines des géosciences doit être considéré dans la démarche de sélection. Cette volonté de diversité générale est à l'origine de la consultation d'experts, pour laquelle des spécialistes de divers horizons ont été invités à se prononcer sur les sites cantonaux les plus remarquables du point de vue de leur domaine de recherche et de leurs connaissances spécifiques (chapitre 5.3).

- **Représentativité du substrat géologique et des dépôts quaternaires :**
  Les différentes nappes constitutives de l'édifice préalpin et les unités lithostratigraphiques qui composent le bassin molassique fribourgeois sont représentées sur la Fig. 19 et ont fait l'objet de descriptions individuelles au chapitre 4. L'inventaire des GICs doit couvrir l'ensemble de ces unités tectoniques, en sélectionnant leurs éléments structuraux les plus marquants ou en recensant des sites, plus confidentiels, qui livrent des informations essentielles pour saisir l'histoire des roches et des déformations qui caractérisent ces grands ensembles géologiques. La couverture quaternaire, qui masque souvent ce substrat rocheux, n'est pas moins importante et les objets sélectionnés doivent également rendre compte de la diversité des formes et accumulations sédimentaires témoignant des modifications récentes du paysage fribourgeois (Chapitre 4.3).

- **Représentation des zones géographiques et entités géomorphologiques du canton :**
  Les géotopes d'importance cantonale doivent représenter l'ensemble du territoire fribourgeois. Il n'est pas pour autant question de chercher à tout prix une répartition spatiale uniforme de ces objets sur le territoire cantonale. En effet, certains secteurs sont objectivement plus riches que d'autres sur le plan géologique. La diversité des roches, l'ampleur des déformations tectoniques tout comme la variété et l'intensité des processus morphogénétiques est sans conteste plus forte dans les Préalpes que sur le plateau. L'*Aperçu géomorphologique du canton de Fribourg* réalisé par Grandgirard (1994) est une source utile pour garantir le choix de sites qui reflètent les caractéristiques des différentes entités géomorphologiques du canton (Fig. 43).

Les objets en eux-mêmes seront évalués à partir des critères de **représentativité**, d'**intégrité**, de **rareté** et de **valeur paléogéographique**. Ces critères sont définis au chapitre 5.4.3.3 (Fig. 49) et devront être précisés pour chacune des catégories de géotopes lors de la phase de sélection (chapitre 6).

5.3 Consultation d'experts

5.3.1 Objectifs de la consultation

Pour aider à la sélection des géotopes d'importance cantonale, une consultation d'experts a rapidement été envisagée. Cette méthode consiste à faire appel aux connaissances, générales ou plus spécifiques, d'un panel de spécialistes provenant de diverses disciplines des géosciences, et qui possèdent une bonne connaissance du canton de Fribourg. Cette approche a l'avantage de multiplier les points de vue sur le patrimoine géo(morpho)logique et de réduire la subjectivité d'une sélection opérée par un unique contributeur. L'apport de ces différentes personnes de référence constitue une précieuse aide à la décision et permet de justifier l'inclusion de tel ou tel objet dans l'inventaire des GICs. Il s'agit également de s'assurer que l'ensemble des domaines géoscientifiques est représenté dans l'inventaire cantonal. Enfin, cette enquête a également pour but de complémenter et d'actualiser les inventaires réalisés dans les années 1990 en intégrant de nouvelles découvertes ou des objets non pris en compte dans les différentes sources de données existantes.

5.3.2 Démarche générale

Fin 2017, vingt personnes ont été contactées pour prendre part à cette consultation et participer aux choix des GICs. Il s'agissait principalement de Professeurs, en fonction ou retraités, du Département de Géosciences de l'Université de Fribourg ou de Lausanne. D'autres géographes et géologues travaillant aujourd'hui dans l'enseignement secondaire, au sein du MHNF ou dans des services administratifs cantonaux ou fédéraux ont également été invités à intégrer le projet. Ces différents experts ont reçu un document explicatif présentant le contexte et les objectifs de cette consultation ainsi qu'un formulaire à remplir. Ce document, dont un extrait est disponible en Annexe I, a été spécialement conçu pour s'adapter au temps que chacun souhaitait investir pour cette enquête. A minima, le nom du géotope, sa localisation, son intérêt géoscientifique principal et quelques mots-clés permettant de saisir les caractéristiques remarquables du site étaient demandés. Des rubriques facultatives permettaient de préciser son choix en décrivant le géotope et ses intérêts géoscientifiques, de mentionner d'éventuelles menaces, ou de proposer des références bibliographiques, des photographies ou des figures documentant le site en question. Les données de l'*Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg* (Grandgirard, 1999a) et la *Liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale* (Berger, 1995) étaient fournies en annexe pour que les experts puissent s'y référer et, au besoin, proposer des géotopes complémentaires, d'importance cantonale ou non.

5.3.3 Résultats et critiques de la méthode

Sur la vingtaine d'experts contactés, seul cinq ont accepté de se prêter à l'exercice. Plusieurs raisons ont été évoquées parmi les personnes ayant répondu négativement à cette demande. Premièrement, le manque de temps : certains experts ayant souligné l'investissement conséquent que représentait ce travail de sélection. D'autres se sont tout simplement interdit de proposer un choix de géotopes au motif d'une subjectivité trop forte. Ces experts ont considéré qu'il n'était pas raisonnable d'émettre des propositions sans une méthodologie et une justification solidement fondées. Quelques personnes sondées, peut-être effrayées par le terme « experts », ont estimé qu'ils n'avaient pas les compétences ou connaissances régionales suffisantes pour proposer une liste cohérente. Finalement, certains spécialistes ont émis des réserves quant à l'intérêt d'un tel inventaire. L'inclusion de géotopes peu menacés a parfois été jugé inutile et certains experts ont soutenu l'idée qu'il eût été plus pertinent de réaliser un inventaire exclusivement dédié aux géotopes expressément en danger.

Si le nombre de participants ayant répondu favorablement à cette requête est plutôt faible et décevant, cette consultation a tout de même été l'occasion d'échanges enrichissants au sujet du patrimoine géologique cantonal et des enjeux liés à sa préservation. Le faible taux de participation pose tout de même la question de l'efficacité de ce genre de démarche. Peut-être aurait-il été préférable de mobiliser ce panel d'experts *a posteriori*, c'est-à-dire après l'élaboration d'une première liste d'objets d'importance cantonale. Les différents intervenants auraient alors pu se prononcer sur cette sélection en relevant d'éventuelles lacunes ou en proposant des modifications.

Quoi qu'il en soi, les personnes suivantes ont bien voulu donner de leur temps et offrir leur expertise à la sélection des géotopes d'importance cantonale :

- **M. André Strasser**, Prof. retraité de sédimentologie à l'Université de Fribourg et ancien président du *Groupe de travail suisse pour la protection des géotopes.*
- **M. Raymond Plancherel,** géologue et maître-assistant retraité de l'Université de Fribourg. Spécialiste de la géologie structurale des Préalpes, M. Plancherel s'attelle actuellement à la rédaction de la notice explicative de la carte géologique Château-d'Oex qui devrait paraître prochainement.
- **M. Michel Joye**, ancien professeur de géographie au Collège St-Michel qui a récemment publié l'ouvrage *Terre - l'Histoire de notre Planète de sa naissance à sa disparition* (Joye, 2017). M. Joye s'emploie aujourd'hui à l'écriture d'un second livre qui portera sur l'histoire géologique du Pays de Fribourg et de ses environs.
- **M. Sebastien Morard**, Dr. en Géographie, enseignant au Collège Saint-Michel et collaborateur scientifique au sein du bureau d'étude GeoAzimut. Ancien chargé de cours de géomorphologie à l'Université de Fribourg, M. Morard est spécialiste du pergélisol de moyenne et basse altitude et a fortement contribué à l'étude des phénomènes de ventilation dans des éboulis ou des glaciers rocheux fossiles.

- **M. Luc Braillard**, Dr. en géologie et enseignant-chercheur en géomorphologie à l'Université de Fribourg. M. Braillard a contribué à plusieurs projets de géovalorisation dans le canton de Fribourg, notamment le *Sentier géologique des Gastlosen* (Braillard et Rebetez, 2007) ou encore le sentier didactique *Novilé* qui intègre plusieurs panneaux explicatifs sur la géologie et la géomorphologie régionale.

Chacun de ces experts a proposé entre 13 et 99 géotopes dont une trentaine d'objets inédits qui n'apparaissent ni dans l'inventaire national (ASSN, 2012) ni dans les listes de Berger (1995) ou de Grandgirard (1999a). Les données récoltées lors de cette consultation sont réunies dans le tableau de l'Annexe I. Les différents géotopes y sont classés en fonction du nombre d'experts qui les ont choisis et de leur inclusion ou non dans les inventaires précités. Cette liste constitue un document de référence pour la sélection finale des géotopes d'importance cantonale. Le profil des experts, plutôt hétérogène, garantit une multiplicité des points de vue et des manières d'appréhender le patrimoine géologique. Cependant, le nombre restreint de personnes sondées n'autorise aucun traitement statistique de cette base de données. Cette consultation doit être considérée comme une aide à la décision qui donne du poids à la sélection finale opérée au chapitre 6. Ce choix des GICs se fonde également sur un passage en revue de l'ensemble des données géo(morpho)logiques existantes, ce qui constitue le propos du chapitre suivant.

5.4 Travaux existants : organisation, tri et présélection des données

Ce chapitre présente l'ensemble des travaux qui documentent le patrimoine géo(morpho)logique du canton. La récolte de ces différentes sources de données, parfois tombées dans l'oubli et dispersées entre différents services cantonaux, le MHNF et les archives de l'Université de Fribourg, a représenté un préalable indispensable au présent travail. Dans un second temps, ces données ont été triées et réorganisées en vue de la sélection finale des GICs au chapitre 6.

5.4.1 Littérature générale, cartes et notices géologiques

L'environnement géologique du canton de Fribourg intéresse les naturalistes depuis la seconde moitié du 19ème siècle. Les travaux de précurseurs comme Gilliéron, Schardt, Lugeon ou de Girard sont d'ailleurs remarquables et demeurent, aujourd'hui encore, des ouvrages de référence pour appréhender la géologie cantonale. Par la suite et durant près d'un siècle, les monographies et innombrables mémoires réalisées à l'Université de Fribourg ont largement fait progresser les connaissances en géologie et géomorphologie régionale. A partir des années 1990 cependant, les recherches menées au sein du Département de Géosciences se sont peu à peu tournées vers de nouvelles thématiques et des terrains d'études dépassant les frontières cantonales. La plupart des

professeurs qui ont dédié leur carrière scientifique à la géologie préalpine ou aux spécificités du bassin molassique sont aujourd'hui retraités, si bien que ce savoir géologique local pourrait s'étioler à l'avenir.

Heureusement, les cartes géologiques et notices explicatives qui les accompagnent proposent une synthèse de l'ensemble de ces travaux pour des secteurs correspondant aux cartes topographiques au 1/25'000. Sur ce plan, le canton de Fribourg dispose d'une bonne couverture. En effet, seule la carte géologique Château-d'Oex et sa notice explicative doivent encore faire l'objet d'une publication, agendée pour 2020. Il est tout de même possible de consulter la carte géologique vectorielle (GeoCover) de cette zone sur le géoportail de Swisstopo (map.geo.admin.ch). La Fig. 45 ci-dessus montre la répartition spatiale des feuilles de l'*Atlas géologique de la Suisse* (AG25) qui concernent le territoire fribourgeois. Pour les cartes qui ont une emprise significative sur ce dernier, le Tableau 4 précise l'année de publication et les auteurs ayant contribué à leur réalisation.

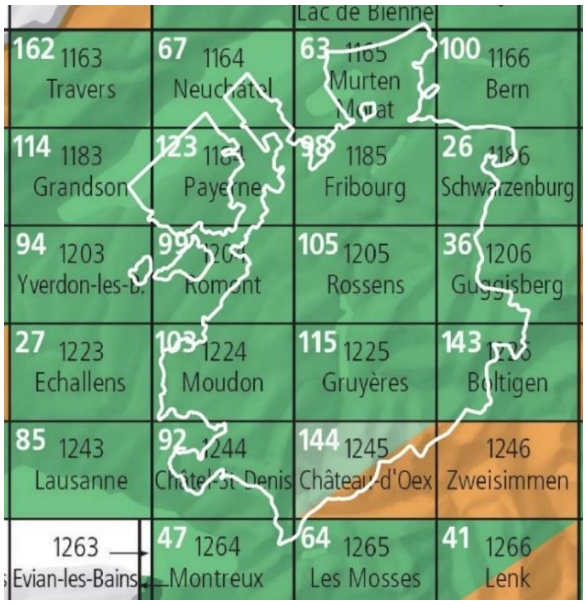


Fig. 45 : distribution des différentes cartes géologiques du canton de Fribourg. © Swisstopo.

n°	CN	Nom	Edition	Auteur(s)
63	1165	**Murten**	1972	F. Becker & R. Ramseye
123	1184	**Payerne**	2006	M. Weidmann
98	1185	**Fribourg**	1996	Ch. Python, en tenant compte des levés de C. U. Crausaz & R. Sieber
26	1186	**Schwarzenburg**	1953	R. F. Rutsch und B. A. Frasson
99	1204	**Romont**	1995	M. Weidmann, A. Briel & H. Inglin
105	1205	**Rossens**	2002	M. Weidmann, J-P. Dorthe & C. Emmenegger
36	1206	**Gurnigel** [Guggisberg, Rüschegg, Plasselb, Gantrisch]	1961	J. Tercier & P. Bieri
103	1224	**Moudon**	2000	J.-H. Gabus, J. C. Boegli, L. Mornod & A. Parriaux
115	1225	**Gruyères**	2004	J.-B. Pasquier
143	1226	**Boltigen**	2015	L. Braillard
92	1244	**Châtel-St-Denis**	1993	M. Weidmann, P. Homewood, R. Morel, J.-D. Berchten, H. Bucher, M. Burri, J.-D. Cornioley, P. Escher, Ph. Rück, A. Tabotta & Ph. Zahner
144	1245	**Château-d'Oex**	(2020?)	R. Plancherel, C. Python, L. Braillard, J. Mosard, S. Dall'Agnolo

Tableau 4 : liste des cartes géologiques ayant une emprise importante sur le canton de Fribourg.

5.4.2 *Géotopes suisses du canton de Fribourg* (ASSN, 2012)

L'*Inventaire des géotopes suisses* a été présenté au chapitre 3.4.2. Parmi les 322 géotopes de la liste actuelle, neuf se trouvent intégralement en territoire fribourgeois et six se situent à cheval sur un ou deux cantons limitrophes (Fig. 46). Cela n'a rien d'étonnant puisque des géotopes bien marqués comme les gorges ou les crêtes montagneuses constituent aussi des frontières physiques et politiques évidentes.

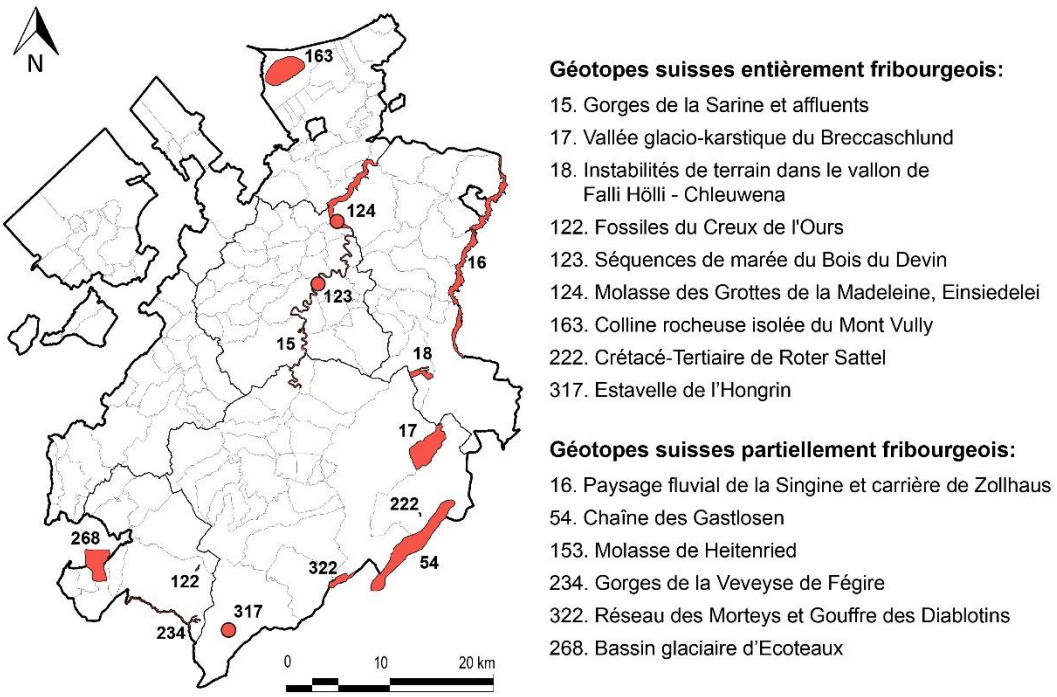


Fig. 46 : distribution des objets de l'Inventaire des géotopes suisses (ASSN, 2012) représentés dans le canton de Fribourg. Certains géotopes sont entièrement fribourgeois alors que d'autres s'étendent au-delà des frontières cantonales.

L'importance nationale de ces géotopes revêt une certaine légitimité. En effet, la valeur de ces sites a fait l'unanimité parmi un collège interdisciplinaire d'experts et ces géotopes ont été maintenus dans l'inventaire après plusieurs phases de révision. Leur intégration dans l'*Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale* se justifie donc totalement. Il est en effet inconcevable qu'un géotope d'importance nationale ne soit pas pris en considération à un niveau cantonal ou communal (Grandgirard, 1999c). De plus, **ces géotopes nationaux ne bénéficient à ce jour d'aucune considération d'un point de vue légal**. Leur inclusion dans l'inventaire fribourgeois permettra donc de remédier à cette lacune et de valoriser les efforts consentis par le groupe de travail depuis les années 1990. A noter que deux géotopes fribourgeois sont considérés comme d'« *éventuels futurs géotopes* suisses » pouvant intégrer cet inventaire (Reynard et al., 2012 : Annexe 4). Il s'agit de la *marnière de Wallenried* ainsi que l'*ancienne carrière de la Tuffière*, deux objets qui seront aussi considérés dans la démarche de sélection des GICs.

Le changement d'échelle de référence entre les deux inventaires requiert quelques adaptations. Pour transposer les géotopes de l'inventaire suisse vers l'inventaire cantonal, les questions suivantes doivent être abordées :

1. **Le géotope national peut-il être divisé en plusieurs GICs ?**
   Dans certains cas, les géotopes de l'inventaire national englobent plusieurs sites d'intérêt. A une échelle cantonale, il peut être plus pertinent de les considérer séparément. Un géotope inventorié dans l'*Inventaire des géotopes suisses* pourra donc être divisé en plusieurs géotopes de moindre extension, chacun d'importance cantonale.

2. **La délimitation du géotope national est-elle suffisamment précise et adaptée à une échelle cantonale ?**
   La délimitation des géotopes constitue une étape fondamentale pour l'inventaire des GICs puisqu'il s'agit de déterminer les aires à gérer. Pour l'*Inventaire des géotopes suisses*, la délimitation des périmètres s'est faite avec un niveau de précision très variable. Pour certains géotopes, le périmètre des objets a été déterminé de manière imprécise. C'est notamment le cas de certains géotopes fluviatiles (gorges, zones alluviales) dont la surface se limite souvent à une bande de largeur prédéfinie de part et d'autres du tracé du cours d'eau. Il est donc nécessaire de redéfinir les limites de ces objets. Il peut également se révéler pertinent de passer d'une représentation ponctuelle à l'échelle nationale, à des éléments linéaires ou surfaciques dans l'inventaire cantonal.

3. **La dénomination du géotope national doit-elle être modifiée ?**
   Il est parfois nécessaire d'apporter des modifications à la dénomination proposée par le groupe de travail de l'ASSN afin de respecter une certaine homogénéité au niveau de l'inventaire cantonal. L'appellation doit permettre de déterminer le type de géotope et sa localisation.

4. **Les informations fournies dans la fiche descriptive du géotope national sont-elles suffisantes ?**
   Le niveau de détails des fiches descriptives est également très variable d'un géotope à l'autre. Réalisées par des spécialistes, certaines descriptions scientifiques sont très complètes et pourront être reprises comme telles dans les fiches descriptives des GICs. D'autres fiches d'inventaire sont lacunaires ou incomplètes. La description des caractéristiques scientifiques et la justification de l'importance des géotopes n'y sont abordées que succinctement. L'intégration de ces géotopes dans l'inventaire des GICs nécessite des recherches bibliographiques approfondies et une description plus complète.

5. **Pour les géotopes nationaux à cheval sur un ou deux autres cantons : les caractéristiques présentes en territoire fribourgeois suffisent-elles à justifier d'une importance cantonale ?**
   Beaucoup de géotopes nationaux se trouvent à la limite de deux ou de plusieurs cantons. Si les caractéristiques exprimées en territoire fribourgeois le justifient, ces géotopes transcantonaux peuvent être considérés comme des GICs. Les frontières cantonales constitueront ainsi une partie des limites du géotope. Ce cas de figure montre l'intérêt d'une gestion des géotopes à une échelle fédérale ou intercantonale, ce qui fait cruellement défaut aujourd'hui.

Considérant l'ensemble des questions relevées ci-dessus, ce sont finalement 15 géotopes d'importance cantonale qui ont été retenus à partir des 14 géotopes suisses présents en terre fribourgeoise (Tableau 5). Le « Bassin glaciaire d'Ecoteaux » (n°268) ne s'étend que très marginalement sur le territoire fribourgeois et est déjà inscrit à l'*Inventaire des géotopes du canton de Vaud* (Pieracci et al., 2008). Il n'a donc pas été retenu. Le géotope suisse « Paysage fluvial de la Singine et carrière de Zollhaus » (n°16), a quant à lui été divisé en trois géotopes cantonaux distincts. Les autres géotopes suisses ont été repris tel quel avec parfois de petits changements de dénomination. Ces transpositions et adaptations entre l'inventaire suisse et l'inventaire cantonal sont résumés dans le tableau ci-dessous :

n°	Géotopes suisses (ASSN, 2012)	n°	Géotopes d'importance cantonale
15	Gorges de la Sarine et affluents	80	Gorges de la Sarine
17	Vallée glacio-karstique du Breccaschlund	11	Vallon synclinal et complexe glacio-karstique du Breccaschlund
122	Fossiles du Creux de l'Ours	14	Ichtyosaure et gisements d'ammonites du Creux de l'Ours
123	Séquences de marée du Bois du Devin	17	Séquences de marées du Bois du Devin
124	Molasse des Grottes de la Madeleine, Einsiedelei	18	Paléoplage molassique de l'Ermitage de la Madeleine
163	Colline rocheuse isolée du Mont Vully	49	Colline d'érosion glaciaire du Mont Vully
222	Crétacé-Tertiaire de Roter Sattel	22	Couches stratigraphiques du Crétacé-Tertiaire de Roter Sattel
317	Estavelle de l'Hongrin	46	Estavelle de l'Hongrin et exsurgence de Neirivue
16	Paysage fluvial de la Singine et carrière de Zollhaus	67	Lit fluvial actif de la Singine
		81	Gorges de la Singine
		24	Ancienne carrière de Flysch de Zollhaus
54	Chaîne des Gastlosen	12	Chaîne des Gastlosen
153	Molasse de Heitenried	20	Transition USM-OMM de la route Sodbach-Heitenried
234	Gorges de la Veveyse de Fégire	78	Gorges de la Veveyse de Fégire
322	Réseau des Morteys et Gouffre des Diablotins	42	Réseau karstique des Morteys et Gouffre des Diablotins
268	Bassin glaciaire d'Ecoteaux	-	**Non retenu**

Tableau 5 : correspondance entre les objets de l'Inventaire des géotopes suissses et ceux transposés dans l'Inventaire des géotopes d'importance cantonale du canton de Fribourg.

5.4.3 *Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg* (Grandgirard, 1999)

5.4.3.1 Contexte de l'inventaire

Exclusivement orienté vers la géomorphologie, l'*Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg* (Grandgirard, 1999a) constitue, à ce jour, le document le plus complet sur les géotopes du canton. Il représente l'aboutissement d'un travail de longue haleine initié en 1992 avec l'*Aperçu géomorphologique du canton de Fribourg* (Grandgirard, 1994). Ces deux projets ont été réalisés dans le cadre de l'élaboration du *Plan sectoriel des paysages et des sites du canton de Fribourg* (Team+, 1993, 1995) qui devait remplacer l'ancien *Inventaire des sites naturels du canton de Fribourg* (CCPNP & OCAT, 1978). Le but était de disposer d'un nouvel outil de gestion des composantes géomorphologiques du territoire tout en inscrivant formellement ces thématiques dans la révision du *Plan directeur cantonal* adopté en juillet 2002 (DAEC, 2002). Malheureusement, ces deux travaux n'ont jamais été intégrés à cette nouvelle mouture du PDc, si bien que la dimension géomorphologique du paysage fribourgeois a largement été laissée pour compte lors de cette révision.

Cet inventaire n'en demeure pas moins un document précieux qui, selon son auteur, « *repose sur l'application d'une démarche systématique rigoureuse* [et] *représente le résultat d'un très long travail de catégorisation, de recensement, d'étude et d'évaluation des objets géomorphologiques, suivi de la sélection, de la description et de la délimitation des objets de plus grande valeur, les géotopes géomorphologiques* » (Grandgirard, 1999b). Achevé en décembre 1999, le projet a été soutenu par le Service de la protection de la nature au travers de plusieurs mandats successifs. Etudiants et collaborateurs scientifiques de l'Institut de Géographie de l'Université de Fribourg (IGUF) ont également participé, de près ou de loin, à ce projet chapeauté par M. Grandgirard. Ce dernier relève en particulier les contributions de M. Michel Spicher, Mme Elisabeth Fierz-Dayer et Mme Geneviève Baudraz. La sélection, la description et l'évaluation des géotopes reposent également sur une multitude de travaux de recherche réalisés par des étudiants dans le cadre de séminaires de géomorphologie régionale (Achermann, 1981 ; Baeriswyl, 1986 ; Balmat, 1986 ; Cochet, 1996; Dapples, 1995; Descloux, 1982 ; Dubey, 1994 ; Kreienbühl, 1995 ; Levrat, 1998 ; Menoud, 1996 ; Rolle, 1997 ; Rub & Imwindelried, 1995 ; Seydoux & Roulin, 1995 ; Vallin, 1996 ; Benz, 1996).

5.4.3.2 Forme et contenu de l'inventaire

Une partie des services administratifs du canton possède une version numérique ou imprimée de l'inventaire. Il est également possible de consulter une version papier de ce travail dans les bibliothèques de l'Université de Fribourg (BCUF, Dokpe) ou du MHNF. Dans sa forme finale, l'*Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg* se compose des éléments suivants :

- Une **base de données numérique *Access*** qui fournit des informations sur chacun des 330 objets : n°, nom, localisation, description géomorphologique, morphogenèse, résultats de l'évaluation, références bibliographiques. Les **fiches d'inventaire** en version imprimée, qui documentent chaque géotope individuellement, sont réalisées à partir de cette base de données.

- Une **carte de synthèse au 1:50'000** qui situe et délimite les géotopes inventoriés avec un niveau de précision variable qui dépend beaucoup du type et de la complexité des objets considérés. Cette carte est accompagnée d'une légende et d'une explication de la nomenclature utilisée pour l'inventaire.

- Un **état des lieux** de février 1999 intitulé *Canton de Fribourg – Conception directrice des paysages et des sites – Géomorphologie et géotopes* (Grandgirard, 1999b). Une notice explicative devait initialement compléter l'inventaire mais ce document n'a finalement jamais vu le jour. Il faut donc se contenter de cet état des lieux intermédiaire pour connaitre le contexte et la méthode utilisée pour cet inventaire. Ce document rapporte également les différentes menaces qui pèsent sur les géotopes et propose quelques mesures de gestion. En annexe se trouve la liste des géotopes catalogués.

Concrètement, l'inventaire recense 330 objets dont 229 formes, 75 ensembles de formes, 21 complexes de formes et cinq systèmes géomorphologiques (cf. chapitre 2.2.1.3). Ces objets sont classés dans six catégories en fonction des processus morphogénétiques à l'origine de leur formation (Fig. 47). La Fig. 48 permet de visualiser leur distribution spatiale à l'échelle du canton.

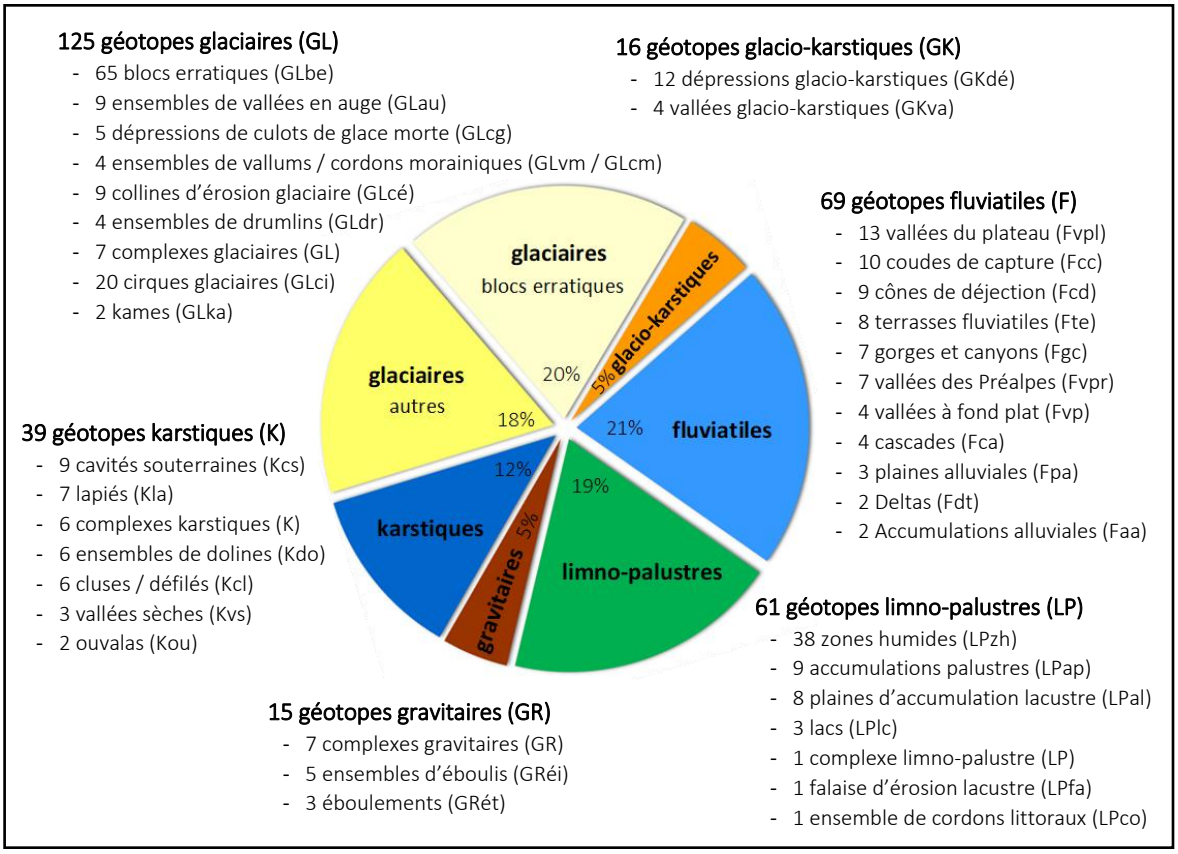


Fig. 47 : répartition des 325 géotopes géomorphologiques de l'inventaire classés en 39 types et six catégories morphogénétiques. Les cinq systèmes géomorphologiques définis par Grandgirard (1999) ne sont pas intégrés dans cette figure.

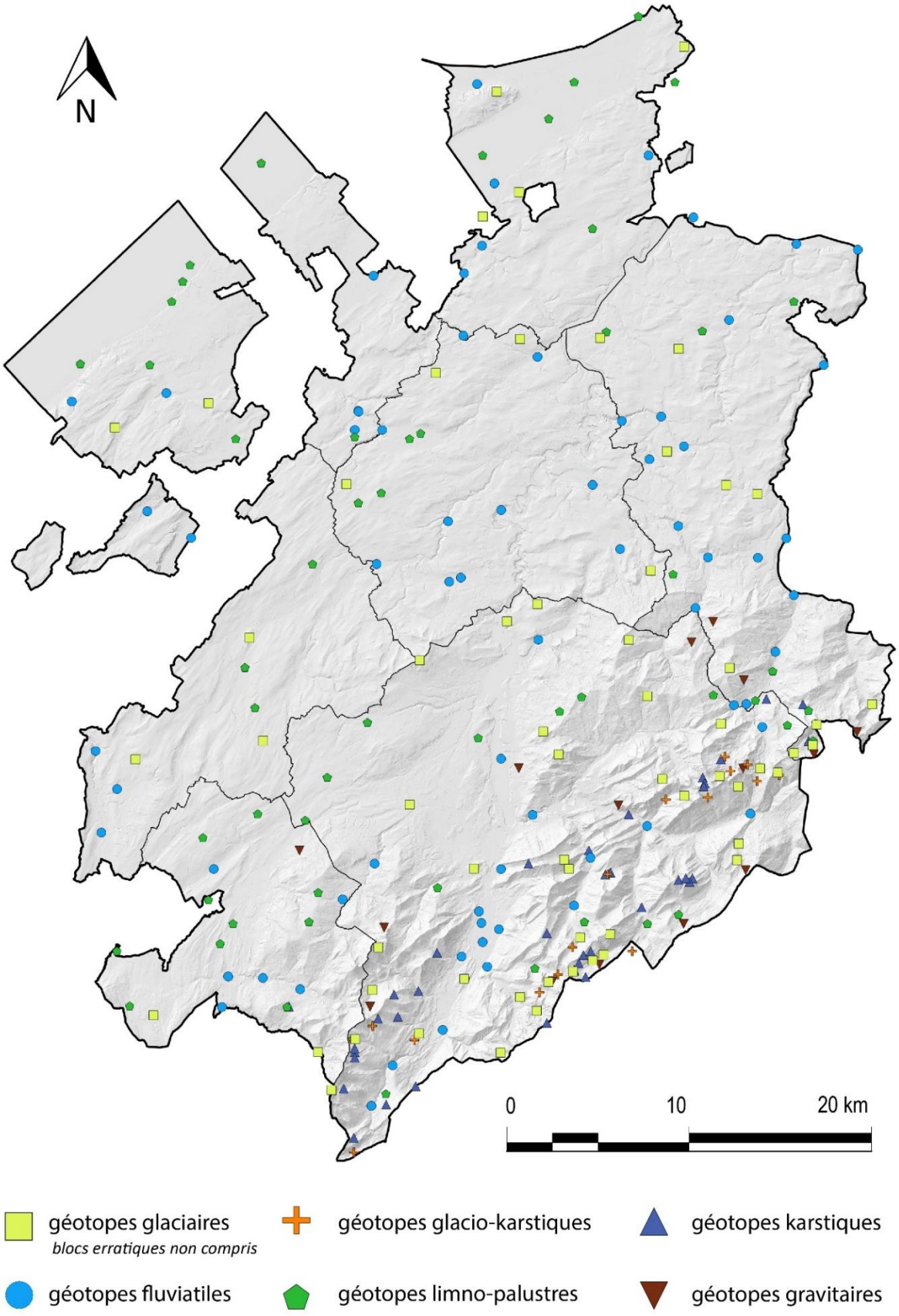


Fig. 48 : distribution des différents types de géotopes recensés par Grandgirard (1999a) et classés par processus géomorphologiques. Pour les géotopes surfaciques, le symbole correspond au centroïde de la surface géométrique. Les 65 blocs erratiques de l'inventaire ne sont pas représentés mais apparaissent sur la Fig. 70.

5.4.3.3 Méthode d'évaluation

En parallèle de son inventaire, Grandgirard (1999c) a développé une méthode d'évaluation inédite qu'il a pu appliquer aux objets géomorphologiques du canton de Fribourg (voir aussi chapitre 2.4.2) :

> L'évaluation repose sur la prise en compte de cinq critères (la représentativité, l'intégrité, la rareté, la valeur paléogéographique et la valeur en tant que site d'étude particulier). Une note comprise entre 0 et 3 est attribuée à chacun de ces critères (0 = valeur nulle, 1 = valeur faible, 2 = valeur moyenne et 3 = valeur élevée). Chaque note fait l'objet d'une argumentation tandis qu'un texte synthétique rappelle les principaux résultats de l'évaluation. (Grandgirard, 1999c : p. 64)

Dans un article intitulé *Géomorphologie et études de l'impact sur l'environnement*, Grandgirard (1997b) précise la signification de ces cinq critères qui permettent d'apprécier la valeur d'un géotope et de comparer entre eux des objets de même type :

Intégrité: utilisée essentiellement pour l'évaluation des formes isolées, l'intégrité correspond au degré de préservation des caractéristiques originelles de la forme considérée. Elle est appréciée en fonction de l'importance des sollicitations humaines.

Représentativité, exemplarité: ce facteur renvoie à la valeur didactique et à la lisibilité des phénomènes (formes et processus) observés. La représentativité s'apprécie de façon différente pour chaque catégorie d'objets géomorphologiques:

- les **formes isolées** et les ensembles de formes sont évalués par comparaison avec d'autres objets du même type, voire avec l'idéal-type de la forme ou de l'ensemble de formes;
- les **complexes de formes** sont jugés d'après leur aptitude à rendre compte de l'activité du processus responsable de leur genèse;
- les **systèmes géomorphologiques** sont appréciés en fonction de leur capacité à illustrer les caractéristiques d'une « région géomorphologique », cette dernière étant conditionnée par les conditions lithologiques, structurales et climatiques approximativement uniformes qui y règnent. Les systèmes géomorphologiques les plus représentatifs concentrent ainsi sur une surface limitée la quasi-totalité des phénomènes susceptibles de s'y trouver.

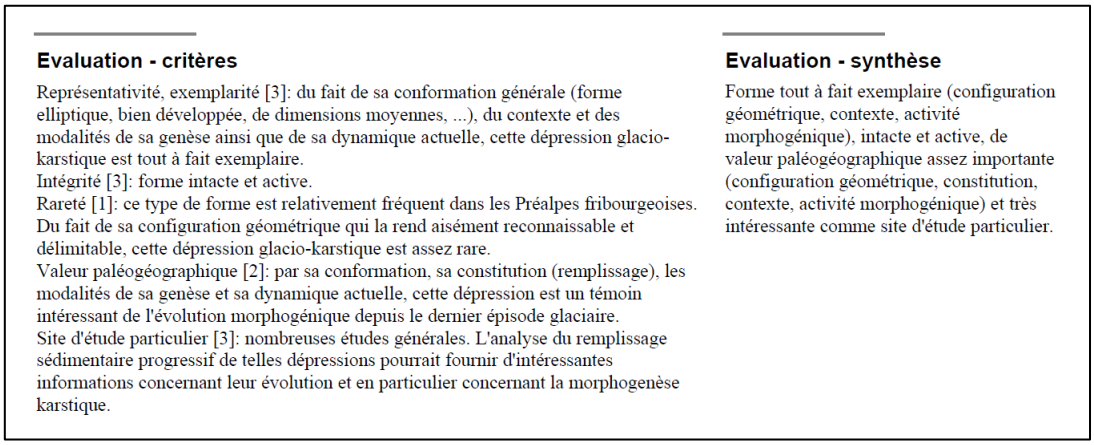
Rareté: elle s'évalue en fonction d'un espace de référence qu'il convient de préciser. La rareté que l'on s'efforce d'évaluer est à la fois celle du type d'objet géomorphologique considéré et celle de l'objet étudié, du fait de ses particularités.

Valeur paléogéographique: certains objets géomorphologiques constituent des témoins irremplaçables de l'histoire de la Terre. Leur valeur paléogéographique dépend des informations qu'ils sont susceptibles de livrer.

Site d'étude particulier: un objet géomorphologique présente une valeur scientifique accrue s'il a été, ou s'il est, l'objet d'études approfondies. Sa valeur en tant que site d'étude est liée aux connaissances accumulées ou à celles susceptibles d'être fournies par des recherches en cours ou futures.

Fig. 49 : les cinq critères d'évaluation d'un géotope géomorphologique selon Grandgirard (1997b : 83).

Dans les fiches descriptives de l'*Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg* (Grandgirard, 1999a), une rubrique est ainsi entièrement dédiée à l'évaluation du géotope. En guise d'exemple, nous proposons un extrait de l'une de ces fiches (Fig. 50):



Evaluation - critères

Représentativité, exemplarité [3]: du fait de sa conformation générale (forme elliptique, bien développée, de dimensions moyennes, ...), du contexte et des modalités de sa genèse ainsi que de sa dynamique actuelle, cette dépression glacio-karstique est tout à fait exemplaire.
Intégrité [3]: forme intacte et active.
Rareté [1]: ce type de forme est relativement fréquent dans les Préalpes fribourgeoises. Du fait de sa configuration géométrique qui la rend aisément reconnaissable et délimitable, cette dépression glacio-karstique est assez rare.
Valeur paléogéographique [2]: par sa conformation, sa constitution (remplissage), les modalités de sa genèse et sa dynamique actuelle, cette dépression est un témoin intéressant de l'évolution morphogénique depuis le dernier épisode glaciaire.
Site d'étude particulier [3]: nombreuses études générales. L'analyse du remplissage sédimentaire progressif de telles dépressions pourrait fournir d'intéressantes informations concernant leur évolution et en particulier concernant la morphogenèse karstique.

Evaluation - synthèse

Forme tout à fait exemplaire (configuration géométrique, contexte, activité morphogénique), intacte et active, de valeur paléogéographique assez importante (configuration géométrique, constitution, contexte, activité morphogénique) et très intéressante comme site d'étude particulier.

Fig. 50 : rubrique d'évaluation du géotope GKde10 « dépression glacio-karstique - SE de la Dent de Lys » extraite de l'Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg (Grandgirard, 1999a).

Le détail de la méthode d'évaluation est donné pour deux types de géotopes : les géotopes karstiques (Grandgirard & Spicher, 1997) et les blocs erratiques (Grandgirard & Schneuwly, 1997 ; voir chapitres 5.4.6 et 6.5.1). Les autres types de géotopes glaciaires tout comme les géotopes fluviatiles, limno-palustres et gravitaires n'ont par contre pas bénéficié d'articles spécifiques. Les modalités d'évaluation de ces objets ne sont donc pas connues dans le détail mais chaque fiche d'inventaire propose une justification qualitative de la note attribuée à chacun des cinq critères d'évaluation (Fig. 50).

5.4.3.4 Forces et limites de l'inventaire

Au-delà de ce rigoureux travail d'évaluation, la qualité première de cet inventaire tient à sa relative **exhaustivité**. Ce document répertorie en effet un grand nombre d'objets, couvre l'ensemble du territoire fribourgeois et donne un aperçu de la richesse et de la diversité géomorphologique du canton. Selon Grandgirard (1999b : 6), ceci justifie que l'on considérât l'intégralité des géotopes choisis « comme étant d'importance cantonale ». Du point de vue des services administratifs cantonaux cependant, ce foisonnement d'objets a été perçu - et continue de l'être - comme un obstacle à une mise en œuvre concrète puisqu'une proportion non négligeable du territoire est référencée en tant que géotope. A noter encore que la disponibilité et la qualité des outils d'analyse du relief (images aériennes, modèles numériques de terrain, cartes topographiques au 1:10'000) ont sensiblement évolué depuis la finalisation de cet inventaire. De nouvelles cartes géologiques ont également été éditées et la recherche s'est portée sur des objets peu connus dans les années 1990 (formes périglaciaires fossiles par exemple). Certains géotopes géomorphologiques d'importance sont donc passés inaperçus à l'époque.

5.4.3.5 Organisation et tri des données en vue de la sélection des GICs

En vue de l'étape de sélection finale (chapitre 6), les données de l'*Inventaire des géotopes géomorphologiques du* canton de Fribourg (Grandgirard, 1999a) ont été triées grâce aux notations attribuées par l'auteur, puis mises en relation avec les résultats de la consultation d'experts et les données des autres inventaires. Le résultat de cette organisation de données est disponible en Annexe II. La classification en six catégories morphogénétiques a été reprise tout comme les différents types de formes proposés par Grandgirard (1999a). Chaque objet a reçu un score global qui constitue la somme des notes attribuées par l'auteur aux critères de représentativité, d'intégrité, de rareté et de valeur paléogéographique. Le critère de « site d'étude particulier » ne nous semble pas réellement pertinent et a donc été abandonné. La « représentativité » a par contre reçu une pondération double puisque ce critère reflète « *l'intérêt particulier d'un géotope sur les plans esthétique, typologique, scientifique ou éducatif* », qualités qui justifient la préservation d'un géotope selon la LPnat (Art. 32, al. 1). La valeur globale maximale d'un géotope correspond donc à un score de 15 points.

Les tableaux de l'Annexe II indiquent également si les géotopes figurent aussi à l'*Inventaire des géotopes suisses* (ASSN, 2012) ou à la *Liste provisoire des géotopes géologiques du canton de Fribourg* (Berger, 1995) et s'ils ont été choisis par un ou plusieurs experts ayant participé à la consultation. Chaque occurrence compte pour un point qui vient s'additionner à l'évaluation de M. Grandgirard. Pour chaque type de géotope, ce score total permet de faire un classement en trois catégories. Certains objets se distinguent nettement de par leur notation prééminente ou le consensus qu'ils suscitent. Leur importance cantonale se justifie facilement et ils sont marqués par un carré vert. A l'opposé, un carré rouge indique les géotopes aux notes basses et peu sollicités par les experts. Entre ces deux extrêmes, les géotopes signalés par la couleur jaune doivent faire l'objet d'une appréciation approfondie, spécifique à chaque type d'objet et décrite au chapitre 6. Il faut encore faire mention du traitement particulier des blocs erratiques qui, du fait de leur singularité, ont été évalués séparément par Grandgirard. La méthodologie de sélection de ces objets est précisée aux chapitres 5.4.6 et 6.5.1.

Nous soulignons ici que la note globale fondée sur l'évaluation de Grandgirard (1999a) tout comme le score final ne doivent être utilisés que pour comparer des objets possédant des caractéristiques communes. Il serait absolument aberrant de confronter une cascade et un lapié sur la base d'une quelconque évaluation quantitative. Sur le plan méthodologique, il n'est donc pas concevable de classer l'ensemble des géotopes à partir de ces scores puis de déterminer un seuil au-delà duquel tous les objets devraient être considérés comme étant d'importance cantonale.

5.4.4 *Liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale* (Berger, 1995)

La version originale de cette liste a semble-t-il été perdue. Heureusement, Grandgirard (1999b) en fait mention dans le rapport explicatif qui accompagne son *Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg* :

> En 1995, M. le Prof. Jean-Pierre Berger, de l'Institut de Géologie et de Paléontologie de l'Université de Fribourg a été sollicité pour proposer une liste de sites géologiques de valeur sur le territoire fribourgeois. Une consultation rapide des collaborateurs (enseignants et chercheurs) de l'institut a permis de recenser 45 géotopes géologiques. Ces derniers ont été localisés sur des extraits de cartes et brièvement décrits.
>
> Outre des géotopes purement géologiques tels que des gisements fossilifères ou des affleurements rocheux particulièrement intéressants du point de vue stratigraphique, sédimentologique ou tectonique (falaises, carrières, bords de routes), cette liste comporte un certain nombre de sites qui figurent également dans l'inventaire des géotopes géomorphologiques. (Grandgirard, 1999b : 5)

Malgré des recherches dans les archives de l'Institut de Géologie de l'Université de Fribourg, aucun document comportant la localisation ou une brève description des géotopes sélectionnés n'a été retrouvé. Il faut dire qu'à l'époque, cet inventaire n'a débouché sur aucun projet concret à l'échelle cantonale et que son auteur, le Prof. Jean-Pierre Berger, est malheureusement décédé en 2012. Seule subsiste la liste rapportée par Grandgirard (1999b) disponible en Annexe III. Les coordonnées qui y figurent ont permis de localiser ces différents objets sur le territoire cantonal (Fig. 51).

Dès sa fondation, le Professeur Berger a été un membre actif du Groupe de travail suisse pour la protection des géotopes. Il a ainsi largement contribué à l'*Inventaire des géotopes suisses* (*ASSN, 2012*), ce qui explique que bon nombre de géotopes fribourgeois qui s'y trouvent faisaient déjà partie de la *liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale* (Berger, 1995). Cette liste recense tout de même une trentaine de géotopes inédits qui ne figurent ni dans l'inventaire national (ASSN, 2012), ni dans celui de Grandgirard (1999a). Des recherches bibliographiques ont donc été nécessaires afin d'appréhender la valeur géologique de ces sites qui justifiait, selon l'auteur de la liste, une importance cantonale. Plusieurs objets sont ainsi directement liés aux travaux de M. Berger qui a consacré une bonne partie de sa vie à l'étude paléontologique de la molasse de Suisse occidentale (Berger, 1979, 1992b, 1983) et à la transgression marine burdigalienne (Berger, 1989, 1992a).

Dans l'optique d'une réduction de cette liste et d'une sélection des GICs, les données ont été triées dans un tableau disponible en Annexe III. Les géotopes sont classés en 4 catégories : les affleurements d'intérêts pétrographique, stratigraphique et/ou sédimentologique, les affleurements correspondant à des sites fossilifères, les géotopes géomorphologiques et ceux concernant l'hydrogéologie. Le tableau relève ensuite la ou les unités tectoniques auxquelles appartient le géotope. Un onglet

« dépôts quaternaires » est également disponible si ce sont les dépôts meubles superficiels qui sont concernés. Une autre rubrique répertorie les différents intérêts géoscientifiques soulevés par Berger (1995). Deux colonnes signalent ensuite si le géotope considéré figure à l'*Inventaire des géotopes suisse* (ASSN, 2012) ou à celui de Grandgirard (1999a). Finalement, la dernière rubrique indique le nombre d'experts ayant choisi cet objet dans le cadre de la consultation présentée au chapitre 5.3. Lorsque plusieurs objets présentent des caractéristiques communes, ils sont regroupés et cette similitude est signalée dans l'onglet « remarque ».

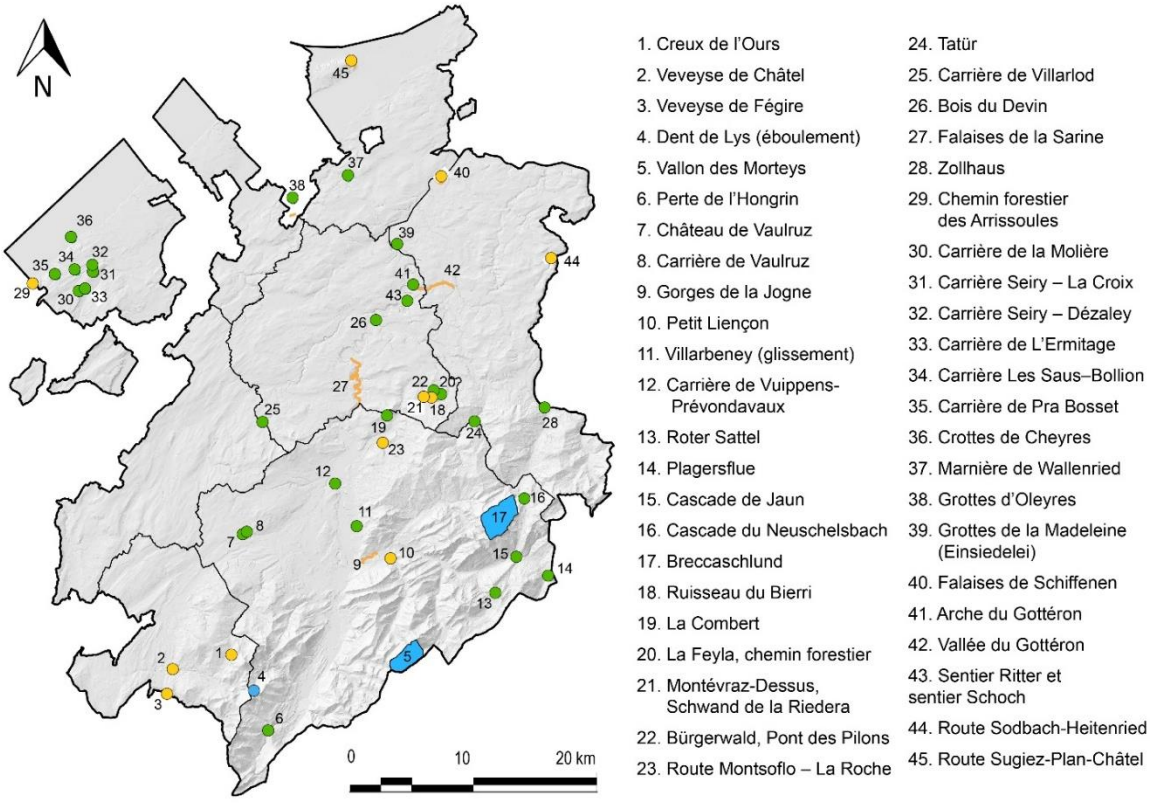


Fig. 51 : distribution des géotopes figurant sur la Liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale (Berger, 1995). Les géotopes surfaciques sont représentés en bleu, les sites ponctuels en vert et les objets linéaires en orange.

Cette organisation des données est un préalable indispensable à la sélection finale des GICs. Comme explicité précédemment, les objets figurant à l'inventaire national (ASSN, 2012) seront directement intégrés à ce nouvel inventaire. Il en va de même pour les objets relevés à la fois par Berger (1995) et Grandgirard (1999a) puisque la valeur remarquable de ces sites est reconnue aussi bien pour des raisons géologiques que géomorphologiques.

5.4.5 *Inventaire spéléologique du canton de Fribourg* (SCPF, 2013)

Entre 2007 et 2013, le Spéléo Club des Préalpes fribourgeoises (SCPF) s'est employé à la réalisation d'un *Inventaire spéléologique du canton de Fribourg* sous mandat du Service de la nature et du paysage (SNP). Ce document devrait faire l'objet de mises à jour régulières en fonction des nouvelles découvertes et explorations. A notre connaissance, la dernière mouture date de 2013. Cette version nous a été transmise par M. Martin Bochud qui a longtemps présidé le SCPF.

L'inventaire des cavités fribourgeoises référencie 334 objets. Chaque cavité a reçu un code d'identification SSS (Société Suisse de Spéléologie) et 272 sites ont été équipés d'une plaquette numérotée. Un tableau synthétique rapporte la localisation (coordonnées et altitude) de chaque entrée en surface et fournit des informations sur le développement et la dénivellation souterraine des cavités explorées (Annexe IV). Parmi ces 334 objets, 249 disposent en outre d'une fiche d'inventaire individuelle comprenant une carte de localisation ainsi qu'une photographie du site en question. L'inventaire comprend également 38 fiches qui ne décrivent non plus des entrées individuelles mais des zones d'exploration spéléologiques.

L'ensemble de ces informations est géolocalisé et disponible sur un projet *Arcgis* intitulé *Carte des karsts du canton de Fribourg*. En plus d'un *shapefile* comprenant toutes les cavités classées en fonction de leur développement, ce document cartographique intègre d'autres données géologiques (délimitation des secteurs calcaires du Malm et du Lias, coupes géologiques existantes), d'hydrogéologie karstique (sources pérennes et temporaires, estavelles et pertes, captages, points d'injection et d'observation permettant d'établir des liens hydrologiques et de déterminer des bassins d'alimentation karstiques) et spéléologiques (zones d'exploration). De cette multitude de données, nous n'avons retenu que la couche cataloguant les cavités afin de représenter la distribution de ces sites à l'échelle du canton (Fig. 52).

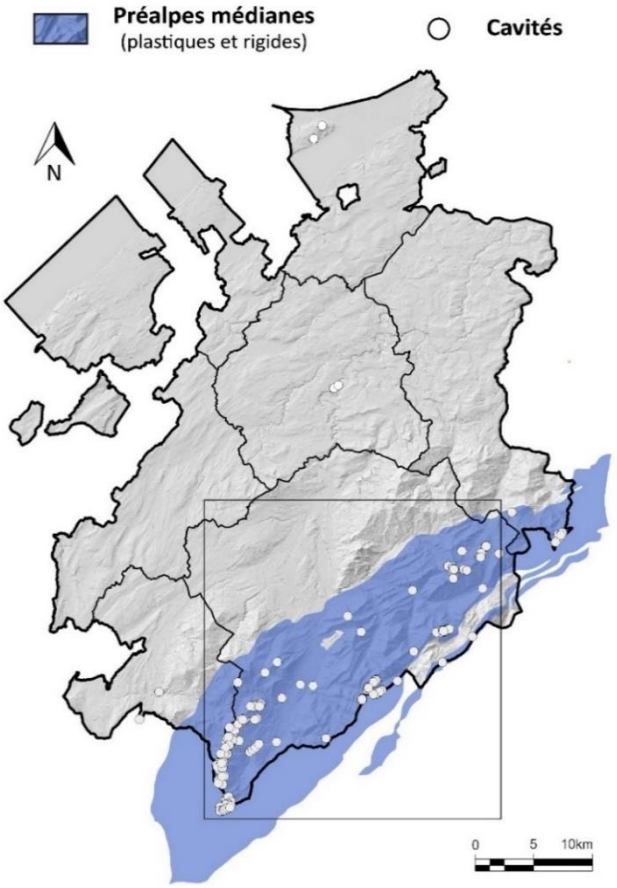


Fig. 52 : distribution des cavités du canton de Fribourg. Les cavités naturelles se trouvent exclusivement dans les Préalpes médianes. La zone encadrée, la plus riche en réseaux karstiques souterrains, est détaillée à la Fig. 67.

L'ensemble des cavités naturelles fribourgeoises se situe dans les calcaires massifs du Malm (*Fm du Moléson, Fm de la Dorfflüe*) et les calcaires plaquetés (*Fm des Sciernes d'Albeuve*) des Préalpes médianes. L'inventaire recense également quelques cavités d'origine anthropique liées à un ancien moulin (Hauterive) ou à des fortifications militaires désaffectées (grottes molassiques du Mont Vully). La réflexion ayant conduit à la désignation des géotopes spéléologiques d'importance cantonale à partir de cette multitude d'objets est détaillée au chapitre 6.4.2.

5.4.6 *Inventaire des blocs erratiques du canton de Fribourg* (Bollin, 1995)

A la demande du Musée d'histoire naturelle de Fribourg, le Dr. Roland Bollin a réalisé un inventaire recensant les blocs erratiques du canton. Rédigée en allemand et remise au musée en 1995, la liste a été augmentée de cinq blocs par Bertrand Yerly qui a effectué un stage en tant que collaborateur scientifique au sein de l'institution en 2012. L'inventaire consiste en un document *FileMaker* recensant pas moins de 811 blocs erratiques. La localisation de ces objets est représentée sur la Fig. 53 qui indique aussi l'emplacement des 65 blocs intégrés par Grandgirard (1999a) à son *Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg* (chapitre 5.4.3).

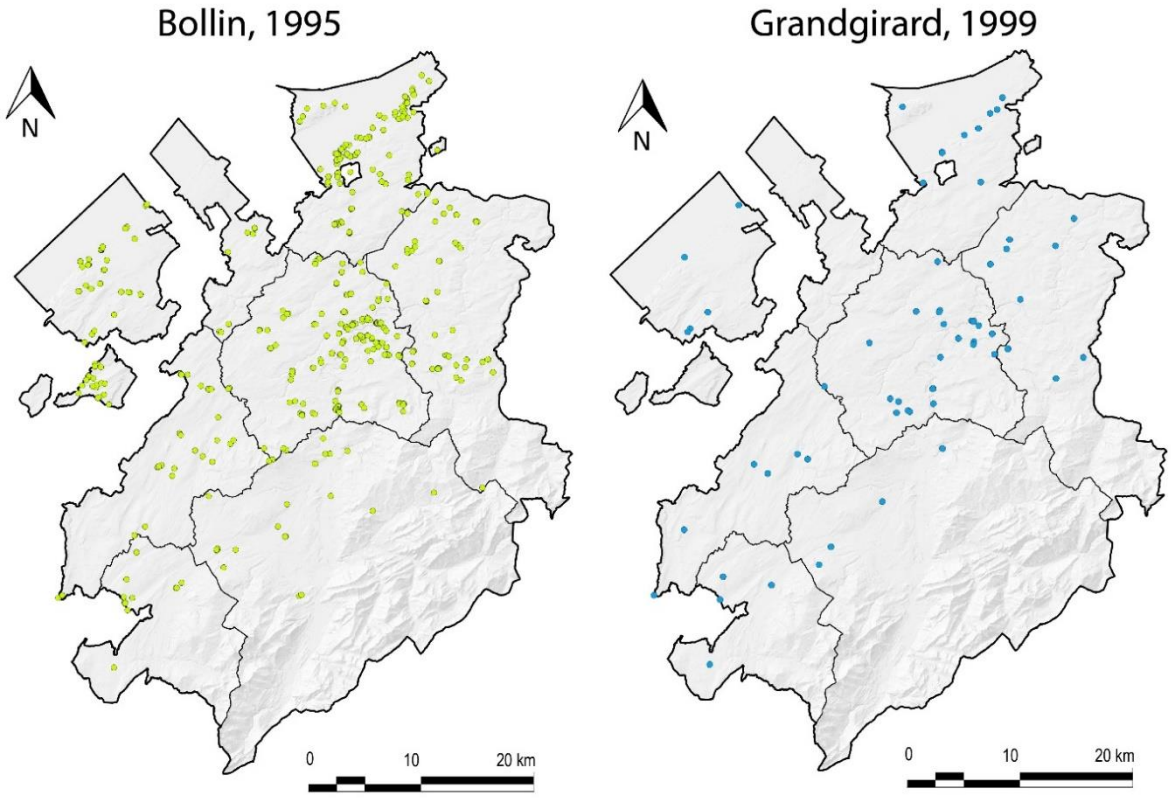


Fig. 53 : distribution des blocs erratiques répertoriés par Bollin (1995) et sélection restreinte proposée par Grandgirard (1999a).

Dans sa base de données, Bollin (1995) spécifie la localisation actuelle des blocs ainsi que leur position de découverte lorsque ces objets ont été déplacés. D'ailleurs, seuls 133 blocs occupent leur position

originelle et sont référencés avec la mention *in situ*. Outre des considérations géométriques conduisant à une estimation de volume et de poids, le Dr. Bollin s'est également employé à décrire le lieu et le contexte ayant conduit à la découverte ou l'excavation des blocs erratiques. Il propose également une description minéralogique complète lui permettant de déterminer le type de roche en présence, son appartenance à une unité tectonique voire stratigraphique, et d'en déduire une origine probable. Le Musée d'histoire naturelle, qui souhaite que cet inventaire reste confidentiel, archive un certain nombre de diapositives ainsi que des lames-minces de roche ayant servi à l'étude de ces blocs.

La profusion des blocs erratiques qui parsèment le plateau suisse rend illusoire toute ambition d'inventaire exhaustif. Un grand nombre de blocs référencés sur les cartes géologiques récentes ne figure d'ailleurs pas dans l'inventaire pourtant bien étoffé de Bollin (1995). Dans un souci d'harmonisation, il pourrait ainsi être utile d'agglomérer ces informations dans une base de données unique et centralisée. Dans tous les cas, cette quantité pléthorique d'objet, tout comme la disparité des données qui les documentent, constituent un obstacle majeur en vue d'une sélection des blocs erratiques d'importance cantonale. C'est pourquoi nous préférons nous baser sur la liste restreinte de 65 blocs intégrés par Grandgirard (1999a) à son inventaire géomorphologique. Cette sélection se fonde sur une approche méthodologique solide et rigoureuse axée sur les critères de volume et de rareté lithologique (voir chapitre 6.5.1). Cette méthode a d'ailleurs fait l'objet d'une publication exclusive (Grandgirard et Schneuwly, 1997). L'inventaire de Bollin (1995) constituera donc uniquement une source d'informations complémentaires pour documenter ces objets de plus grande valeur.

5.4.7 *Inventaire des sites fossilifères fribourgeois* (Berger, 1998 ; Yerly, 2012)

L'institut de Géologie de l'Université ainsi que le Musée d'histoire naturelle de Fribourg (MHNF) conserve un document *FileMaker* recensant 305 sites fossilifères fribourgeois et sept gisements se situant juste en dehors des limites du canton (Fig. 54). La majorité des fiches d'inventaire (voir Annexe V pour un exemple) de cette base de données ont été réalisées en 1998 dans le cadre de travaux pratiques de paléontologie dirigés par le Prof. Jean-Pierre Berger. En plus de ces fiches descriptives générales, le fichier *FileMaker* permet d'accéder à la liste complète des espèces fossiles trouvées sur chaque site et généralement conservées dans les différentes collections du musée ou de l'Institut de Géologie. A partir de ces index, le niveau d'abondance en fossiles a été évalué sur une échelle de 0 à 3 pour chacune des 11 catégories de l'inventaire. Celles-ci correspondent à des embranchements (*Phylum*) ou classes (*classis*) du monde vivant (unicellulaires, palynomorphes, lophophoriens, bivalves et gastéropodes, arthropodes, porifères et cnidaires, céphalopodes, échinodermes, végétaux, vertébrés) ou, pour la onzième, à des traces fossiles retrouvées dans les roches.

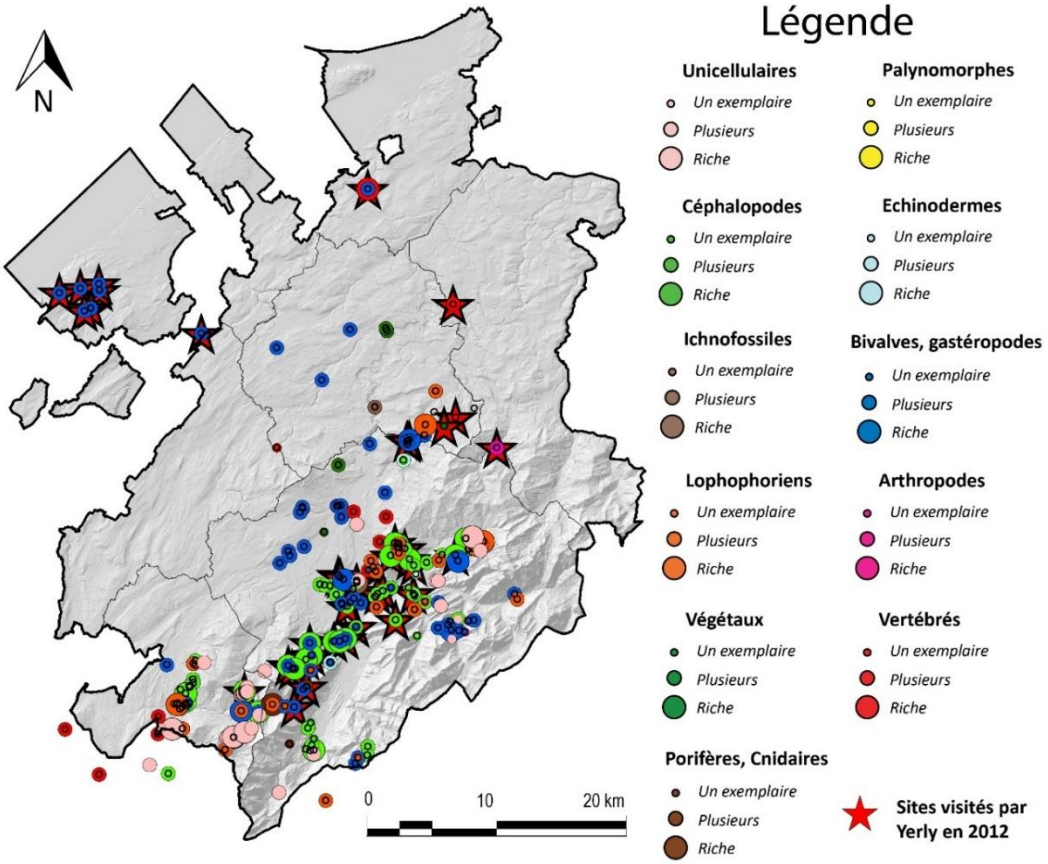


Fig. 54 : carte de distribution des paléotopes réalisée par Yerly (2012) à partir des données de l'inventaire de Berger (1998).

Cet inventaire constitue donc une source d'informations précieuse pour évaluer l'abondance et la diversité paléontologique des différents sites fossilifères. Il souffre cependant de quelques lacunes et imprécisions et d'un manque global d'homogénéité. En effet, les fiches ont été réalisées sur la base de recherches bibliographiques et non sur des observations directes de terrain. Par conséquent, certains champs n'ont pas pu être complétés et la visibilité actuelle de certains affleurements n'est pas garantie. Certaines coordonnées sont approximatives ou absentes et seuls 226 sites ont pu être représentés sur carte. De plus, la base de données n'a pas été réactualisée depuis sa création et les découvertes récentes (Gisement würmien du Bärenloch ou marnière de Wallenried p.ex.) n'y sont donc pas répertoriées. L'inventaire des sites fossilifères fribourgeois ne doit donc pas être considéré comme un document exhaustif. Pour preuve, aucun site n'est recensé dans certaines régions pourtant riches en fossiles comme les secteurs des Morteys, des Gastlosen ou de la Hochmatt.

En se fondant sur cette base de données préexistante, Bertrand Yerly, collaborateur scientifique au sein du MHNF, a réalisé une carte informatisée (*ArcGis*) dont la symbologie représente les différents gisements en fonction du type et de l'abondance des fossiles mis au jour (Fig. 54). Monsieur Yerly a également visité 34 sites figurant à l'inventaire afin de dresser un état des lieux de ces gisements et de réaliser des fouilles sommaires. Ce travail a débouché sur un rapport de terrain (Yerly, 2012) qui évalue l'accessibilité des sites, décrit l'état ainsi que la lithologie des affleurements et liste les fossiles

retrouvés lors de ces fouilles rudimentaires. Ceux-ci ont été référencés et sont venus enrichir les collections du musée. La dernière section du rapport est consacrée aux possibles menaces et au potentiel de la valorisation des sites en question.

Dans l'optique d'une sélection des sites fossilifères d'importance cantonale, les données de l'inventaire ont été classées à partir de l'évaluation réalisée par le Prof. Berger et ses étudiants. Un score global est calculé en additionnant simplement les notes d'abondance (allant de 0 à 3) de chacune des 11 catégories. Les 56 sites ayant obtenu un score total supérieur à six points figurent aux tableaux de l'Annexe V.

5.4.8 *Liste des unités stratigraphiques et coupes-types du canton* (CSS, Swisstopo)

Le Comité Suisse de Stratigraphie (CSS) affilié à l'Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT) s'est associé au Service géologique national de Swisstopo pour réaliser un *Lexique lithostratigraphique de la Suisse*. Disponible en ligne (strati.ch), ce portail propose une synthèse des connaissances stratigraphiques et fournit des informations détaillées sur l'ensemble des unités lithostratigraphiques (roches et dépôts meubles) du Jura, du Plateau, des Préalpes et des Alpes suisses : âge, statut, nomenclature actuelle et ancienne, épaisseur, présence de fossiles, distribution géographique, brève description pétrographique, etc.

Le lexique a aussi pour but d'harmoniser la nomenclature en usage dans la littérature scientifique et dans les cartes géologiques du pays. Il existe en effet une très forte disparité dans les dénominations employées pour désigner les différentes unités stratigraphiques (groupes, formations, membres, bancs). En guise d'exemple la « Formation du Moléson », dénomination approuvée par le CSS et le Service géologique national, a été désignée d'une dizaine de façons depuis les années 1920 et l'appellation de « calcaires massifs », pourtant invalide, est encore largement usitée par les géologues. Pour remédier à cette confusion, le CSS a également publié des *Directives pour l'usage de la nomenclature stratigraphique* (Remane et al., 2005). Ce document encadre l'instauration de nouvelles unités lithostratigraphiques et encourage l'abandon des anciennes dénominations. Actuellement, le Service géologique national procède à la standardisation des unités stratigraphiques des cartes géologiques et à leur harmonisation au niveau de la représentation graphique (projet geocover).

Le lien entre stratigraphie et géotope se fait par l'intermédiaire des **coupes-types**. Il s'agit d'affleurements particulièrement bien exprimés ayant permis la définition, la délimitation et la description lithologique d'une unité stratigraphique spécifique. Lorsque les limites d'une unité ne sont pas exposées dans la coupe-type, une **coupe de référence** peut également exister et documenter une transition entre deux strates. Les coupes-types ne doivent pas être confondues avec les **localités-types**

qui sont simplement les toponymes ayant prêté leur nom à une unité stratigraphique déterminée. Sur les cartes géologiques au 1/25'000, le nom de ces localités-types (villages, sommets, cours d'eau) est encadré alors que les coupes-types sont représentées par un symbole ponctuel de forme triangulaire.

Pour Remane et al. (2005 : 393), « *les coupes-types et les coupes de référence devraient si possible être des géotopes protégés* ». Nous avons donc pris contact avec Monsieur Alain Morard, président du Comité Suisse de Stratigraphie, qui nous a transmis une liste recensant les unités lithostratigraphiques et tectoniques ainsi que les faciès pétrographiques représentés dans le canton. Parmi ces unités, certaines sont approuvées par la commission et d'autres utilisées de manière informelle ou uniquement employées à une échelle locale. D'autres unités lithostratigraphiques sont obsolètes ou doivent faire l'objet de validation. Ceci démontre le caractère inachevé de cette liste et le travail d'harmonisation qui reste à accomplir. D'ailleurs, parmi les 97 unités cataloguées dans le canton, seules 18 possèdent une coupe-type expressément répertoriée sur les cartes géologiques (Fig. 55 et Annexe VI).

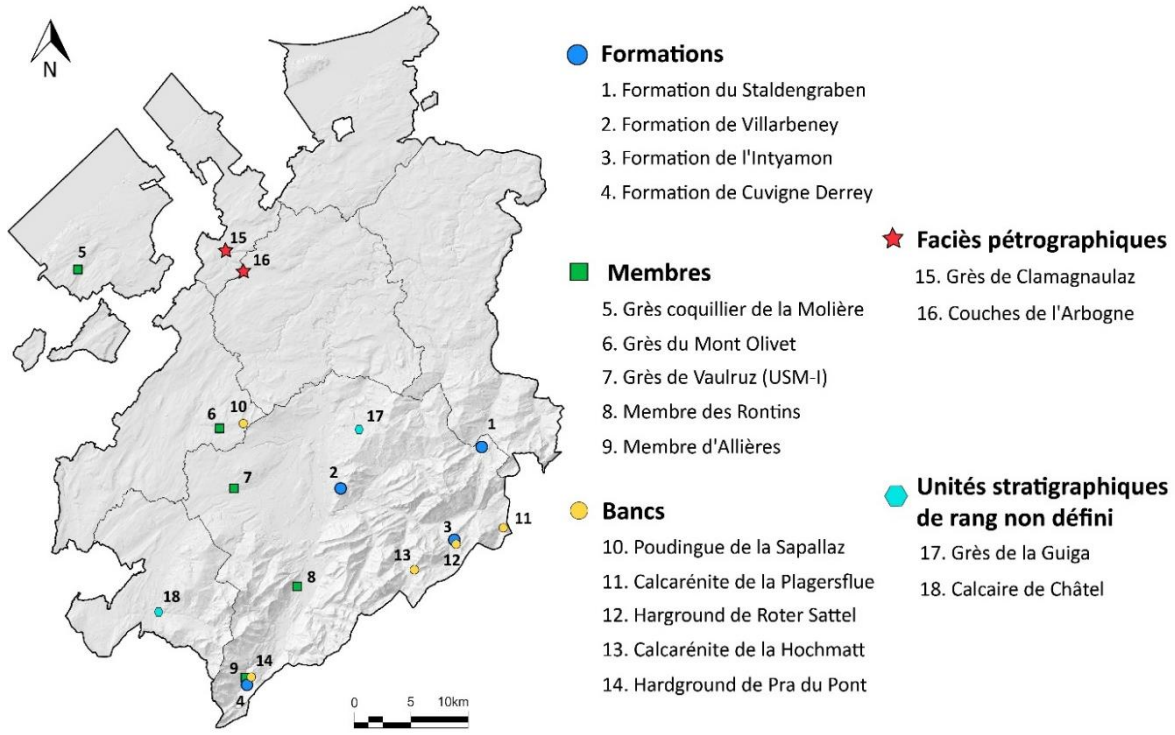


Fig. 55 : coupes-types représentées en territoire fribourgeois d'après les données du Lexique lithostratigraphique de la Suisse (CSS, SCNAT).

Au vu de son caractère lacunaire, cette liste ne peut pas, en l'état, servir à distinguer des géotopes stratigraphiques d'importance cantonale. Elle devrait en effet être complétée et vérifiée (notamment les coordonnées précises des coupes-types), tâche qui dépasse le cadre du présent travail et qui incombe au CSS ou au Service géologique national. Après révision, l'ensemble des coupes-types inventoriées devraient être considérées au moins comme des géotopes d'importance locale.

5.4.9 *Inventaire des géomorphosites du Parc régional naturel Gruyère-Pays d'Enhaut* (Duhem, 2008 ; Bussard, 2014)

Deux mémoires universitaires soutenus à l'Université de Lausanne se sont portées sur le patrimoine géomorphologique du Parc régional naturel Gruyère-Pays d'Enhaut. Il s'agit des travaux de Duhem (2008) et de Bussard (2014) qui, sur la base d'une méthode d'inventorisation rigoureuse, ont documenté les géomorphosites les plus remarquables de la région valdo-fribourgeoise tout en évaluant la valeur scientifique, et les possibilités de valorisation future de ces sites. La vingtaine d'objets fribourgeois figurant dans l'un ou l'autre de ces inventaires est listée en Annexe VII alors d'une carte synoptique réalisées par Bussard (2014) est reprise ci-dessous (Fig. 56). La plupart de ces géotopes figurent déjà à l'inventaire de Grandgirard (1999a) avec tout de même quatre nouveaux objets qui seront pris en compte lors de la phase de sélection (chapitre 6). Il s'agit des *Synclinaux perché de la chaîne des Vanils*, des *Éboulis soufflants de la combe de Vudèche*, du *Glacier rocheux fossile soufflant de Gros Chadoua*, et de la *Succession de verrous et ombilics glaciaires de Bounavaux*.

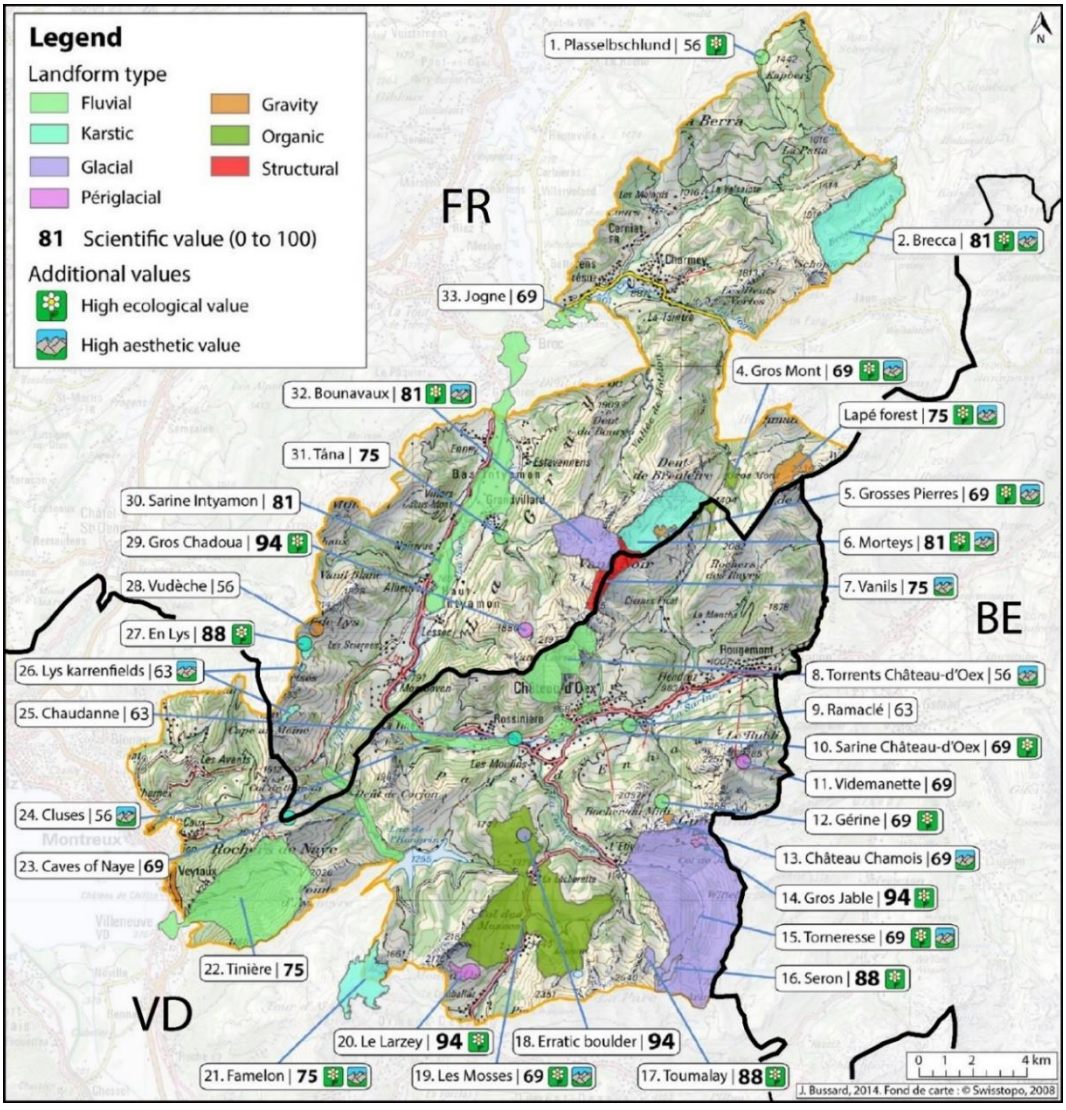


Fig. 56 : distribution des géomorphosites du PNR Gruyère - Pays-d'Enhaut et évaluation de leur valeur scientifique sur une échelle de 0 à 100. Bussard (2014) repris dans Reynard et al. (2016), modifié.

5.5 Documentation des géotopes

L'objectif premier de ce travail de Master est d'établir une liste des géotopes fribourgeois d'importance cantonale. Il s'agira ensuite de documenter ces différents objets. Le présent travail ne fait que poser les bases de ce vaste projet qui se poursuivra en dehors du cadre académique. Trois éléments sont essentiels pour un inventaire abouti : les fiches d'inventaire, une base de données ainsi que la délimitation et la représentation cartographique des objets sélectionnés.

5.5.1 Réalisation de fiches d'inventaire

La fiche d'inventaire représente un document indispensable pour justifier l'intérêt scientifique d'un géotope. Ces fiches permettent également de transmettre l'importance du patrimoine géologique, du milieu académique vers la sphère de l'action politique. Elles doivent également être appréhendées comme une première étape de la mise en valeur de ces objets. Un projet de géomorphologie, réalisé parallèlement à ce travail de Master, avait pour but la création d'une fiche d'inventaire type pour documenter les géotopes fribourgeois d'importance cantonale. Pour l'heure, 11 GICs ont été inventoriés en utilisant cette fiche de référence (voir Annexe IX). La forme définitive de ces fiches doit encore être finalisée, et leur contenu validé. A l'avenir, certaines rubriques pourraient être supprimées afin de réduire le temps, fort conséquent, nécéssaire à la réalisation d'une fiche.

5.5.2 Création d'une base de données

Dans le cadre de ce travail, une base de données (Annexe VIII) a été réalisée afin d'effectuer une analyse quantitative des résultats de l'inventaire (voir chapitre 7.1). Seuls les attributs utiles à l'analyse ont été listés pour le moment : types d'intérêts géoscientifiques, substrats géologiques représentés, distinction entre formes passives/actives et géotopes naturels/artificiels. Par la suite, cette base de données sera complétée à partir des informations figurant sur les fiches d'inventaire de chaque objet.

5.5.3 Délimitation et représentation cartographique des géotopes

La délimitation précise des géotopes sélectionnés est indispensable pour une gestion efficiente de ces sites. Cette étape doit se faire en même temps que la réalisation des fiches d'inventaire. Pour le moment, l'ensemble des géotopes a été localisé de façon ponctuelle afin de réaliser la carte de la Fig. 87. Par la suite, il s'agira de donner des limites précises à ces objets qui peuvent représenter des entités ponctuelles, linéaires ou surfaciques. La symbologie (code couleur) devra permettre de distinguer les différentes catégories de géotopes. Enfin, la base de données sera reliée à ces entités vectorielles pour que l'ensemble des informations soit disponibles à partir d'un logiciel SIG. Un hyperlien devrait également permettre l'accès à la fiche d'inventaire de chaque géotope à partir de ces géodonnées.

6 Sélection des géotopes d'importance cantonale

Les inventaires présentés au chapitre 5.4 totalisent près de 2000 objets et la consultation d'experts a apporté son lot de nouveaux géotopes. Le passage en revue de ces données a permis d'opérer un premier tri, en éliminant les objets quelconques et en mettant en lumière des géotopes plus singuliers. Il s'agit maintenant d'**établir la liste finale des géotopes fribourgeois d'importance cantonale** en prenant en compte les objectifs généraux et les critères d'évaluation définis au chapitre 5.2. A cause de la diversité typologique des géotopes, cette sélection ne peut se faire que par catégories d'objets géo(morpho)logiques. En effet, les caractéristiques, et donc les critères de sélection, varient pour chaque type de géotope investigué. C'est pourquoi ce chapitre est organisé en sept catégories thématiques, parfois subdivisées en sous-catégories :

- **Grands ensembles structuraux et géotopes d'intérêt tectonique**
- **Affleurements rocheux**
    - Sites fossilifères
    - Structures sédimentaires, faciès pétrographiques, coupes-types et successions stratigraphiques remarquables
    - Géotopes résultant de l'exploitation humaine
- **Géotopes gravitaires**
- **Géotopes karstiques**
    - Formes karstiques de surface
    - Cavités et réseaux souterrains (géotopes spéléologiques)
    - Pertes et sources karstiques
- **Géotopes d'origine glaciaire et périglaciaire**
    - Blocs erratiques
    - Formes d'érosion et de dépôts glaciaires
    - Formes périglaciaires fossiles et pergélisol de moyenne altitude
- **Géotopes fluviatiles**
- **Géotopes lacustres et palustres**

Chaque sous-chapitre est lui-même structuré en sept parties. Le **point a** décrit l'intérêt scientitifique des géotopes investigués. Le **point b** présente les sources de données consultées. Le **point c** décrit la méthode et les critères de sélection spécifiques aux types d'objets considérés. Le **point d** présente les GICs retenus après cette étape de sélection. Certains géotopes peuvent être classés dans plusieurs catégories thématiques. Dans ce cas, l'objet est mentionné à plusieurs reprises. Le **point e** fait ensuite état de la vulnérabilité des géotopes abordés dans le chapitre, en listant d'éventuelles menaces susceptibles d'altérer ces objets. Enfin, le **point f** propose quelques mesures de gestion spécifiques à la catégorie géo(morpho)logique investiguée.

6.1 Grands ensembles structuraux et géotopes d'intérêt tectonique

Cette catégorie a été créée pour y inclure des géotopes géologiques de grande extension (plusieurs km^2). Ceux-ci témoignent des modalités de mise en place des grandes unités tectoniques qui constituent l'armature des reliefs fribourgeois. Elle inclut également des objets de taille plus modeste qui témoignent de ces mouvements tectoniques et de l'agencement structural que ceux-ci induisent.

Fig. 57 : la chaîne des Gastlosen constitue une structure géologique emblématique des Préalpes médianes rigides. Elle illustre le comportement cassant de cette unité soumise à de fortes contraintes tectoniques lors de l'orogenèse préalpine.

a. Intérêt scientifique

Les forces tectoniques ont contribué à la formation des Préalpes, à l'écaillage de la molasse subalpine située au front de la chaîne et au soulèvement du bassin molassique tout entier. Les plis, anticlinaux, synclinaux, failles et chevauchements témoignent de ces grands mouvements de terrain qui ne peuvent se concevoir qu'à l'échelle des temps géologiques. Du fait de leurs propriétés pétrographiques variées, les roches ont réagi de façons différentes aux contraintes tectoniques. Les formations et unités stratigraphiques les moins compétentes se sont déformées de façon ductile en formant des structures plissées caractéristiques (anticlinaux et synclinaux). Au contraire, les ensembles géologiques plus rigides se sont cassés en grandes plaques monolithiques. La chaîne des Gastlosen constitue l'exemple-type de ce phénomène (Fig. 57). Soumises à l'érosion depuis leur émersion, ces structures géologiques d'envergure constituent des éléments distinctifs du relief, à l'échelle cantonale ou plus localement. Certaines éminences molassiques ou sommets préalpins forment ainsi des composantes remarquables du paysage, au point de devenir parfois l'emblème de toute une région. Les géotopes considérés dans ce chapitre constituent donc à la fois des clés de compréhension de ces différents mécanismes tectoniques mais aussi des sites représentatifs des différentes unités géologiques du canton.

b. Sources de données

Les données de deux inventaires ont été utilisées pour le choix des « grands ensembles géologiques et structuraux » d'importance cantonale :

- ***Inventaire des géotopes suisses*** **(ASSN, 2012) :**
  Parmi les 15 géotopes suisses en territoire fribourgeois, seul un dispose d'un intérêt structural prédominant. Il s'agit de la *Chaîne des Gastlosen*. Cet intérêt structural est également mentionné comme intérêt scientifique secondaire pour le géotope spéléologique *Réseau des Morteys et Gouffre des Diablotins*. Même si la dimension structurale de la Vallée glacio-karstique du Breccaschlund n'est pas spécifiée, nous considérons également cet objet comme un site d'importance sur le plan tectonique.

- ***Liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale*** **(Berger, 1995) :**
  Dans cette liste, l'intérêt tectonique n'est attribué qu'à trois géotopes sur 45 objets catalogués. Il s'agit du *Chemin forestier des Arrissoules*, à la frontière valdo-fribourgeoise, du *Vallon des Morteys* et de l'affleurement de molasse subalpine de la *Route Montsoflo – la Roche*. A notre avis, d'autres objets de la liste sont importants d'un point de vue structural ou tectonique même si cet intérêt n'est pas mentionné. C'est notamment le cas de la *Cascade du Neuschelsbach,* des *carrières de Vuippens-Prévondavaux* et *de Vaulruz*, localisées dans une écaille de molasse subalpine de l'UMM, ou encore du vallon synclinal du *Breccaschlund*. Aucun document explicatif n'accompagne cette liste si bien que des recherches bibliographiques sont nécessaires pour apprécier la réelle valeur de ces sites.

Des géotopes tectoniques ou structuraux n'apparaissant pas dans ces deux inventaires ont également été proposés par les experts qui ont participé à la consultation : les sommets de la *Berra*, de la *Brendelspitz* et du *Moléson* ainsi que celui du *Bifé* ou l'ensemble du *massif du Montsalvens* dans lequel il se situe. Le promontoire sur lequel s'est installée la *Cabane des Clés* a également été cité car ce site représente la base de la nappe des Préalpes médianes plastiques. Notons encore qu'une partie des géotopes géomorphologiques recensés par Grandgirard (1999a) sont aussi liés à un contexte structural ou à des contraintes tectoniques particulières : cluses, vallées, collines d'érosion glaciaire, etc.

c. Méthode et critères de sélection

L'ensemble des structures tectoniques qui forment les Préalpes fribourgeoises peuvent être considérées comme des géotopes à part entière. Cette complexité tectonique est beaucoup moins marquée sur le plateau fribourgeois et s'estompe à force que l'on s'éloigne du front des Préalpes. Seule la molasse dite subalpine y a subit une tectonisation significative. Par répercussion, les hauts reliefs conglomératiques qui la bordent, le Gibloux notamment, ont aussi été légèrement redressés et renferment encore des plissements relativement importants (Weidmann, 2005). Au nord-est de ces contreforts molassiques, le pendage du substrat rocheux n'excède jamais quelques degrés

Pour opérer un choix parmi ces géotopes de grande dimension, l'accent a été mis sur la lisibilité des structures tectoniques, ce qui nécessite généralement l'adoption d'une large échelle d'observation. Une attention particulière a également été portée à la représentativité de l'ensemble des unités tectoniques constitutives du bassin molassique et des Préalpes. Les géotopes choisis ici témoignent donc de l'histoire tectonique globale et de l'agencement structural complexe des reliefs emblématiques du paysage fribourgeois.

d. Géotopes retenus

Considérant ces critères de sélection, les géotopes suivant ont été retenus en tant que géotopes d'importance cantonale :

n°	Nom	unité tectonique
1	**Relief molassique du Mont Gibloux**	Molasse du Plateau : OMM
2	**Ecaille de molasse subalpine du Stoutz**	Molasse subalpine : USM
3	**Ecaille de molasse subalpine de Champotey et carrière de Prévondavau**	Molasse subalpine : UMM
4	**Ecaille de molasse subalpine et gisement fossilifère marin de Vaulruz**	Molasse subalpine : UMM
5	**Massif du Montsalvens**	Préalpes : Ultrahelvétique
6	**Sommet de la Berra**	Préalpes : Nappe du Gurnigel
7	**Chrüzflue et lentille de gypse du Burgerwald**	Préalpes : Nappe du Gurnigel / mélange infrapréalpin
8	**Structure plissée des Dents de Broc, du Chamois et du Bourgo**	Préalpes médianes plastiques
9	**Synclinal perché du Moléson**	Préalpes médianes plastiques
10	**Vallon synclinal des Morteys** y.c. Complexe glacio-karstique - Eboulement des Grosses Pierres	Préalpes médianes plastiques
11	**Vallon structural du Breccaschlund** y.c. Complexe glacio-karstique - Gisement à faune würmienne du Bärenloch	Préalpes médianes plastiques
12	**Chaîne des Gastlosen**	Préalpes médianes rigides
13	**Olistolithe de la Brendelspitz**	Préalpes supérieures

Des géotopes sélectionnés dans d'autres catégories thématiques partagent également des intérêts tectoniques ou structuraux :

n°	Nom	unité tectonique
48	**Succession de verrous et ombilics glaciaires**	Préalpes médianes plastiques
49	**Colline d'érosion glaciaire du Mont Vully**	Molasse du Plateau : OMM/USM
50	**Colline d'érosion glaciaire de Romont**	Molasse du Plateau : OMM
51	**Collines d'érosion glaciaire Gruyères – Pringy – Bérauta**	Préalpes médianes plastiques
52	**Collines d'érosion glaciaire Remaufens – Châtel-St-Denis**	Molasse subalpine : USM
53	**Collines d'érosion glaciaire des Cressets**	Préalpes médianes plastiques
37	**Alignement de dolines de gypse du Mongeron**	Préalpes médianes plastiques
38	**Complexe karstique Hochmatt – In den Löchern**	Préalpes médianes plastiques
69	**Cascade de l'Euschelsbach**	Préalpes médianes plastiques
82	**Cluse, gorges et carrière de calcaire de l'Evi**	Préalpes médianes plastiques
83	**Succession de cluses et défilés de la Jogne**	Préalpes médianes plastiques
89	**Gros Mont** Plaine marécageuse – Collines d'érosion glaciaire du Jeu de Quilles – défilé des Escalier du Mont	Préalpes médianes plastiques

e-f. Vulnérabilité et mesures générales de gestion

De par leur dimension, les géotopes référencés ici ne sont pas menacés sur le plan géologique et ne nécessitent donc pas de mesure de gestion particulière. Ces objets géologiques de grande dimension peuvent toutefois intégrer des sites remarquables de plus petite taille et qui nécéssitent des mesures de gestion spécifiques (voir chapitres suivants).

6.2 Affleurements rocheux

6.2.1 Sites fossilifères

Les gisements fossilifères, parfois appelés paléotopes, constituent des affleurements naturels (falaises, lits de ruisseaux) ou mis au jour artificiellement (carrières, chantiers, travaux d'excavation, etc.), connus pour leur contenu en fossiles. Dans le canton de Fribourg, ces sites témoignent, de manière lacunaire, de formes de vie du début du Mésozoïque (~250 Ma) jusqu'au Burdigalien (~16 Ma). Dans ce chapitre, nous considérerons également les dépôts meubles quaternaires dans lesquels ont été découverts des restes d'animaux ou de plantes qui ne constituent pas, à proprement parler, des fossiles. Ces restes non pétrifiés témoignent d'un passé beaucoup plus récent et permettent de reconstituer la faune et la flore des derniers cycles glaciaires et interglaciaires du Quaternaire.

Fig. 58 : le squelette d'Ichtyosaure découvert dans les couches toarciennes du Creux de l'Ours est sans aucun doute le fossile le plus célèbre mis au jour dans le canton de Fribourg (© MHNF).

a. Intérêt scientifique

Les fossiles constituent des archives de l'histoire de la vie. Il s'agit de restes minéralisés ou de simples moulages d'organismes vivants conservés dans des roches sédimentaires. Il peut également s'agir de traces laissées par les organismes dans un sédiment meuble et dont la marque a été sauvegardée : empreintes de pas, coquilles d'œufs, nids, terriers ou trace de bioturbation laissées par des animaux fouisseurs. On parlera alors d'ichnofossiles. L'étude des formes de vie fossilisées, objet de la paléontologie, permet de reconstruire l'évolution des espèces au cours du temps. Les « fossiles stratigraphiques », caractérisés par leur abondance, une grande extension géographique et une existence réduite à l'échelle des temps géologiques du fait d'une évolution rapide, permettent de dater les couches de roches de manière relative. Dans un autre registre, les « fossiles de faciès » sont caractéristiques d'un milieu de vie spécifique. Etayée par des études sédimentologiques, leur présence dans les roches sédimentaires permet la reconstitution de paléoenvironnements et, à plus grande échelle, d'une paléogéographie. Ainsi, un changement de contenu fossilifère entre deux bancs pourra témoigner d'une modification des conditions de vie dans le bassin sédimentaire ou, parfois, d'un événement catastrophique majeur ayant débouché sur une extinction de masse.

b. Sources de données

Pour la sélection des sites fossilifères d'importance cantonale, les données de trois inventaires ont été utilisées :

- ***Inventaire des géotopes suisses*** **(ASSN, 2012)**
  Dans sa version finale, cet inventaire comprend un seul géotope fribourgeois d'intérêt essentiellement paléontologique. Il s'agit de l'objet n°122 *Fossiles du Creux de l'Ours*. En annexe, le groupe de travail propose également le gisement de mammifères aquitaniens de la *marnière de Wallenried* comme éventuel futur géotope d'importance nationale.

- ***Liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale*** **(Berger, 1995)**
  Sur 45 objets, cette liste recense 22 géotopes ayant un intérêt paléontologique. Parmi ces 22 sites, pas moins de 19 concernent la molasse, ce qui n'est pas étonnant puisque le Prof. J.-P. Berger a consacré une grande partie de sa vie à l'étude du contenu fossilifère de la molasse de Suisse occidentale (Berger, 1985, 1992). L'intérêt paléontologique des géotopes est toujours couplé à un intérêt stratigraphique et, parfois, à d'autres intérêts connexes (géomorphologique, géohistorique). La plupart de ces sites figure également à l'inventaire des sites fossilifères fribourgeois. L'inventaire de Berger (1995) étant resté à l'état d'une simple liste, des recherches bibliographiques complémentaires sont requises pour appréhender l'intérêt de chaque site.

- ***Inventaire des sites fossilifères fribourgeois*** **(Berger, 1998)**
  Avec 305 sites cantonaux, cet inventaire constitue la source la plus complète sur les gisements fossilifères du canton. Chaque fiche d'inventaire propose un index des différentes espèces mises au jour. L'évaluation de l'abondance des différentes catégories de fossiles sur une échelle de 1 à 3 (absent = 0, un exemplaire = 1, plusieurs = 2, riches = 3) permet de mettre en évidence les sites particulièrement abondants et diversifiés d'un point de vue paléontologique (Annexe V). Le rapport de terrain de Yerly (2012) a également été consulté pour apprécier l'état actuel d'une trentaine de gisements.

Lors de la **consultation d'experts**, plusieurs sites figurant à ces inventaires ont été plébiscités. Un nouveau site d'intérêt paléontologique et ne figurant dans aucun des inventaires précités a été proposé. Il s'agit de la *grotte du Bärenloch* dans laquelle de nombreux ossements (ours des cavernes, lion, loup, bouquetin) ont été mis au jour. Les **cartes géologiques** indiquent également la localisation des gisements fossilifères dont le contenu est généralement décrit dans la notice. Notons encore que les plus beaux fossiles extraits dans le canton sont exposées au public dans la **salle « Géologie » du MHNF**. Une visite du musée permet de confirmer la valeur des différents gisements et de constater l'intérêt éducatif des fossiles extraits sur ces sites.

c. Méthode et critères de sélection

Afin de simplifier la démarche de sélection, seuls les gisements contenant des fossiles visibles à l'œil nu sont considérés. Les affleurements riches en microfossiles ne sont donc pas pris en compte ici, bien que certains géotopes stratigraphiques ou sédimentologiques, traités au chapitre 6.2.2, soient également riches en organismes microscopiques (foraminifères, radiolaires, etc…). Dans ce cas, la valeur paléontologique de ces géotopes est mentionnée en tant qu'intérêt secondaire.

Dans la mesure du possible, les sites fossilifères intégrés aux GICs devraient se situer dans les différentes unités géologiques du canton afin de refléter la diversité des milieux de vie et des périodes dont témoignent les fossiles. Ainsi, lorsque plusieurs sites partagent des caractéristiques géologiques similaires, seul le plus représentatif sera choisi. A titre d'exemple, Berger (1995) propose 5 gisements à bivalves (n°18 à 22) dans son inventaire, des sites qui sont géographiquement proches et tous localisés dans la Formation du Belpberg (OMM). En se basant sur la consultation d'experts, le rapport des visites de terrain de Yerly (2012), les fossiles exposés dans les vitrines du MHNF ainsi que sur la notice explicative de la carte géologique de Rossens (Weidmann, 2005), seul le site de *La Combert* (n°19) a finalement été retenu.

Outre ces considérations générales, les critères suivants ont été pris en compte pour justifier de l'importance cantonale des sites investigués :

- La **Représentativité** qui se traduit ici par **l'abondance en fossiles :**
  soit la densité de fossiles dans un ou plusieurs affleurements constitutifs du site fossilifère. L'évaluation de cette richesse a été effectuée dans l'*Inventaire des sites fossilifères fribourgeois* pour 11 catégories de fossiles. Les 11 notes attribuées à l'époque ont été cumulées afin d'obtenir un score global permettant d'isoler les sites les plus abondants.

- **Valeur paléogéographique** déterminée par la **diversité paléontologique :**
  soit la diversité des organismes mis au jour sur un site. L'index des fossiles annexé à chaque fiche d'inventaire permet d'établir ce critère.

- **L'intégrité** ou **l'état de préservation** des gisements et des fossiles **:**
  soit la qualité de préservation des affleurements mais aussi le degré de conservation des fossiles mis au jour. Les fossiles les mieux conservés et donc les plus représentatifs sont généralement exposés au MHNF.

- **Rareté à l'échelle cantonale** :
  certains sites ont livré des fossiles uniques à l'échelle du canton voire même des espèces endémiques, totalement inconnues jusqu'alors.

d. Géotopes retenus

Les trois géotopes ci-dessous doivent leur importance cantonale à leurs caractéristiques paléontologiques exceptionnelles :

n°	Nom
14	**Ichtyosaure et gisements d'ammonites du Creux de l'Ours** (Préalpes médianes plastiques, Lias)
15	**Gisements de bivalves de La Combert** (OMM, Burdigalien)
16	**Gisement de mammifères aquitaniens de la marnière de Wallenried** (USM, Aquitanien)

Les géotopes de la liste ci-dessous ont été choisis en tant que GIC dans d'autres chapitres de ce travail. Ils constituent également des objets présentant un intérêt paléontologique notable. Il s'agit d'affleurements qui renferment des fossiles remarquables ou alors des géotopes de plus grande extension qui intègrent un ou plusieurs gisements fossilifères d'importance :

n°	Nom
3	**Ecaille de molasse subalpine de Champotey et carrière de Prévondavau** (UMM, Rupélien)
4	**Ecaille de molasse subalpine et gisement fossilifère marin de Vaulruz** (UMM, Rupélien)
11	**Gisement à faune würmienne du Bärenloch (Pleistocène)** inclus dans *Vallon structural du Breccaschlund*
5	**Massif du Montsalvens**
12	**Chaîne des Gastlosen**
20	**Transition USM-OMM de la route Sodbach-Heitenried**
21	**Falaise lacustre et transition USM-OMM des Crottes de Cheyres**
22	**Couches stratigraphiques du Crétacé-Tertiaire de Roter Sattel**
25	**Carrières de flysch de Tatüre**
26	**Carrière de grès coquillier de la Molière**
28	**Carrière de molasse de Villarlod**
77	**Gorges de la Jogne**
78	**Gorges de la Veveyse de Fégire**
79	**Gorges de la Veveyse de Châtel et terrasses fluvio-glaciaires du Devin des Dailles**
49	**Gisement fossilifère de mammifères aquitaniens de la route Sugiez – Plan Châtel** inclus dans *Colline d'érosion glaciaire du Mont-Vully*

e. Vulnérabilité

Tout comme les sites archéologiques, les gisements fossilifères constituent des ressources non renouvelables et leur destruction est irréversible. Les fouilles doivent donc s'opérer de manière méthodique afin d'en exploiter tout le potentiel scientifique. Deux menaces principales pèsent sur ces sites. Premièrement, les fouilles sauvages et le pillage des gisements qui privent la communauté scientifique de trouvailles potentiellement intéressantes. En deuxième lieu, la construction d'infrastructures ou de voies de communication. Paradoxalement, ces chantiers permettent souvent la mise au jour de nouveaux gisements ou le rafraichissement bénéfique d'affleurements déjà connus. Cependant, ces chantiers peuvent également conduire à la destruction irrémédiable de certains fossiles par ignorance ou par volonté de ne pas retarder le projet en question.

f. Mesures générales de gestion

L'Art. 724 du Code civil et L'Art. 36 de la LPNat encadrent déjà la recherche et le comportement à adopter en cas de découverte de curiosités naturelles mobilières comme les fossiles. Toute fouille ou récolte doit être soumise à autorisation cantonale et les trouvailles offrant un intérêt scientifique doivent être déclarées. Le Musée d'histoire naturelle de Fribourg est responsable de l'évaluation de l'objet et peut décider d'intégrer le fossile à ses collections contre indemnité financière ou de le céder à son découvreur. Lorsqu'un site d'intérêt paléontologique est menacé par la construction d'infrastructures, le canton peut prendre des mesures provisoires afin de mettre en place des dispositions analogues à celles relatives aux fouilles archéologiques, régies par la législation sur la protection des biens culturels. L'avancée des travaux devrait, dans la mesure du possible, être suivie par un géologue en informant les ouvriers du potentiel fossilifère du site en question.

Hormis ce cadre législatif, une protection possible consisterait à garantir la confidentialité de la localisation, voire de l'existence des gisements fossilifères. Les coordonnées exactes des sites pourraient n'être accessibles qu'aux milieux académiques et aux autorités cantonales. En effet, lors des visites de gisements réalisées par Yerly (2012), plusieurs traces de fouilles sauvages ont été repérées. La divulgation d'informations précises et accessibles à tout un chacun pourrait amplifier le phénomène en attirant plus de visiteurs peu scrupuleux. Des contacts devraient être pris avec le service archéologique de l'état de Fribourg qui fait face à une problématique similaire dans le cadre de la gestion des périmètres archéologiques.

6.2.2 Structures sédimentaires, faciès pétrographiques, coupes-types et successions stratigraphiques remarquables

Les géotopes d'intérêts sédimentologique, pétrographique et stratigraphique ont été regroupés dans le présent chapitre (Fig. 59). En effet, ces intérêts sont souvent concomitants et les problématiques liées à la préservation de leurs caractéristiques sont identiques. Ces affleurements rocheux peuvent être d'origine naturelle ou résulter d'une intervention humaine : infrastructures, voies de communication, habitats troglodytes, front de taille de carrières désaffectées ou encore en exploitation (voir aussi chapitre 6.2.3).

Fig. 59 : sur la gauche, les séquences de marées du Bois du Devin constituent un excellent exemple de géotope sédimentologique. Au centre, les propriétés pétrographiques particulières du tuf, longtemps exploités à la Tuffière, en font un matériau de construction très appréciés dans le canton. L'affleurement de la Plagersflue, à droite, est quant à lui un exemple remarquable de géotope stratigraphique avec un contact bien marqué entre deux formations lithologiques.

Bien que la stratigraphie et la sédimentologie s'intéressent aussi aux dépôts meubles du Quaternaire, seuls les géotopes concernant directement le substrat rocheux sont pris en compte dans ce chapitre. Il est en effet plus difficile d'appréhender les coupes dans les sédiments meubles comme des géotopes du fait de leur caractère changeant et parfois temporaire. En effet, les sites les plus significatifs pour l'étude du Quaternaire correspondent le plus souvent à des gravières ou alors à des chantiers d'importance qui nécessitent l'excavation de grands volumes de matériaux meubles. Ces coupes remarquables, qui viennent compléter les données fournies par forage, sont donc vouées à disparaitre à court ou moyen terme par comblement ou bétonnage. Quant aux secteurs où les dépôts quaternaires affleurent naturellement (bordure de cours d'eau peu artificialisés, terrains instables), là aussi, l'état précaire des affleurements, rapidement détruits ou colonisés par la végétation, ne permet pas de les inventorier comme des géotopes pérennes. En revanche, ces formations superficielles, visibles en surface, peuvent participer à la qualité de géotopes de plus grande extension : gorges, cônes de déjection, kames, terrasses lacustres ou alluviales.

a. Intérêt scientifique

Les **géotopes sédimentologiques** constituent les archives de processus sédimentaires passés. Reposant sur le principe de l'uniformitarisme, la sédimentologie s'emploie à reconstituer les environnements et processus anciens par analogie avec les milieux de dépôt actuels. Dans cette optique, cette discipline étudie l'ensemble des caractéristiques lithologiques, granulométriques, paléontologiques et structurelles des sédiments. L'étude de ces faciès et de leurs variations verticales et horizontales permet de retracer l'histoire et l'évolution des bassins sédimentaires au cours du temps. Sur le Plateau fribourgeois, les géotopes sédimentologiques documentent les nombreux faciès d'eau douce et marins ainsi que les phases de transgression et de régression marine qui caractérisent la fin de l'Oligocène et le Miocène (Chapitre 4.2). Dans les Préalpes, l'étude sédimentologique permet de reconstituer des environnements de dépôts extrêmement diversifiés sur les plans temporel et géographique. Ceux-ci reflètent la variété des domaines paléogéographiques à l'origine des roches qui constituent l'édifice préalpin actuel (Chapitre 4.1).

La pétrographie décrit et classifie les roches en fonction de leurs caractéristiques minéralogiques, chimiques et structurelles. Ces spécificités pétrographiques dépendent d'environnements géologiques variés et contribuent aux propriétés mécaniques et chimiques des roches. Les **géotopes pétrographiques** consistent donc en des affleurements de roches présentant un intérêt particulier et dont les propriétés justifient, parfois, leur exploitation en tant que matériaux de construction.

Les **géotopes stratigraphiques** sont des affleurements particulièrement représentatifs d'une unité lithostratigraphique spécifique (banc, membre, formation). L'étude pluridisciplinaire de ces couches et de leur agencement spatial débouche sur des considérations environnementales (reconstitution de milieux), chronologiques (datations relatives et absolues), paléogéographiques (reconstitution de paysages) et tectoniques (déplacement et déformation des roches après leur diagenèse). En somme, la stratigraphie décrypte l'histoire des roches qui constituent le substrat géologique de nos paysages.

b. Sources de données

Pour la sélection des géotopes sédimentologiques, pétrographiques et stratigraphiques d'importance cantonale, les données de quatre inventaires ont été utilisées :

- ***Inventaire des géotopes suisses*** **(ASSN, 2012) :**

  Dans sa version finale, cet inventaire comprend deux géotopes fribourgeois d'intérêt essentiellement sédimentologique: les *Séquences de marée du Bois du Devin* et la *Molasse des Grottes de la Madeleine*. Il recense également trois géotopes partageant des caractéristiques sédimentologiques et

stratigraphiques remarquables : le *Paysage fluvial de la Singine et carrière de Zollhaus*, la *Molasse de Heitenried* et la transition *Crétacé-Tertaire de Roter Sattel*. En annexe, le groupe de travail propose également la *carrière de la Tuffière* comme éventuel futur géotope d'importance nationale. Ce géotope d'intérêt pétrographique a également été soumis par deux experts lors de la consultation.

- ***Liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale*** **(Berger, 1995) :**
  Sur 45 objets, cette liste recense 27 sites présentant un intérêt stratigraphique et 18 géotopes d'intérêt sédimentologique. Ces intérêts sont souvent concomitants et accompagnés d'autres intérêts connexes (paléontologique, géomorphologique ou géohistorique). L'inventaire étant resté à l'état d'une simple liste, des recherches bibliographiques complémentaires sont requises pour appréhender l'intérêt de chaque site.

- ***Liste des unités lithostratigraphiques et tectoniques du canton de Fribourg*** **(CSS, Swisstopo) :**
  Les données de cet inventaire sont extraites du *Lexique Lithostratigraphique Suisse*. La liste fournit les localités-types et, si elles existent, la localisation des coupes-types des unités lithostratigraphiques et tectoniques ou des faciès pétrographiques exprimés dans le canton. Parmi ces unités, certaines sont en usage et d'autres utilisées de manière informelle ou employées uniquement à une échelle locale. D'autres unités sont obsolètes ou doivent faire l'objet de validation. A noter que contrairement aux cantons d'Argovie (Argovien), de Vaud (Vraconnien) ou de Neuchâtel (Hauterivien, Néocomien, Valanginien), aucune localité fribourgeoise n'a donné son nom à un étage stratigraphique.

La consultation d'experts a permis de mettre en évidence certains géotopes d'intérêt sédimentologique et a constitué une bonne aide à la sélection. Un nouveau géotope n'apparaissant dans aucun inventaire a également été proposé. Il s'agit des falaises de l'OMM affleurant dans la région d'Avry-devant-Pont, au lieu-dit de la Perreire.

c. Méthode et critères de sélection

Les critères suivants ont été considérés afin de justifier de l'importance cantonale des sites investigués :

- **Représentativité :** soit la visibilité et la lisibilité des structures sédimentaires, des spécificités pétrographiques, ou du contact stratigraphique entre les différentes couches lithologiques. Outre la qualité des enregistrements sédimentaires, la multiplicité des faciès exprimés ou la diversité des strates affleurantes participent aussi de la qualité des affleurements et leur confèrent une valeur d'exemple et éducative.

- **Intégrité** : soit l'état de préservation des caractéristiques remarquables de l'affleurement. Cette intégrité peut être altérée par des ouvrages sécuritaires (filets de protections, ancrages, bétonnage) ou des détériorations humaines voire naturelles (végétalisation, effondrement, encroûtement).

- **Rareté** : soit le faible nombre d'affleurements aux caractéristiques similaires. Pour exemple, les affleurements d'OMM sont particulièrement fréquents dans le canton de Fribourg. Cependant, quelques sites se distinguent par une caractéristique peu fréquente : structures visibles en trois dimensions, multiplicité des faciès exprimés, finesses des structures préservées, transition stratigraphique entre deux formations ou passage à une autre unité lithostratigraphique, etc.

- **Valeur paléogéographique :** soit l'intérêt du site quant à la reconstruction précise d'un paléo-environnement ou la documentation d'un événement majeur de l'histoire géologique, de la vie ou du climat à l'échelle globale ou locale : extinction de masse, invasion marine, phénomène d'émersion, etc.

d. Géotopes retenus

Les géotopes suivants doivent essentiellement leur importance cantonale à leurs caractéristiques sédimentologiques, pétrographiques et/ou stratigraphiques exceptionnelles :

n°	Nom	séd.	pétr.	strat.
17	**Séquences de marées du Bois du Devin**	x		
18	**Paléoplage molassique de l'Ermitage de la Madeleine**	x		
19	**Molasse et dépôts quaternaires des Sentiers Ritter et Schoch**	x		x
20	**Transition USM-OMM de la route Sodbach-Heitenried**	x		x
21	**Falaise lacustre et transition USM-OMM des Crottes de Cheyres**	x		x
22	**Couches stratigraphiques du Crétacé-Tertiaire de Roter Sattel**	x		x
23	**Lacune stratigraphique de la Plagersflue**	x		x

Certains GICs choisis dans d'autres catégories typologiques partagent aussi ces différents intérêts ou alors englobent des sites de plus petite taille qui correspondent à ces critères.

n°	Nom	séd.	pétr.	strat.
1	**Relief molassique du Mont Gibloux**	x		x
2	**Ecaille de molasse subalpine du Stoutz**	x		x
3	**Ecaille de molasse subalpine de Champotey et carrière de Prévondavau**	x	x	x
4	**Ecaille de molasse subalpine et gisement fossilifère marin de Vaulruz**	x	x	x
5	**Massif du Montsalvens**	x		x
6	**Sommet de la Berra**			x
7	**Chrüzflue et lentille de gypse du Bürgerwald**		x	x
8	**Structure plissée des Dents de Broc, du Chamois et du Bourgo**			x
9	**Synclinal perché du Moléson**			x

10	**Vallon synclinal des Morteys** y.c. Complexe glacio-karstique - Eboulement des Grosses Pierres			x
11	**Vallon structural du Breccaschlund** y. c. Complexe glacio-karstique - Gisement à faune würmienne du Bärenloch			x
12	**Chaîne des Gastlosen**	x	x	x
13	**Olistolithe de la Brendelspitz**	x	x	
14	**Ichtyosaure et gisements d'ammonites du Creux de l'Ours**			x
15	**Gisements de bivalves de La Combert**	x		x
16	**Gisement de mammifères aquitaniens de la marnière de Wallenried**	x		x
24	**Ancienne carrière de flysch de Zollhaus**	x	x	x
25	**Carrières de flysch de Tatüre**	x	x	x
26	**Carrière de grès coquillier de la Molière**	x	x	x
27	**Ancienne carrière de tuf de la Tuffière**		x	
28	**Carrière de molasse de Villarlod**	x		
49	**Colline d'érosion glaciaire du Mont-Vully**	x		x
77	**Gorges de la Jogne**			x
78	**Gorges de la Veveyse de Fégire**			x
79	**Gorges de la Veveyse de Châtel et terrasses fluvio-glaciaires du Devin des Dailles**			x

e. Vulnérabilité

Les affleurements remarquables sont menacés de dégradation ou de disparition par destruction (abattage pour l'élargissement d'une route ou l'installation d'un pylône électrique p.ex.), installation d'ouvrages sécuritaires (filets ou grilles de protections, ancrages, gunitages), détériorations humaines d'éléments fragiles (graffiti, inscriptions gravées, remblai non autorisé), effondrement ou recouvrement naturel (végétalisation, lichens, encroûtement, glissement de terrain, etc.).

f. Mesures générales de gestion

La situation des différents géotopes sélectionnés est assez hétérogène et les mesures nécessaires à leur gestion le sont donc également. Pour les affleurements situés en bord de route et qui représentent un certain danger de chute de pierres, il faut, dans la mesure du possible, privilégier des aménagements sécuritaires qui garantissent la visibilité du substrat rocheux (filets ou grilles plutôt qu'un recouvrement par du béton). Certains affleurements de petite taille et facilement accessibles comme celui de la *Plagersflue* peuvent éventuellement faire l'objet d'un rafraichissement si un recouvrement par la végétation est constaté. Pour les affleurements de plus grande taille ou peu accessibles, aucune mesure ne fait réellement sens. Il conviendra simplement de ne pas installer d'infrastructures sur les secteurs qui présentent un fort intérêt géologique.

6.2.3 Géotopes résultant de l'exploitation humaine

Ces géotopes sont particuliers puisque leurs intérêts géoscientifiques, qui justifient leur intégration dans le présent inventaire, se mêlent à un intérêt économique (carrières en exploitation) ou patrimonial (carrières abandonnées). Ces carrières désaffectées, témoins de l'histoire industrielle d'une région, rappellent également le fort lien qui a longtemps existé entre le bâti local et le contexte géologique environnant.

Fig. 60 : la carrière de l'Evi constitue un bon exemple de géotope résultant de l'exploitation humaine. Elle offre une vue remarquable sur les bancs calcaires de la formation du Moléson qui sont exploités sur ce site.

Durant la Préhistoire déjà, les premiers chasseurs-cueilleurs ont su trouver, dans les Préalpes fribourgeoises, les roches siliceuses qui convenaient au façonnement de leurs outils (Braillard et al., 2003). Bien des siècles plus tard, les Romains, formidables bâtisseurs, ont ouvert les premières véritables carrières dans le nord du canton. En complément de structures maçonnées en briques d'argile, le grès coquillier a ainsi été largement utilisé pour la construction des monuments de la cité d'*Aventicum*, capitale de l'Helvétie romaine (Weidmann et Ginsburg, 1999). Parmi ces carrières antiques ouvertes dans la Broye, certaines ont été exploitées durant près de deux millénaires. L'extraction de matières premières minérales a d'ailleurs constitué une activité économique primaire importante dans nos contrées jusqu'au début du 20ème siècle. Depuis, la plupart des mines et carrières ont cessé leur activité à cause de coûts d'exploitation trop élevés et de l'utilisation massive de matériaux de construction artificiels (acier, béton, verre, etc.). Contrairement aux gravières, fort nombreuses, il n'existe aujourd'hui plus qu'une poignée de carrières encore en exploitation dans le canton de Fribourg. Des affleurements, certes artificiels mais d'une grande valeur pour les géosciences, tendent ainsi à disparaitre. Ces sites sont généralement comblés pour répondre à des exigences d'intégration paysagère ou, dans des secteurs moins exposés, simplement laissés à l'abandon, avec un risque que les coupes soient peu à peu altérées, masquées par la végétation, voire recouvertes de matériaux non conformes (matériaux de déblai, déchets de toute sorte).

a. Intérêt scientifique

Sur le plan géoscientifique, l'intérêt de ces sites peut concerner n'importe quelle discipline de la géologie. Par rapport aux affleurements naturels, les carrières ou autres sites d'exploitation de matériaux (mines, marnières) ont tout simplement l'avantage d'offrir des coupes particulièrement nettes et étendues dans le substrat géologique, l'avancée du front de taille permettant un rafraichissement constant des roches observables (Fig. 61). Paradoxalement, cette extraction de matériaux peut aussi conduire à la destruction irrémédiable d'éléments remarquables conservés dans les roches, des structures sédimentaires ou des fossiles rares notamment.

Certaines unités lithologiques, le flysch du Gurnigel par exemple, n'affleurent que sporadiquement à l'état naturel. Ces géotopes artificiels, même désaffectés, offrent donc une fenêtre d'observation précieuse sur le soubassement rocheux qui détermine les traits principaux des paysages du canton. Les plus beaux fossiles conservés au MHNF proviennent généralement de carrières exploitées durant la seconde moitié du 19ème siècle, lorsque les méthodes d'extraction permettaient encore de détecter et de préserver ces objets. L'observation et l'étude de ces affleurements d'origine anthropique a également contribué à l'amélioration des connaissances dans de nombreux domaines des géosciences et a permis une meilleure compréhension de la géologie régionale fribourgeoise.

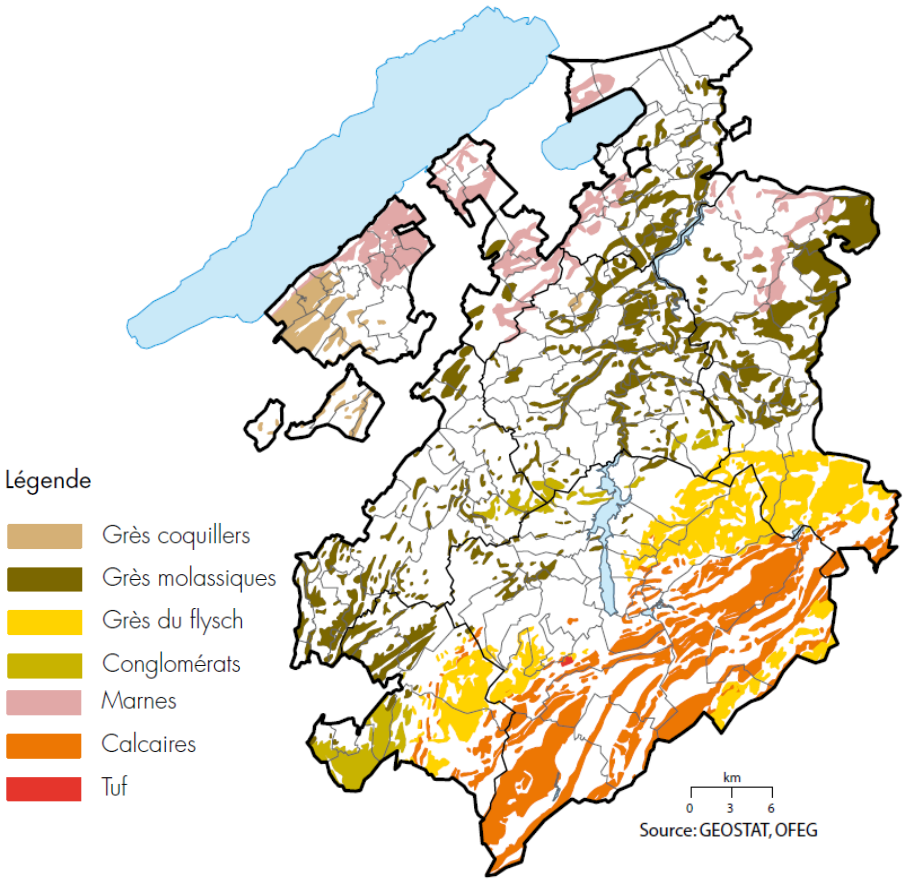


Fig. 61 : carte des gisements de roches du canton de Fribourg, réalisée dans le cadre de l'élaboration du Plan sectoriel pour l'exploitation des matériaux (PSEM). (Source : GEOSTAT, OFEG).

b. Sources de données

Pour la sélection des GICs résultant d'une exploitation humaine, trois sources de données ont été prises en compte :

- ***Inventaire des géotopes suisses*** **(ASSN, 2012)**

  Dans sa version finale, l'inventaire recense le géotope *Paysage fluvial de la Singine et carrière de Zollhaus* qui rassemble deux objets aux caractéristiques très différentes. C'est l'ancienne carrière de flysch localisée dans la commune de Planfayon qui nous intéresse ici. Le géotope *Molasse des Grottes de la Madeleine* résulte également d'une intervention humaine mais ne constitue pas, à proprement parler, un site d'exploitation de matériaux. Il a donc été pris en compte au chapitre 6.2.2 . En plus de la liste officielle, deux géotopes fribourgeois sont mentionnés en annexe comme des sites pouvant intégrer l'inventaire lors de révisions futures. Il s'agit de la *Marnière de Wallenried* et de la *Carrière de la Tuffière* qui correspondent totalement à la catégorie investiguée ici.

- ***Liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale*** **(Berger, 1995)**

  Sur les 45 objets qui composent cette liste, 12 sont des carrières parmi lesquelles 4 sont en cours d'exploitation et 8 constituent des sites aujourd'hui désaffectés. Ces carrières exploitent ou exploitaient le grès coquillers (6 sites) ou le grès molassique de l'OMM (1 site), le grès molassique plus ancien de l'UMM (2 sites), les marnes de l'USM (1 site) et, dans les Préalpes, le grès du flysch de la Nappe du Gurnigel (2 sites).

- ***Atlas de l'environnement géotechnique*** **(Georessourcen Schweiz, ETHZ)**

  En plus de ces deux inventaires généraux, les données de l'*Atlas de l'environnement géotechnique* (GUA) réalisé par le groupe *Georessourcen Schweiz* (anciennement *Commission géotechnique suisse* connu sous l'acronyme SGTK) ont été consultées. Ces données sont disponibles sur le géoportail de la Confédération et documentent les différents gisements de ressources minérales de Suisse.

Outre la carrière de la Tuffière qui figure aussi en annexe de l'*Inventaire des géotopes suisses*, la consultation d'experts a mis en évidence trois nouveaux géotopes d'intérêt géohistorique. Il s'agit des anciennes carrières de gypse de la *Gypsera* et du *Burgerwald* distantes d'une dizaine de kilomètres ainsi que de la mine de charbon désaffectée du Jordil sur la commune de St-Martin.

c. Méthode et critères de sélection

Les chapitres 6.2.1 et 6.2.2 ont proposé des critères de sélection précis pour évaluer les géotopes d'intérêts paléontologiques, sédimentologiques, pétrographiques et stratigraphiques. Les géotopes abordés dans le présent chapitre partagent tous plusieurs de ces intérêts. Ces critères géoscientifiques sont donc utilisés de manière prioritaire pour justifier l'importance cantonale des sites en question.

La dimension géohistorique de ces carrières est considérée comme un argument supplémentaire pour une intégration à l'inventaire des GICs. Une attention particulière est portée à la représentativité des sites qui doivent refléter la diversité des roches qui ont fait, ou qui font encore, l'objet d'extraction sur le territoire fribourgeois. La carte des gisements de roches du canton de Fribourg (Fig. 61) constitue une aide précieuse pour garantir le respect de ce critère.

d. Géotopes retenus

Cinq carrières sont retenues ici comme des géotopes d'importance cantonale :

n°	Nom	matériau	Unité tectonique
24	**Ancienne carrière de flysch de Zollhaus**	flysch	Nappe du Gurnigel
25	**Carrières de flysch de Tatüre**	flysch	Nappe du Gurnigel
26	**Carrière de grès coquillier de la Molière**	grès coquillier	OMM
27	**Ancienne carrière de tuf de la Tuffière**	Tuf	Quaternaire
28	**Carrière de grès molassique de Villarlod**	grès	OMM

Ces objets ne suffisent pas à refléter la diversité des substrats rocheux qui ont fait l'objet d'une exploitation au cours des siècles dans le canton de Fribourg. Des géotopes sélectionnés dans d'autres catégories permettent cependant de compléter cette liste et d'atteindre une bonne représentativité. Il s'agit parfois d'objets de grande dimension qui intègrent des carrières en activité ou désaffectées :

n°	Nom	matériau	Unité tectonique
1	**Relief molassique du Mont Gibloux**	conglomérat	OMM
3	**Ecaille de molasse subalpine de Champotey et carrière de Prévondavau**	grès	UMM
4	**Ecaille de molasse subalpine et gisement fossilifère marin de Vaulruz**	grès	UMM
7	**Chrüzflue et lentille de gypse du Burgerwald**	gypse	Nappe du Gurnigel
16	**Gisement de mammifères aquitaniens de la marnière de Wallenried**	marne	USM
35	**Ancienne carrière de la Gypsera et dolines de gypse du Lac Noir**	gypse	Préalpes médianes Plastiques
76	**Gorges du Gottéron**	grès	OMM
77	**Gorges de la Jogne**	calcaire	Ultrahelvétique
82	**Cluse, gorges et carrière de calcaire de l'Evi**	calcaire	Préalpes médianes plastiques
83	**Succession de cluses et défilés de la Jogne**	calcaire	Préalpes médianes plastiques

Depuis les dernières décennies du 18ème siècle jusqu'à la fin de la seconde guerre mondiale, le charbon a représenté une ressource économique importante pour les communes veveysanes de St-Martin, de Semsales et de la Verrerie. Si les galeries souterraines ont été totalement condamnées, une succession de petits terrils témoigne encore de ce passé minier. Ce géotope n'a qu'un intérêt géohistorique et pas de valeur géologique en soi puisque ces petites morphologies artificielles sont composées de gravats stériles non charbonneux.

n°	Nom	matériau	Unité tectonique
29	Terrils des mines de charbons du Jordil	Charbon	USM

e. Vulnérabilité

La préservation des qualités géologiques des carrières peut se heurter à d'autres objectifs de protection de la nature et du paysage. En effet, lorsqu'ils sont exposés à la vue, les fronts de taille sont généralement perçus comme un élément disharmonieux du paysage. C'est pourquoi, les carrières sont le plus souvent comblées ou végétalisées au terme du mandat d'exploitation. Une renaturation bien menée permet d'ailleurs de créer des biotopes de grande valeur qui conviennent à certaines espèces rares ou spécialisées. Ces mesures en faveur de la nature, fort louables, conduisent néanmoins à la disparition des qualités géologiques remarquables des sites en question.

f. Mesures générales de gestion

Il faut ici distinguer les carrières exploitées de celles qui ont été abandonnées. Pour les sites en activité, une bonne collaboration entre les exploitants, le MHNF et le Département de Géosciences de l'Université de Fribourg est souhaitable afin d'autoriser des accès aux géologues pour leur recherche ou l'enseignement ou de communiquer sur d'éventuelles découvertes. Pour les carrières abandonnées ou en fin d'exploitation, le maintien d'un front de taille représentatif de l'intérêt géohistorique du site devrait faire partie du cahier des charges de la remise en état. Ces coupes pourraient être de taille modeste afin de ne pas péjorer les objectifs esthétiques et écologiques de la réhabilitation de ces sites. Ceux-ci se prêtent d'ailleurs particulièrement bien à des projets de valorisation divers.

6.3 Géotopes gravitaires

Ce chapitre s'intéresse aux dépôts gravitaires et instabilités de terrain les plus remarquables du canton. Ces phénomènes gravitaires sont à l'origine de formes géomorphologiques diverses et de dimensions variées : éboulis, éboulements, écroulements, glissements de terrain, tassements de versant, dépôts de laves torrentielles. Les processus à l'origine de ces formes peuvent être actifs avec des mouvements de terrain continus (glissement, tassement), des apports détritiques ponctuels (cônes ou voiles d'éboulis) ou des déclenchements spontanés et parfois récurrents (chutes de blocs, éboulements, coulées boueuses, laves torrentielles). Il peut également s'agir de formes héritées et inactives qui témoignent d'événements anciens (Fig. 62).

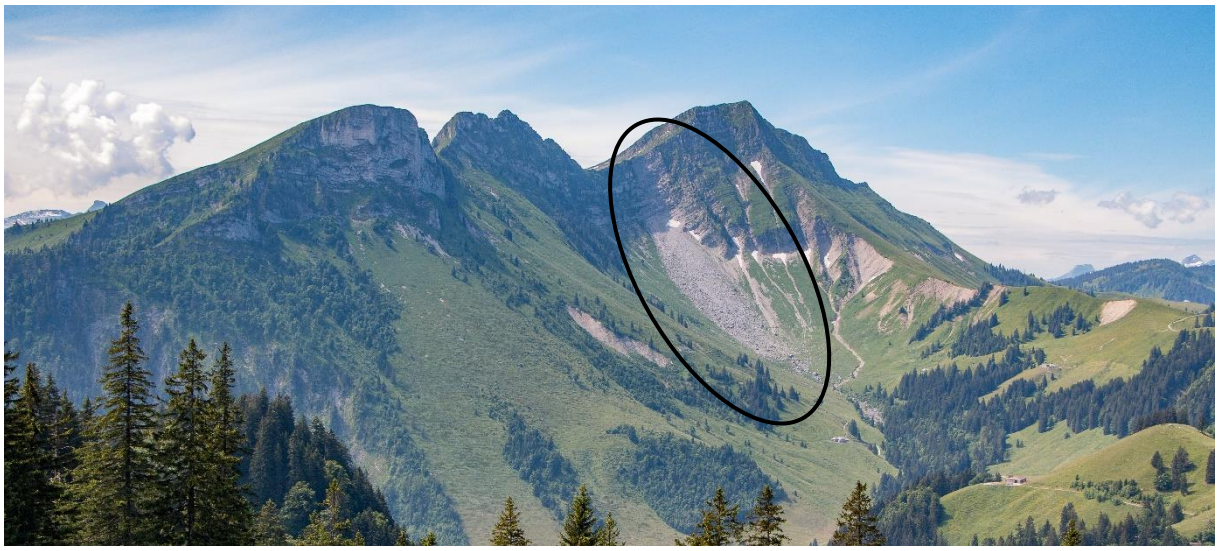


Fig. 62 : Les blocs rocheux qui occupent l'alpage de la Martse sont issus d'un éboulement survenu en 1992. Les matériaux éboulés proviennent de la face nord de la Dent de Lys où les calcaires sont fragilisés par une intense fracturation tectonique.

a. Intérêt scientifique

Les mouvements de terrain actifs concernent une part importante du canton de Fribourg. En effet, l'ensemble des zones de flyschs ou de Mélange infrapréalpin sont fortement affectés par ces phénomènes d'instabilités qui déterminent le relief bosselé de ces régions (chapitre 4.1). L'identification, la compréhension et la surveillance de ces processus actifs sont déterminantes pour une gestion efficace du danger naturel que peuvent représenter ces mouvements. La réactivation soudaine du glissement du Falli Hölli en 1999 est un exemple tristement célèbre du potentiel destructeur de ces terrains instables. Paradoxalement, cet événement majeur a largement contribué à la progression des connaissances dans le domaine puisque de nombreuses études (Raetzo et al., 2000 ; Dapples, 2002 ; Oswald, 2003) se sont consacrées aux glissements préalpins à la suite de la catastrophe. L'inclusion de ces formes actives dans l'inventaire des GICs permet de sensibiliser le public au caractère dynamique des paysages et à la thématique des dangers naturels.

D'autres géotopes gravitaires témoignent de conditions environnementales et climatiques passées. La déglaciation des versants préalpins au cours du Tardiglaciaire s'est notamment accompagnée d'instabilités de terrain de grande envergure. Le phénomène de décompression glaciaire a certainement joué un rôle dans le déclenchement des éboulements des *Grosses Pierres* ou de la *Forêt du Lapé* qui affectent tous deux des calcaires massifs fortement fracturés. Dans les régions de flysch, les pentes fraichement libérées des glaces, dénudées et sans végétation fixatrice, ont été soudainement exposées aux agents atmosphériques. Les mouvements de terrain ont alors été particulièrement actifs et les principaux glissements de ces secteurs préalpins ont ensuite subis plusieurs phases de réactivation au cours de l'Holocène. Les travaux de Dapples (2002 : 3) ont notamment permis de définir une chronologie des dynamiques de ces instabilités avec « *de nettes concentrations d'activité durant certaines périodes, tandis que d'autres intervalles de temps sont caractérisés par des absences ou des fréquences très basses de mouvements de terrain* ». Fondée sur des analyses dendrochronologiques et des datations radiocarbones, cette étude a permis d'établir une relation entre les fluctuations climatiques des 11'000 dernières années et le niveau d'activité des mouvements de terrain en zone de flysch.

b. Sources de données

Les données de trois inventaires présentés au chapitre 5.4 ont été utilisées pour sélectionner les géotopes gravitaires d'importance cantonale. La *Carte d'inventaire des terrains instables du canton de Fribourg* (DIAF, 2007), réalisée par le Service de la forêt et de la faune a également été consultée :

- ***Inventaire des géotopes suisses*** **(ASSN, 2012)**
  L'inventaire national intègre le géotope n°18 *Instabilités de terrain dans le vallon de Falli Hölli – Chleuwena*, connu dans le pays entier pour sa réactivation destructrice en 1999. Cet objet sera directement intégré à l'inventaire cantonal.

- ***Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg*** **(Grandgirard, 1999a)**
  Cet inventaire compte 15 géotopes gravitaires dont 5 ensembles d'éboulis, 3 éboulements et 7 complexes gravitaires. Ces sites ont fait l'objet d'une évaluation par l'auteur de l'inventaire, ce qui facilite la sélection.

- ***Liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale*** **(Berger, 1995)**
  La liste de Berger (1995) compte deux géotopes gravitaires qui figurent également à l'inventaire de Grandgirard (1999a) : l'*Eboulement de la Dent de Lys* (n°4) et le *Glissement de Villarbeney* (n°11).

- ***Carte d'inventaire des terrains instables du canton de Fribourg (DIAF, 2007)***

  Cette carte recense l'ensemble des instabilités de terrain qui affectent le territoire cantonal. Cet inventaire a servi de base pour l'établissement des cartes des dangers liés aux glissements de terrain et chutes de pierres. Réalisée au 1:10'000, la carte identifie les types de phénomènes en présence, leur extension en surface et en volume, ainsi que leur degré d'activité. Les données sont accessibles sur le géoportail cantonal (www.geo.fr.ch) et la carte est accompagnée d'une notice explicative d'une quinzaine de page. Il s'agit d'un document précieux pour identifier les mouvements de terrain les plus actifs et les morphologies les plus représentatives du canton.

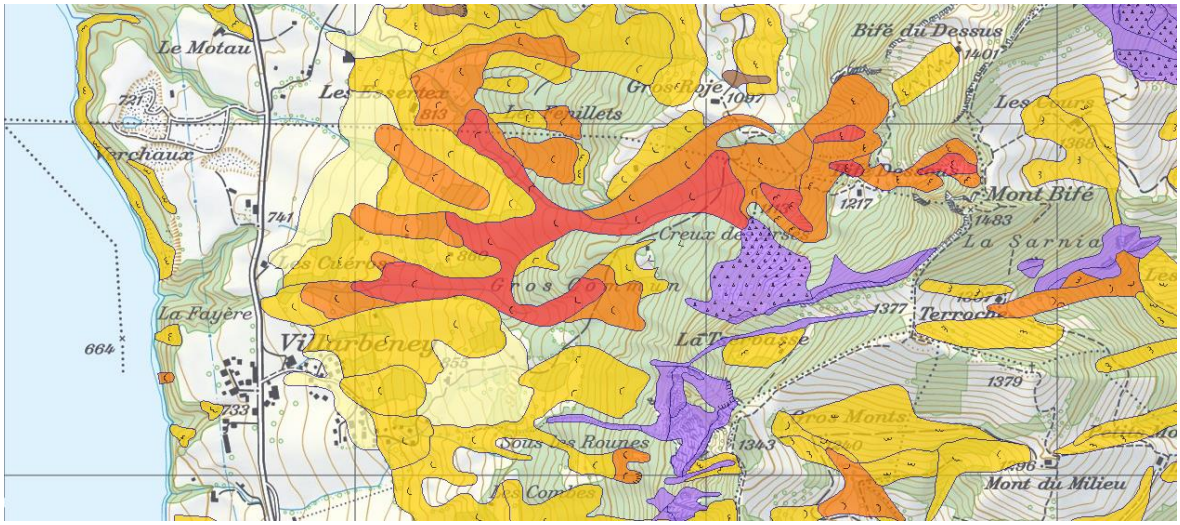


Fig. 63 : extrait de la Carte d'inventaire des terrains instables du canton de Fribourg qui indique les types d'instabilités en présence ainsi que leur degré d'activité (DIAF, 2007).

c. Méthode et critères de sélection

Seuls des glissements de terrain actifs et des éboulements de blocs qui ont été choisis dans ce chapitre. Les critères suivants ont été considérés pour justifier de l'importance cantonale des objets les plus démonstratifs :

- **Représentativité** : l'exemplarité des différents géotopes gravitaires est déterminée par différents critères : dimension (surface, volume), conformation (morphologie qui se distingue nettement de l'environnement), constitution (substrat rocheux, dépôts meubles, gros blocs, etc.), contextes topographique et géologique, degré d'activité.

- **Intégrité** : l'intégrité des formes considérées ici n'est pas un critère discriminant puisque les morphologies de ces géotopes ne sont jamais vraiment altérées. L'activité des processus peut cependant être atténuée par drainage ou par d'autres dispositifs anthropiques.

- **Rareté** : les glissements en zones de flysch sont extrêmement fréquents sur le territoire fribourgeois. Individuellement, ces formes gravitaires peuvent néanmoins se distinguer par des caractéristiques particulières, évoquées précédemment. Les éboulements de grande dimension sont par contre plutôt rares dans le canton ce qui justifient leur intégration à l'inventaire cantonal.

- **Valeur paléogéographique** : les éboulements et les glissements actifs en eux-mêmes ne livrent pas vraiment d'informations paléogéographiques. Les troncs incorporés dans certains grands glissements, actifs depuis le Tardiglaciaire, constituent par contre des éléments précieux pour des reconstitutions paléoclimatiques de la fin du Pleistocène et de l'ensemble de l'Holocène.

Les cônes et voiles d'éboulis sont extrêmement fréquents au pied des parois calcaires des Préalpes. Certains géotopes de grande dimension intègrent donc ce genre de formes gravitaires (GIC n°8 à 12). En terre fribourgeoise cependant, aucun objet de ce type ne se distingue par sa morphologie à la manière du cône d'éboulis particulièrement exemplaire de *Château Chamois*, dans le Pays d'Enhaut (VD). L'éboulis du Chänel Gantrisch (GIC n°65, chapitre 6.5.3) a été sélectionné pour les phénomènes particuliers de circulations d'airs qu'il renferme, et non sur des considérations morphologiques.

d. Géotopes retenus

Les géotopes suivants ont été choisis en tant que géotopes gravitaires d'importance cantonale :

n°	Nom	type
30	**Instabilités de terrain de Falli Hölli**	glissement actif
31	**Glissement de Villarbeney**	glissement actif
32	**Eboulement de la Dent de Lys (face nord)**	éboulement
33	**Eboulement supraglaciaire de la forêt du Lapé**	éboulement

D'autres géotopes, choisis dans d'autres catégories, intègrent également des sites d'intérêt gravitaire :

n°	Nom	type
10	**Eboulement des Grosses Pierres** inclus dans le *Vallon synclinal des Morteys*	éboulement
85	**Lac Noir et instabilités de terrain du Seeschlund**	glissements
65	**Eboulis froids ventilés du Chänel Gantrisch**	cône d'éboulis

e-f. Vulnérabilité et mesures générales de gestion

Les morphologies des géotopes considérés ici, de taille généralement importante, ne sont pas en danger. Dans le cadre d'une gestion du risque naturel, des mesures d'assainissement sont généralement mises en place lorsque des infrastructures sont menacées par ces mouvements de terrain. Ces mesures sécuritaires de stabilisation des versants priment bien entendu sur la volonté de maintenir l'état naturel de ces phénomènes gravitaires. La multitude de glissements actifs et non assainis dans les Préalpes permet toujours d'apprécier les dynamiques naturelles de ces instabilités.

6.4 Géotopes karstiques

Les formes karstiques résultent de processus de dissolution d'un substrat généralement calcaire par des eaux chargées en CO_2. Ce phénomène est d'autant plus fort que les roches sont pures (grande proportion de carbonate) et les précipitations abondantes. L'agressivité des eaux, liées à des facteurs environnementaux favorables (température basse, infiltration dans un sol organique riche en CO_2) joue également un rôle majeur dans la vitesse de karstification.

Dans le canton de Fribourg, les formes karstiques se développent essentiellement dans la Nappe des Préalpes médianes (plastiques et rigides), en premier lieu dans les calcaires massifs du Malm (*Fm du Moléson*, *Fm de Dorfflüe*) mais également dans les calcaires plaquetés du Crétacé (*Fm des Sciernes d'Albeuve*). La forte fracturation de ces calcaires conditionne largement la distribution des formes de surface (exokarst) et le développement des réseaux souterrains en profondeur (endokarst). Les phénomènes karstiques agissent également sur les calcaires de l'Ultrahelvétique, notamment dans le massif du Montsalvens. Les formes typiques du karst y sont moins marquées que dans les Préalpes médianes mais le réseau hydrographique de surface, peu développé, témoigne d'une importante infiltration karstique (Pasquier, 2005). A noter encore le cas particulier du karst du gypse. Cette roche évaporitique formée au cours du Trias est environ 100 fois plus soluble que le calcaire (Salomon, 2000). Les processus de karstification y sont donc accélérés et agissent même sous d'importants dépôts morainiques quaternaires (Braillard, 2015). Ce phénomène est particulièrement visible dans la région du Lac Noir (Riggisalp, Geissalp, Spittel Gantrisch) et, plus localement, à proximité de Gruyères (Mongeron – Pringy) ou des Paccots (Lac des Joncs), au pied des Gastlosen ou au Pré de l'Essert, dans la vallée du Javro.

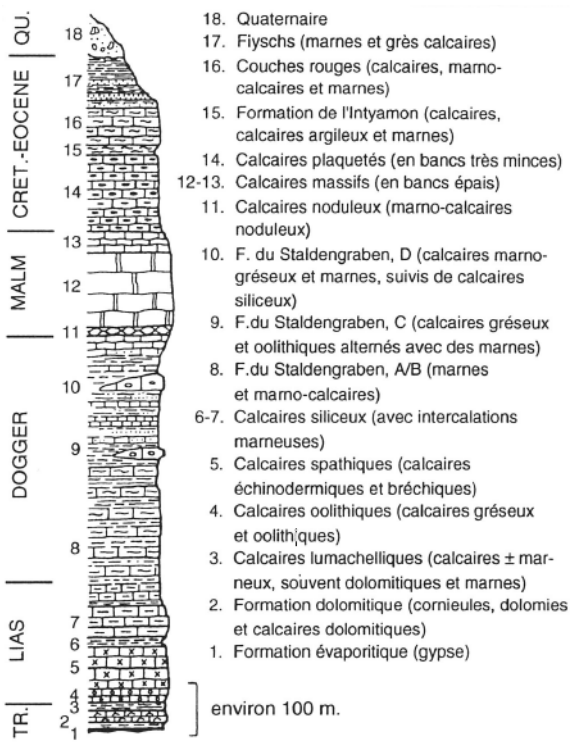


Fig. 64 : succession stratigraphique des Préalpes médianes plastiques (Grandgirard, 1997, d'après Plancherel, 1979).

Afin de déterminer les géotopes karstiques d'importance cantonale, les différentes formes ont été divisées en trois catégories : les formes de surfaces, les cavités et réseaux souterrains (géotopes spéléologiques) ainsi que les pertes et sources karstiques (hydrogéologie karstique).

6.4.1 Formes karstiques de surface

En surface, les formes typiques du modelé karstique comprennent les lapiés, les dolines, les ouvalas, les poljés et les vallées sèches. Ces formes se développent aussi bien en milieux couverts (forêts, pâturages), avec des morphologies plutôt émoussées, que sur les surfaces nues des plus hautes altitudes où les modelés sont plus acérés. Les phénomènes karstiques se sont souvent associés à d'autres processus pour constituer les paysages caractéristiques des Préalpes calcaires. Ainsi, les cluses et défilés, souvent considérés comme des formes karstiques, ont d'abord une origine structurale et leur formation doit autant à la dissolution chimique des calcaires par les eaux souterraines qu'à l'action érosive des cours d'eau et des glaciations quaternaires. Il en va de même des dépressions glacio-karstiques qui constituent des formes polygéniques nées de surcreusements glaciaires anciens (ombilic) et sièges actuels d'infiltrations karstiques.

Fig. 65 : lapiés dans le vallon du Breccaschlund.

a. Intérêt scientifique

Les formes karstiques de surface présentent un intérêt esthétique, paysager et didactique important. Elles illustrent les phénomènes de dissolution qui affectent les Préalpes calcaires fribourgeoises et qui sont à l'origine de modelés typiques de ces régions.

b. Sources de données

- ***Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg*** (Grandgirard, 1999a) **:**
  Cet inventaire compte 39 géotopes karstiques dont 30 constituent des formes de surface. Les géotopes sont répartis en 6 types de formes, à savoir les cluses et défilés, les ensembles de dolines, les lapiés, les ouvalas, les vallées sèches et les complexes karstiques qui constituent des secteurs particulièrement riches en formes karstiques diverses. L'inventaire recense également 12 dépressions et 4 vallées glacio-karstiques. Tous ces géotopes ont été évalués par l'auteur sur la base de quatre critères (représentativité, intégrité, rareté, valeur paléogéographique). Les modalités de cette évaluation sont détaillées dans l'article *Géotopes karstiques du canton de Fribourg* (Grandgirard & Spicher, 1997).

c. Méthode et critères de sélection

Dans le canton de Fribourg, seul un nombre réduit de formes karstiques isolées nous semblent valoir une importance cantonale. La plupart des géotopes retenus constitue plutôt des ensembles ou des complexes karstiques. Il s'agit de secteurs qui se distinguent par l'abondance et/ou la variété des formes karstiques qu'ils englobent. Dans une volonté de diversité générale, une attention particulière a été portée à la prise en compte de l'ensemble des formes représentées dans le canton. La variété du substrat géologique sur lequel agissent les processus karstiques a également été considérée (karst du gypse, karst en milieu calcaire, sur roche affleurante ou sous faible couverture quaternaire). L'importance karstique des géotopes choisis est souvent combinée à d'autres intérêts (structural, glaciaire, stratigraphique, etc.). Cette pluralité d'intérêts a validé la sélection de certains géotopes tout en en déterminant, parfois, leur délimitation.

d. Géotopes retenus

Les géotopes suivants ont été retenus pour leurs caractéristiques karstiques remarquables :

n°	Nom
34	**Ouvala du lac des Joncs**
35	**Ancienne carrière de la Gypsera et dolines de gypse du Lac Noir**
36	**Ensemble de dolines Riggisalp – Geissalp - Schönenboden**
37	**Alignement de dolines de gypse du Mongeron**
38	**Complexe karstique Hochmatt – In den Löchern**
39	**Lapiés de la chaîne de la Dent de Lys**
40	**Dépression glacio-karstique d'En Lys**

Les géotopes ci-dessous, choisis dans d'autres catégories, intègrent également des formes karstiques d'importance :

n°	Nom
8	**Structure plissée des Dents de Broc, du Chamois et du Bourgo**
9	**Synclinal perché du Moléson**
10	**Vallon synclinal des Morteys** Complexe glacio-karstique
11	**Vallon structural du Breccaschlund** Complexe glacio-karstique
12	**Chaîne des Gastlosen**
82	**Cluse, gorges et carrière de calcaire de l'Evi**
83	**Succession de cluses et défilés de la Jogne**

e. Vulnérabilité

Une grande partie des zones karstiques du canton se situe dans des régions peu fréquentées ou déjà protégées. Quelques secteurs sont par contre exposés à une pression anthropique plus marquée. Bien que cette pratique ait été bien plus réduite qu'en région jurassienne, les dépressions karstiques fribourgeoises (dolines, ouvalas, gouffres, etc.) ont parfois été utilisées comme décharges sauvages par le passé. Les mentalités ayant largement évoluées depuis, le risque principal est aujourd'hui lié au comblement de ces formes dans le cadre d'optimisations agricoles ou d'aménagements divers (terrassement de pistes de ski, installation de pylônes de télésièges, construction de nouvelles routes ou chalets, infrastructures militaires).

f. Mesures générales de gestion

En conséquence des menaces mises en évidence ci-dessus, l'Etat devrait superviser les futurs projets d'aménagement en région karstique afin de préserver le modelé particulier de ce relief et maintenir la fonction hydrogéologique de ces formes. La plupart des objets référencés sont difficilement accessibles et peu fréquentés si bien qu'aucune mesure particulière n'est actuellement nécessaire. Cependant, une région nous parait mériter une attention particulière car la zone est soumise à une pression anthropique bien plus forte. Il s'agit de l'alpage de Riggisalp, où est implantée la station de ski du Lac Noir, et du vallon attenant de Geissalp, sillonné par une route relativement importante et cadre d'exercices de tirs pour l'armée suisse. Cette exploitation touristique tout comme les activités militaires sont susceptibles d'altérer la morphologie des nombreuses dolines de gypse qui parsèment la région. Une étroite collaboration entre le canton de Fribourg et les exploitants est requise pour la préservation de ces morphologies peu communes à l'échelle cantonale.

6.4.2 Cavités et réseaux souterrains (géotopes spéléologiques)

Dans ce chapitre, nous considérons les géotopes spéléologiques, c'est-à-dire les formes souterraines du karst (Fig. 66) qui, à partir des entrées de grottes (cavités horizontales) ou de gouffres (cavités verticales), se prolongent et s'organisent en profondeur pour former des réseaux de galeries parfois extrêmement développés.

Fig. 66 : exploration spéléologique de la Grotte du Dragon, au cœur du Vanil des Artses. Association des Folliu-Bornés (© AFB)

De nombreuses réflexions se sont déjà portées sur l'évaluation et la gestion de ce patrimoine souterrain. La Société Suisse de Spéléologie (SSS) a publié un document de référence pour l'évaluation et la gestion de ces géotopes particuliers intitulé *Concept pour l'évaluation de la valeur, la vulnérabilité, la menace et le besoin de protection des grottes suisses (géotopes spéléologiques)* (Bitterli, 1997). Citons encore le rapport nommé *Conservation du patrimoine spéléologique et karstique suisse, proposition en vue d'une gestion durable et efficace* (ISSKA, 2001) rédigé conjointement par la SSS et l'Institut suisse de Spéléologie et de Karstologie (ISSKA). Le présent chapitre s'appuie largement sur ces rapports ainsi que sur les réflexions développées pour l'*inventaire des géotopes du Canton de Vaud* (Pieracci et al., 2008).

a. Intérêt scientifique

Les intérêts scientifiques liés à l'endokarst et aux géotopes spéléologiques sont extrêmement diversifiés et concernent de nombreux domaines des sciences de la Terre parmi lesquels :

- La **géologie** : les galeries souterraines donnent accès à des affleurements au cœur même des massifs rocheux. Ceci permet d'éprouver des hypothèses basées sur des observations en surface (plan de glissement, système de failles, succession stratigraphique, changement de faciès, néotectonique, etc…).
- L'**hydrogéologie** : souvent hérités de conditions climatiques et tectoniques passées, les réseaux sont toujours fonctionnels puisqu'ils drainent les eaux d'infiltration vers les profondeurs. Les écoulements

souterrains aboutissent en zone noyée où les cavités jouent le rôle d'aquifères alimentant parfois des sources pérennes ou temporaires.

- La **géomorphologie de surface** : l'entrée d'une cavité peut constituer la perte ou la résurgence d'un système hydrologique. Elle peut également former un site d'une valeur esthétique remarquable (grands porches, arches, ponts naturels, puits de grand diamètre).
- La **géomorphologie souterraine** : la morphologie des galeries souterraines est extrêmement variée et fournit des indications sur les modalités de leur formation.
- L'**étude des remplissages karstiques** : les cavités renferment souvent des accumulations sédimentaires d'origine détritique ou organique, des concrétions de calcite de formes diverses (spéléothèmes), des minéraux précipités ou encore de la glace.
- La **datation et reconstitution de paléoenvironnements** : l'étude de ces dépôts, de leur structure (varves p.ex.) ou de leur contenu (air emprisonné dans la glace) rend possible les interprétations paléoclimatiques voire des datations absolues. La morphologie des grottes et le niveau des galeries peuvent également être mis en relation avec l'évolution du niveau de base hydrologique témoignant de conditions climatiques passées ou de paysages anciens.
- La **paléontologie et l'archéologie** : Les cavernes ont parfois servi d'abris à la faune et aux premiers hommes ayant occupé une région. On peut y retrouver des artefacts d'outils, des traces de foyers ou des ossements d'animaux piégés dans les galeries.

b. Sources de données

- ***Inventaire des géotopes suisses*** **(ASSN, 2012)**

  Dans sa version finale, cet inventaire comprend un seul géotope fribourgeois d'intérêt spéléologique. Il s'agit du réseau des *Morteys et Gouffre des Diablotins* (CH 322) qui sera directement intégré à l'inventaire cantonal.

- ***Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg*** **(Grandgirard, 1999a)**

  Cet inventaire compte neuf « cavités souterraines » parmi les géotopes karstiques qu'il recense. Ces géotopes ont été évalués par l'auteur sur la base de quatre critères (représentativité, intégrité, rareté, valeur paléogéographique). Les modalités de cette évaluation sont détaillées dans l'article *Géotopes karstiques du canton de Fribourg* (Grandgirard & Spicher, 1997) publié à l'occasion du 12ème Congrès international de Spéléologie.

- ***Inventaire spéléologique fribourgeois*** **(SCPF, 2013) :**

  Cet inventaire quasi exhaustif recense 334 cavités explorées dans le canton. Outre la localisation précise de leur(s) entrée(s), la liste intègre la dénivellation et le développement connu des réseaux sur lesquelles elles débouchent.

c. Méthode et critères de sélection

Bitterli (1997) et Grandgirard & Spicher (1997) ont proposé des méthodes d'évaluation des géotopes karstiques souterrains. Le premier propose de considérer 4 critères : la valeur esthétique, la valeur scientifique, la valeur culturelle et historique ainsi que les dimensions des cavités. Le second se focalise sur les critères de représentativité et de rareté des cavités et des concrétions qu'elles renferment. Ces deux méthodes sont particulièrement adaptées pour rendre compte de la valeur globale d'un géotope spéléologique. Cependant, elles rendent la sélection des géotopes de plus grande valeur difficile au vu du nombre d'objets répertoriés dans le canton de Fribourg.

Dans un premier temps, nous proposons donc de considérer uniquement le critère de l'extension des réseaux. L'*Inventaire spéléologique du canton de Fribourg* (SCPF, 2013) décrit, pour l'ensemble des cavités fribourgeoises, le développement et la dénivellation explorés jusqu'ici. Dans le cadre du présent travail, une carte de distribution (Fig. 67) a été réalisée sur la base de ces données.

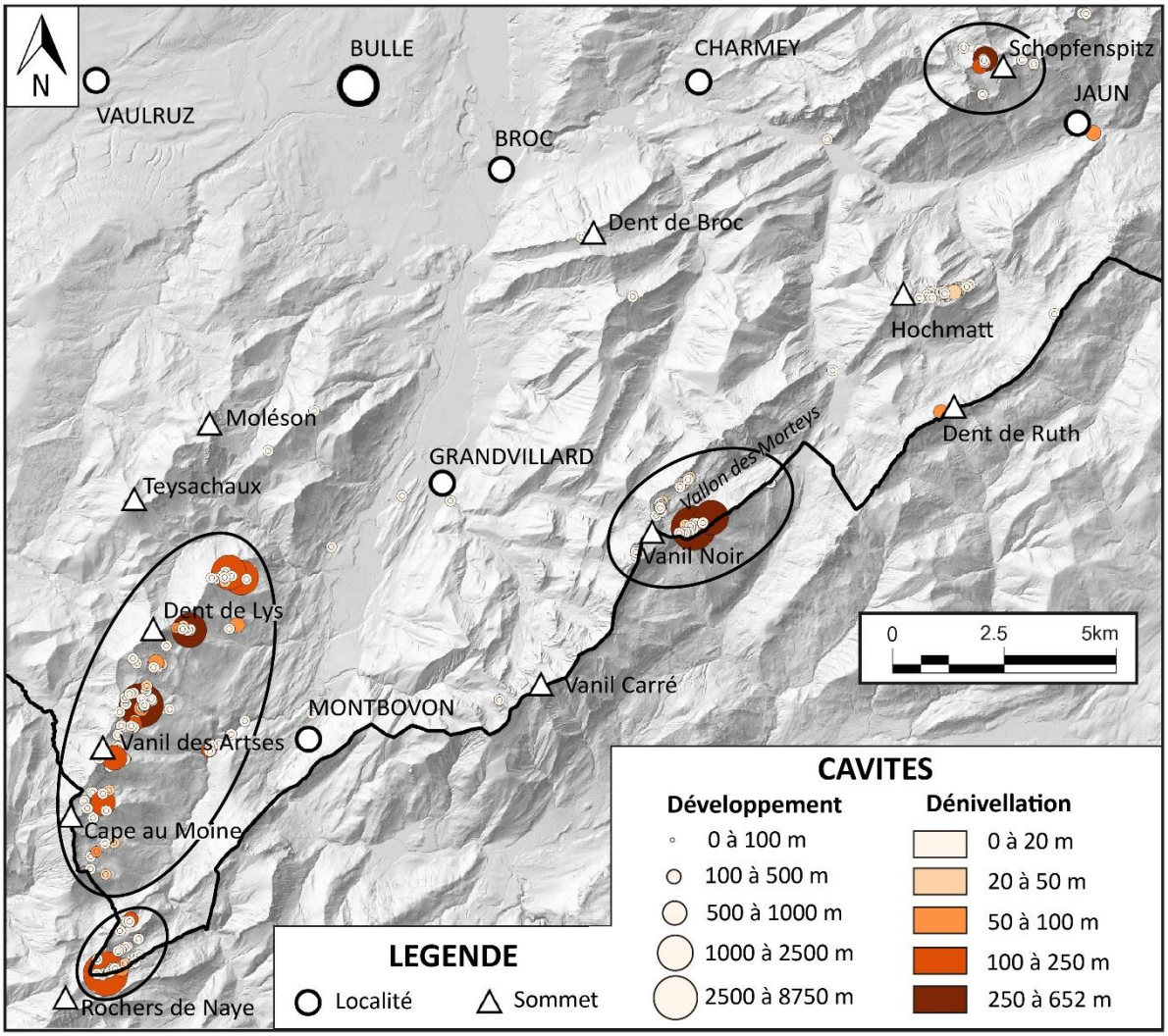


Fig. 67 : distribution des cavités karstiques des Préalpes fribourgeoises. Le diamètre des ronds représente le développement des réseaux tandis que la couleur indique leur dénivellation. Les ellipses noires mettent en évidence quatre secteurs où les réseaux karstiques sont particulièrement développés. Carte réalisée à partir des données de l'Inventaire spéléologique du canton de Fribourg (SCPF, 2013). Fond de carte : estompage du relief dérivé du MNT Swissalti^{3d} (©Swisstopo).

Cette carte permet de mettre en évidence les secteurs comprenant un grand nombre de cavités mais également d'identifier rapidement les réseaux de plus grande extension. Il s'agit ensuite de déterminer, pour chacun des secteurs, s'il est plus pertinent de sélectionner une seule grotte particulièrement remarquable ou de considérer l'ensemble d'une « région à grottes » comme un unique géotope. C'est sur cette base de réflexion qu'ont été sélectionnés les GICs présentés au chapitre suivant.

d. Géotopes retenus

Les quatres géotopes ci-dessous ont été retenus pour leurs caractéristiques spéléologiques exceptionnelles à l'échelle du canton :

n°	Nom
41	**Réseaux karstiques du Haut-Intyamon**
42	**Réseau karstique des Morteys et Gouffre des Diablotins**
43	**Grotte de Naye (ou du Glacier)**
44	**Gouffre du Protoconule**

Cette sélection garantit une certaine diversité géographique en prenant en compte quatre régions où le karst souterrain est particulièrement développé : le versant SE de la chaîne allant du Vanil de l'Arche à la Cape au Moine, le secteur de la dent de Hautadon et de la Grande Chaux de Naye qui marque la pointe sud du canton, le versant sud du Vallon des Morteys et le Vallon de Balachaux, au NO du Schopfenspitz. Dans le cas de la Grotte de Naye et du Gouffre du Protoconule, seule la cavité la plus développée a servi de délimitation au géotope. Le géotope localisé dans le vallon des Morteys (GIC n°42) englobe deux réseaux qui n'ont pas pu être reliés jusqu'ici.

Les géotopes suivants constituent ou intègrent des cavités ou des réseaux souterrains d'importance mais qui ont été sélectionnés en tant que GICs dans une autre catégorie thématique :

n°	Nom
45	**Exsurgence et cascade de Jaun**
46	**Estavelle de l'Hongrin et source de Neirivue**
11	**Gisement à faune würmienne du Bärenloch (Pleistocène)** inclus dans *Vallon structural du Breccaschlund*
38	**Complexe karstique Hochmatt – In den Löchern**

e. Vulnérabilité

Bien que difficilement accessibles et peu sollicités, les cavités et réseaux souterrains n'en demeurent pas moins des environnements fragiles qu'il convient de protéger. De plus, ils renferment des ressources en eaux extrêmement sensibles à la pollution puisqu'il n'y a que peu de filtration par le sol et le sous-sol. Deux types de menaces pèsent sur le milieu karstique souterrain :

- **Les menaces extérieures ou indirectes :**
  Contrairement à l'arc jurassien, la localisation et l'altitude élevée de l'endokarst fribourgeois le préserve de la plupart des pressions liées à l'aménagement du territoire (exploitation de carrières, creusement de tunnels, aménagement de pistes de ski, aménagements fonciers ou agraires, remblayage et comblement). Certains secteurs sont tout de même exposés à certaines dégradations extérieures (pollutions chimiques ou bactériennes, captage d'eau, décharge sauvage) qui peuvent affecter le régime hydrologique et la qualité de l'eau présente dans le réseau karstique.

- **Les menaces intérieures ou directes :**
  Elles sont liées à la pénétration humaine de ce milieu dans le cadre d'explorations, de recherches scientifiques ou même de visites guidées. Une pratique irréfléchie ou une fréquentation trop importante d'un réseau peut conduire à des détériorations irrémédiables, notamment des spéléothèmes, souvent fragiles et formés durant des millénaires. Ces menaces sont d'autant plus grandes que la cavité est accessible à un public élargi (ex. : Grotte de Naye). Outre les détériorations directes (graffitis, destruction de concrétions, remaniement de sédiments), la pénétration des cavités et les travaux de désobstruction ont des conséquences sur le climat naturel des grottes (circulation d'air) ainsi que sur la faune cavernicole.

f. Mesures générales de gestion

Le rapport de l'ISSKA (2001) cité en introduction décrit de manière extrêmement détaillée les mesures à adopter pour une conservation durable du patrimoine karstique et spéléologique. A l'échelle du canton, la gestion des menaces intérieures de la plupart des cavités est du ressort des spéléologues qui sont les seuls à fréquenter ces environnements. Pour des grottes en partie accessibles au public comme celle de Naye, le canton devrait s'assurer que les visiteurs soient suffisamment encadrés et sensibilisés à la fragilité du milieu qu'ils fréquentent. En surface, toute implantation d'infrastructure à proximité d'une entrée de cavité devrait être évaluée par des spécialistes. Les mesures de protections des eaux en zones karstiques sont déjà régies par la Loi sur la protection des eaux (LEaux) au niveau fédéral et la Loi sur les eaux (LCEaux) à l'échelle cantonale. Toutes les zones présentant des cavités karstiques sont considérées comme particulièrement menacées et classées en tant que secteur protégé si l'on se réfère à la *Carte de protection des eaux* (SEn, 2015) éditée par le Service de l'environnement du canton.

6.4.3 Pertes et sources karstiques

Les **pertes** karstiques constituent des infiltrations ponctuelles des eaux de surface en région calcaire. Le cours d'eau s'infiltre totalement ou partiellement et vient alimenter la nappe karstique en profondeur. Les **sources** ou émergences karstiques constituent les exutoires principaux des eaux souterraines. On parlera d'exsurgence lorsque ces eaux proviennent d'une infiltration diffuse et de résurgence s'il s'agit de la réapparition d'une rivière souterraine dont la perte est connue (Fig. 68). L'**estavelle** est une cavité à fonction réversible qui se comporte comme perte lors des basses-eaux et comme source lorsque le système hydrogéologique se met en charge et le niveau piézométrique de la nappe augmente.

Fig. 68 : la cascade de Jaun constituent le plus bel exemple d'une exsurgence karstique dans le canton de Fribourg.

a. Intérêt scientifique

Les émergences karstiques se distinguent des autres sources par l'importance et la très forte variabilité de leur débit ainsi que par la qualité changeante des eaux qu'elles restituent. La zone saturée du karst étant quasiment impénétrable, l'étude de ces sources permet une connaissance indirecte du système hydrologique dont elles constituent l'exutoire. Ces investigations sont cruciales pour la gestion des ressources en eaux en région calcaire. La mesure continue des variations de débits, de températures et des paramètres physico-chimiques à la source, mise en lien avec les apports d'eau en surface (précipitation, fonte des neiges), permet d'appréhender le fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère karstique. Par ailleurs, des essais de traçage réalisés à partir de pertes permettent d'établir des liens hydrogéologiques entre les zones d'infiltration et les sources afin de définir des bassins d'alimentation karstiques qui peuvent se révéler très différents des bassins versants hydrologiques déterminés par la topographie. Concernant les estavelles, leur caractère réversible renseigne sur le

niveau piézométrique de la nappe karstique. En outre, les sources karstiques constituent des sites particulièrement humides et frais à la frange des régions calcaires plutôt sèches et rocailleuses (Pieracci et al., 2008). Elles constituent des lieux de vie propice à des espèces très spécialisées et constituent donc également des biotopes à préserver.

b. Sources de données

- **Inventaire des géotopes suisses (ASSN, 2012)**
  Dans sa version finale, cet inventaire comprend un seul géotope fribourgeois correspondant à la catégorie « sources et pertes karstiques ». Il s'agit de l'*Estavelle de l'Hongrin* (n°317).

- **Liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale (Berger, 1995)**
  Sur 45 objets, seules la cascade de Jaun (n°15) et la Perte de l'Hongrin (n°6) ont été sélectionnés pour leurs caractéristiques hydrogéologiques remarquables.

- **Inventaire spéléologique fribourgeois (SCPF, 2013)**
  Parmi les 334 cavités recensées dans le canton, un certain nombre fonctionne comme perte ou source, une seule constitue une estavelle. Une partie de ces cavités ennoyées a été explorée par des spéléologues-plongeurs.

- **Sources et pertes en régions karstiques (ISSKA, OFEV)**
  Cette couche vectorielle établie par l'ISSKA et éditée par l'OFEV est disponible sur le portail cartographique de la Confédération (Swisstopo). Sur le territoire cantonal, cette base de données recense une cinquantaine d'objets (sources, pertes, estavelles). Une distinction est faite entre les sources captées et non-captées ainsi qu'entre les sources temporaires et pérennes. Lorsqu'ils sont connus, les débits sont donnés tout comme le bassin d'alimentation karstique lié à l'exutoire.

c. Méthode et critères de sélection

Deux critères principaux ont été considérés lors de la sélection des GICs. Pour les sources, l'importance du débit constitue le critère déterminant. La rareté et les caractéristiques spécifiques des sites ont également été prises en compte, par exemple la formation d'une cascade ou un fonctionnement hydrologique particulier.

d. Géotopes retenus

n°	Nom
45	**Exsurgence et cascade de Jaun**
46	**Estavelle de l'Hongrin et source de Neirivue**

Parmi l'ensemble des sources karstiques répertoriées, seule l'exsurgence de Jaun dépasse allégrement les 1'000 l/s. Cette particularité, tout comme la belle cascade qu'elle forme, justifie l'importance cantonale de cette source. Avec seulement deux sites recensés dans l'*Inventaire des sources et pertes en régions karstiques* (pertes du Pont du Roc et de l'Hongrin), les pertes karstiques constituent des phénomènes rares en territoire fribourgeois. Le site le plus représentatif de ce phénomène a été retenu : la perte de l'Hongrin. En effet, en période de basses-eaux, le lit de l'Hongrin est totalement à sec en aval de cette perte, ce qui en fait un géotope particulièrement exemplaire. De plus, la cavité devient émissive lorsque le réseau karstique se met en charge. Il s'agit donc d'une estavelle. Pour bien marquer le lien hydrogéologique avec la source de Neirivue, ces deux sites ont été rassemblés en tant qu'unique géotope.

e. Vulnérabilité

La problématique des eaux souterraines a déjà été abordée au chapitre précédent. Les sites en eux-mêmes sont potentiellement menacés par des infrastructures qui en modifieraient l'aspect, le régime hydrologique ou la qualité des eaux (captage, bétonnage, hydroélectricité).

f. Mesures générales de gestion

Tout projet d'aménagement d'un site comprenant une source ou une perte karstique devrait bénéficier d'une étude d'impact réalisée par un spécialiste.

6.5 Géotopes d'origine glaciaire et périglaciaire

Ce chapitre est segmenté en trois parties. La première est dédiée aux blocs erratiques. La deuxième prend en compte les formes d'érosion et de dépôts glaciaires. La dernière est consacrée aux formes périglaciaires héritées ainsi qu'aux sites préalpins qui présentent des conditions thermiques particulières (pergélisol en zone marginale).

6.5.1 Blocs erratiques

Les blocs erratiques (Fig. 69) sont des fragments rocheux transportés par les glaciers puis déposés, à distance de leur lieu d'origine, au moment de la fonte des glaces. Leur taille est extrêmement variable : de moins d'1m^3 jusqu'à des rochers pesant plusieurs milliers de tonnes. Le volume du plus gros bloc fribourgeois, localisé sur la commune de St-Martin, est estimé à 357 m^3 par Bollin (1995). Les blocs erratiques sont innombrables, ce qui contrarie toute volonté d'inventaire exhaustif mais complexifie aussi la sélection des objets de plus grande valeur. Cette catégorie de géotopes fait donc l'objet d'un traitement particulier dans le présent travail qui reprend, en l'état, la liste d'objets intégrés par Grandgirard (1999a) à son *Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg*. Ce choix est justifié dans la rubrique « *c. Méthode et critères de sélection* » tandis que la rubrique « *g. Remarques* » précise la manière dont ces blocs erratiques seront intégrés à l'inventaire des GICs.

Fig. 69 : bloc erratique dans le lit de la Serbache au lieu-dit Le Stald (Commune de la Roche). Ce bloc d'environ 100 m^3 est appelé « Le Menhir » à cause de sa disposition particulière qui fait penser à un mégalithe.

a. Intérêt scientifique

Les blocs erratiques constituent les meilleurs témoins du passage répété des glaciers dans nos contrées au cours des glaciations quaternaires. Leur découverte et les interrogations que ces blocs ont suscitées sont d'ailleurs à l'origine de la théorie glaciaire développée au 19ème siècle (voir chapitre 2.7.2.1).

Le recensement de blocs erratiques représente une étape fondamentale pour élaborer ou valider des modèles d'extension glaciaire (voir chapitre 4.3). En Suisse, ils ont notamment permis de cartographier l'emprise des grands glaciers alpins (Rhône, Rhin, Aar, Reuss, Linth) sur le Plateau lors du dernier maximum glaciaire (Bini et al., 2009, voir Fig. 41). L'analyse pétrographique des blocs permet d'identifier leur région d'origine, et donc de déterminer la zone source des flux glaciaires. Dans le canton de Fribourg, l'identification des roches permet ainsi de distinguer les blocs provenant de glaciers locaux préalpins de ceux transportés par les glaciers du Rhône ou de la Sarine. Sur les versants préalpins qui jouxtent le plateau, l'altitude des blocs erratiques donne aussi une bonne indication de l'épaisseur maximale atteinte par ces deux glaciers venus s'appuyer contre ces contreforts montagneux lors du LGM. Les blocs erratiques représentent également les témoins d'éventuels phénomènes d'incursion ou de transfluence dans les vallées préalpines. Depuis quelques années, certains blocs font l'objet de datations de surface (*cosmogenic nuclide exposure dating*) à l'origine d'importantes avancées dans la recherche paléoclimatique (Reynard, 2004d).

b. Sources de données

Trois inventaires fribourgeois recensent des blocs erratiques :

- ***Inventaire des blocs erratiques du canton de Fribourg*** (Bollin, 1995)
  Avec 815 blocs recensés, il s'agit du document le plus complet sur les géotopes du canton. Les informations fournies dans cet inventaire sont détaillées au chapitre 5.4.6.

- ***Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg*** (Grandgirard, 1999a)
  Cet inventaire intègre 65 blocs erratiques considérés par l'auteur comme des objets d'importance cantonale. La méthodologie qui sous-tend le choix de ces blocs a fait l'objet d'une publication (Grandgirard & Schneuwly, 1997) et est précisée dans la rubrique *c. Méthode et critères de sélection*.

- ***Inventaire des sites naturels du canton de Fribourg*** (CCPNP & OCAT, 1978)
  Parmi les 215 sites et objets naturels de cet inventaire hétéroclite, 15 sont des blocs erratiques. Les auteurs ne précisent pas les critères utilisés pour la sélection de ces blocs. Cependant, dans l'esprit de cet inventaire, c'est plutôt la dimension esthétique de ces objets, considérés comme des éléments marquants du paysage, qui semble primer sur des caractéristiques strictement géologiques ou des considérations géomorphologiques.

Les blocs erratiques connus sont également reportés sur les cartes géologiques, chacune en comptant généralement plusieurs centaines. Les notices explicatives se contentent d'énumérer les blocs les plus remarquables et de lister les lithologies les plus fréquentes sur le territoire étudié. A noter que cinq blocs erratiques ont été proposés dans la consultation d'experts. Ils figurent tous dans les inventaires précités.

c. Méthode et critères de sélection

Dans le canton de Fribourg, les blocs erratiques se comptent par milliers. Au regard de cette quantité pléthorique d'objets, la sélection de 65 blocs d'importance cantonale opérée par Grandgirard (1999a) ne semble pas excessive. De plus, ce choix se fonde sur une méthodologie transparente, et cohérente au vu des données disponibles. La réflexion méthodologique ayant conduit à la sélection de ces blocs a d'ailleurs fait l'objet d'une publication intitulée *Auswahl und Schutz bedeutender Findlinge im Kanton Freiburg* (Grandgirard & Schneuwly, 1997). Après l'essai de plusieurs méthodes, les auteurs ont opté pour une matrice à deux entrées afin de sélectionner les blocs erratiques de plus grande valeur. Seuls les critères de rareté lithologique et de volume ont été pris en compte : plus les caractéristiques lithologiques d'un bloc sont courantes, plus le volume de ce dernier doit être important pour intégrer l'inventaire; au contraire, un bloc de taille modeste ne pourra y figurer que si la roche dont il est issu est très peu représentée dans le canton.

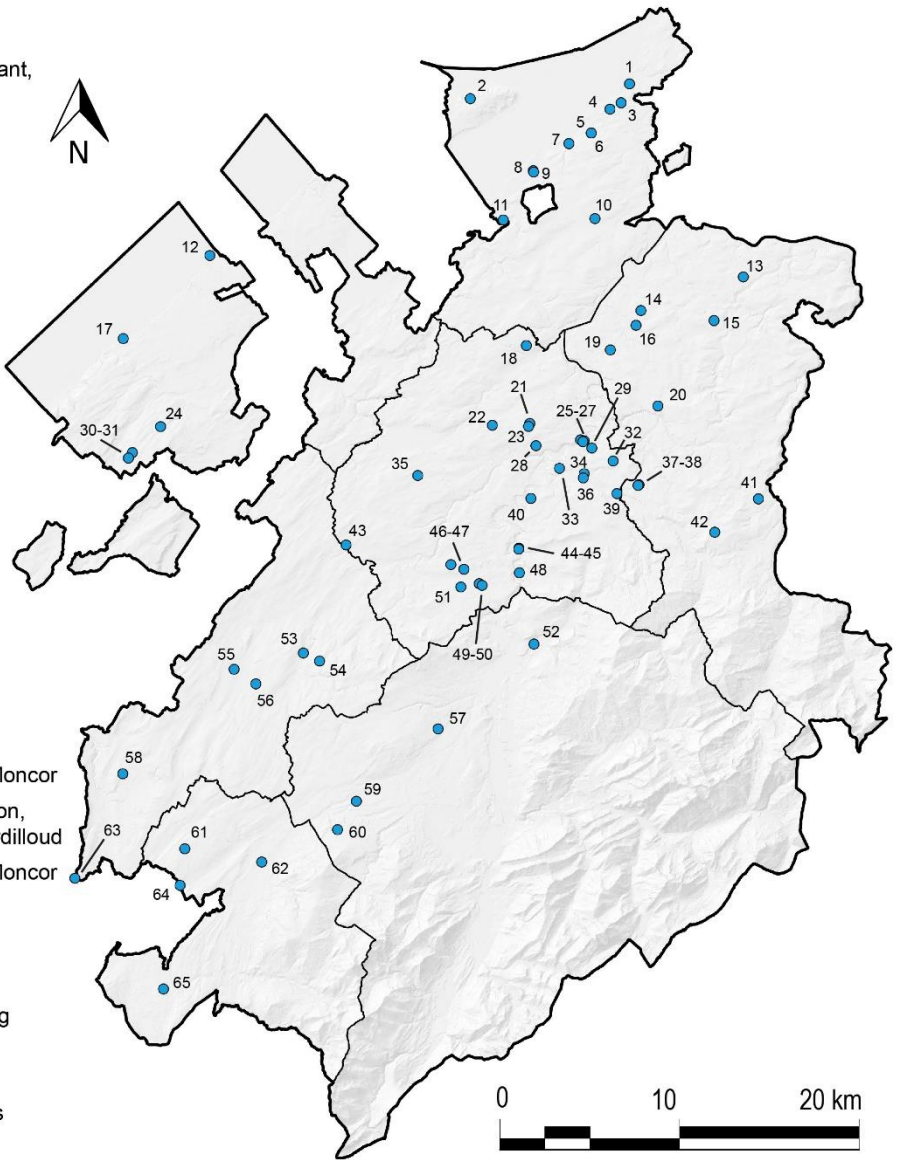
	Kleine Volumen (< 2 m³)	**mittlere Volumen (2-10 m³)**	**grosse Volumen (> 10 m³)**
sehr seltene Lithologie	**X***	**X**	**X**
seltene Lithologie		**X**	**X**
häufige Lithologie			**X**
*Die Kategorien der als Geotop zu bezeichnenden Blöcke sind mit X gekennzeichnet. *: ist kein Findling von mindestens 2m³ vorhanden, wird der größte Block dieser Lithologie als Geotop klassifiziert.*			

Tableau 6 : matrice de sélection des blocs erratiques d'importance cantonale en fonction du volume et de la rareté lithologique (Grandgirard & Schneuwly, 1997).

La principale faiblesse de cette méthode est qu'elle intègre uniquement des objets situés sur le Plateau fribourgeois. Aucun bloc erratique référencé ne permet donc d'estimer l'altitude atteinte par les glaciers du Rhône et de la Sarine au plus fort de la dernière (ou avant-dernière) glaciation. Conscients de ce défaut, Grandgirard et Schneuwly (1997) soutiennent que cet aspect est particulièrement difficile à prendre en compte puisque ce type de blocs erratiques, d'un grand intérêt paléogéographique, n'a jamais été étudié de manière systématique dans le canton.

Quoiqu'il en soit, affiner la sélection de Grandgirard & Schneuwly (1997), ou en proposer une nouvelle, nécessiterait un investissement en temps considérable, ce qui dépasse le cadre du présent travail. De plus, un choix restreint ne garantirait plus la représentativité de l'ensemble des lithologies exprimées dans le canton. **Il nous semble donc justifié de garder la liste des blocs erratiques telle qu'adoptée par Grandgirard (1999a), en validant l'importance cantonale que ce dernier leur avait accordée.** Cette liste est rapportée sur la Fig. 70 de la page suivante.

d. Géotopes retenus



1. S de Kerzers
2. Bloc Agassiz ou palet roulant, Haut Vully
3. N de Ried
4. Ried, Reben
5. Galmiz, Jägerstein
6. Galmiz, Jägerstein
7. Murten, Löwenberg
8. E de Murten
9. E de Murten
10. Jeuss
11. Courgevaux, Froideville
12. Pierre à Bise, N de Forel
13. Wünnewil
14. NE de Düdingen
15. Schmitten, Bergacher
16. SE de Düdingen
17. Pierre du mariage, Font
18. La Corbaz
19. Düdingen, Garmiswyl
20. Tafers, Maggenberg
21. N de Villars-sur-Glâne, Moncor
22. Bloc erratique de Praz Bon, SW de Corminboeuf, Verdilloud
23. N de Villars-sur-Glâne, Moncor
24. Aumont
25. Fribourg, MHNF
26. Fribourg, MHNF
27. Bloc de Pérolles, Fribourg
28. Villars-sur-Glâne
29. Pierre au Poste, Pierrafortscha, Les Rittes
30. Nuvilly, La Palud
31. Nuvilly
32. Pierrafortscha, Champs de la Pierre
33. Marly-le-Petit
34. Marly-le-Grand
35. Onnens
36. Marly-le-Grand
37. Tentlingen
38. Tentlingen
39. Pierrafortscha, Le Fâlo
40. Hauterive
41. Brünisried, Tanenwijer
42. Plasselb, Rüti
43. Vigny, E de Chénens
44. Arconciel, bord de la Sarine
45. Arconciel, bord de la Sarine
46. Bloc de Versannes, Farvagny-le-Petit, Le Saugy
47. Farvagny-le-Petit
48. NW de Rossens, fond du canyon de la Sarine
49. Farvagny-le-Grand, In Riaux
50. Farvagny-le-Grand, In Riaux
51. Farvagny-le-Grand
52. Menhir, La Roche, Le Stald
53. La Neirigue
54. Grangettes, Le Mont
55. Romont, L'Halle
56. S de Mézières
57. SW de Marsens
58. Rue, Les Fourches
59. Vuadens, La Bolossetta
60. Vuadens, Les Colombettes
61. Besencens, La Jailla
62. Semsales, Les Planches
63. Pierre du Dos de l'âne, Auboranges, La Montagne
64. St-Martin
65. E de Bossonnens

Fig. 70 : distribution des 65 blocs erratiques repris de l'Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg (1999a) et intégrés à l'Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale.

e. Vulnérabilité

Durant des siècles, les blocs erratiques ont été utilisés comme pierres à bâtir, pierres à chaux ou pierres à meule (Weidmann, 2005). Ils représentaient une ressource facile d'accès et des matériaux présentant des propriétés souvent bien différentes du substrat rocheux local. Aujourd'hui, il ne subsiste ainsi que des blocs difficilement exploitables du fait de leurs caractéristiques pétrographiques (dureté, composition) ou de leur localisation (difficulté d'accès, éloignement des secteurs habités). Cette exploitation n'est désormais plus d'actualité et ne constitue pas un danger majeur pour les géotopes. Malgré tout, il est toujours possible que des blocs soient évacués ou détruits dans un but d'optimisation agricole ou pour faire place à de nouvelles constructions. En milieu forestier, les blocs inventoriés sont susceptibles de disparaitre progressivement sous la végétation.

f. Mesures générales de gestion

Il faut distinguer ici les mesures à adopter pour les objets connus et référencés (en premier lieu les 65 blocs erratiques d'importance cantonale) des mesures concernant les nouvelles découvertes.

Les **blocs inventoriés** ne doivent en aucun cas être détruits, enfouis, ou déplacés. Le canton doit également s'assurer que les blocs les plus isolés ne soient pas entièrement ensevelis ou recouverts par la végétation, au risque de devenir totalement introuvables. Une collaboration avec les arrondissements forestiers semble appropriée pour traiter cette problématique. D'autres blocs se trouvent en bordure de chemins assez fréquentés. Ces sites se prêtent particulièrement bien à des projets de valorisation et certains blocs fribourgeois bénéficient déjà d'un panneau didactique expliquant leur origine glaciaire (Fig. 71). Le canton pourrait soutenir les communes afin de favoriser l'installation ou le renouvellement de ces moyens d'information au public.

Fig. 71 : exemple de valorisation d'un bloc erratique sur le sentier thématique du lac de la Gruyère (novilé). Ce panneau didactique interragit avec une application mobile qui propose des animations en réalité augmentée (Braillard & dna Studios, 2018).

Certains blocs erratiques n'affleurent pas à la surface mais sont encore incorporés dans les dépôts morainiques du sous-sol. Lors de travaux d'excavation, de **nouveaux blocs** sont donc régulièrement mis au jour. Ils servent parfois d'éléments d'ornementation dans les espaces verts des nouveaux quartiers d'habitations, ce qui constitue un bon moyen de les préserver. Ces blocs, qui entravent parfois l'avancée des travaux, ne doivent pas être détruits ou évacués trop loin de leur lieu de découverte. Les objets présentant un volume important ou des caractéristiques lithologiques particulières devraient en outre être annoncés au Musée d'histoire naturelle de Fribourg. L'échange d'informations et la répartition des responsabilités entre cette institution et le Service cantonal de la forêt et de la nature (SFN) est dès lors capitale. Pour le moment, le MHNF garde confidentiel les données de l'inventaire de Bollin (1995) et la liste restreinte proposée par Grandgirard (1999a) n'est pas non plus exploitée. Pour une gestion efficiente des blocs erratiques du canton, nous estimons qu'il serait plus judicieux de rendre accessible cette base de données sur le géoportail cantonal en s'inspirant de la situation qui prévaut dans le canton de Berne notamment.

g. Remarque

Pour ne pas déséquilibrer l'inventaire des GICs et fausser l'analyse quantitative des résultats de l'inventaire des GICs (Chapitre 7.1), ces 65 blocs erratiques seront appréhendés comme un géotope unique dans la suite du travail :

n°	Nom
47	**Blocs erratiques d'importance cantonale (65 objets)**

6.5.2 Formes d'érosion et de dépôts glaciaires

Ce chapitre prend en compte l'ensemble des formes qui témoignent de l'invasion, puis du retrait, des glaciers dans le canton de Fribourg au cours de la dernière glaciation (voir chapitre 4.3). Ces épisodes, récents à l'échelle des temps géologiques, ont fortement marqué le modelé des paysages fribourgeois qui gardent de nombreuses traces de cette période froide sur le plan climatique.

Fig. 72 : les reliefs de Pringy (n°1, 30m de hauteur) et de Gruyères (n°2, env. 100m) représentent des exemples typiques de « Rundhöcker » (Hantke, 1972) qui sont des collines d'érosion glaciaire à la forme arrondie caractéristique. Constitués de calcaires siliceux résistants (Couches du Petit Liençon) et localisés dans le prolongement de la vallée de l'Intyamon, ces seuils rocheux ont été façonnés par le glacier de la Sarine qui a plusieurs fois envahi la région au cours du Quaternaire.

a. Intérêt scientifique

Au cours du Quaternaire, les glaciers alpins (Rhône et Sarine) ont recouvert le Plateau fribourgeois à de multiples reprises. Dans les Préalpes, ce sont les glaciers locaux qui ont joué ce rôle en envahissant les vallées secondaires et en comblant les cirques montagneux. Les flux glaciaires ont exercé une forte action érosive sur le substrat rocheux en attaquant plus efficacement les lithologies les moins résistantes et les secteurs déjà fragilisés par la tectonique. Cette érosion différentielle a conduit au surcreusement de certaines vallées de plaine ou, en milieu préalpin, à la formation d'**ombilics** en amont de **verrous** rocheux. Le passage répété des glaciers a sculpté de nombreuses collines rocheuses, en leur donnant une forme arrondie (« *Rundhöcker* », voir Fig. 72), ou alors allongée parallèlement aux flux glaciaires, comme à Romont par exemple (Fig. 7). D'après Bersier (1942), l'écoulement de la glace sur le Plateau a pu lui-même épouser les lignes directrices imposées par la structure des unités molassiques sous-jacentes. L'intégration de « **collines d'érosion glaciaire** » à l'inventaire des GICs permet donc à la fois d'illustrer l'action érosive des glaciers mais aussi de mettre en évidence des secteurs remarquables sur le plan géologique : occurrence d'une lithologie résistante (radiolarite, banc conglomératique), agencement structural particulier (chevauchement, écaille, olistolithe), accident tectonique majeur, etc.

En plus de ces formes d'érosion, le modelé glaciaire fribourgeois est composé d'une multitude de formes d'accumulation. En premier lieu, les **drumlins** qui sont des collines allongées issues de la déformation de la moraine de fond par un glacier en progression. Ces formes sédimentaires, qui intègrent parfois un noyau rocheux, se distinguent par un profil asymétrique. Plus élevés à l'amont qu'à l'aval, ces reliefs pointent dans la direction de l'écoulement glaciaire (Fig. 73). Puisque ces formes occupent une grande partie du plateau fribourgeois, il est possible de reconstituer avec une excellente précision les flux du glacier rhodanien dans la région lors du LGM.

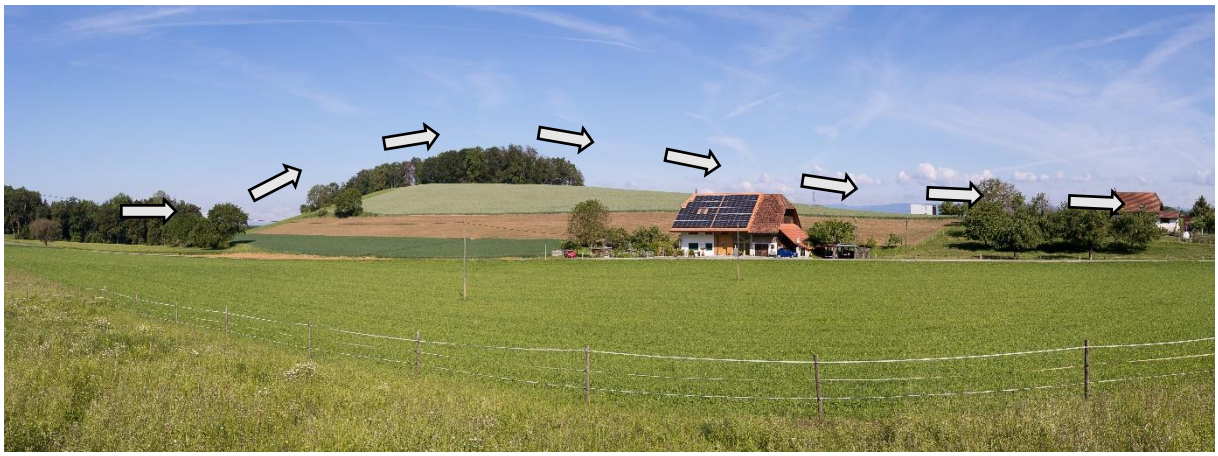


Fig. 73 : situé au SE de Courgevaux, le drumlin de la Ferme Maillard présente un profil longitudinal asymétrique caractéristique. Le flux du glacier rhodanien lors du LGM, d'orientation OSO-ENE, est symbolisé par les flèches grises.

Les **cordons (ou crêtes) morainiques** représentent une autre catégorie de formes glaciaires. Elles indiquent les limites latérales ou frontales atteintes par un glacier lors d'une phase stationnaire. Leur succession sur un espace déterminé témoigne de la déglaciation progressive qui a succédé au LGM et s'est opérée en différentes phases (ou stades) glaciaires. En guise d'exemple, l'étagement de cordons morainiques qui habillent les flancs des Alpettes et de la Chia matérialise la fonte des glaciers du Rhône et de la Sarine qui butaient sur ces massifs jusqu'au Tardiglaciaire. Ces stades glaciaires s'observent aussi dans certains vallons préalpins (notamment à Geissalp) où les glaciers, bien moins volumineux, ont réagi de manière plus dynamique aux variations climatiques du Tardiglaciaire.

D'autres indices morphologiques, **fluvio-glaciaires** ou **glacio-lacustres**, témoignent de la déglaciation post-LGM. C'est le cas des **kames** qui sont des collines de forme conique, constituées de matériel supraglaciaire transporté par les eaux de fonte, puis accumulé au droit d'un moulin glaciaire (Van de Meer, 1982). Ces formes sont bien exprimées entre Pont-la-Ville et la Combert (Fig. 74) où elles s'échelonnent entre 740 et 980m d'altitude environ. Formés sous une masse de glace stagnante, ces kames témoignent du retrait du glacier du Rhône à la toute fin de la glaciation de Birrfeld (anciennement Würm).

Fig. 74 : la colline conique au centre-gauche de l'image (coord. : 2'575'810, 1'173'610; alt. : 864m) constitue l'un des kames localisés sur le versant ouest de la Combert. Des morphologies similaires sont visibles au second plan.

Dans d'autres secteurs, ce sont les **terrasses de kames** qui documentent les étapes de fusion du glacier rhodanien. Au Tardiglaciaire, les eaux de fonte alimentaient de nombreux lacs périglaciaires en bordure directe du glacier. Ces bassins éphémères ont été comblés par d'importants dépôts lacustres ou fluviatiles qui forment aujourd'hui des terrasses de kame étagées (bien marquées dans la région d'Oberried par exemple). Des **terrasses fluvio-glaciaires** se sont aussi formées dans les lacs de barrage qui occupèrent un temps certaines vallées préalpines barrées par le glacier du Rhône. L'altitude de ces terrasses, cônes d'alluvions ou deltas perchés indiquent le niveau atteint par ces paléolacs. La terrasse de la Grande Cithard, dans la vallée de la Trême, représente un très bon exemple de ce genre de morphologie (Pugin, 1989).

Enfin, certaines zones humides traitées au chapitre 6.7 occupent des **dépressions de culots de glace morte** (voir aussi Fig. 4). Egalement nommées *Kettles* ou dolines glaciaires, ces morphologies dépressionaires sont liées à la fonte tardive de volumineux lambeaux de glace incorporés dans les dépôts morainiques qu'abandonne un glacier en phase de régression.

b. Sources de données

Les données des deux inventaires ci-dessous ont été prises en compte afin de sélectionner les géotopes d'origine glaciaire d'importance cantonale :

- ***Inventaire des géotopes suisses*** *(ASSN, 2012*)

  Mis à part l'objet n°268 *Bassin glaciaire d'Ecoteaux*, qui ne concerne que marginalement le canton de Fribourg, aucun géotope fribourgeois n'est intégré à cet inventaire pour un intérêt exclusivement glaciaire. Malgré tout, la *vallée glacio-karstique du Breccaschlund* (n°17), la *colline rocheuse isolée du Mont Vully* (n°163) et les *Gorges de la Veveyse de Fégire* (n°234) sont trois géotopes en partie hérités de processus glaciaires.

- ***Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg*** **(Grandgirard, 1999a)**
  Outre les 65 blocs erratiques abordés précédemment, cet inventaire comprend 60 autres géotopes glaciaires répartis en 9 catégories : cirques glaciaires, vallées en auge, collines d'érosion glaciaire, dépressions de culots de glace morte, vallums morainiques, cordons morainiques, drumlins, kames et complexes glaciaires.

Plusieurs géotopes n'apparaissant pas dans les inventaires précités ont été proposés lors de la consultation d'experts (voir Annexe 1.2). La lecture des cartes géologiques et l'observation systématique du modèle numérique de terrain ont également révélé de nouvelles formes qui ont aussi été considérées dans la démarche de sélection.

c. Méthode et critères de sélection

Les critères suivants ont été pris en compte pour sélectionner les formes glaciaires d'importance cantonale :

- **Représentativité** : la représentativité d'une forme glaciaire dépend de plusieurs critères : dimension (hauteur, longueur, surface), conformation (morphologie bien exprimée c.-à-d. proche d'un idéal-type), constitution (type de substrat rocheux ou de remplissage sédimentaire). Pour les ensembles de formes (successions de moraines, associations de kames, champs de drumlins), le nombre et l'agencement spatial des objets participent à l'exemplarité du géotope. Finalement, pour être représentative de l'histoire glaciaire du canton, la sélection des GICs doit intégrer des formes d'origine rhodanienne et sarinienne mais aussi héritées de glaciers locaux préalpins.

- **Intégrité** : les activités humaines ou l'érosion naturelle peuvent sensiblement altérer les morphologies d'origine glaciaire. Les formes ayant conservé leur aspect originel sont considérées comme des géotopes de plus grande valeur.

- **Rareté** : certains géotopes glaciaires, comme les kames, sont particulièrement rares sur le territoire fribourgeois, ce qui justifie leur intégration à l'inventaire des GICs. Au contraire, d'autres morphologies (les drumlins notamment) sont extrêmement fréquentes dans le canton. Considérées individuellement, ces formes peuvent tout de même être définies comme rares si elles se distinguent par des caractéristiques peu communes ou revêtent un intérêt paléogéographique particulier.

- **Valeur paléogéographique** : soit l'intérêt d'un géotope quant à la reconstitution de la paléogéographie du canton au LGM et au Tardiglaciaire. Ce critère est déterminant pour cette catégorie de géotopes qui représentent les meilleurs témoins des dynamiques glaciaires de la fin de la dernière glaciation. Le potentiel paléogéographique de ces géotopes n'a pas encore été pleinement exploité et la datation de ces dépôts glaciaires permettrait d'établir une chronologie plus précise de la déglaciation tardiglaciaire de nos contrées.

d. Géotopes retenus

Ce sont d'abord les **formes d'érosion glaciaire** qui ont été investiguées. Les géotopes suivants ont été retenus comme objets d'importance cantonale :

n°	Nom
48	**Succession de verrous et ombilics glaciaires de Bounavaux**
49	**Colline d'érosion glaciaire du Mont Vully**
50	**Colline d'érosion glaciaire de Romont**
51	**Collines d'érosion glaciaire Gruyères – Pringy – Bérauta**
52	**Collines d'érosion glaciaire Remaufens – Châtel-St-Denis**
53	**Collines d'érosion glaciaire des Cressets**

Auxquels on peut ajouter les géotopes ci-dessous, choisis dans d'autres chapitres de ce travail :

n°	Nom
89	**Collines d'érosion glaciaire du Jeu de Quilles** Compris dans le GIC « Gros Mont »
3	**Ecaille de molasse subalpine de Champotey et carrière de Prévondavau**
4	**Ecaille de molasse subalpine et gisement fossilifère marin de Vaulruz**

A première vue, le nombre de « **collines d'érosion glaciaire** » choisi peut sembler excessif : un ou deux objets auraient suffi à illustrer ce genre de modelé. Mais ces géotopes constituent également des sites d'importance sur le plan géologique, composante qui a aussi été prise en compte lors de la phase de sélection. En guise d'exemple, le GIC n°51, qui comprend les collines allongées au N de Remaufens et de Châtel-St-Denis, représente l'unique géotope de l'inventaire localisé dans les Poudingues du Mont Pèlerin. A l'autre extrémité du canton, l'imposante croupe molassique du Mont-Vully (GIC n°53) constitue à la fois un témoin de la glaciation würmienne et un géotope d'intérêts stratigraphique (transition OMM-USM) et paléontologique (gisements fossilifères d'intérêt national).

L'inventaire de Grandgirard (1999a) intègre deux autres catégories de formes issues d'une érosion glaciaire : les **vallées en auge** et les **cirques glaciaires**. Dans les Préalpes fribourgeoises cependant, ces macro-formes ne sont clairement pas bien exprimées. En effet, l'origine de ces vallées, vallons ou cirques est avant tout structurale et l'action des glaciers, combinée à des processus karstiques et/ou fluviatiles, n'a fait que surligner ces morphologies sans en être la cause première. Nous renonçons donc à intégrer ces macro-formes sous ces appellations. L'inventaire des GICs intègre tout de même

deux vallons structuraux, sujets à des processus karstiques, et maintes fois englacés au cours du Quaternaire :

n°	Nom	
10	**Vallon synclinal des Morteys** y.c. Complexe glacio-karstique - Eboulement des Grosses Pierres	
11	**Vallon structural du Breccaschlund** y.c. Complexe glacio-karstique - Gisement à faune würmienne du Bärenloch	

Dans un second temps, les formes d'accumulation glaciaire ou mixtes (glacio-lacustre, fluvio-glaciaire) ont été examinées et neufs géotopes ont été intégrés à l'inventaire des GICs :

n°	Nom
54	**Ensemble de drumlins de Courgeveaux à Muntelier** Ferme Maillard – Bodemünzi – Aderahübel – Grande Ferme
55	**Complexe glaciaire de Montévraz – Zénauva – Oberried – Montécu – Bonnefontaine** (y.c kames, terrasses de kame et cordons morainiques)
56	**Kames de Pont-la-Ville et de la Combert**
57	**Terrasse fluvio-glaciaire de la Grande Cithard**
58	**Complexe morainique rhodanien (Nord de Brünisried)**
59	**Complexe morainique rhodanien (Chano - La Comba)**
60	**Recoupement des complexes morainiques rhodaniens (Vaulruz - Vuadens) et sarinien (le Pâquier - Bulle/Planchy)**
61	**Cordons morainiques locaux du Creux Charles**
62	**Cordons morainiques locaux de Tissiniva** (NO des Dents de Brenleire et Folliéran)

Cette liste peut être complétée par le GIC n°63 sélectionné au chapitre 6.5.3 :

n°	Nom
63	**Glaciers rocheux fossiles et cordons morainiques locaux** (Geissalp - Schönenbodenegg - Neugantrisch)

e. Vulnérabilité

Formées de roches dures, les **collines d'érosion glaciaire** représentent des sites particulièrement adaptés à l'extraction de blocs. L'ouverture de carrières dans ces verrous rocheux peut sensiblement modifier leur aspect, voire conduire à la destruction complète de ces reliefs. En guise d'exemple, l'exploitation d'une carrière au nord-est d'Enney a fait totalement disparaitre la butte de la Ronhlynetta. Cette éminence rocheuse d'une trentaine de mètres couvrait deux hectares et abritait pourtant un site mésolithique d'importance (Mauvilly et al., 2005).

Les formes de terrain constituées de dépôts morainiques, fluvio-glaciaires ou glacio-lacustres sont plus menacées encore. Ces géotopes sédimentaires peuvent être exploités pour les matériaux qu'ils renferment. Aujourd'hui protégé par le Règlement communal d'urbanisme (RCU) de Pont-la-Ville, l'imposant kame de Bertigny (env. 50 m de hauteur) a par exemple été exploité lors de la construction du barrage de Rossens (1945-48). En partie éventrée, cette forme a heureusement gardé son aspect conique originel et n'a pas été totalement détruite. Les drumlins, crêtes morainiques ou terrasses de kames sont également menacés par des terrassements qui en modifieraient l'aspect. Pour les collines rocheuses comme pour les drumlins, l'implantation de constructions peut aussi affecter la lisibilité de ces reliefs dans le paysage, diminuant significativement leur valeur scientifique et didactique (Fig. 75).

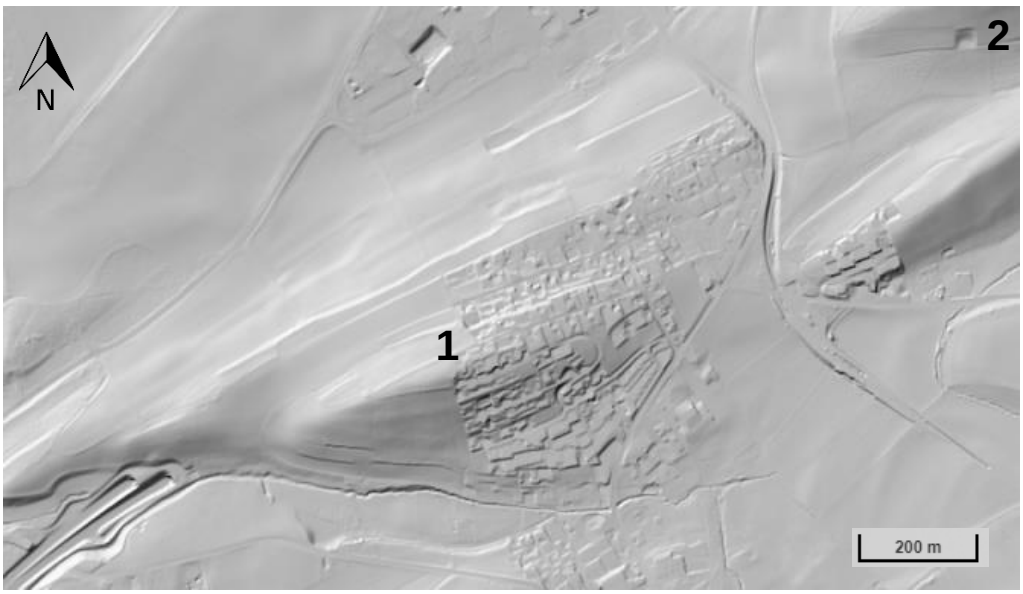


Fig. 75 : modèle numérique de terrain (swissALTI^{3D}, © Swisstopo) de la région de Courgeveaux. La construction d'un quartier de villa a sensiblement altéré la partie Est du drumlin de « Haut-les-Vignes » (pt. 1). Le MNT révèle aussi une petite exploitation de matériaux dans la colline du Bodemünzi (pt. 2).

f. Mesures générales de gestion

Les morphologies glaciaires les plus remarquables (en premier lieu les GICs) devraient être préservées de tout terrassement, construction ou excavation susceptibles d'en modifier la forme ou le contenu (Pierracci et al., 2008).

6.5.3 Formes périglaciaires fossiles et pergélisol de moyenne altitude

Deux types de géotopes sont considérés ici. Premièrement, des **glaciers rocheux fossiles** hérités de conditions climatiques froides du Tardiglaciaire (Fig. 76). Deuxièmement, des sites qui présentent des conditions de sol anormalement et durablement froides au regard des températures qui prévalent aujourd'hui dans les Préalpes **: éboulis froids ventilés** et **glaciaires dynamiques** (grottes glacées).

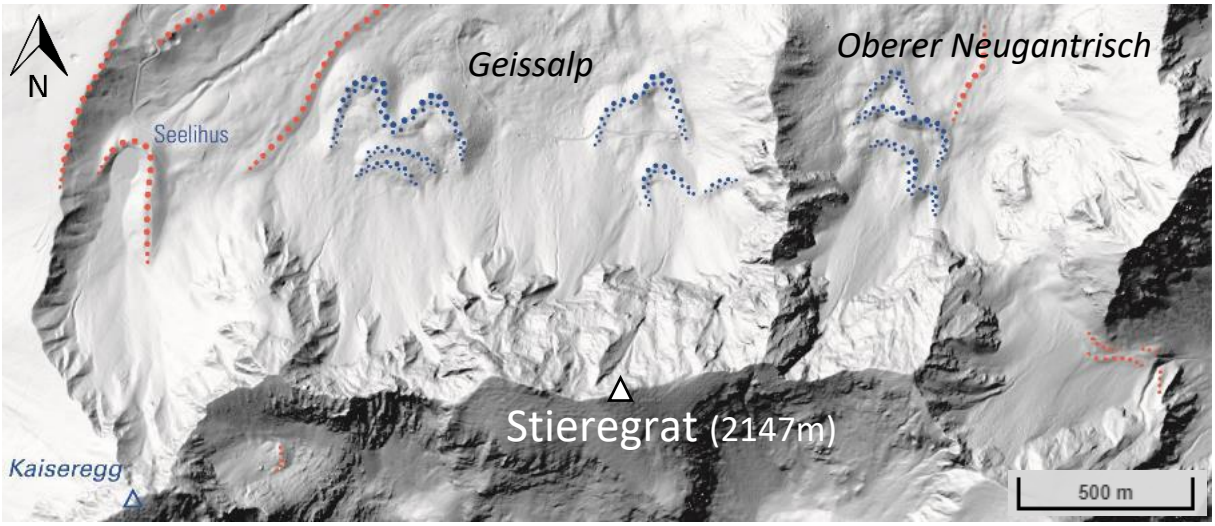


Fig. 76 : modèle numérique de terrain (swissALTI^{3D}, éclairage NW45°) de la région de Geissalp (commune de Plaffeien). Trois glaciers rocheux fossiles sont figurés en bleu. Les pointillés rouges correspondent à des crêtes morainiques tardiglaciaires. (Braillard, 2015 ; modifié).

a. Intérêt scientifique

Le **domaine périglaciaire** désigne « *les zones soumises à des conditions climatiques froides, non-glaciaires, où l'action du gel et/ou des alternances de gel et de dégel jouent un rôle déterminant* » (Morard et al., 2009). Au printemps et à l'automne, les régions préalpines sont intensément affectées par ces cycles gel-dégel et la gélifraction (ou cryoclastie) joue un rôle majeur dans l'altération mécanique des parois rocheuses. Lorsqu'elle se transforme en glace, l'eau présente dans les fissures superficielles exerce une forte contrainte sur la roche. Sous l'effet de cette pression et de la gravité, des gélifracts se détachent et s'accumulent en pied de pente pour former des formes d'éboulisation caractéristiques : cônes, voiles, talus d'éboulis (voir chapitre 6.3).

Le gel intermittent représente donc un processus morphogénétique important dans les zones montagneuses du canton. Mais la température moyenne annuelle de l'air (MAAT) à ces altitudes est trop élevée pour l'occurrence de pergélisol (ou permafrost), soit une portion du sous-sol dont la température ne dépasse pas 0°C pendant plus d'une année au moins. C'est pourquoi l'ensemble des glaciers rocheux préalpins sont aujourd'hui des morphologies inactives. Contrairement aux formes alpines, parfois extrêmement dynamiques, les **glaciers rocheux fossiles** ne contiennent plus de glace, sont stabilisés et recouverts de végétation. Ces morphologies sont héritées de conditions climatiques

froides et témoignent de l'existence passée de pergélisol dans les Préalpes. Dans cet environnement périglaciaire ancien, d'importantes accumulations sédimentaires, sursaturées en glace, se sont mises à fluer pour former des glaciers rocheux plus ou moins développés selon l'altitude, les conditions de pentes et le volume de sédiments mobilisés. Ces glaciers rocheux fossiles de moyenne altitude ont été étudiés par Schoeneich (1992, 1998) qui a décrit seize sites localisés dans les Préalpes vaudoises, assez similaires aux formes observables dans le canton de Fribourg. D'après l'auteur, ces formes fossiles constituent de bon proxy climatique puisque leur formation nécessite plusieurs siècles de conditions de permafrost. Leur présence témoigne également d'un climat sec, de type continental et peu favorable à l'extension des glaciers locaux. De plus, l'altitude atteinte par le front des glaciers rocheux correspond approximativement à la limite inférieure du permafrost discontinu. Les glaciers rocheux fossiles n'ont pas été précisément datés et la chronologie de leur mise en place est encore sujette à débat. S'ils ont pu se former à tous les stades du Tardiglaciaire würmien, certains indices morphologiques (recoupement de vallums morainiques plus anciens) ou études paléoclimatiques (voir Kerschner, 1983) semblent indiquer des conditions particulièrement favorables durant le Dryas récent.

En plus de ces formes périglaciaires fossiles, les Préalpes fribourgeoises comptent quelques sites particulièrement représentatifs du **pergélisol en zone marginale**. Ce régime thermique particulier affecte notamment la partie basse d'accumulation de blocs aérés, essentiellement des éboulis ventilés (Fig. 77) ou des glaciers rocheux fossiles, dits « soufflants ». Dans ces environnements sur-refroidis, le sol peut demeurer gelé en permanence à des altitudes où la température moyenne annuelle de l'air est pourtant largement positive. Ce phénomène concerne également certains réseaux karstiques souterrains qui peuvent renfermer d'importants volumes de glace (voir chapitre 6.4.2). Dans les deux cas, ces anomalies thermiques locales sont liées à des mécanismes complexes de circulation d'air réversibles (nommés « effet de cheminée » ou « tube à vent »). Ces processus de ventilation ont fait l'objet de nombreuses publications dont certaines se basent, en partie, sur des sites d'étude fribourgeois (Delaloye, 2004 ; Morard et al., 2007; Morard, 2011).

Fig. 77 : circulation d'air dans l'un des éboulis froid du Chänel Gantrisch. En été, l'air chaud est aspiré dans la partie haute du cône et de l'air froid est expulsé dans sa partie inférieure, colonisée par un groupement d'arbres nains (S. Morard).

b. Sources de données

Dans le canton, les formes décrites ci-dessus ont surtout été étudiées à partir des années 2000. Aucun site de ce type ne figure à *l'Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg* (Grandgirard, 1999a). Sur le territoire du PNR Gruyère – Pays d'Enhaut, les travaux de **Duhem (2008)** et de **Bussard (2013)** ont par contre documenté deux géotopes périglaciaires localisés dans la partie fribourgeoise du parc naturel : le *Glacier rocheux fossile soufflant de Gros Chadoua* et les *Eboulis soufflants de la Combe de Vudèche*. Les **cartes géologiques** récentes représentent désormais les glaciers rocheux fossiles : la feuille n°143 Boltigen (Braillard, 2015) en recense huit côté fribourgeois alors que deux objets ont été inventoriés sur la feuille n° 144 Château-d'Oex (Plancherel et al., à paraître). Les sites fribourgeois ayant contribué à une meilleure compréhension du pergélisol de moyenne altitude sont listés dans les **thèses de Delaloye (2004) et Morard (2011)**. Enfin, lors de la **consultation d'experts**, le Dr. Sebastien Morard, spécialiste du domaine, a proposé le *Glacier rocheux fossile de Gros Chadoua* ainsi que les *Eboulis froids du Chänel Gantrisch* comme géotopes d'importance cantonale.

c. Méthode et critères de sélection

Pour sélectionner les **glaciers rocheux fossiles** d'importance cantonale**,** c'est avant tout leur morphologie qui a été prise en considération. En effet, la représentativité (ou exemplarité) de ces formes tient essentiellement à leur lisibilité dans le terrain : volume du dépôt sédimentaire, front bien marqué, relief chaotique avec des zones déprimées, des crêtes et des sillons. Ces indices morphologiques sont parfois difficiles à distinguer *in situ* mais ils apparaissent particulièrement bien sur les modèles numériques de terrain. Les critères de rareté et d'intégrité ne sont pas discriminants puisqu'assez similaires pour l'ensemble des formes investiguées. Il en va de même de la valeur paléogéographique qui est difficile à évaluer pour chaque objet.

Pour illustrer les phénomènes de ventilation qui caractérisent le permafrost de basse et moyenne altitude, trois types de sites ont été pris en compte : les éboulis froids ventilés, les glaciers rocheux fossiles soufflants et les glacières dynamiques en milieu karstique souterrain. Pour les deux dernières catégories d'objets, le choix a été plutôt aisé puisqu'il s'est porté sur les deux seuls sites fribourgeois qui ont fait l'objet de recherches scientifiques. Par contre, au moins cinq « éboulis ventilés » sont recensés dans le canton : Chänel Gantrisch, Bärenloch, Drudzes, Vudèche et Les Clous. C'est la forme proposée lors de la consultation d'experts qui a été retenue parmi ces sites.

d. Géotopes retenus

Les géotopes suivants ont été retenus comme objets d'importance cantonale :

n°	Nom
63	**Glaciers rocheux fossiles et cordons morainiques locaux** (Geissalp - Schönenbodenegg - Neugantrisch)
64	**Glacier rocheux fossile soufflant de Gros Chadoua**
65	**Eboulis froids ventilés du Chänel Gantrisch**

Le **GIC n°63** correspond en fait à un complexe glaciaire et périglaciaire unique dans le canton de Fribourg. En effet, ce géotope comprend une succession de cordons morainiques tardiglaciaires ainsi que l'imposante crête morainique du *Schönenbodenegg* (600m de long pour 100m de haut environ) qu'il faut probablement rattacher au LGM (Braillard, 2015), mais aussi trois glaciers rocheux à la morphologie caractéristique, formés au pied de la longue arrête calcaire du *Stieregrat* (Fig. 76). Il s'agit donc d'un secteur d'un grand intérêt du point de vue paléogéographique et paléoclimatique.

Le **GIC n°64** *Glacier rocheux fossile soufflant de Gros Chadoua* a la particularité de former un système ventilé, connecté avec les voiles d'éboulis qui le dominent. Il s'agit donc à la fois d'une forme fossile tardiglaciaire et d'un système actif avec de fortes circulations d'air réversibles. En hiver, des fenêtres de fonte se forment dans le manteau neigeux qui recouvre la partie haute des éboulis. Au contraire, de l'air froid est expulsé au front du glacier rocheux lors de journées estivales particulièrement chaudes.

Le **GIC n°65** comprend en fait deux voiles d'éboulis situés à l'ouest de l'alpage Chänel Gäntrisch (Fig. 77). Ces sites constituent des éboulis ventilés particulièrement représentatifs et la présence d'épicéas nains, au bas de ces formes, trahit les flux d'air froid qui s'en échappent en été.

La ***glacière des Diablotins*** est la grotte glacée la mieux documentée du canton. Le niveau de glace est observé depuis les années 1990 au moins et plusieurs sections de la grotte ont été équipées d'instruments de mesures en 2009 (Morard et al., 2010). Les données sont récoltées chaque année afin de mieux comprendre les processus de circulation d'air saisonniers et leur influence sur le volume de glace dans les galeries. Cette glacière dynamique fait partie du GIC n°42, sélectionné en tant que réseau souterrain d'importance cantonale au chapitre 6.4.2 :

n°	Nom
42	**Réseau karstique des Morteys et Gouffre des Diablotins**

e. Vulnérabilité

Du fait de leur localisation et de leurs caractéristiques, il est peu probable que des **glaciers rocheux fossiles** soient totalement détruits par des constructions ou infrastructures humaines. Malgré tout, des bâtiments (p.ex. ruine à Gros Chadoua ou Alphütte de Untere Euschels) ou des routes peuvent être implantés sur ces formes, ce qui nécessite des **mesures de terrassement** plus ou moins importantes. L'un des glaciers rocheux de *Geissalp* est parcouru par une route en graviers et est flanqué de cibles servant lors d'exercices militaires. Si l'impact est plutôt restreint pour le moment, l'implantation de nouvelles **installations de tirs** pourrait altérer cette forme de façon plus marquée à l'avenir. Dans cette même région, une éventuelle extension du **domaine skiable** de *Schwarzsee* constitue également une menace pour les formes périglaciaires, glaciaires et karstiques particulièrement abondantes dans le secteur. A noter encore que les glaciers rocheux se situent souvent en zone de pâturage, ce qui est plutôt bénéfique puisque le bétail limite l'extension de la forêt sur ces formes, ce qui entrainerait une perte de leur lisibilité.

Comme la plupart des formes gravitaires, les **éboulis froids ventilés** ne sont pas des géotopes particulièrement menacés. Le climat hypogé des **glacières dynamiques** est par contre extrêmement sensible et l'exploration spéléologique peut modifier significativement la circulation d'air dans les galeries. La grotte de Naye (GIC n° 43, voir chapitre 6.4.2 et annexe X) constitue un très bon exemple de ce phénomène. En 1893, la désobstruction d'un conduit à la dynamite y a généré un puissant courant d'air faisant disparaitre, en quelques décennies, l'important volume de glace qui remplissait la salle « du glacier » (Dutruit, 2008). A moyen terme, le réchauffement climatique pourrait également modifier les conditions d'existence du pergélisol en zones marginales et conduire à la disparition de certains sites.

f. Mesures générales de gestion

Pour les **glaciers rocheux fossiles**, il s'agit d'interdire toute intervention qui en modifierait la morphologie: terrassement, construction de bâtiments ou infrastructures, installation d'une nouvelle route, extension de domaine skiable, etc. les **éboulis froids ventilés** ne nécessitent aucune mesure spécifique de gestion. Les **glacières dynamiques** sont des milieux extrêmement fragiles et qui évoluent de manière naturelle. Ces grottes glacées sont uniquement fréquentées par des spécialistes bien conscients des comportements à adopter dans ce genre d'environnement (voir aussi chapitre 6.4.2). Le canton ne doit donc pas mettre en place des mesures particulièrement contraignantes pour préserver ce genre de géotope.

6.6 Géotopes fluviatiles

Ce chapitre prend en compte les géotopes d'origine fluviatile en intégrant aussi bien des sites actifs que des formes héritées de conditions hydrologiques et/ou climatiques passées.

Fig. 78 : les gorges de la Petite Sarine à la hauteur d'Arconciel (2'575'060, 1'177'280). La Sarine y a incisé la molasse marine supérieure (OMM) sur une septantaine de mètres environ. Depuis la construction du barrage de Rossens (1945-48) en amont, la dynamique alluviale de la rivière est contrôlée artificiellement.

a. Intérêt scientifique

Les **géotopes fluviatiles actifs** illustrent le rôle de l'eau dans le façonnement et le remodelage continu des paysages. Deux types de géotopes actifs ont été intégrés à l'inventaire des GICs :

- Les **lits fluviaux actifs** permettent d'observer la dynamique des cours d'eau et le caractère changeant de ces zones alluviales. Comme le précise Pierracci et al. (2008 : 19), « *c'est un des rares processus dont on peut voir l'évolution à échelle humaine* ». En régime d'étiage, la rivière occupe son lit mineur et l'eau divague en différents chenaux (rivière tressée, Fig. 2). Lors de crues, les bancs de sable et de graviers sont remaniés, les berges sont érodées et la rivière déborde pour inonder son lit majeur ou la plaine alluviale toute entière. La décrue laisse apparaître des dépressions d'eau stagnante et des bras morts qui présentent un grand intérêt écologique. Mais ces dynamiques naturelles ne s'observent plus que sur quelques tronçons de rivières fribourgeoises. En effet, l'homme a fortement modifié le régime hydrologique et la charge sédimentaire des cours d'eau (prélèvement d'eau, hydroélectricité) tout en artificialisant leur lit (endiguement, enrochement, seuils). Du fait de leur rareté, les lits alluviaux ayant conservé leur dynamique naturelle doivent donc être considérés comme des géotopes de grande valeur.

- Les **cascades** représentent également un type de géotope actif. Au-delà d'un indéniable attrait esthétique, les chutes d'eau présentent plusieurs intérêts du point de vue géoscientifique. Ce sont d'abord des indices géomorphologiques montrant qu'un cours d'eau n'a pas encore atteint son profil

d'équilibre et qu'une intense érosion régressive est en cours. De plus, les cascades se situent presque toujours dans des secteurs particuliers sur le plan géologique : contact stratigraphique, zone faillée, exsurgence d'un réseau hydrologique souterrain, etc.

D'autres **formes fluviatiles** sont **héritées** de conditions climatiques et hydrologiques passées. Ces géotopes ne sont pas pour autant fossiles puisqu'une activité morphogénique, d'intensité bien plus restreinte, peut subsister de nos jours. Il s'agit de **formes d'érosion** :

- Les **gorges** naissent de l'incision du substrat rocheux par érosion régressive des cours d'eau. La vitesse d'enfoncement du lit dépend du type de roche en présence, du débit, et de l'altitude du niveau de base. Dans le canton de Fribourg, ce dernier s'est largement abaissé au cours du Tardiglaciaire, avec le retrait progressif des glaciers de la Sarine et du Rhône, puis avec la vidange de nombreux paléolacs, comme celui de Gruyère. Le réseau hydrographique s'est alors réorganisé, en suivant parfois les sillons creusés au cours de précédents interglaciaires, mais en empruntant aussi de nouveaux tracés. Le territoire fribourgeois est donc parsemé de « **paléovallées** », des sillons anciens comblés de sédiments quaternaires et donc invisibles en surface. Les gorges actuelles peuvent d'ailleurs recouper ces anciennes vallées comme à la Tuffière ou à la Léchire où le cours de l'actuelle Sarine croise son équivalent préwürmien. Dans ces deux secteurs, les graviers fluvioglaciaires conservés dans ces anciens sillons font l'objet d'une exploitation. Dans le canton de Fribourg, on peut distinguer les gorges incisées dans la molasse du Plateau (Singine, Gottéron, Glâne, Broye), qui présentent parfois une morphologie de canyon (Sarine, entre la Tuffière et Grandfey, Fig. 78), des gorges de raccordement qui font la jonction entre les secteurs préalpins et la plaine (Veveyses de Fégire et de Châtel, Jogne, Tâna, Hongrin, Gorges de Mury, etc.).

- Les **cluses et défilés** constituent des passages étroits et escarpés entre deux reliefs. Ces formes sont creusées perpendiculairement à la structure géologique par un cours d'eau épigénique. Il s'agit donc de géotopes d'intérêts structural et fluviatile mais qui impliquent aussi des processus de dissolution karstique et qui ont été élargis par le passage répété des glaciers au cours du Quaternaire.

- Les **vallées abandonnées ou surdimensionnées** témoignent de conditions paléo-hydriques et/ou paléo-climatiques différentes des conditions actuelles. Leur taille est donc totalement disproportionnée par rapport aux cours d'eau qui les sillonent aujourd'hui. La formation de ces vallées est liée à la réorganisation des réseaux hydrologiques au Tardiglaciaire et, pour certaines formes, à des phénomènes de capture. Par recul de tête, un cours d'eau conquérant peut venir en tronçonner un second dont le cours est brusquement détourné. Dans le terrain, ce captage se manifeste par un coude de capture et, en aval de ce point, par l'apparition d'une vallée morte (ou abandonnée).

Les géotopes fluviatiles hérités peuvent également être des **formes d'accumulation** :

- Les **cônes de déjection** constituent la partie terminale des systèmes torrentiels. C'est là que s'accumulent les sédiments érodés dans la partie supérieure des bassins versants, puis transportés par les eaux tumultueuses des torrents. Dans le canton de Fribourg, les plus grands cônes se situent au débouché des vallées latérales des Préalpes, notamment dans l'Intyamon. Ces formes ne sont plus actives et les cours d'eau actuels tendent à inciser ces morphologies. Il s'agit certainement d'accumulations datant du Tardiglaciaire, période où la disponibilité en eau était importante et les versants préalpins totalement dénudés (absence de végétation fixatrice).

Enfin, les morphologies de **terrasses** impliquent à la fois des processus d'accumulation sédimentaire et des phénomènes d'érosion. Elles se présentent sous la forme de replats, généralement accolés au flanc d'une vallée, et se terminant par un talus assez prononcé. Ces formes peuvent être exclusivement fluviatiles ou alors le résultat de processus combinés (fluvio-lacustre, fluvio-glaciaire) :

- Les **terrasses fluviatiles** (alluviales ou rocheuses) sont les témoins d'anciens niveaux de cours d'eau et permettent la reconstitution des changements paléohydriques ayant affecté une région. En effet, les rivières modifient leur lit afin d'atteindre un profil d'équilibre qui est dicté par le point le plus bas du bassin versant (souvent un plan d'eau). Si ce niveau de base s'abaisse, la dynamique du cours d'eau s'intensifie conduisant à l'enfoncement du lit dans ses propres sédiments ou à l'incision du substrat rocheux sous-jacent par érosion régressive. Au contraire, une élévation du niveau de base entraine une aggradation sédimentaire un relèvement progressif du lit du cours d'eau. Ces fortes variations du niveau de base ont essentiellement eu lieu au moment de la déglaciation tardiglaciaire et jusqu'à l'Holocène ancien. L'agencement de ces terrasses (étagement, emboîtement), tout comme l'étude des matériaux qui les composent (stratigraphie, sédimentologie), permettent donc de mieux comprendre l'évolution paléogéographique du territoire fribourgeois au cours de cette période.

- Les **terrasses fluvio-lacustres** résultent d'une accumulation sédimentaire ayant lieu directement dans un lac. Elles témoignent de dépôts de fond (varves), d'anciennes lignes de rivage ou de deltas qui se retrouvent aujourd'hui perchés au-dessus du niveau de la vallée. Après la vidange du lac, le talus de ces formes peut être remodelé par une érosion fluviatile.

- Les **terrasses fluvio-glaciaires** sont définies par Emmenegger (1961 : 149) comme des « *accumulations sédimentées dans un lac de barrage par les eaux de fusion du glacier et aussi par les cours d'eau provenant des hauteurs avoisinantes libres de glace. Elles jalonnent les abaissement successifs de la surface du glacier en fusion* ». Ce genre de formes a déjà été pris en compte au chapitre 6.5.2. Les terrasses fluvio-glaciaires désignent aussi les terrasses formées dans des dépôts d'épandage fluvio-glaciaires (*sandurs*), accumulés au front d'un glacier lors d'une glaciaition puis entaillés au cours d'un interglaciaire. C'est l'étude morphostratigraphique de ces formes qui est à l'origine du premier modèle chronologique des glaciations alpines de Penck et Brückner (1909).

b. Sources de données

Plusieurs inventaires présentés au chapitre 5.4 resencent des géotopes fluviatiles :

- ***Inventaire des géotopes suisses*** **(ASSN, 2012)**
  L'inventaire national intègre trois géotopes fluviatiles : Gorges de la Sarine et affluents (n°15), Paysage fluvial de la Singine et carrière de Zollhaus (n°16), Gorges de la Veveyse de Fégire (n°234).

- ***Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg*** **(Grandgirard, 1999a)**
  Cet inventaire compte 69 géotopes fluviatiles répartis en 11 catégories (voir chapitre 5.4.3.2). Ces sites ont fait l'objet d'une évaluation par l'auteur de l'inventaire, ce qui facilite la sélection des objets de plus grande valeur.

- ***Liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale*** **(Berger, 1995)**
  La liste de Berger (1995) resence quatre gorges et deux cascades qui figurent aussi à l'inventaire de Grandgirard (1999a). Ces objets ont été intégrés pour leur intérêt géomorphologique mais aussi pour des raisons géologiques diverses.

c. Méthode et critères de sélection

Les formes considérées dans ce chapitre sont diverses et les critères de sélection varient en fonction du type de géotope fluviatile évalué :

- Pour les **lits fluviaux actifs**, seuls des tronçons non artificialisés et ayant conservé une dynamique hydrologique et sédimentaire naturelle sont pris en compte (critère d'intégrité). La morphologie des cours d'eau (en tresses, à méandres), tout comme la longueur et la largeur de leur tracé, participent à la représentativité et à la rareté de ces géotopes.

- La sélection de **cascades** d'importance cantonale se fait en considérant la hauteur de chute et le débit d'eau (critère d'exemplarité), mais aussi le contexte géologique et géomorphologique (critère de représentativité, de rareté et de valeur paléogéographique).

- Les formes fluviatiles de dépôts comme les **cônes de déjection** ou les **terrasses** sont d'abord sélectionnées en fonction de leur conformation géométrique : lisibilité, exemplarité (morphologie proche d'un idéal-type), dimension. L'intégrité de ces formes est également déterminante et les contours de ces objets ne doivent pas avoir été remodelés par la main de l'Homme. Le critère de valeur paléogéographique est aussi important puisque ces géotopes témoignent de condtions hydrologiques et climatiques passées.

- L'exemplarité des formes d'érosion fluviatile (**gorges**, **cluses et défilés**, **vallées abandonnées**) peut être évaluée en considérant leurs caractéristiques morphologiques : resserrement marqué, incision profonde, développement important, etc. Ces formes d'érosion présentent également un fort intérêt

géologique puisqu'elles entaillent, parfois profondément, le substrat rocheux. La présence d'affleurements remarquables (sites fossilifères, contacts stratigraphiques, structures tectoniques particulières, etc.) participe donc aussi à la valeur globale de ces géotopes.

d. Géotopes retenus

Les **géotopes fluviatiles actifs** suivants ont été sélectionnés en tant que GICs :

n°	Nom	Type
66	**Lit fluvial actif de la Gérine**	lit alluvial
67	**Lit fluvial actif de la Singine**	lit alluvial
68	**Cascade de Seeweidbach**	cascade
69	**Cascade de l'Euschelsbach**	cascade
70	**Cascade de la Tâna**	cascade

Cette liste peut être complétée par l'objet retenu au chapitre 6.4.3 :

n°	Nom	Type
45	**Exsurgence et cascade de Jaun**	cascade

Les GICs correspondant à des **géotopes fluviatiles hérités** de conditions hydrologiques passées sont listés ci-dessous :

n°	Nom	Type
71	**Cône de déjection de Lessoc**	cône de déjection
72	**Terrasses fluviatiles de la Glâne (Les Muèses – confluence Sarine)**	terrasse fluviatile
73	**Terrasses fluviatiles et fluvio-lacustres de l'Hongrin**	terrasses fluvio-lacustres
74	**Terrasse fluvio-lacustre de Neirivue**	terrasse fluvio-lacustre
75	**Terrasse fluvio-lacustre de Broc**	terrasse fluvio-lacustre
76	**Gorges du Gottéron**	gorges
77	**Gorges de la Jogne**	gorges
78	**Gorges de la Veveyse de Fégire**	gorges
79	**Gorges de la Veveyse de Châtel et terrasses fluvio-glaciaires du Devin des Dailles**	gorges / terrasses fluvio-glaciaires
80	**Gorges de la Sarine**	gorges
81	**Gorges de la Singine**	gorges
82	**Cluse, gorges et carrière de calcaire de l'Evi**	cluses / gorges
83	**Succession de cluses et défilés de la Jogne**	cluses/défilés
84	**Vallée abandonnée Ameismühle/Tafers/Rohr**	vallée abandonnée

On peut y ajouter le géotope sélectionné au chapitre 6.5.2 :

n°	Nom	Type
57	**Terrasse fluvio-glaciaire de la Grande Cithard**	terrasse fluvio-glaciaire

e. Vulnérabilité

En Suisse, la plupart des **lits fluviaux** ont subi des aménagements conséquents (seuils, digues, enrochement des berges, lits canalisés ou bétonnés) afin de lutter contre les effets néfastes des crues ou alors pour gagner des terres agricoles ou constructibles dans des zones autrefois fréquemment inondées. Cette politique de domestication de la nature et d'ingénierie fluviale a conduit à la « rectification » de nombreuses rivières et au resserement de leur lit. De plus, la construction d'ouvrages hydroélectriques a totalement altéré la dynamique hydraulique et sédimentaire de certaines rivières comme la Jogne, l'Hongrin ou la Sarine. Aujourd'hui, la philosophie d'aménagement des cours d'eau est totalement différente et tend à leur redonner plus d'espace et à restaurer leur dynamique alluviale. Les lits fluviaux ayant conservé leurs caractéristiques naturelles sont désormais protégés par les législations fédérales et cantonales. Les deux cours d'eau choisis en tant que GIC figurent d'ailleurs à l'*Inventaire fédéral des zones alluviales d'importance nationale* (OFEV, 2017).

Les formes fluviatiles résultant d'une accumulation sédimentaire (**cônes de déjection**, **terrasses**) sont par contre fortement menacées. Une exploitation des matériaux qu'elles renferment conduit à la destruction irrémédiable de ces morphologies. Entre Estavannens et Grandvillard par exemple, l'exploitation de dépôts torrentiels a fait reculer le talus des terrasses de plusieurs centaines de mètres et l'extraction de graviers est toujours en cours sur certains secteurs. Les formes d'érosion fluviatile (**gorges**, **cluses et défilés**, **vallées abandonnées**) sont moins sensibles. Des carrières peuvent tout de même s'implanter au cœur de ces géotopes et altérer localement leur morphologie naturelle.

f. Mesures générales de gestion

L'OFEV a publié un rapport stratégique (Göggel, 2012) pour encadrer la renaturation des cours d'eau artificialisés en accord avec la nouvelle législation sur la protection des eaux (LEaux) adoptée en 2011. Pour les deux **lits fluviaux actifs** choisis en tant que GIC, il s'agit simplement de maintenir l'état naturel de ces rivières qui comptent parmis les plus sauvages de Suisse. Toute entrâve à leur dynamique alluviale, prélèvement de matériaux, ou aménagement de leur lit doit être interdite.

La morphologie des **cônes de déjection** et **terrasses fluviatiles** doit être préservée de toute extraction ou terrassement susceptible d'en modifier la forme ou le contenu. Le *Plan sectoriel pour l'exploitation des matériaux* (PSEM) doit prendre en compte ces considérations géomorphologiques dans le choix des sites à exploiter. Si une exploitation de matériaux est déjà engagée, la remise en état du site devrait rétablir la topographie originelle du terrain. Pour les **gorges**, **cluses et défilés**, et **vallées abandonnnées**, il s'agit de ne pas y installer de nouvelles carrières et de maintenir la dynamique naturelle des cours d'eau qui n'auraient pas encore été trop artificialisés.

6.7 Géotopes lacustres et palustres

Ce chapitre prend en compte les géotopes correspondant à des étendues d'eau stagnante (étangs, lacs) mais aussi les morphologies, actives ou héritées, formées dans ces environnements aquatiques (deltas, terrasses lacustre ou fluvio-lacustres) ainsi que des zones humides de divers types : hauts-marais (tourbières), bas-marais, bassins limno-palustres, etc.

Fig. 79 : la Grande Cariçaie, qui occupent la majeure partie de la rive sud du lac de Neuchâtel constitue un environnement limno-palustre d'une rare diversité. (© Estavayer-le-Lac / Payerne Tourisme)

a. Intérêt scientifique

Les géotopes lacustres et palustres représentent des sites d'un grand intérêt écologique. Mais ces formes sont aussi remarquables du point de vue des géosciences. Sur le plan morphologique, ces lacs et zones humides occupent souvent des **zones déprimées** issues de processus géomorphologiques variés : zones de surcreusement glaciaire, ombilics, dolines ou ouvalas colmatés par des dépôts morainiques, culots de glace morte (*kettles*), barrages morainiques, instabillités de terrain, etc. Dans ce cas, ces géotopes sont appréhendés comme des formes héritées. Mais il s'agit également de **formes actives** qui sont le siège de processus d'accumulation sédimentaire, de production biologique et de formation pédologique extrêmement spécifiques. Enfin, les dépôts lacustres et paludéens représentent de formidables **archives paléo-environnementales**. C'est tout particulièrement le cas des tourbières dont les eaux peu oxygénées préservent des débris végétaux, des spores et du pollen, des squelettes d'animaux et parfois même, des vestiges organiques « momifiés ». Les divisions stratigraphiques du Tardiglaciaire et de l'Holocène ont d'ailleurs été déterminées grâce à l'analyse palyonologique de carottes prélevées dans les tourbières. En effet, ces observations ont permis de décrire l'évolution de la végétation au cours du temps et donc de reconstituer les variations climatiques des derniers millénaires.

b. Sources de données

Plusieurs inventaires fédéraux et cantonaux recensent les zones humides fribourgeoises :

- ***Inventaire fédéral des sites marécageux d'une beauté particulière et d'importance nationale*** (OFEV, 2017)
    - quatre objets dans le canton de Fribourg :
      n°39 - *Lac de Lussy, n°93 - Le Niremont,* n°33 – *Les Gurles*, n°416 - *la Grande Cariçaie*
- ***Inventaire fédéral des bas-marais d'importance nationale*** (OFEV, 2017) :
    - 35 objets dans le canton de Fribourg
- ***Inventaire fédéral des hauts-marais et des marais de transition d'importance nationale*** (OFEV, 2017):
    - 31 objets dans le canton de Fribourg
- ***Bas-marais d'importance cantonale*** (SNP, en phase d'approbation)
    - 63 objets dans le canton de Fribourg

Cependant, dans un souci d'efficacité, la sélection des géotopes d'importance cantonale ne s'est faite qu'à partir de l'inventaire de **Grandgirard (1999a),** qui comprend déjà 61 « *géotopes limno-palustres »* répartis en sept catégories (voir Fig. 47 pour plus de détails). Lors de la consultation d'experts, plusieurs géotopes de cette liste ont été plébiscités mais aucun nouveau géotope de ce type n'a été proposé (Annexe 1.2).

c. Méthode et critères de sélection

La sélection des géotopes lacustres et palustres d'importance cantonale se base sur des critères géo(morpho)logiques et non sur des considérations écologiques. Une quinzaine de géotopes sélectionnés dans les chapitres précédents présente déjà un intérêt limnustre ou palustre. Il s'agit ici de compléter cette liste avec de nouveaux types de géotopes. Le choix s'est appuyé sur l'évaluation effectuée par Grandgirard (Annexe 2.4) et les propositions des experts. Les deux critères suivants ont été particulièrement pris en compte :

- **Représentativité** : à savoir l'exemplarité des morphologies (formes caractéristiques, dimensions, traits particuliers), constitution, contexte géomorphologique, activité morphogénique, dynamique sédimentaire, etc.
- **Valeur paléogéographique** : les lacs et zones humides peuvent résulter d'événements géomorphologiques majeurs (glissement de terrain, retrait glaciaire). Les dépôts lacustres et paludéens représentent également de précieuses archives environnementales et climatiques. Certains sites sélectionnés ont ainsi fait l'objet d'études paléoécologiques qui ont permis de reconstituer les variations climatiques de l'Holocène, voire du Tardiglaciaire.

d. Géotopes retenus

Les géotopes ci-dessous ont été choisis pour leur intérêt lacustre ou palustre :

n°	Nom	Type
85	**Lac Noir et instabilités de terrain du Seeschlund**	lac
86	**Cordons littoraux et marais lacustres de la Grande Cariçaie**	Cordons littoraux marais lacustres
87	**Delta de Greng**	delta lacustre
88	**Bassin limno-palustre et lac de Seedorf**	lac bassin sédimentaire
89	**Gros Mont** (y.c. Plaine marécageuse – Collines d'érosion glaciaire du Jeu de Quilles – défilé des Escalier du Mont)	zone humide
90	**Plaine marécageuse asséchée du *Grosses Moos***	zone humide
91	**Kettles et zones humides de Düdinger Moos**	zone humide
92	**Kettle et zone humide de Schwandholz**	zone humide

Cette liste peut être complétée par les GICs sélectionnés dans les autres chapitres de ce travail :

n°	Nom	Type
2	**Ecaille de molasse subalpine de Champotey et carrière de Prévondavau**	Lac artificiel
21	**Falaise lacustre et transition USM-OMM des Crottes de Cheyres**	Falaise lacustre
34	**Ouvala du lac des Joncs**	Lac/étang
36	**Ensemble de dolines Riggisalp – Geissalp – Schönenboden** y.c. étang de Seelihus	étang
37	**Alignement de dolines de gypse du Mongeron**	étang
40	**Dépression glacio-karstique d'En Lys**	zone humide, poljé
48	**Succession de verrous et ombilics glaciaires de Bounavaux** y.c. lac de Coudré	lac/étang
57	**Terrasse fluvio-glaciaire de la Grande Cithard**	Terrasse lacustre
61	**Cordons morainiques locaux du Creux Charles**	zone humide
62	**Cordons morainiques locaux de Tissiniva** (NO des Dents de Brenleire et Folliéran)	zone humide
63	**Glaciers rocheux fossiles et cordons morainiques locaux** (Geissalp - Schönenbodenegg - Neugantrisch)	zone humide
73	**Terrasses fluviatiles et fluvio-lacustres de l'Hongrin**	terrasse lacustre
74	**Terrasse fluvio-lacustre de Neirivue**	terrasse lacustre
75	**Terrasse fluvio-lacustre de Broc**	terrasse lacustre
79	**Gorges de la Veveyse de Châtel** **et terrasses fluvio-glaciaires du Devin des Dailles**	zone humide

e. Vulnérabilité

Par le passé, les zones humides ont été drainées et assainies pour des raisons de salubrité ou alors pour laisser place à des terrains agricoles ou constructibles. La tourbe, qui peut être utilisée comme combustible, a été largement exploitée dans la région fribourgeoise au 19ème siècle. Elle fut encore extraite épisodiquement au 20ème siècle, essentiellement au cours des deux Guerres mondiales (Weidmann, 2005). Si ces zones marécageuses sont encore abondantes dans les régions de flysch du massif préalpin, elles n'occupent plus qu'une part infime du Plateau fribourgeois. Mais aujourd'hui, ces géotopes palustres, tout comme les petits lacs et étangs qui parsèment le territoire cantonal, bénéficient presque tous d'un statut de protection strict, du fait de leur appartenance aux inventaires cités au point b. Les législations cantonales et fédérales, qui garantissent la préservation de ces espaces naturels, assurent donc la sauvegarde de ces géotopes.

f. Mesures générales de gestion

Pour les raisons qui viennent d'être évoquées, les géotopes lacustres et palustres ne nécessitent pas de mesure de gestion supplémentaire. Les projets de valorisation de ces sites devraient cependant mieux prendre en compte l'intérêt géomorphologique (formes héritées de processus glaciaires, karstiques, gravitaires, origine anthropique, archives paléo-environnementales, etc.) de ces sites naturels qui sont souvent présentés sous le seul angle de la biodiversité.

7 Discussion

Les 92 géotopes fribourgeois d'importance cantonale ont été déterminés au chapitre précédent. Les résultats de cet inventaire y ont été présentés de façon dispersée. C'est pourquoi l'Annexe VIII regroupe l'ensemble de ces objets dans une liste unique et l'Annexe IX présente une base de données qui documente les différentes caractéristiques de ces géotopes. Au chapitre 7.1, il s'agit d'abord d'analyser les résultats de cet inventaire en les confrontant aux objectifs généraux fixés au chapitre 5.2. Le chapitre 7.2 mentionne ensuite les points forts de l'inventaire, sur le plan méthodologique et vis-à-vis des résultats obtenus. Le chapitre 7.3 contrebalance ce propos en relevant les faiblesses de cette démarche de sélection et en soulevant les limites inhérentes à toute entreprise d'inventorisation du patrimoine géo(morpho)logique.

7.1 Analyse des résultats de l'inventaire

Ce chapitre propose une analyse quantitative de l'*Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale* dont le contenu a été établi au chapitre 6. Il s'agit de vérifier que cette liste de 92 géotopes réponde bien aux objectifs généraux fixés au chapitre 5.2. Une base de données a donc été réalisée afin de documenter ces différents objets (voir **Annexe VIII**). Les graphiques présentés dans ce chapitre sont issus de l'analyse statistique de cette base de données. Ils offrent un bon aperçu des résultats de l'inventaire des GICs et permettent de déceler d'éventuelles lacunes ou incohérences. Une carte de localisation a également été réalisée afin de de visualiser la distribution spatiale de ces géotopes sur le territoire cantonal (chapitre 7.1.3, Fig. 87).

7.1.1 Diversité des typologies et des intérêts géoscientifiques

Au chapitre 6, la sélection des GICs s'est opérée par catégorie d'objets géo(morpho)logiques, ce qui garantit déjà une certaine diversité typologique des géotopes inclus dans l'inventaire cantonal. Pour analyser plus finement les résultats de cet inventaire, c'est ici le critère de l'**intérêt géoscientifique** (voir chapitre 2.4) qui est investigué. Chaque objet inventorié compte au moins un de ces intérêts mais certains sites d'importance cantonale en cumulent jusqu'à neuf différents. C'est notamment le cas de grands géotopes comme le *vallon synclinal des Morteys* (GIC n°10) ou celui du *Breccaschlund* (n°11), qui englobent plusieurs sites remarquables de plus petite dimension. Pour afiner l'analyse, la base de données distingue le ou les intérêts principaux, qui justifient à eux seuls l'importance cantonale du géotope, des intérêts secondaires, moins déterminants, mais qui participent aussi à la valeur globale du site en question. Cette méthode a permis de réaliser le graphique de la Fig. 80 qui se fonde sur la base de données de l'Annexe 8.1.

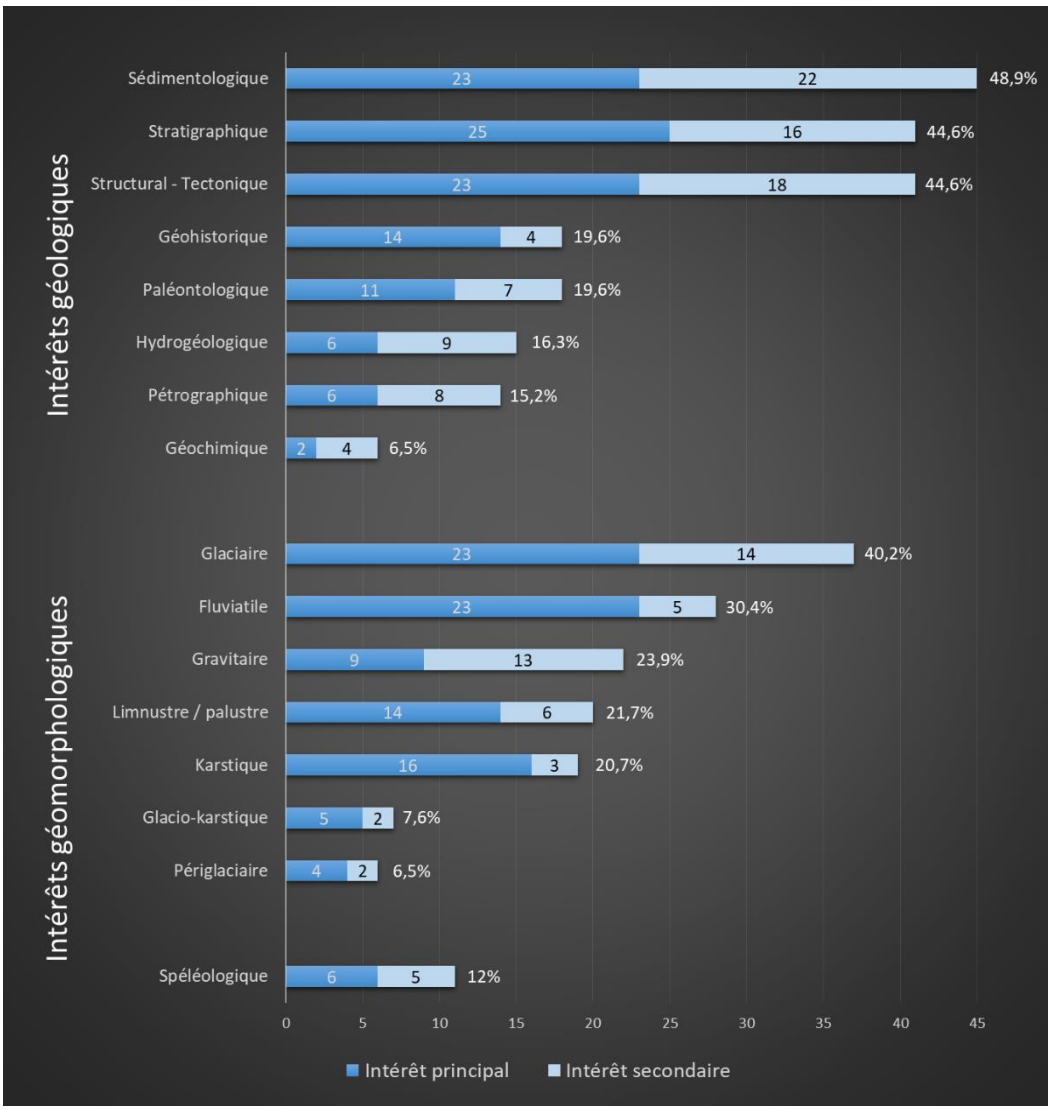


Fig. 80 : fréquence des différents intérêts géoscientifiques. Les barres bleues foncées représentent les intérêts principaux et les barres bleues claires les intérêts secondaires. Le nombre inscrit à l'intérieur de ces barres correspond au nombre d'occurrence parmi les 92 objets de l'inventaire. Ce ratio est ensuite traduit en pourcentage : p.ex. 48,9% des GICs présentent un intérêt sédimentologique.

La fréquence des différents intérêts géoscientifiques représentée dans ce graphique semble assez cohérente au regard des caractéristiques géo(morpho)logiques du territoire cantonal. Parmi les intérêts d'ordre géologique, l'intérêt sédimentologique est le plus représenté avec 50 géotopes (soit 48.9% de l'échantillon). Ceci n'est pas étonnant puisque le substrat rocheux fribourgeois est exclusivement composé de roches sédimentaires. De plus, certaines formes quaternaires présentent également un intérêt du point de vue de la sédimentologie (lit alluviaux actifs, cônes de déjection, terrasses fluviatiles, zones humides, etc.). Il en va de même pour l'intérêt stratigraphique (41 objets) qui concerne la plupart des affleurements rocheux mais aussi des formes quaternaires d'accumulation (bassin limno-palustre p.ex.) ou d'érosion (gorges, cluses, etc.). L'intérêt structural/tectonique est également bien représenté (41 objets) puisqu'il implique autant des sites remarquables sur le plan géologique que des géomorphosites. Au contraire, les géotopes présentant des intérêts

hydrogéologiques (15 objets), pétrographiques (14 objets) et surtout géochimiques (6 objets) sont moins fréquents car ils nécéssitent des conditions géologiques très spécifiques. Enfin, un peu moins de 20% des géotopes investigués présentent un intérêt géohistorique ou paléontologique.

Sur les 92 géotopes de l'inventaire, 73 présentent au moins un intérêt d'ordre géomorphologique ce qui montre le caractère transversal de cette discipline. L'intérêt glaciaire est le plus représenté avec 37 objets reflétant la forte influence de la glaciation würmienne dans le façonnement du paysage fribourgeois. Les géotopes d'intérêt fluviatile sont également abondants (28 sites), les cours d'eau étant à l'origine de formes diverses et variées réparties dans toutes les régions du canton. Les géotopes d'intérêt glacio-karstique (7 objets) ou périglaciaire (6 objets) sont par contre beaucoup plus rares puisque que les processus impliqués n'ont concerné qu'une portion congrue du territoire cantonale. L'intérêt gravitaire concerne 23.9% des sites mais il s'agit le plus souvent d'un intérêt secondaire. L'intérêt limnustre/palustre concerne environ un GICs sur cinq, proportion quasi similaire pour les géotopes d'intérêt karstique. Finalement, 11 géotopes sur 92 présentent un intérêt spéléologique, soit 12% de l'échantillon.

Il existe également d'autres moyens de catégoriser les géotopes. La littérature spécialisée distingue généralement les **géotopes actifs** des **géotopes passifs** (formes héritées ou fossiles). Le chapitre 2.2.2 a présenté ces deux types de géotopes tout en soulevant les limites méthodologiques de cette distinction binaire. C'est pourquoi une troisième catégorie a été créée dans le graphique ci-dessous (Fig. 81) afin d'y inclure des « géotopes mixtes ». Il s'agit de formes qui conservent une activité morphogénique plus faible que par le passé (gorges, cluses), de formes héritées de processus de longue durée mais toujours fonctionnelles (dolines, lapiés, réseaux karstiques souterrains), de zones humides occupant des formes fossiles (étang dans un *kettle* ou barré par une moraine), ou de grands géotopes qui intègrent aussi bien des formes actives que passives (vallon préalpin p.ex.).

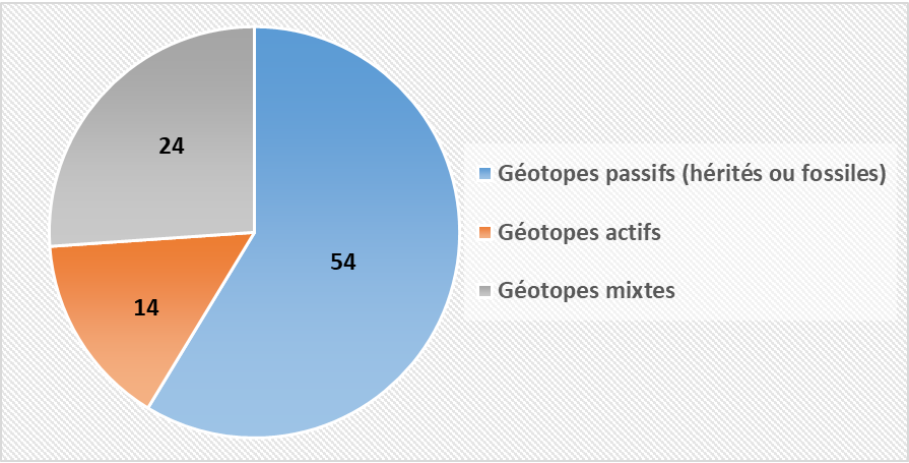


Fig. 81 : classification des 92 GICs en fonction de leur activité morphogénique.

La grande majorité des GICs (54 objets) sont donc des formes exclusivement fossiles. Seuls 14 géotopes constituent des formes actives au sens strict. Ceci s'explique par les politiques d'aménagement du territoire et les interventions humaines sur l'environnement dans le cadre d'une gestion du danger naturel. Ces mesures anthropiques ont sensiblement réduit et encadré la dynamique naturelle de ces formes actives (assainissement d'instabilités de terrain, aménagement de cours d'eau) ce qui explique la relative rareté de ces géotopes dans le canton. Enfin, 24 géotopes n'ont pas pu être classés dans l'une ou l'autre catégorie pour les raisons évoquées précédemment.

Il est également d'usage de distinguer les **géotopes d'origine naturelle** des sites **mis au jour artificiellement** (chapitre 2.2.3). Là aussi, une catégorie mixte a été prévue pour intégrer les géotopes difficilement classables dans l'une ou l'autre catégorie (Fig. 82).

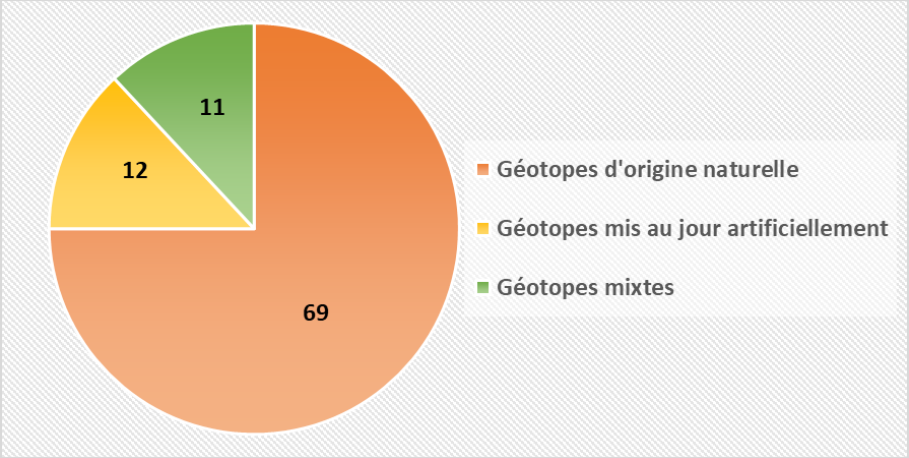


Fig. 82 : classification des 92 GICs en fonction de leur origine naturelle, artificielle ou mixte.

Le trois-quart des géotopes intégrés à l'inventaire cantonal sont d'origine naturelle. Les 12 géotopes mis au jour artificiellement représentent des carrières, abandonnées ou en activité, des terrils résultant d'une exploitation minière, des affleurements le long de routes ou de sentiers, un ermitage troglodyte, ou encore une plaine marécageuse asséchée par l'homme et transformée en vaste zone maraîchère (GIC n°90, *Grosses Moos*). Les 11 géotopes mixtes correspondent essentiellement à des géotopes de grande dimension qui intègrent un site d'exploitation de matériaux. Il s'agit aussi de zones humides exploitées, ou partiellement assainies par l'homme. Les 65 blocs erratiques, regroupés en tant que GIC n°47, ont également été classés dans cette catégorie puisque certains blocs ont été mis au jour lors de travaux d'excavation. Enfin, l'objet n°86 *Cordons littoraux et marais lacustres de la Grande Cariçaie* constitue un très bon exemple de ces géotopes ambivalents puisqu'il s'agit d'une forme naturelle qui doit pourtant son existence à un abaissement et une stabilisation du niveau du lac de Neuchâtel d'origine anthropique (Corrections des eaux du Jura : 1868-1878 ; 1962-1973).

7.1.2 Représentativité du substrat géologique et des dépôts quaternaires

Pour commencer, il est intéressant de distinguer les géotopes qui concernent le substrat rocheux de ceux constitués de dépôts sédimentaires du Quaternaire. Il existe également des géotopes qui laissent à la fois apparaitre la roche en place et les dépôts quaternaires sus-jacents (Fig. 83) :

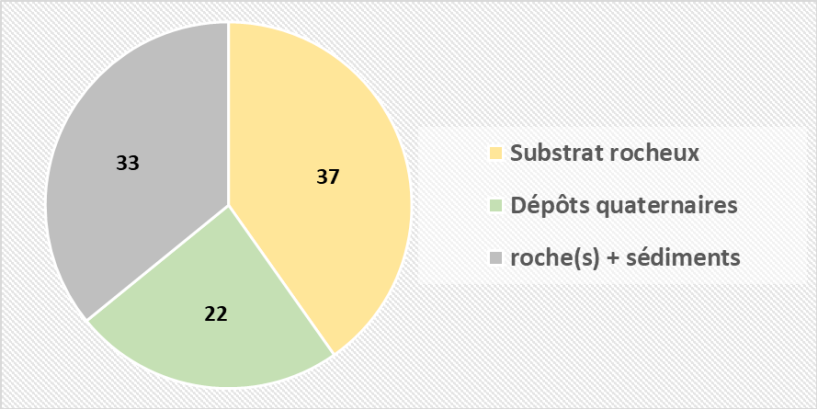


Fig. 83 : classification des 92 GICs en fonction du type de substrat géologique représenté : substrat rocheux, dépôts meubles quaternaires ou formes mixtes (roche(s) + sédiments).

Les géotopes strictement rocheux sont majoritaires avec 37 objets contre 22 pour les formes exclusivement constituées de dépôts meubles quaternaires. Les géotopes mixtes sont au nombre de 33. Il s'agit de géotopes de grande taille incorporant aussi bien des affleurements que des formes sédimentaires remarquables, de blocs erratiques, de formes gravitaires, ou encore de formes d'érosion comme des gorges qui incisent indistinctement les formations quaternaires et la roche en place, dévoilant parfois le contact stratigraphique entre ces unités.

Sur les 92 objets de l'inventaire, 55 GICs sont donc entièrement ou partiellement composés de dépôts sédimentaires du Quaternaire. La Fig. 84 présente la répartitition de ces différents types de dépôts classés en sept catégories :

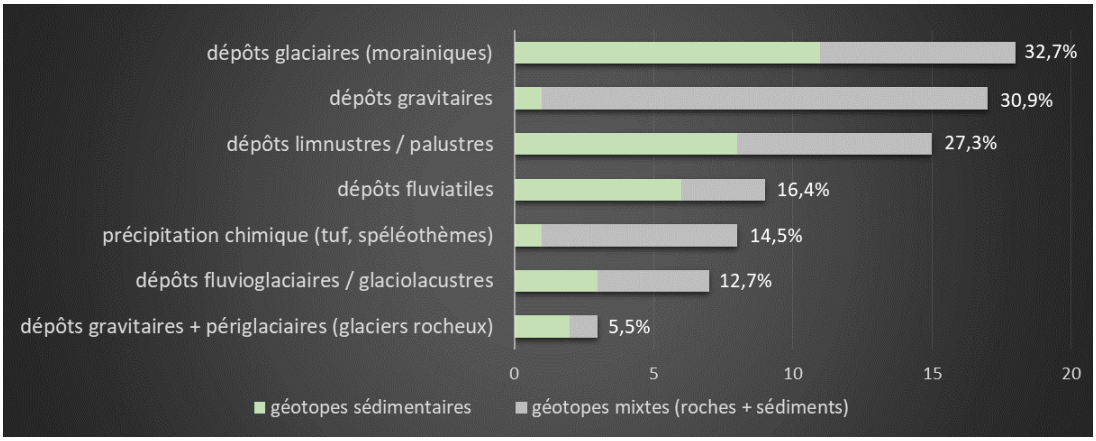


Fig. 84 : répartition des différents types de dépôts quaternaires représentés dans l'inventaire des GICs. Les barres des diagrammes représentent le nombre d'occurrences et le pourcentage est établi en rapport aux 55 géotopes partiellement ou entièrement quaternaires, p.ex. 32.7% de ces GICs sont formés de dépôts glaciaires.
N.B. - un géotope peut englober plusieurs types de dépôts sédimentaires (série stratigraphique, mixité de formes).

A noter que des formes résultant d'une précipitation chimique ou biochimique (spéléothèmes, tuf calcaire) ont également été prises en compte dans ce graphique bien qu'il ne s'agisse pas d'accumulations sédimentaires mais bien de dépôts minéraux précipités. Il s'agit cependant de formes minérales récentes par rapport aux roches qui composent le substratum rocheux fribourgeois.

En ce qui concerne le substrat rocheux, le canton de Fribourg peut schématiquement être divisé en trois grands ensembles géologiques: la molasse du plateau, la molasse subalpine et les Préalpes (voir chapitre 4.1 et 4.2). La Fig. 85 décrit la manière dont les 70 GICs qui offrent un aperçu du substratum rocheux se répartissent au sein de ces trois secteurs géologiques :

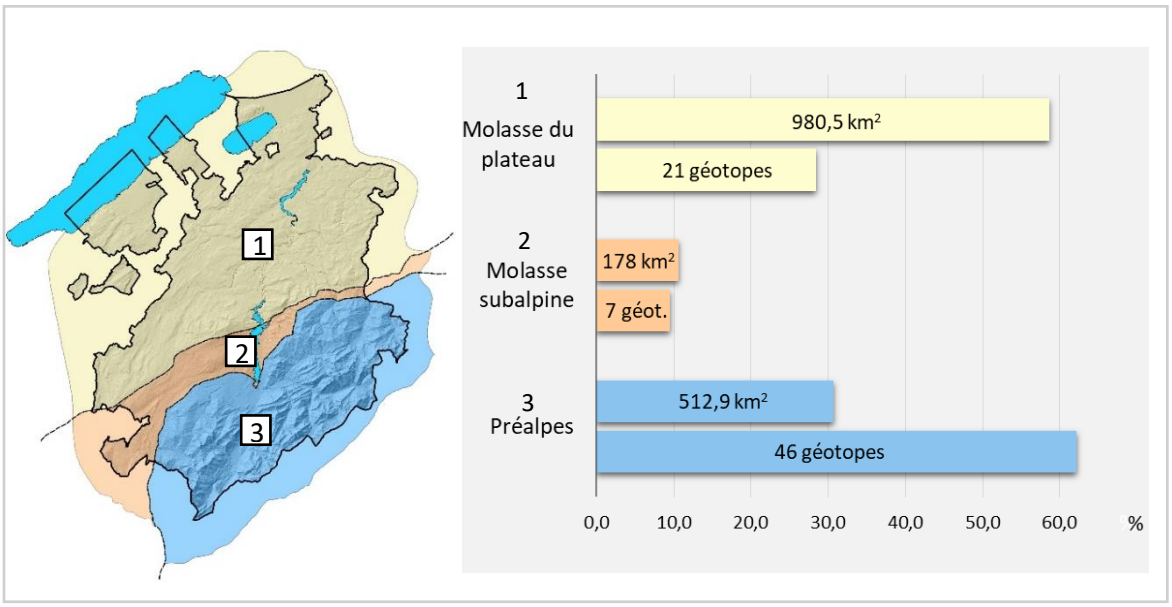


Fig. 85 : répartition des 70 GICs « rocheux » entre les trois grands ensembles géologiques du canton de Fribourg. La surface de chacune de ces zones est indiquée dans les barres supérieures du diagramme. Pour ces barres, l'axe x indique la proportion de la superficie cantonale (1671,4 km²) occupée par l'ensemble géologique en question. Les barres inférieures indiquent le nombre de géotopes localisés dans chacune de ces zones et l'axe x traduit cette valeur en pourcentage. A noter que certains géotopes se situent à cheval sur deux ou trois zones et sont donc comptés plusieurs fois.

Ce graphique révèle la surreprésentation des géotopes préalpins par rapport aux sites localisés dans la molasse du Plateau. En effet, les Préalpes représentent environ un tiers du territoire fribourgeois et comptent 46 géotopes « rocheux » alors que la molasse du Plateau, qui couvre plus de 60% de la superficie cantonale, n'en compte que 21. Autrement dit, la densité de ce genre de géotopes est environ 4 fois plus importante dans les Préalpes que sur la molasse du Plateau. Cette répartition n'est pas étonante puisque le massif préalpin est bien plus diversifié sur le plan géologique avec une grande variété lithologique qui contraste avec l'uniformité des roches rencontrées sur le Plateau fribourgeois. Entre ces deux secteurs, la molasse subalpine compte sept géotopes ce qui est, cette fois-ci, en adéquation avec la superficie de cette zone géologique. Sans atteindre la richesse des Préalpes, cette zone est assez diversifiée sur le plan géologique avec la présence, sous forme d'écailles, de la molasse marine inférieure (UMM) qui n'affleure pas plus au nord.

Pour affiner l'analyse, la même démarche a été appliquée pour chaque nappe préalpine et unité molassique répertoriée dans le canton de Fribourg. La Fig. 86 permet ainsi de vérifier que l'inventaire des GICs est bien représentatif de la diversité géologique cantonale.

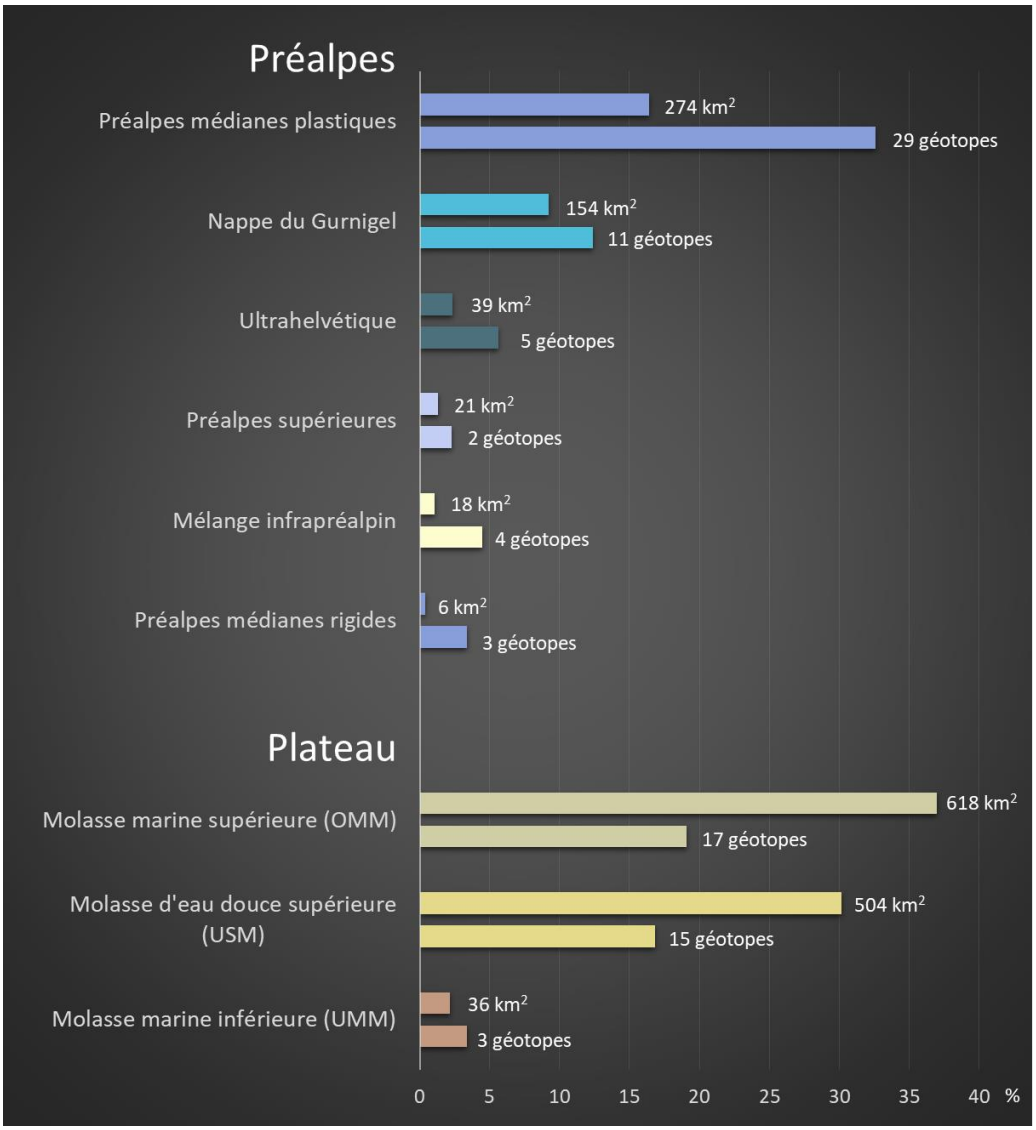


Fig. 86 : rapport entre le nombre de géotopes « rocheux » figurant à l'inventaire des GICs et la superficie estimée des différentes unités lithostratigraphiques des Préalpes et du Plateau (voir chapitre 4.1 et 4.2). L'axe x indique la proportion de la superficie cantonale pour les barres supérieures et le pourcentage du nombre total de géotopes rocheux pour les barres inférieures. A noter qu'un géotope peut se situer à cheval sur plusieurs unités lithostratigraphiques et donc être pris en compte plus d'une fois.

La figure ci-dessus complète les observations de la Fig. 85 avec une densité d'objets plus élevée dans les nappes préalpines que dans les unités molassiques du Plateau. Les Préalpes médianes plastiques sont particulièrement bien représentées par rapport à la surface qu'occupe cette nappe à l'échelle cantonale. Il faut dire que cette unité tectonique est la plus diversifiée sur le plan lithologique et qu'elle comprend une variété inédite de géotopes. L'OMM et l'USM sont sous-représentées au regard de leur superficie. Mais ces unités molassiques comptent tout de même 17 et, respectivement, 15 géotopes, soit plus que l'intégralité des autres catégories à l'exception des Préalpes médianes plastiques.

7.1.3 Répartition spatiale : représentativité des zones géographiques et des entités géomorphologiques du canton de Fribourg

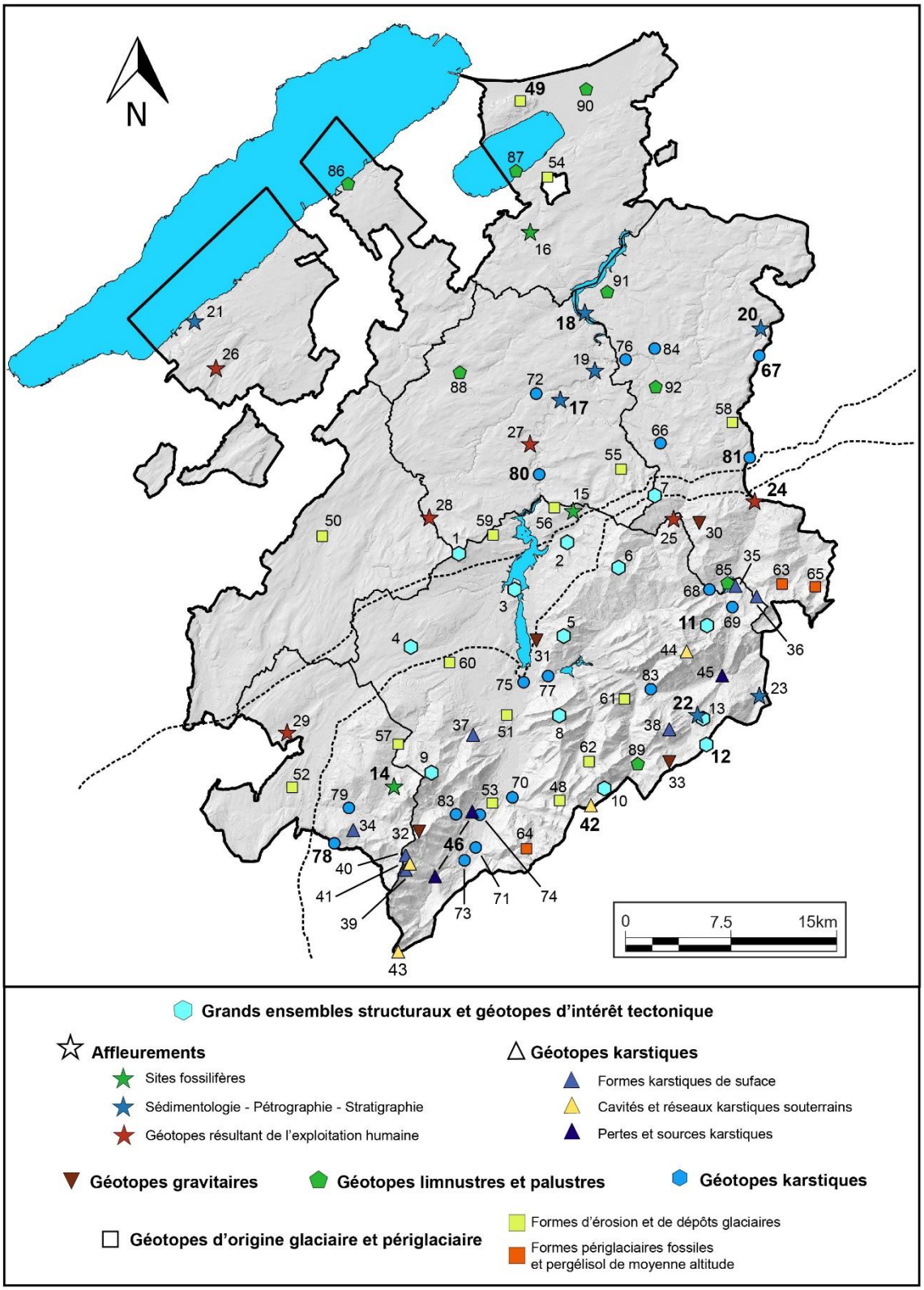


Fig. 87 : carte de distribution des GICs sélectionnés dans ce travail (hors blocs erratiques, voir Fig. 70). La liste des GICs est disponible en Annexe VIII. Pour les géotopes surfaciques, le symbole ponctuel correspond au centroïde de l'objet. Les traits pleins noirs délimitent les districts cantonaux et les lignes pointillées séparent les trois grands ensembles géologiques fribourgeois (voir Fig. 19 et Fig. 85). Les numéros en gras indiquent les géotopes qui figurent déjà à l'Inventaire des géotopes suisses (ASSN, 2012). Fond de carte : modèle numérique de terrain (swissALTI^{3D}, éclairage NW45°, © Swisstopo).

Les géotopes sélectionnés dans ce travail couvrent une bonne partie du canton de Fribourg, comme le montre la carte de la page précédente (Fig. 87). Cependant, les GICs ne se répartissent pas de manière uniforme sur le territoire cantonale. Cette distribution inhomogène est également manifeste dans la Fig. 88 qui met en rapport la superficie des Préalpes et du Plateau fribourgeois avec le nombre de géotopes qui y sont répertoriés :

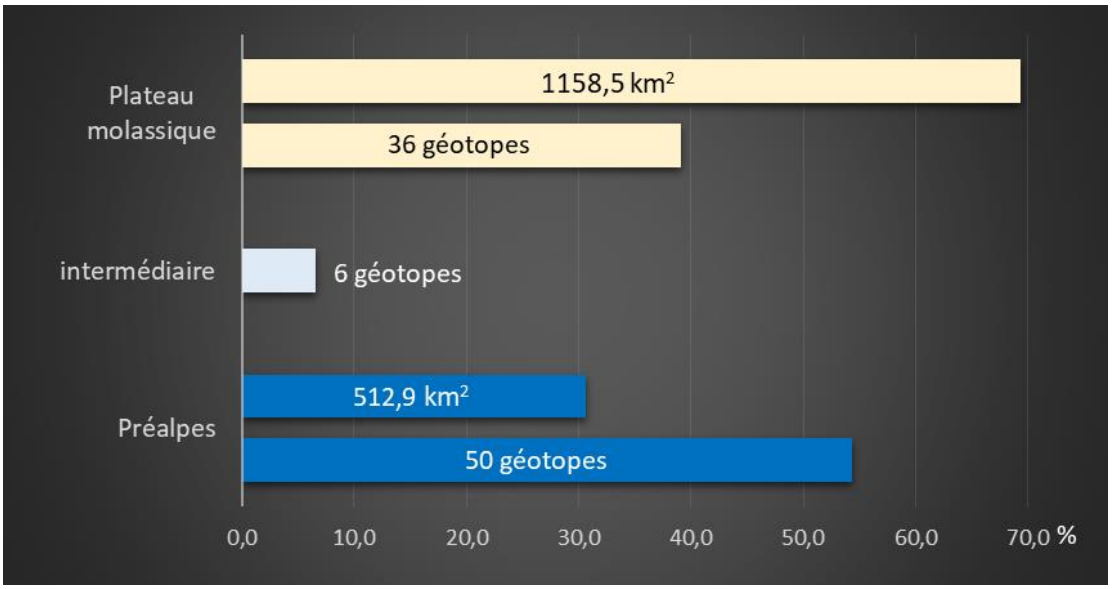


Fig. 88 : répartition des 92 GICs entre le Plateau (molasse subalpine et molasse du Plateau) et les Préalpes. Les géotopes à cheval sur ces deux zones sont classés dans une catégorie « intermédiaire ». La longueur des barres supérieures indique la proportion par rapport à la superficie totale du canton (1671.4 km²). La longueur des barres inférieures correspond au pourcentage de géotopes par rapport à l'ensemble de l'échantillon (92 objets).

La densité de géotopes est plus importante dans les Préalpes avec 50 objets (soit 54.3% de l'inventaire) pour un peu moins d'un tiers de la surface du canton. Deux fois plus étendu, le Plateau fribourgeois compte seulement 36 GICs (soit 39.1% de l'échantillon) tandis que 6 géotopes (6.5% des sites) se situent à cheval sur les deux régions. Le chapitre précédent a mis en exergue la plus grande diversité des roches préalpines par rapport aux lithologies plus monotones du plateau fribourgeois. Mais c'est aussi la complexité structurale et la variété des processus géomorphologiques impliqués qui conditionnent la diversité des modelés préalpins. A l'échelle du canton, certains types de géotopes se rencontrent ainsi uniquement dans les Préalpes, notamment les formes karstiques ou périglaciaires ainsi que les formes gravitaires de grande dimension.

Une autre manière de s'interroger sur la distribution des GICs sur le territoire cantonal consiste à totaliser le nombre de géotopes présents dans chaque district fribourgeois (Fig. 89). Plus de la moitié des objets de l'inventaire, soit 54 géotopes, sont entièrement ou partiellement situés en Gruyère. Ceci n'est pas étonnant puisque ce district englobe la majeure partie des Préalpes fribourgeoises. La Singine est le second district le plus représenté avec 20 géotopes, suivi de la Sarine (12 GICs), de la Veveyse (8

GICs) et du Lac (7 GICs). La Broye et la Glâne, qui ne sont pourtant pas les plus petits districts en termes de superficie, ne comptent respectivement que 4 et 3 GICs (l'ensemble des blocs erratiques d'importance cantonale qui s'y trouvent ne comptant que pour une occurrence). Ceci peut s'expliquer par la relative uniformité géo(morpho)logique de ces régions administratives par rapport à des districts à cheval sur différents domaines géologiques (Gruyère, Singine, Sarine, Veveyse).

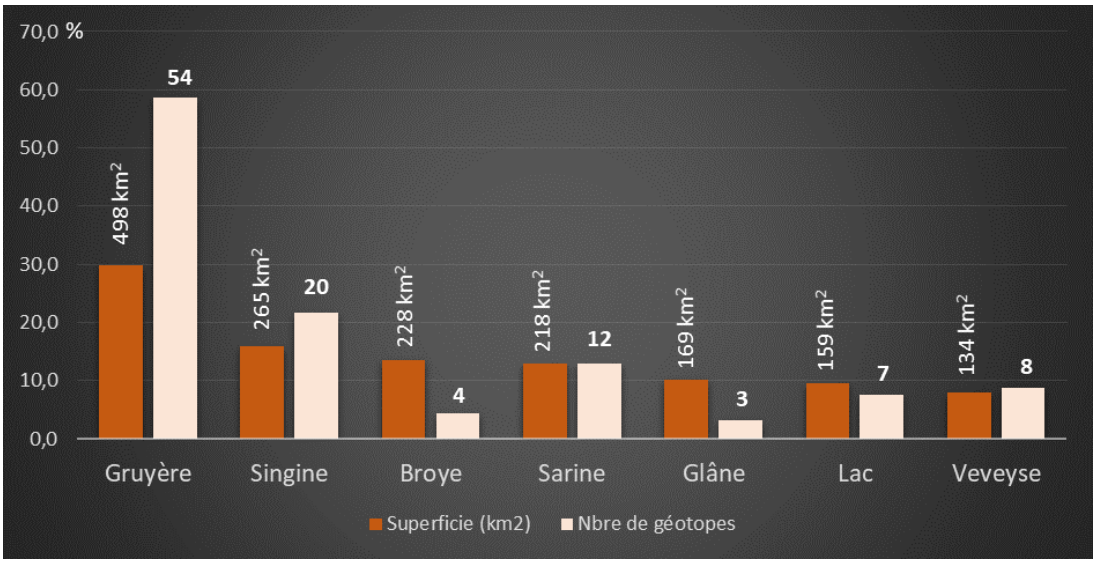


Fig. 89 : répartition des GICs dans les différents districts du canton de Fribourg. Pour les barres foncées, l'axe y indique la part du territoire cantonal occupée par le district. Pour les barres claires, cet axe indique le pourcentage du nombre total de GICs inclus dans l'inventaire (92 objets). A noter qu'un géotope peut se situer à cheval sur plusieurs districts et peut donc être pris en compte plus d'une fois.

Pour conclure cette exploration visuelle des données de l'*Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale*, les 92 géotopes sélectionnés sont mis en relation avec les entités géomorphologiques déterminées par Grandgirard (1994) dans son *Aperçu géomorphologique du canton de Fribourg*. Il s'agit ici de distinguer les entités géomorphologiques, qui sont abondamment documentées par l'inventaire des GICs, des régions qui intègrent peu ou pas de géotope d'importance cantonale. La Fig. 43, présentée au chapitre 4.3.4, a donc été reprise et chaque « *entité géomorphologique* » s'est vu attribuer une couleur en fonction du nombre de géotopes répertoriés dans cette région. Le résultat de cette approche de statistique descriptive est présenté à la page suivante (Fig. 90).

Parmi, les 24 « *entités géomorphologiques* » définies par Grandgirard (1994), seules cinq ne contiennent aucun géotope d'importance cantonale. Ces régions apparaissent en blanc sur la carte de la Fig. 90. Pour donner du crédit au rigoureux travail de catégorisation de M. Grandgirard, il aurait peut-être été souhaitable d'intégrer des géotopes représentatifs de ces « *entités géomorphologiques* ». Cependant, peu de sites localisés dans ces secteurs ne se sont particulièrement

distingués lors de la phase de sélection. Nous renonçons donc à compléter l'inventaire en cherchant, à tout prix, des géotopes remarquables localisés dans ces régions.

Pour le reste, la Fig. 90 conforte les analyses précédentes. Les régions qui se démarquent par une forte densité de géotopes sont les « *Préalpes calcaires* » suivies par les « *Zones de flysch des Préalpes* ». L'entitée « *Vallée de la Sarine de Gruyères à Montbovon »,* qui correspond au fond de vallée de l'Intyamon, est aussi bien représentée tout comme le « *canyon* » de la Sarine et les gorges des rivières affluentes (Gérine, Glâne, Gottéron).

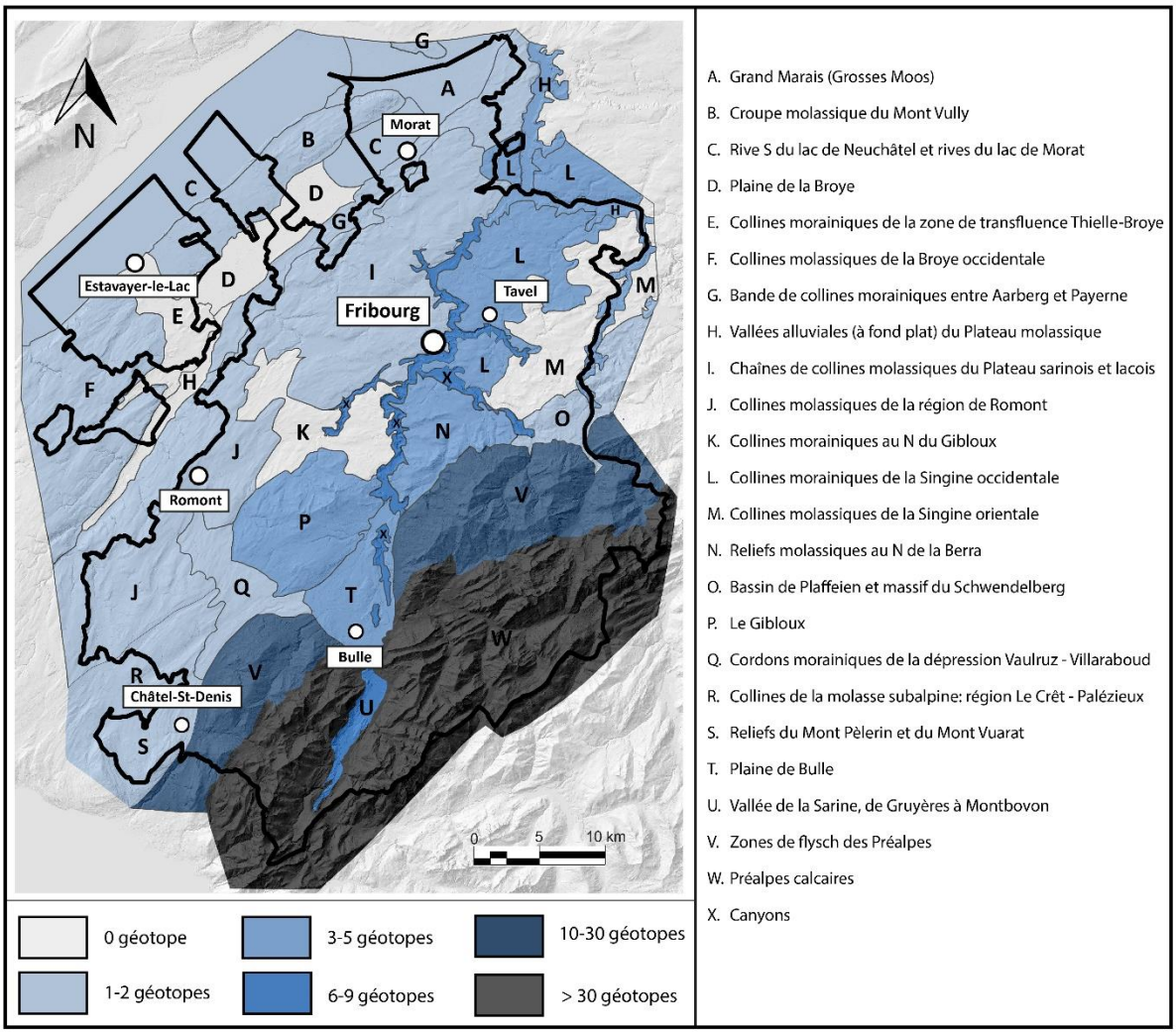


Fig. 90 : nombre de géotopes localisés dans chacune des 24 « entités géomorphologiques » définies par Grandgirard (1994). La version originale de cette figure se trouve au chapitre 4.3.4 (Fig. 43). A noter qu'un géotope peut s'étendre sur plusieurs entités à la fois. Dans ce cas, une occurrence est comptée dans chacune des entités où cet objet apparaît. Pour simplifier l'analyse, les 65 blocs erratiques d'importance cantonale n'ont pas été pris en compte ici.

7.2 Forces de l'inventaire

Sur le plan méthodologique, ce travail n'a pas été réalisé *ex nihilo* mais a pris en compte une bonne partie des travaux préexistants sur le patrimoine géo(morpho)logique fribourgeois (chapitre 5.4). Cette démarche permet de donner une visibilité nouvelle à des inventaires (Berger, 1995 ; Grandgirard, 1999a ; ASSN, 2012) qui n'ont jusqu'ici pas bénéficié d'une attention à la mesure des efforts consentis par leurs auteurs. D'autres inventaires (SCPF, 2013 ; Bollin, 1995 ; Berger, 1998) ne sont connus qu'au sein de certaines institutions (MHNF, Département de Géosciences de l'Unifr) ou services administratifs du canton. Ceci limite considérablement leur portée et fait courir le risque que certains sites d'importance finissent par tomber dans l'oubli. En complément des cartes et notices géologiques, l'inventaire proposé dans ce travail contribue donc à une certaine **revalorisation du patrimoine géologique et géomorphologique régional,** dans une période où la recherche académique tend à se tourner vers de nouveaux domaines et des zones d'étude plus exotiques.

Une vingtaine d'experts a été invitée à se prononcer sur la sélection des objets d'importance cantonale (chapitre 5.3). Si le taux de participation n'a pas atteint l'objectif escompté, cette consultation a eu le mérite de donner à ces spécialistes l'opportunité de s'exprimer et de mettre en avant des sites remarquables du point de vue de leur discipline de prédilection. Les cinq contributeurs qui ont bien voulu se prêter à l'exercice sont issus de différents domaines des géosciences et présentent des profils scientifiques et des carrières professionnelles variés. Ceci garantit une certaine diversité des connaissances et des manières d'aborder le patrimoine géo(morpho)logique fribourgeois. Les propositions de ces experts ont été largement prises en compte puisque près de 80% des sites soumis ont finalement intégré l'inventaire des GICs, soit directement, soit en étant inclus dans des géotopes de plus grande dimension. **Cette consultation d'experts a ainsi permis de modérer la forte subjectivité inhérente à toute sélection opérée par une seule et unique personne**.

La liste des géotopes d'importance cantonale a donc été établie en croisant les données géo(morpho)logiques existantes avec les contributions des différents experts consultés. Le choix final a été guidé par les objectifs généraux et les critères de sélection fixés au chapitre 5.2. Comme le démontre l'analyse quantitative menée au chapitre précédent, l'inventaire réalisé dans le cadre de ce travail offre un **aperçu globalement représentatif de la géologie et géomorphologie fribourgeoises**. En effet, l'ensemble des nappes préalpines et unités lithostratigraphiques du bassin molassique sont représentées et chacune de ces entités géologiques dispose de plusieurs géotopes documentant ses spécificités. L'inventaire rend également compte de la diversité des formes et formations superficielles quaternaires qui recouvrent le substrat rocheux sous-jacent.

En segmentant la sélection des GICs par catégories thématiques (chapitre 6), **la méthode garantit également une certaine diversité typologique en intégrant des objets qui présentent des intérêts géoscientifiques variés**. Un grand nombre de sites inventoriés présente à la fois un intérêt géologique et géomorphologique. L'étude de ces géotopes nécessite de casser le clivage récurrent et stérile entre ces deux disciplines et permet donc d'établir des ponts entre différents domaines de recherche.

Les **GICs se répartissent sur l'ensemble du territoire fribourgeois,** comme le montre la Fig. 87. La densité de géotopes est plus importante dans les Préalpes, reflétant ainsi la plus grande richesse géo(morpho)logique de cette région par rapport au Plateau fribourgeois. Tous les districts cantonaux intègrent au moins un géotope d'importance cantonale. Enfin, 19 des 24 « entités géomorphologiques » définies par Grandgirard (1994) dans son *Aperçu géomorphologique du canton de Fribourg* disposent au moins d'un géotope d'importance cantonale. L'inventaire proposé dans ce travail **permet donc d'appréhender une grande partie des caractéristiques géomorphologiques du territoire fribourgeois**.

7.3 Limites de l'inventaire

La subjectivité est inhérente aux notions de valeur et de patrimoine (Martin, 2011). **Il est donc illusoire d'espérer parvenir à un inventaire définitif et absolument objectif**, d'autant plus lorsqu'il s'agit de sélectionner des objets aussi hétéroclites que des géotopes.

Aucun objet géo(morpho)logique n'a de valeur en soi. **La valeur attribuée à un géotope est donc éminemment contextuelle** et dépend d'une multitude de facteurs. Pour qu'il y ait géotope, il faut avant tout que le site soit découvert puis soumis au regard aguerri d'un expert. Ce dernier en fera un objet d'étude à part entière uniquement si le site est remarquable du point de vue de son domaine de spécialité. Un scientifique porté sur d'autres sujets de recherche pourra considérer ce géotope comme un objet tout à fait quelconque. Pour réaliser un inventaire généraliste, il faut donc multiplier les perspectives et les façons d'observer le patrimoine géo(morpho)logique. Pour ce travail, un temps considérable a été investi afin de combler certaines lacunes de connaissances, ce qui a permis de mieux comprendre la géologie régionale fribourgeoise et de s'initier à de nouvelles disciplines géologiques. Cette approche interdisciplinaire est particulièrement enrichissante puisqu'elle tente de dépasser le cloisonnement académique et s'emploie à créer des liens entre les différents domaines des géosciences. Mais cette démarche trouve rapidement ses limites et le recours à des connaissances plus spécifiques se révèle nécessaire pour apprécier les qualités scientifiques de certains géotopes.

C'est dans ce but qu'a été pensée la consultation d'experts. Cette démarche a fait intervenir un panel de spécialistes venant de divers horizons dans le processus de décision. Cependant, **seules cinq**

personnes ont répondu favorablement à cette enquête si bien qu'il est impossible d'appliquer une méthode statistique pour trier les données récoltées lors de cette consultation. Les raisons évoquées par les experts n'ayant pas souhaité participer au projet ont été détaillées au chapitre 5.3 : manque de temps à disposition, subjectivité trop forte, manque de compétences ou de connaissances régionales, ou encore, doute quant à l'utilité d'un tel inventaire. Si la notion de géotope est encore méconnue du grand public, force est de constater que le concept n'enthousiasme pas une bonne partie de la communauté géoscientifique qu'il semble difficile de mobiliser pour ce type de projet. Ceci pose aussi la question de l'efficacité de ce genre de démarche de consultation. Comme évoqué précédemment, il eût peut-être été préférable de faire appel à ce panel d'experts dans un second temps afin de valider, affiner ou compléter la liste des GICs lors d'une séance de restitution.

Sur le plan méthodologique, ce travail présente également une autre faiblesse qu'il convient cependant de nuancer : **aucune évaluation chiffrée n'a été effectuée avant la sélection des objets d'importance cantonale**. Cette évaluation quantitative ne s'est faite qu'*a posteriori*, au moment de la réalisation des 11 fiches d'inventaire disponibles en Annexe X. Plusieurs raisons justifient ce choix méthodologique. Tout d'abord, le nombre considérable d'objets référencés dans les différents inventaires existants ou proposés par les experts (env. 2000 sites). Il est dès lors impossible d'évaluer un à un l'ensemble de ces objets. Une évaluation quantitative systématique se révèlerait d'ailleurs souvent redondante puisque la plupart des inventaires disposent déjà de critères notés qui permettent d'ordonner les données, d'éliminer les sites quelconques, et de mettre en évidence les sites les plus remarquables (voir chapitre 5.4). De plus, les scores numériques, qui permettent d'apprécier la valeur globale d'un géotope, ne sont utilisables que pour comparer des objets de même type (voir chapitre 5.4.3.5). Une sélection focalisée uniquement sur ces notes ne garantirait donc pas la diversité typologique de l'inventaire ni le respect des autres objectifs généraux énoncés au chapitre 5.2. Enfin, ces notations ne font que traduire une appréciation qualitative en scores numériques sans jamais réduire le haut degré de subjectivité propre à toute démarche d'évaluation ou procédure de sélection.

Finalement, il faut rappeler **l'ambiguïté même du concept de « géotope d'importance cantonale ».** Le chapitre 2.4.3 a montré le nombre très variable de GICs inclus dans les inventaires cantonaux existants. Cette forte disparité n'est pas liée à la différence de superficie ou à la diversité géo(morpho)logique variable de ces territoires cantonaux. Elle révèle simplement la difficulté de fixer un seuil entre les objets d'importance cantonale et ceux d'importance locale. Il s'agit là de trouver un juste équilibre en recensant suffisamment de sites pour refléter la diversité des géotopes et la richesse géo(morpho)logique cantonale tout en évitant une surabondance d'objets, ce qui diminuerait sensiblement l'impact de l'inventaire et l'intérêt porté à chacun de ces sites.

8 Conclusion et perspectives

8.1 Conclusion

Ce travail a permis d'**établir une liste de 92 géotopes fribourgeois d'importance cantonale** en prenant en compte les travaux antérieurs sur le patrimoine gé(morpho)logique du canton et en faisant appel aux connaissances régionales d'un panel éclectique d'experts. Cette sélection se veut représentative de la géologie et de la géomorphologie fribourgeoise. Elle dévoile également la diversité typologique des géotopes représentés dans le canton. Le cheminement qui a conduit au choix de ces GICs a également apporté son lot de réflexions théoriques et méthodologiques.

Pour commencer, le concept de *géotope* s'est révélé particulièrement difficile à appréhender puisqu'il englobe des objets aux caractéristiques fort diverses. Pour décrypter l'intérêt de ces sites, il faut notamment composer avec l'imbrication des échelles spatiales et la complexité temporelle propres aux géosciences. Ce travail s'est également employé à décrire l'articulation qui existe entre les géotopes et la notion de *paysage*. Nous soutenons ici que **la géoconservation constitue une composante essentielle de la protection du paysage** et qu'elle n'a pas été suffisamment prise en compte dans les politiques d'aménagement du territoire jusqu'à aujourd'hui. Pour une gestion efficiente des géotopes, il est désormais **indispensable de considérer ces objets comme des éléments singuliers du patrimoine naturel**. La mise en valeur de ces sites tout comme l'information au public jouent un rôle fondamental dans ce processus de patrimonialisation et contribuent ainsi à leur préservation.

Un autre apport de ce travail est le **survol de la géo(morpho)logie fribourgeoise** proposé au chapitre 4. En effet, la littérature existante se focalise essentiellement sur des thématiques très spécifiques et investigue des zones d'étude restreintes du territoire cantonal. Les cartes et notices géologiques offrent un aperçu plus général et constituent les documents de référence à l'échelle régionale (1 : 25'000). Sur la base de ces travaux, le présent travail adopte une échelle cantonale et propose une synthèse de l'histoire géologique de l'ensemble de la région fribourgeoise. L'accent est mis sur la forte filiation entre le contexte géo(morpho)logique régional et les caractéristiques paysagères observables sur le terrain.

Enfin, **ce travail propose une méthodologie de sélection innovante** qui confronte les données existantes sur le patrimoine géo(morpho)logique fribourgeois avec les propositions de plusieurs géoscientifiques. Si beaucoup de travaux académiques récents se sont portés sur la protection et la valorisation du patrimoine géo(morpho)logique, la question de la sélection des géotopes dans le cadre d'un inventaire cantonal n'a encore que peu été traitée.

8.2 Perspectives

Si ce travail de Master se termine ici, l'*Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale* ne prendra sa forme définitive que dans les mois à venir. Comme évoqué au chapitre 3.2, cette liste sera examinée par le Conseil d'Etat fribourgeois puis mise en consultation publique. Il est donc probable que des modifications soient apportées au terme de ces différentes étapes de validation politique.

De plus, ce travail n'a fait que poser quelques jalons pour la documentation future des ces 92 GICs. Pour le moment, 11 fiches d'inventaire ont été réalisées et sont disponibles en Annexe X. La forme de ces fiches sera certainement revue et quelques rubriques supprimées afin de documenter plus efficacement les géotopes restants. En principe, ce travail devrait se faire dans le cadre d'un mandat soutenu par le Service des forêts et de la nature (SFN). Il sera également question de réaliser une véritable base de données SIG avec une délimitation précise des géotopes d'importance cantonale. Cette base de données devrait intégrer l'ensemble des inventaires décrits au chapitre 5.4 afin de centraliser ces sources d'informations sur le patrimoine géo(morpho)logique cantonal.

D'ailleurs, les géotopes non retenus en tant que GICs ne doivent en aucun cas être laissés pour compte mais plutôt obtenir le statut d'objets d'importance locale, en adéquation avec l'Art. 34 de la LPNat (voir chapitre 3.1). Leur gestion incomberait alors aux communes qui pourraient se référer à ce document cartographique pour prendre connaissance des géotopes répertoriés sur leur territoire. Pour la gestion de ces sites, les administrations communales pourront se référer au volet « *géotopes* » du nouveau plan directeur cantonal qui proposera des mesures adaptées aux différentes catégories d'objets géo(morpho)logiques.

Pour conclure, nous estimons que la liste de GICs proposée dans ce travail doit pouvoir évoluer à l'avenir. Des révisions régulières permettraient d'inclure de nouvelles découvertes ou de réévaluer l'importance de certains sites. Cela nécessitera une étroite collaboration entre le Service des forêts et de la nature (SFN), le Musée d'histoire naturelle de Fribourg (MHNF) et le Département de Géosciences de l'Université de Fribourg.

9 Bibliographie

A **Achermann**, M. (1981). *Prä-, Inter- und Postglaziale Flussläufe im westschweizerischen Mittelland, erläutert am Beispiel dreier Flüsse: der Broye, der Sane und des Sense*. Travail de séminaire, Institut de Géographie de l'Université de Fribourg.

Agard, P. et **Lemoine**, M. (2003). *Visages des Alpes: structure et évolution géodynamique*. Commission de la carte géologique du monde. 48 p.

Allen, P.-A. & Homewood, P. (1984). Evolution and mechanics of a Miocene tidal sandwave. *Sedimentology*, vol. 31, issue 1, p. 63-81

Allen, P.-A., Mange-Rajetzky, M., Matter, A. & Homewood, P. (1985). Dynamic palaeogeography of the open Burdigalian seaway, Swiss Molasse basin. - *Eclogae geol. Helv*. 78/2, 351-381.

Anderson, D.E, **Goudie**, A.S., **Parker**, A.G. (2007). *Global environments through the Quaternary. Exploring environmental change*. Oxford University Press. Oxford, 396 p.

ASSN (Académie suisse des sciences naturelles). (1999). Inventaire des géotopes d'importance nationale, *Geol. Insubrica*, 4, 25-46.

ASSN (Académie suisse des sciences naturelles). (2012). *Inventaire des géotopes suisses*. Disponible sur le géoportail de la Confédération : map.geo.admin.ch.

B **Baeriswyl**, P.A. (1986). *Les derniers glaciers locaux des Préalpes fribourgeoises: répartition, avancée et recul en relation avec le glacier du Rhône*. Travail de séminaire, Institut de Géographie de l'Université de Fribourg.

Balmat, B. (1982). *Processus et formations de versant dans le bassin du Rio des Marais (région du Vanil Noir) et établissement d'une carte géomorphologique au 1:5'000*. Travail de séminaire, Institut de Géographie de l'Université de Fribourg.

Baud, A. & **Septfontaine**, M. (1980). Présentation d'un profil palinspastique de la nappe des Préalpes médianes en Suisse occidentale. – *Eclogae geol. Helv. 73* / 2, 651– 660.

Baudepartment des Kantons Aargau (1982). *Inventar der erdgeschichtlich schützenswerten Geigiete und Objekte*. Kanton Aargau, Baudepartment, Abt. Raumplanung.

Becker, D. (2003). *Évolution paléoécologique et paléoclimatologique de la Molasse du Jura et sudrhénane: utilisation des Périssodactyles (Mammalia) et des Minéraux argileux*. Thèse de l'Université de Fribourg, GeoFocus 9: 327 p.

Benz, V. (1996) *Les caractéristiques géomorphologiques dans les instruments de l'aménagement du territoire existant dans le canton de Fribourg*. Travail de séminaire, Institut de Géographie de l'Université de Fribourg.

Berger, J.P. (1979). *La transgression de la molasse marine supérieure dans la région fribourgeoise; biostratigraphie, paléoécologie, sédimentologie*. Mémoire de diplôme, Institut de Géologie de l'Université de Fribourg.

Berger, J.P. (1983). Biostratigraphie de la transgression de la Molasse marine supérieure (OMM) en Suisse occidentale. *Eclogae geol. Helv*. 76/3, 729-732.

Berger, J.-P. (1985). La transgression de la Molasse marine supérieure (OMM) en Suisse occidentale. *Münchner geowiss. Abh*. (A) 5, 1-208.

Berger, J.-P. (1989). Paleogeographic evolution of the swiss molasse basin: a short review. *Geologica Carpathica*, 40, 1. Bratislava, February 1989. p. 9-16

Berger, J.-P. (1992a). Correlative chart of the European Oligocene and Miocene: application to the Swiss Molasse Basin. *Eclogae geol. Helv*. 85/3, 573-609.

Berger, J.-P. (1992b). *Paléontologie de la Molasse de Suisse occidentale*. Thèse d'habilitation Univ. Fribourg (inédit).

Berger, J.-P. (1998). *Inventaire des sites fossilifères fribourgeois*. Université de Fribourg, Institut des sciences de la Terre, Document interne non publié.

Berger, J.-P. & **Dumas**, J. (2007). *Inventaire des géotopes géologiques de la République et Canton du Jura : Notice explicative*. Fribourg, 31 p.

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

Berger, J.-P., **Reynard**, E., **Constandache**, M., **Felber**, M., **Häuselmann**, P., **Jeannin**, P.-Y. et **Martin**, S. (2011). Révision de l'inventaire des géotopes suisses: rapport du groupe de travail 2008-2011. Fribourg : Groupe de travail pour les géotopes en Suisse.

Bersier, A. (1942). L'origine structurale des collines et alignements morphologiques orientés du Plateau vaudois. *Bull. Soc. vaud. Sci. nat. 62 (258)*, p. 135-158.

Bini, A., **Buoncristiani**, J.-F., **Couterrand**, S., **Ellwanger**, D., **Felber**, M., **Florineth**, D., **Graf**, H. R., **Keller**, O., **Kelly**, M., **Schlüchter**, C. et **Schoeneich**, P. (2009). *La Suisse durant le dernier maximum glaciaire* [Carte au 1:500'000]. Wabern : Swisstopo.

Bitterli, T. (1997). *Concept pour l'évaluation de la valeur, la vulnérabilité, la menace et le besoin de protection des grottes suisses (géotopes spéléologiques)*. Société Suisse de Spéléologie [non publié].

Blum, C. (2012). *Geotope im Kanton Bern*. Masterarbeit. Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern. 28 p.

Blumer, R & **Braillard**, L. (2004.)La Tour-de-Trême/Les Partsis: une nouvelle séquence mésolithique en Suisse romande. *CAF 6*, 66-81.

Bollin R. (1995). *Blocs erratiques du canton de Fribourg. Findlinge des Kantons Freiburg*. Musée d'histoire naturelle, Fribourg.

Braillard, L. (2006). Morphogenèse des vallées sèches du Jura tabulaire d'Ajoie (Suisse): rôle de la fracturation et étude des remplissages quaternaires. Thèse de l'Université de Fribourg. GeoFocus 14 : 231 p.

Braillard, L. (2015). Blatt 1226 Boltigen. – Geol. Atlas Schweiz 1:25 000, Erläut. *143*.

Braillard, L. (2015). Feuille 1226 Boltigen. – Atlas géologique de la Suisse 1:25 000, Notice explicative *143*.

Braillard, L. (2017). *Roches et paysages. 30 millions d'années pour un lac*. Panneau didactique. Novilé, le lac de Gruyère en réalité augmentée. Société de développement du lac de la Gruyère, La Gruyère Tourisme.

Braillard, L., **Menoud**, S., **Mauvilly**, M., **Boisaubert**, J.-L. & **Baeriswyl**, J.-M. (2003). Préalpes et chasseurs-cueilleurs en terres fribourgeoises, une vieille et longue histoire. *Cahiers d'Archéologie Fribourgeoise* 5, 42-71.

Braillard, L. & **Rebetez**, D. (2009). *Sentier géologique des Gastlosen*. Imprimerie St-Paul, Fribourg. 65 p.

Bruschi, V. M. et **Cendrero**, A. (2005). Geosite evaluation; Can we measure intangible values? *Il Quaternario, 18* (1), 293-306.

Bussard, J. (2014). *Protection et valorisation du patrimoine géomorphologique de Parc naturel régional Gruyère Pays-d'Enhaut. États des lieux et perspectives.* Mémoire de master non publié. Université de Lausanne, Institut de géographie.

Burek, C.V. & **Prosser**, C.D. (2008*). The History of Geoconservation*. London: The Geological Society.

Bütler, E., **Winkler**, W. & **Guillong**, M. (2011). Laser ablation U/Pb age patterns of detrital zircons in the Schlieren Flysch (Central Switzerland): new evidence on the detrital sources. – Swiss J. Geosci. *104* / 2, 225 –236.

C **Caron** C. (1972). La nappe supérieure des Préalpes: subdivisions et principaux caractères du sommet de l'édifice préalpin. *Eclogae geol. Helv.,* 65/1: 57-73.

Caron, C., **Homewood**, P., **Morel**, R. & **Stuijvenberg**, J. Van (1980): Témoins de la nappe du Gurnigel sur les Préalpes Médianes: une confirmation de son origine ultrabriançonnaise. – *Bull. Soc. fribourg. Sci. nat. 69* / 1, 64 –79.

CCPNP & **OCAT** (1978). *Inventaire des sites naturels du canton de Fribourg*. Canton de Fribourg, Direction des travaux publics, Fribourg.

Choffat, P. & **Aubert**, D. (1983). Erosion et morphologie glaciaires de la molasse. *Bull. Soc. vaudoise. Sci. nat*. 76/4. n° 364 : 321-340.

Clark, P. U. & **Mix**, A.C. (2000). Ice Sheets and Sea Level of the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*. 82. 1-7

Claude, A. (1974). Un artisanat minier: charbon, verre, chaux et ciments au Pays de Vaud. *Bibl. hist. vaud. 54*.

Cochet, C. (1996). *Etude géomorphologique de la vallée du Breccaschlund*. Travail de séminaire, Institut de Géographie de l'Université de Fribourg.

Cohen, K.M., **Harper**, D.A.T., **Gibbard**, P.L. (2018). *ICS International Chronostratigraphic Chart 2018*. International Commission on Stratigraphy, IUGS. www.stratigraphy.org

Collectif (1991). Déclaration internationale des droits de la mémoire de la Terre. In : Actes du premier symposium international sur le patrimoine géologique, Digne-les-Bains 11-16 Juin 1991 (1994). *Mém. Soc. géol. Fr., 165*, p. 272-273.

Constandache M., **Martin** S., **Reynard** E., **Berger** J.-P. (2010). *Numérisation des périmètres des géotopes d'importance nationale*. Lausanne, Groupe de travail pour les géotopes en Suisse, mars 2010, 5 p.

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

D **DAEC** (2017). *Territoire 2030 – Mise en consultation de l'avant-projet d'adaptation de la loi sur l'aménagement du territoire et les constructions (LATeC)*. Impressum. Graf R. AG. Morat. 30 p.

DAEC (2002). *Plan directeur cantonal.* Canton de Fribourg, Service des constructions et de l'aménagement (SeCA), Fribourg.

DAEC (2017). *Territoire 2030 – Mise en consultation de l'avant-projet d'adaptation de la loi sur l'aménagement du territoire et les constructions (LATeC)*. Impressum. Graf R. AG. Morat. 30 p.

Dapples F. (1995). *Le Mont-Pèlerin et la dépression d'Attalens lors de la dernière avancée du glacier du Rhône sur le Plateau suisse*. Travail de séminaire, Institut de Géographie de l'Université de Fribourg.

Dapples, F. (2002) *Instabilités de terrain dans les Préalpes fribourgeoises (Suisse) au cours du Tardiglaciaire et de l'Holocène: influence des changements climatiques, des fluctuations de la végétation et de l'activité humaine*. Thèse de l'Université de Fribourg. GeoFocus 6 : 162 p.

Daly, D., **Erikstad**, L. & **Stevens**, C. (1994). *Fundamentals in earth science conservation*. In: *Mém. Soc. Géol. France, N.S., 165*, 209-212.

Delaloye, R. (2004). *Contribution à l'étude du pergélisol de montagne en zone marginale*. Thèse de l'Université de Fribourg. GeoFocus 10 : 240 p.

Descloux, M. (1982). *Morphologie de vallées entre Rossens et Fribourg et érosion différentielle dans la molasse burdigalienne*. Travail de séminaire, Institut de Géographie de l'Université de Fribourg.

Desnoyer, J. (1829). *Observations sur un ensemble de dépôts marins plus récents que les terrains tertiaires du bassin de la Seine et constituant une formation géologique distincte, précédées d'un aperçu de la non-simultanéité des bassins tertiaires*. Ann. Sc. Nat., Paris, Vol. 16, pp. 171-214 et pp. 402-491.

DIAF (2007). *Carte d'inventaire des terrains instables du canton de Fribourg.* Notice explicative. 16 p.

Di Méo, G. (1994). Patrimoine et territoire, une parenté conceptuelle. *Espaces et Sociétés, 78*(3), 15-34.

Di Méo, G. (2008). Processus de patrimonialisation et construction des territoires. In S. Bouffange et P. Moisdon-Pouvreau (Eds), *Regards sur le patrimoine industriel. Actes du colloque « Patrimoine et industrie en Poitou-Charentes : connaître pour valoriser », 12-14 septembre 2007* (pp. 87-109). Poitiers-Châtellerault : Gestes.

Dousse, M. et **Fedrigo**, C. (2015). *Fribourg vu par les écrivains. Anthologie illustrée : XVIII^{e}- XXI^{e} s*. Bibliothèque cantonale et universitaire Fribourg – Editions de l'Aire Vevey. 380 p.

Dubey, B. (1994). *Les principaux phénomènes de capture du réseau fluviatile du moyen-pays fribourgeois*. Travail de séminaire, Institut de Géographie de l'Université de Fribourg.

Duhem, V. (2008). *Inventaire et proposition de mesures de valorisation des géomorphosites du PNR Gruyère - Pays-d'Enhaut*. Mémoire de master non publié. Université de Lausanne, Institut de géographie.

Dutruit, J. (2008). Grotte du Glacier ou Grotte de Naye. *Le Trou 67*, numéro spécial, Groupe Spéléo 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, France), Laboratoire EDYTEM.

E

Eberhard, R. (ed.). (1997). *Pattern and Process: Towards a Regional Approach to National Estate Assessment of Geodiversity*; 1997 Technical Series No. 2, Australian Heritage Commission & Environment Forest Taskforce, Environment Australia, Canberra.

Emmenegger, C. (1961). Géologie de la région sud de Fribourg. Molasse du Plateau et Molasse subalpine. – *Bull. Soc. fribourg. Sci. nat. 51*, 5–166.

Erikstad, L. (2008). History of geoconservation in Europe. In C.V. Burek and C.D. Prosser (Eds), *The History of Geoconservation* (pp. 249-256). London: The Geological Society.

F

Fontana, G. (2008). *Analyse et proposition de valorisation d'un paysage géomorphologique. Le cas de la Greina*. Mémoire de master non publié. Université de Lausanne, Institut de géographie.

G **Gagnebin,** E. (1924). Description géologique des Préalpes bordières entre Montreux et Semsales. *Mém. Soc. vaud. Sc. nat.* 2/1, 1-69

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.

Genoud, M. (2008). *Inventaire, évaluation et projets de valorisation des géomorphosites du Val de Bagnes*. Mémoire de master non publié. Université de Lausanne, Institut de géographie.

Girard, R. De. (1896). Notice géologique et technique sur les produits minéraux bruts du Canton de Fribourg. In: *Notice sur les exploitations minérales de la Suisse*. – Rey & Malavallon, Genève.

Girard, R. de. (1907). Informations des associations : Fribourg. I. Blocs erratiques. *Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles,* 90, p. 116-119.

Göggel, W. (2012). *Revitalisation des cours d'eau. Planification stratégique. Un module de l'aide à l'exécution Renaturation des eaux*. Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne. L'environnement pratique n° 1208: 43p.

Graf, H. R. (2009). *Stratigraphie von Mittel- und Spätpleistozän in der Nordschweiz*. Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz, 168. – Bundesamt für Landestopografie swisstopo; 3084 Wabern.

Grandgirard, V. (1994). *Aperçu géomorphologique du canton de Fribourg.* Groupe de Recherches en Géomorphologie, Institut de Géographie de l'Université de Fribourg.

Grandgirard, V. (1995). Méthode pour la réalisation d'un inventaire de géotopes géomorphologiques. *Ukpik, Cahiers de l'Institut de Géographie de Fribourg/Suisse,* 10: 121-137.

Grandgirard, V. (1996). Gestion du patrimoine naturel, l'inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg. *Ukpik, Rapports de recherches, Institut de Géographie, Université de Fribourg, Suisse, Actes du colloque commun de la SSGm et de l'AFK, Sornetan, 5 au 8 octobre 1995,* 8: 121-137.

Grandgirard, V. (1997a). Géomorphologie et gestion du patrimoine naturel : La mémoire de la Terre est notre mémoire. *Geographica Helvetica, 52* (2), 47-56.

Grandgirard, V. (1997b). *Géomorphologie, protection de la nature et gestion du paysage.* Thèse de doctorat, Institut de Géographie de l'Université de Fribourg.

Grandgirard, V. & Schneuwly, D. (1997). Auswahl und Schutz bedeutender Findlinge im Kanton Freiburg (Schweiz). *Geowissenschaften,* 12: 402-407.

Grandgirard V. & Spicher, M. (1997). Les géotopes karstiques du canton de Fribourg (Suisse). In: IUS (Ed.): *Proceedings of the 12th International Congress of Speleology,* Volume 1: 331-336, La Chaux-de-Fonds (Switzerland).

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 non publié. Université de Lausanne, Institut de géographie et durabilité.

Gray, M. (2004). *Geodiversity : Valuing and conserving abiotic nature*. Chichester: Wiley.

Grube A. & **Wiedenbein** F.-W. (1992). Geotopschutz. Eine wichtige Aufgabe der Geowissenschaften. *Die Geowissenschaften*, 10(8): 215-219, Weinheim.

H **Hapka**, R. (2018). *Les paysages culturels fribourgeois - Kulturlandschaften Freiburg*. Fribourg : Editions La Sarine. 159 p.

Hantke, R. (1972). Spätwürmzeitliche Gletscherstände in den Romanischen Voralpen (Westschweiz). *Eclogae geol. Helv.* 65/2, p. 279–291.

Hays, J.D., **Imbrie**, J., **Shackleton**, N.J. (1976). Variations in the Earth's orbit: pacemaker of the Ice Ages. *Science*, 194, pp. 1121-1132

Hipp R. (2003). Beispiele zur Umsetzung des Geotopschutzes im Kanton Thurgau, In : Geisser H. (Ed.). *Beiträge zur Geologie des Kantons Thurgau*, Frauenfeld, Mitt. der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 59, 169-188.

Hipp R. (2004). Beispiele zur Umsetzung des Geotopschutzes im Kanton Thurgau, In : Reynard E., Pralong J.-P. (Eds.). *Paysages géomorphologiques*, Compte rendu du séminaire de 3ème cycle CUSO 2003, Lausanne, Institut de Géographie, Travaux et Recherches N° 27, 2004, 161-173.

Homewood, P. (1978). Exemples de séquences de faciès dans la Molasse fribourgeoise et leur interprétation. - *Bull. Soc. fribourg. Sci. nat*. 67/1. 73-82.

Homewood, P. (1981). Facies et environnements de dépôt de la Molasse de Fribourg. *Eclogae geol. Helv.*, 74(1), p. 29-36.

Homewood, P. & **Allen**, P.-A. (1981). Wave-, tide- and current-controlled sandbodies of Miocene Molasse, western Switzerland. *Bull. amer. Assoc. Petroleum Geol.* 65, 2534-2545.

Homewood, P., **Allen**, P., **Weidmann**, M., **Fasel**, J.-M., **Lateltin**, O. (1985). The Swiss Molasse Basin. ln: Allen, P., Homewood, P., Williams, W. (Ed.): *Foreland Basins: Excursion guidebook* (p. 5-39). - Int. Symp. on Foreland Basins, Fribourg, 2.-4.9.1985.

Homewood, P., **Keller**, B., **Schoepfer**, P., **Yang**, C. S. (1989). Faciès, processus de sédimentation et reconstitution des conditions paléomarines dans la Molasse marine supérieure suisse. *Bull. Soc. Géol. France* (8), t. V, n°5, pp. 1015-1027

Hooke, J. M. (1994). Strategies for conserving and sustaining dynamic geomorphological sites. In D. O'Halloran, C. Green, M. Harley, M. Stanley and J. Knill (Eds), *Geological and Landscape Conservation* (pp. 191-195). London: The Geological Society.

I **ISSKA** (2001). *Conservation du patrimoine spéléologique et karstique suisse : proposition en vue d'une gestion durable et efficace*. Brochure d'information à l'attention des administrations, Société Suisse de Spéléologie, 16 p.

Ivy-Ochs, S., **Schäfer**, J., **Kubik**, P.W., **Synal**, H.-A., **Schlüchter**, C. (2004). The timing of deglaciation on the northern Alpine foreland (Switzerland). *Eclogae Geologicae Helvetiae 97*, 47-55.

J **Jacobi**, D. (1999). *La communication scientifique: discours, figures, modèles*. Grenoble: Presses universitaires de Grenoble.

Jordan, P., **Hipp**, R., **Reynard**, E. (2004). La protection des géotopes et la création de géoparcs en Suisse. In E. Reynard et J.-P. Pralong (Eds), *Paysages géomorphologiques, Compte rendu du séminaire de 3ème cycle CUSO 2003*, Travaux et recherches n°27 (pp. 9-20). Lausanne : Université, Institut de géographie.

Joye, M. (2017). *Terre – L'Histoire de notre Planète de sa naissance à sa disparition*. Collection Focus Sciences. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes. 349 p.

K **Kozlik**, L. (2006). *Les géomorphosites culturels des vallées du Trient, de l'Eau Noire et de Salanfe. Inventaire, évaluation et valorisation*. Mémoire de licence non publié. Université de Lausanne, Institut de géographie.

Keller, O., **Heinz**, R., **Stürm**, B. (2007). *Geotopinventar Kanton Appenzell Inner- und Ausserrhoden – Inventarbericht*. St. Gall. Natw. Ges., St. Gallen.

Kerschner, H. (1983). Überlegungen zum Klima während des Egesen-stadiums (Jüngere Dryas, H'000-10'000 BP) in den Zentralen Ostalpen (Westtirol, Osterreich). *In* Schröder-Lanz H. (ed.), *Late- and Post-Glacial Oscillations of Glaciers: Glacial and Periglacial Forms*. Balkema, Rotterdam: p. 65-72.

Kreienbühl, C. (1995). *La Gérine. Etude géomorphologique. Propositions de zones à protéger en vue de la conservation et de la mise en valeur de sites remarquables*. Travail de séminaire, Institut de Géographie de l'Université de Fribourg.

Kyburz W., Hantke R., Pavoni N. (1983). *Inventar der geologischen Objekte des Kantons Zürich*. Kanton Zürich, Amt für Raumplanung, Fachstelle Naturschutz.

L **Lejay**, A. (1991) *Stratigraphie haute-résolution des dépôts de marées du bassin molassique suisse*. Thèse Univ. Louis Pasteur Strasbourg, France (unpublished).

Levrat, S. (1998). *La Broye, de Fétigny au lac de Morat, ou le passage d'une rivière méandriforme à une rivière canalisée*. Travail de séminaire, Institut de Géographie de l'Université de Fribourg

Lienert S. (2003) (Hrsg.). *Geologie und Geotope im Kanton Schwyz*. Einsiedeln, Bericht der Schwyzerischen Naturforschenden Gesellschaft, 14.

Lugeon, M & **Gagnebin**, E. (1941). Observations et vues nouvelles sur la géologie des Préalpes romandes (*Mém. Soc. Vaud. Se. Nat*., 7, 1).

Lugon, R. et **Reynard**, E. (2003). Pour un inventaire des géotopes du canton du Valais. *Bull. Murithienne, 121*, 83-97.

Lüttig, G.-W. (1992). Der Geotopschutz in der geowissenschaftlichen Kartographie. Rückblick, Sachstandsbericht, Prognose. *Materialien* I/1993. Ökologische Bildungsstätte Oberfranken.

M **Maillard**, B. (2009). *Inventaire des géomorphosites des vallées d'Entremont et de Ferret. Propositions de valorisation.* Mémoire de master non publié. Université de Lausanne, Institut de géographie.

Marthaler, M. (2002). *Le Cervin est-il africain? Une histoire géologique entre les Alpes et notre planète*. Le Mont-sur-Lausanne, Editions LEP (Loisirs et Pédagogie).

Marthaler, M. (2003). La mémoire de la Terre cachée derrière les panoramas. In: Reynard E., Holzmann C., Guex D., Summermatter N. (Eds.). *Géomorphologie et tourisme*, Lausanne, Institut de Géographie, Travaux et Recherches n° 24, 105-114.

Marthaler, M. (2004). Lecture et analyse d'un paysage: Zermatt et le Cervin. Un exemple de la mémoire de la terre révélée par les panoramas. In E. Reynard et J.-P. Pralong (Eds), *Paysages géomorphologiques, Compte rendu du séminaire de 3ème cycle CUSO 2003*, Travaux et recherches n°27 (pp. 9-20). Lausanne : Université, Institut de géographie.

Martin, S. (2011). Richesse et diversité du géopatrimoine suisse. Analyse de l'inventaire des géotopes d'importance nationale. in Lambiel C., Reynard E. et Scapozza C. (Eds) (2011). *La géomorphologie alpine: entre patrimoine et contrainte. Actes du colloque de la Société Suisse de Géomorphologie*, 3-5 septembre **2009, Olivone (Géovisions n° 36). Institut de géographie, Université de Lausanne.**

Martin, S. (2013). *Valoriser le géopatrimoine par la médiation indirecte et la visualisation des objets géomorphologiques.* Thèse de doctorat. Université de Lausanne (Suisse), Faculté des géosciences et de l'environnement. Géovisions n°41.

Martini, G. (1994). Bilan général de la protection du patrimoine géologique en France. In : *Mem. Soc. Géol. France*, N.S., 165, p. 111-118.

Marty, D., **Ayer**, J., **Becker**, D., **Berger**, J.-P., **Billon-Bruyat**, J.-P., **Braillard**, L., **Hug** W. A., **Meyer** C. A. (2007). Late jurassic dinosaur tracksites of the Transjurane highway (Canton Jura, NW Switzerland): overview and measures for their protection and valorisation. Bulletin für Angewandte Geologie 12: 75–89.

Mascarelli, A. (2009). Quaternary geologists win timescale vote. *Nature 459*, 624

Matzenauer, E. (2012). *Tectonics of the Préalpes Klippen and the Subalpine Molasse (Canton Fribourg, Switzerland)*. Thèse de l'Université de Fribourg, GeoFocus 31: 210 p.

Mauvilly, M. (2009). Les abris naturels en territoire fribourgeois, de la Préhistoire à nos jours, In : *Archéologie suisse*. 32 (4) : p. 24-31.

Mauvilly, M., **Pluz Loubier**, V., **Braillard**, L. (2005). Enney/La Ronhlynetta ou les tribulations d'une ancienne série mésolithique et d'un collectionneur d'exception. *Cahiers d'archéologie fribourgeoise*. n°7. p. 74-89.

Mauvilly, M., **Dafflon**, L., **McCullough**, F., **Braillard**, L., **Castel**, J.-C., **Chauvière**, F.-X., **Jacomet**, S., **Jeunesse**, C., **Martinoli**, D., **Serneels**, V., **Tettamanti**, R. (2008). L'abri mésolithique d'Arconciel/La Souche : bilan des recherches 2003-2007. In : *Cahiers d'Archéologie Fribourgeoise*. n°10. p. 44-74.

Meer, J.J.M. Van der (1982). The Fribourg area, Switzerland, a study in Quaternary geology and soil development. *Publ. Fys.-Geogr. Bodemk. Lab. Univ. Amsterdam*. 32, p. 1-203.

Megerle, H. et **Beuter**, A. (2011). La protection des géotopes et le géotourisme : des intérêts contradictoires ou une préoccupation commune ? In E. Reynard, L. Laigre et N. Kramar (Eds), *Les géosciences au service de la société. Actes du colloque en l'honneur du Professeur Michel Marthaler, Lausanne, 24-26 juin 2010*, Géovisions n°37 (pp. 75-90). Lausanne : Université, Institut de géographie.

Menoud, D. (1996). *Inventaire des géotopes géomorphologiques: les zones humides du canton de Fribourg.* Travail de séminaire, Institut de Géographie de l'Université de Fribourg.

Micoud, A. (2005). La patrimonialisation ou comment redire ce qui nous relie (un point de vue sociologique). In : Barrère, C., Barthélemy, D., Nieddu, M. & Vivien, F.-D. (Eds). *Réinventer le patrimoine. De la culture à l'économie, une nouvelle pensée du patrimoine ?* (p. 81-96). Paris: L'Harmattan.

Monbaron, M., **Fasel**, G., **Lièvre**, I. (2006). *Inventaire des géotopes géomorphologiques de la République et Canton du Jura : Notice explicative*. Fribourg, 30 p.

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 l'Université de Fribourg. GeoFocus 29 : 220 p.

Morard, S., Delaloye, R., Dorthe, J. & Lambiel, C. (2007). *Inventory of ventilated cold scree slopes and rock glaciers in the Swiss Alps and Prealps* . EGU General Assembly, April 15-20, 2007, Wien, Austria.

Morard, S., **Scapozza**, C., **Duhem**, V., **Reynard**, E., **Delaloye**, R. (2009). *Géomorphologie de la montagne – Fiches pour l'enseignant. Société Suisse de Géomorphologie (SSGm)*. http://www.unifr.ch/geoscience/geographie/montagne.

Morard S., **Bochud** M. & **Delaloye** R. (2010). La glacière des Diablotins: évolution rapide d'une masse de glace souterraine au cœur des Préalpes fribourgeoises. *Bull. Soc. Frib. Sc. Nat.* 99 (1), p. 99-121.

Mornod, L. (1949). Géologie de la région de Bulle (Basse Gruyère). Molasse et bord alpin. - Matér. Carte géol. Suisse [n.s.] 91.

Mosar, J., **Stampfli**, G.-M., **Girod**, F. (1996). Western Préalpes medians; timing and structure. A Review. Eclogae Geol. Helv. 89, 389-425.

N **Naef**, H., Hofmann F., Hipp R. & Keller O. (1997). *Das Geotopinventar im Kanton Thurgau*. Amt für Raumplanung des Kantons Thurgau, Frauenfeld.

Naef, H. (2000). *Das Geotop-Inventar im Kanton Thurgau*. Kurzfassung, Frauenfeld, Amt für Raumplanung.

Naef, H. (2007). *Das Geotop-Inventar im Kanton Thurgau*. Kurzbericht mit vollständiger Objekt-Liste und Literaturverzeichnis, Frauenfeld, Amt für Raumplanung.

Nussbaumer, C. (2016). *L'arolle rattrapé par l'épicéa? Analyse des conditions de régénération et de développement de l'arolle (Pinus Cembra) dans les Préalpes romandes (Suisse)*. Travail de Master, HAFL, Berner Fachhochschule.

O **O'Halloran**, D. 1994. *Earth Science conservation in Great Britain – the national picture*. Memoire Soc.Geol.France, No. 165 : 159-164.

OFEV (2013). *Nouvelles approches pour relever la qualité du paysage - Rapport intermédiaire du programme Observation du paysage suisse (OPS).* Impressum : Connaissance de l'environnement – Nature et paysage. Bern. 77p.

Oswald, D. (2003). *Analyse de l'activité de glissements de terrain et relation avec les conditions climatiques : exemples dans les Préalpes fribourgeoises (Suisse)*. Thèse de l'Université de Fribourg. GeoFocus 8: 147 p.

P **Pagano**, L. (2008). *Inventaire des géotopes géomorphologiques du Val Bavona et du Val Rovana. Sélection, évaluation et perspectives*. Mémoire de licence non publié. Université de Lausanne, Institut de géographie.

Pasquier, J.-B. (2005). Feuille 1225 Gruyères. – Atlas géol. Suisse 1:25 000, Notice expl. 115.

Panizza, M. & **Piacente**, S. (1993). Geomorphological assets evaluation. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F., 87* (Suppl. Bd.), 13-18.

Panizza, M. & **Piacente**, S. (2003). *Geomorfologia culturale*. Pitagora Editrice, Bologna, 350 p.

Panizza, M. (2001). Geomorphosites: concepts, methods and example of geomorphological survey. *Chinese Science Bulletin, 46* (Suppl. Bd.), 4-6.

Pereira, P., **Pereira**, D. and **Caetano Alves**, M.I. (2007). Geomorphosite assessment in Montesinho Natural Park (Portugal). *Geographica Helvetica, 62*(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 licence non publié. Université de Lausanne, Institut de géographie.

Pieracci, K., **Reynard**, E., **Marchant**, R., **Meisser**, N., **Borel**, G., **Baud**, A., **Masson**, H., **Jeannin**, P.-Y. et **Schoeneich**, P. (2008). *Rapport d'accompagnement de l'inventaire des géotopes du canton de Vaud*. P. Gmür (Dir), Etat de Vaud : Département de la sécurité et de l'environnement, Service des forêts, de la faune et de la nature, Centre de la conservation de la faune et de la nature [non publié]. 450 p.

Plancherel, R. (1976). Essai d'interprétation de la dislocation transversale Bellegarde-Lac Noir (Préalpes médianes fribourgeoises). *Eclogae geol. Helv*. 69, 461-469.

Plancherel, R. (1979). *Aspects de la déformation en grand dans les Préalpes médianes plastiques entre Rhône et Aar. Implications cinématiques et dynamiques*. Thèse, Institut de Géologie de l'Université de Fribourg.

Plancherel, R., **Python**, C., **Braillard**, L., **Mosar**, J., **Dall'Agnolo**, S. (à paraitre). Feuille 1245 Château-d'Oex. – Atlas géol. Suisse 1: 25 000, carte 144.

Portal, C. (2010). *Reliefs et patrimoine géomorphologique. Applications aux parcs naturels de la façade atlantique européenne*. (Thèse de doctorat). Université de Nantes, Institut de géographie et d'aménagement régional, Nantes.

Pralong, J.-P. (2003). Valorisation et vulgarisation des sciences de la Terre : les concepts de temps et d'espace et leur application à la randonnée pédestre, In : Reynard, E., Holzmann, C., Guex, D., Summermatter, N. (Eds.). *Géomorphologie et tourisme*. Lausanne, Institut de Géographie, 115-127.

Pralong, J.-P. (2004). Pour une mise en valeur touristique et culturelle des patrimoines de l'espace alpin : le concept d' « histoire totale », In : *Histoire des Alpes. Tourisme et changements culturels*, 2004/9, 301-310.

Pralong, J.-P. (2006). *Géotourisme et utilisation de sites naturels d'intérêt pour les sciences de la Terre: Les régions de Crans-Montana-Sierre (Valais, Alpes suisses) et Chamonix-Mont-Blanc (Haute-Savoie, Alpes françaises)*. Thèse de doctorat. Université de Lausanne (Suisse), Faculté des géosciences et de l'environnement.

Pugin, A. (1989). (1989): Déglaciation dans la vallée préalpine de la Sarine en Gruyère: une analyse sédimentologique. – *Eclogae geol. Helv. 82/1*, 285–324.

Q

Quervain, F. De (1969). Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. – Schweiz. geotech. Komm.

R

Rădulescu, C. C., **Grecu**, F., **Dobre**, R. (2016). Sur le concept de géosite, des préliminaires au plateau de Dobroudja du Sud. *Analale Universitatii Bucuresti*. *Seria Geografie*. p.147-166.

Raetzo, H., **Keusen**, H. R. & **Oswald**, D. (2000). Rutschgebiet Hohberg-Rohr (Plaffeien, FR): Disposition und Aktivität. *Bull. Géol. appl.*, 5(1), p. 55-68.

Rebetez, M et **Rebetez**, D. (2010). *Topo d'Escalade du canton de Fribourg - Klettern Freiburg. 24 sites d'escalade dans les environs de Fribourg.* Grimper.ch. 192 p.

Remane, J., **Adatte**, T., **Berger**, J.P., **Burkhalter**, R., **Dall'Agnolo**, S., **Decrouez**, D., **Fischer**, H., **Funk**, H., **Furrer**, H., **Graf**, H.F., **Gouffon**, Y., **Heckendorn**, W. & **Winkler**, W. (2005). Directives pour la nomenclature stratigraphique. Comité suisse de stratigraphie. Eclogae geol. Helv. 98, 385-405

Rey-Debove, J. & **Rey**, A. (Dir.). (2011). *Le Petit Robert: Dictionnaire alphabétique et analogique de la Langue française*. Paris. Le Robert. 2'837 p.

Reynard, E. (2004a). Geosites, In: A. Goudie (Ed.), *Encyclopedia of Geomorphology*, London, Routledge, 440.

Reynard, E. (2004b). Géotopes, géo(morpho)sites et paysages géomorphologiques. In E. Reynard, et J.-P. Pralong (Eds), *Paysages géomorphologiques, Compte rendu du séminaire de 3ème cycle CUSO 2003*, Travaux et recherches n°27 (pp. 123-136). Lausanne : Université, Institut de géographie.

Reynard, E. (2004c). La géomorphologie et la création des paysages. In E. Reynard et J.-P. Pralong (Eds), *Paysages géomorphologiques, Compte rendu du séminaire de 3ème cycle CUSO 2003*, Travaux et recherches n°27 (pp. 9-20). Lausanne : Université, Institut de géographie.

Reynard, E. (2004d). Protecting stones: conservation of erratic blocks in Switzerland. In R. Přikryl (Ed), *Dimension Stone 2004*. New perspectives for a traditional building material, (pp. 3-7). London: Taylor & Francis.

Reynard, E. (2005). Géomorphosites et paysages. *Géomorphologie : relief, processus, environnement,* 2005 (3), 181-188.

Reynard, E. (2009a). Geomorphosites: definitions and characteristics. In E. Reynard, P. Coratza, and G. Regolini-Bissig (Eds), *Geomorphosites* (pp. 9-20). München: Pfeil.

Reynard, E. (2009b). The assessment of geomorphosites. In E. Reynard, P. Coratza, and G. Regolini-Bissig (Eds), *Geomorphosites* (pp. 63-72). München: Pfeil.

Reynard, E. (2009c). Geomorphosites and landscapes. In E. Reynard, P. Coratza, and G. Regolini-Bissig (Eds), *Geomorphosites* (pp. 21-34). München: Pfeil.

Reynard, E. (2012). Geoheritage protection and promotion in Switzerland. *European Geologist, 34*, 44-47.

Reynard E., **Fontana** G., **Kozlik** L., **Scapozza** C. (2007). A method for assessing the scientific and additional values of geomorphosites. *Geogr. Helv. 62* (3), 148-158

Reynard, E. & **Coratza**, P. (2013). Scientific research on geomorphosites. A review of the activities of the IAG working group on geomorphosites over the last twelve years. *Geogr. Fis. Dinam. Quat. 36*, 159-168.

Reynard, E., **Berger**, J.-P., **Constandache**, M., **Felber**, M., **Grangier**, L., **Häuselmann**, P., **Jeannin**, P.-Y., et **Martin**, S. (2012). *Révision de l'inventaire des géotopes suisses : rapport final*. Lausanne : Groupe de travail pour les géotopes en Suisse.

Reynard, E., **Perreti**, A., **Bussard**, J., **Grangier**, L., & **Martin**, S. (2016). Integrated Approach for the Inventory and Management of Geomorphological Heritage at the Regional Scale. *Geoheritage 8.* p. 43–60

Rieder, J. (1997). Inventaire des géotopes du canton de Neuchâtel : Approche méthodologique et premiers résultats. *bull. soc. neuchâtel. sci. nat*. 120: 175-199.

Rigassi, D. (1978). *Evolution tectonique du Jura central, Crétacé-Miocène*. Document inédit.

Ritter, E. (1925). Die Kohlen des Oberoligozans (Aquitanien) der subalpinen Zone. Erganzungen zu Lieferung II: «Die schweizerischen Molassekohlen westlich der Reuss» 1903. Dans: Letsch, E. & Ritter, E.: Die schweizerischen Molassekohlen III (p. 51-90). - *Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser. 12*.

Rolle, B. (1997). *Les gorges et les canyons du canton de Fribourg*. Travail de séminaire, Institut de Géographie de l'Université de Fribourg.

Rub, D. & **Imwinkelried**, K. (1995). *Inventar schützenswerten Reliefformen der Gorges de la Jogne*. Travail de séminaire, Institut de Géographie de l'Université de Fribourg.

Rutsch, R.F. (1928). Geologie des Belpbergs. Beiträge zur Kenntnis der Stratigraphie. Palaeontologie und Tektonik der Molasse südlich von Bern. *Separatabdr. aus den Mitt. natf. Ges. Bern 1927*, 1-194.

S **Salomon**, J.-N. (2000). *Précis de karstologie*. Presses Universitaires de Bordeaux, Collection « Scieteren », Pessac, 250 p.

Schoeneich, P. (1992). Glaciers rocheux fossiles dans les Préalpes vaudoises. *Bull. Soc. vaud. Sci. nat. 82 (1)*, p.35-55.

Schoeneich, P. (1998). *Le retrait glaciaire dans les vallées des Ormonts, de l'Hongrin et de l'Etivaz (Préalpes vaudoises)*. Thèse de doctorat. Université de Lausanne, Institut de géographie. Travaux et recherches n°14.

Schoepfer, P. (1989). *Sédimentologie et stratigraphie de la Molasse marine supérieure entre le Gibloux et l'Aar*. – Thèse Univ. Fribourg.

SCPF (2013). *Inventaire spéléologique du canton de Fribourg*. Mis à jour par Martin Bochud (SCPF) et Jacques Dutruit (Spéléo Club Lausanne).

Sen (2015). *Carte de protection des eaux*. Notice explicative. 6 p.

Serrano, E. and **González-Trueba**, J. J. (2005). Assessment of geomorphosites in natural protected areas: the Picos de Europa National Park (Spain). *Géomorphologie : relief, processus, environnement, 2005*(3), 197-208.

Seydoux, A. & **Roulin**, S. (1995). *La géologie des gorges de la Jogne*. Travail de séminaire, Institut de Géographie de l'Université de Fribourg.

Sgard A. (1994). *Paysage : de la représentation à l'identité. Les discours sur la montagne et le développement territorial : l'exemple du Vercors*. Thèse de doctorat en géographie, Grenoble, Université Joseph-Fourier, Institut de Géographie Alpine, 2 volumes.

Sharples C. (1993). *A methodology for the identification of significant landforms and geological sites for geoconservation purposes*. Rep. Tasm. For. Comm. (Australia).

Sharples, C. (1995). *A Reconnaissance of Landforms and Geological Sites of Geoconservation Significance in the State Forests of Eastern Tasmania*; Report to Forestry Tasmania, Hobart (2 vols).

Sharples, C. (2002). *Concept and principles of geoconservation* [en ligne]. Tasmanian Parks and Wildlife Service website. Disponible sur : https://dpipwe.tas.gov.au/Documents/geoconservation.pdf (consulté le 10.3.2019).

Stampfli, G. M., **Borel**, G. D., **Marchant**, R. & **Mosar**, J. (2002). Western Alps geological constraints on western Tethyan reconstructions. In: Rosenbaum, G. and Lister, G. S. 2002. Reconstruction of the evolution of the Alpine-Himalayan Orogen. *Journal of the Virtual Explorer, 7*, 75 - 104.

Strasser, A., Heitzmann, P., Jordan, P., Stapfer, A., Stürm, B., Vogel, A., et Weidmann, M. (1995). *Géotopes et la protection des objets géologiques en Suisse : un rapport stratégique*. Fribourg : Groupe de travail suisse pour la protection des géotopes.

Stuijvenberg, J. Van (1979). Geology of the Gurnigel area (Prealps, Switzerland). – Beitr. geol. Karte Schweiz [N. F.] *151*.

Stürm B. (1992). *Geotop - Grundzüge der Begriffsentwiklung und Definition*. Materialen I/1993 : Workshop „Geotopschutz und Geowissenschaftlicher Naturschutz“ 5-6 März 1992. Ökologische Bildungsstätte Oberfranken und Naturschutzcentrum Wasserschloss Mitwitz p. 13-14.

Stürm B., Heinz R., Keller O. et al. (2003). *Geotopinventar Kanton St.-Gallen*. St.-Gallen, Naturwissenschaftliche Gesellschaft St.-Gallen.

Szönyi, M. (2007). *Geoland Schweiz*. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich. Zürich. 336p.

T **TEAM+**, TÜSCHER URBANISME SA (1993): Plan sectoriel des paysages et des sites. Pre-etude. Fribourg, OCAT.

TEAM+, TÜSCHER URBANISME SA (1995): Plan sectoriel des paysages et des sites. Dossier d'avant-projet. Fribourg, OCAT.

Trümpy, R. (1980). *Geology of Switzerland : a guide-book*. Schweizerische geologische Kommission. Wepf, Basel/New York. 2 vol. 334 p.

V **Vallin**, S. (1996). *Inventaire des cirques glaciaires dans les Préalpes fribourgeoises*. Travail de séminaire, Institut de Géographie de l'Université de Fribourg.

Vial, J.-C. (1988). Historique des mines de St Martin -Progens. *Minaria Helvetica 8a*, 6-18.

Vogel, A. (1986). *Inventar der geologisch – geomorphologisch schützenswerten Landschaften und Objekte im Kanton Zug*. Kanton Zug, Baudirektion, Amt für Raumplanung.

Vogel, A. (1995). *Inventar der geologisch/geomorphologisch schützenswerten Landschaften und Objekte im Kanton Luzern*. Schlussbericht, Kanton Luzern, Amt für Natur- und Landschaftsschutz.

U **UNESCO**. (1999). *Programme géoparcs de l'UNESCO – Nouvelle Initiative pour promouvoir un réseau mondial de géoparcs permettant de préserver et de mettre en valeur des zones présentant des caractéristiques géologiques particulières. Cent cinquante-sixième session du conseil exécutif*. Paris : UNESCO.

V **Vincent**, J.-M. (1995). Rapport introductif. In: J.-P. Bady & J.-M. Vincent (Eds), *Actes du colloque Patrimoine culturel, patrimoine naturel*. Paris, 12-13 décembre 1994 (p. 17-22). Paris : La Documentation française.

W **Weidmann**, M. (1987). *Les dessous d'une ville: petite géologie lausannoise*. Lausanne, Service des Forêts, domaines et vignobles, Les cahiers de la forêt lausannoise, n° 2.

Weidmann, M. (1993). Feuille 1244 Châtel-St-Denis. – Atlas géol. Suisse1: 25 000, notice expl. 92.

Weidmann, M. (1994). *Geotop-Inventar '94 – das Dossier*. *Erfassung schutzwürdiger erdwissenschaftlicher Objekte (Geotope) in Graubünden*. Chur, Kanton Graubünden, Amt für Landschaftspflege und Naturschutz.

Weidmann, M. (2005). Feuille 1205 Rossens. – Atlas géol. Suisse 1: 25 000, notice expl. 105.

Weidmann, M. & **Ginsburg**, L. (1999). Sur le Grès de la Molière. *Bull. Soc. vaud. Sci. nat. 86*, p. 213–228.

Wever, P. De, Le **Nechet**, Y., **Cornee**, A. (2006). Vade-mecum pour l'inventaire du patrimoine géologique national. *Mém. H.S. Soc. géol. Fr., 12.*

Wiedenbein, F.-W. (1992). *Zielsetzungen des Geotopschutzes in Deutschland*. Materialen I/1993. Ökologische Bildungsstätte Oberfranken.

Wilson, C. (1994). *Earth Heritage Conservation*. Geological Society of London. Open University Press, Milton Keynes. 272 pp.

Wimbledon, W.A.P (1996). GEOSITES, a new IUGS initiative to compile a global comparative site inventory, an aid to international and national conservation activity. *Episodes*, v.19: 87-88.

Winter, (2017). Ein Geotop-Inventar für den Kanton Aargau. In: *Umwelt Aargau Nr. 75*. p. 41-46.

Wimbledon, W.A.P (1996). GEOSITES, a new IUGS initiative to compile a global comparative site inventory, an aid to international and national conservation activity. *Episodes*, v.19: 87-88.

Wissing, S.B., and **Pfiffner**, O.A. (2002). Structure of the eastern Klippen nappe (BE, FR): Implications for its Alpine tectonic evolution. *Eclogae geologicae Helvetiae 95*, p. 381-398.

Y **Yerly**, B. (2012). *Sites fossilifères fribourgeois*. Rapport de Stage post-Master. MHNF & Université de Fribourg, Institut des sciences de la Terre. Non publié.

10 Annexes

Annexe I: consultation d'experts – récolte et tri des données

Géotope n°1 : Cliquez ici pour entrer du texte.

Localisation* : Cliquez ici pour entrer du texte.			**Coordonnées :** Cliquez ici pour entrer du texte.
Catégorie* :	**géologique** ☒	**géomorphologique** ☐	**spéléologique** ☐
Intérêt principal* :	Choisissez un élément.	Choisissez un élément.	Cliquez ici pour entrer du texte.
Intérêt(s) secondaire(s) :	Choisissez un élément. Choisissez un élément. Choisissez un élément.	Choisissez un élément. Choisissez un élément. Choisissez un élément.	Cliquez ici pour entrer du texte. Cliquez ici pour entrer du texte. Cliquez ici pour entrer du texte.
Mot(s)-clé(s)* : Cliquez ici pour entrer du texte.			**Importance* :** Choisissez un élément.

Description du géotope : naturel ☐ / artificiel☐ actif ☐ / passif ☐

Cliquez ici pour entrer du texte.

Intérêt du site (p.ex. caractéristique(s) remarquable(s), intégrité, rareté, représentativité, valeur paléogéographique) **:**

Cliquez ici pour entrer du texte.

Remarque(s) (p.ex. site(s) comparable(s), état de la menace, autre) **:**

Cliquez ici pour entrer du texte.

Références bibliographiques utiles :

Cliquez ici pour entrer du texte.
Cliquez ici pour entrer du texte.
Cliquez ici pour entrer du texte.
Cliquez ici pour entrer du texte.

Photographies, schémas, coupes :

Annexe 1.1 : formulaire envoyé aux experts pour proposer et documenter des géotopes d'importance cantonale.

	nom	nouveau géotope	Inclusions dans des inventaires généraux				Consultation d'experts						Occ.	Autre(s) désignation(s) remarques
			ASSN (2012)	Grandgiard (1999)	Berger (1995)	Occ.	AS	MJ	SM	RP	LB	Occ.		
6	Gorges de la Sarine		15	Fgc03	27	3	x		x		x	3	6	Canyon de la Sarine, Canyon de la Petite Sarine, Falaise de la Sarine
	Vallée glacio-karstique du Breccaschlund		17	GKva01	17	3	x		x		x	3	6	
	Vallon des Morteys			GLci12, GLci15, ...	5	2		x	x	x	x	4	6	y.c Vanil Noir et Réseaux souterrains. Pour certains auteurs: inclure aussi le secteur Gros Mont - Jeu de Quilles
	Cascade de Jaun			Fca03	15	2		x	x	x	x	4	6	
5	Glissements de terrain du Falli Hölli		18	GR01		2			x	x	x	3	5	Instabilités de terrain dans le vallon de Falli Hölli – Chleuwena
	Fossiles du Creux de l'Ours		122		1	2	x			x	x	3	5	Gisement fossilifère du Creux de l'Ours
	Molasse des Grottes de la Madeleine, Einsiedelei		124		39	2	x			x	x	3	5	
	Crétacé-Tertiaire de Roter Sattel		222		13	2	x			x	x	3	5	
	Gorges de la Veveyse de Fégire		234	Fcc10	3	3	x				x	2	5	
	Gorges du Gottéron			Fgc02	42	2	x		x		x	3	5	
	Gorges de la Jogne			Fgc06	9	2		x		x	x	3	5	
4	Séquences de marée du Bois du Devin		123		26	2	x				x	2	4	
	Molasse de Heitenried		153		44	2	x				x	2	4	
	Estavelle de l'Hongrin		317		6	2				x	x	2	4	
	Cascade du Neuschelsbach			Fca02	16	2				x	x	2	4	
	Bloc erratique Agassiz			GLbe02		1		x	x		x	3	4	Pierre Agassiz
	Düdinger Moos			GLcg02 - LPzh02		1		x	x		x	3	4	Kettles de Düdingen, Marais de Guin et Culot de glace morte
	Cône de déjection de Lessoc			Fcd09		1		x	x		x	3	4	
	Bloc erratique de Pierrafortscha			GLbe32		1		x	x		x	3	4	
	Colline d'érosion glaciaire de Romont			GLcé05		1		x	x		x	3	4	
	Ancienne carrière de flysch de Zollhaus		16		28	2				x	x	2	4	
3	Colline rocheuse isolée du Mont Vully		163	GLcé01		2					x	1	3	
	Carrière de Vaulruz				8	1		x			x	2	3	
	Villarbeney (glissement)			GR04	11	2					x	1	3	
	Carrière de Vuippens-Prévondavaux				12	1		x			x	2	3	
	Plagersflue				14	1				x	x	2	3	
	La Combert				19	1		x			x	2	3	
	Carrière de la Molière				30	1		x			x	2	3	
	Marnière de Wallenried				37	1	x				x	2	3	
	Sentier Ritter et sentier Schoch				43	1	x				x	2	3	englobé dans le canyon de la Sarine
	Vallée de plateau de l'Arborgne			Fvpl07		1		x	x			2	3	Arborgne (vallée)
	Cordons littoraux Cheyres-Châbles			LPfa01 - LP01 -		1		x			x	2	3	Rives lac entre Cheyres et Portalban
	Grosses Moos			LPal01		1		x	x			2	3	Plaine d'accumulation lacustre de Grosses Moos
	Ouvalas du Lac des Joncs			LPzh36		1		x			x	2	3	Lac des Joncs
	Marais des Gurles			LPzh18		1		x	x			2	3	Tourbières Maules/les Gurles
	Lac Noir			LPlc03		1		x			x	2	3	Lac Noir et instabilités de terrain de la vallée de la Singine
	Marais du Lac de Seedorf			LPzh05		1		x	x			2	3	Seedorf
	Kame de Bertigny			GLka02		1			x		x	2	3	Kame de Pont-la-Ville
	Lapiés du Folliu Borna			Kla05		1			x		x	2	3	
	Vallum morainique de Seelishus			LPzh16		1			x		x	2	3	Vallums morainique Seelihus/Geissalp/Schönenbodenegg
	Montsalvens (massif)			GLci07		1		x		x		2	3	Vanil des Cours, Le Bifé
2	Chaîne des Gastlosen		54			1				x		1	2	y.c. Wolfsort
	Veveyse de Châtel				2	1	x					1	2	
	Dent de Lys (éboulement)			GRet03	4	2						0	2	
	Le Stoutz (structural)				23	1					x	1	2	Route Montsoflo – La Roche
	Carrières de Tatüre				24	1					x	1	2	
	Carrière de Villarlod				25	1					x	1	2	Carrières de Villarlod et Massonnens
	Crottes de Cheyres				36	1					x	1	2	
	Berra (la)	x				0		x		x		2	2	Berra-Cousimbert
	Brendelspitz	x				0		x		x		2	2	
	Crêt (Le)/Mosse d'En-Bas (limno-palustre)			LPzh23		1		x				1	2	
	Plis des Dents de broc, Chamois et Bourgo					0		x			x	2	2	

	Bloc erratique de Farvagny			GLbe46		1		x				1	**2**		
	Moléson	**x**				0		x		x		2	**2**		Moléson - Teysachaux
	Zone humide du Niremont			LPzh30		1		x				1	**2**		
	Gorges/cluse de la Tine			Kcl06		1		x				1	**2**		
	La Tuffière	**x**				0		x			x	2	**2**		Paléo-vallée de la Sarine, sources et carrière de la Tuffière.
	Vanil des Artses/Grotte du dragon	**x**				0		x			x	2	**2**		Réseau souterrain du Vanil des Artses
	Delta de Greng			Fdt01		1			x			1	**2**		
	Terrasses fluviatile de l'Intyamon			Fte07		1			x			1	**2**		
	Dépression glacio-karstique de la Dent de Lys et vallon de Vudèche			GKdé10		1			x			1	**2**		
	Poljé d'En Lys			GKdé11		1			x			1	**2**		
	Vallée en auge Kaiseregg Alp - Walop			Glau03		1			x			1	**2**		
	Vallée en auge du Schafarnisch			GLau01		1			x			1	**2**		
	BE de la Pierre du Dos de l'âne (menhir)			GLbe63		1			x			1	**2**		
	Collines d'érosion glaciaire Noréaz - Kriechenwil			GLcé02		1			x			1	**2**		
	Eboulis du Vanil Carré à la Dent de Folliéran			GRéi05		1			x			1	**2**		
	Eboulement de Grosses Pierres			GRét02		1			x			1	**2**		
	Plaine d'accumulation lacustre du Gros-Mont			LPal08		1			x			1	**2**		
	Ancienne carrière de gypse de la Gypsera			Kdo01		1					x	1	**2**		
	Bloc erratique de la Roche			GLbe52		1					x	1	**2**		
	Pierre du mariage (Font)			GLbe17		1					x	1	**2**		
	Cascade du Seeweidbach			Fca01		1					x	1	**2**		
	Cascade de la Tâna			Fca04		1					x	1	**2**		
	Coude de capture de la Veveyse de Châtel			Fcc09		1					x	1	**2**		
	vallée ab. Ameismühle/Tafers/Rohr			(Fcc06)		1					x	1	**2**		
	vallée ab. Entre Plasselb et Planfayon			(Fcc08)		1					x	1	**2**		
	vallée surd. De la Sonnaz			(Fcc07)		1					x	1	**2**		
	Gorges de l'Hongrin			Fgc07		1					x	1	**2**		
	Plaine alluviales de la Gérine (Sagenboden-Marly)			(Fvp01)		1					x	1	**2**		
2	**Plaine alluviale de la Singine entre Zollhaus et Thörishaus**			(Fvp03)		1					x	1	**2**		
	Terrasses fluviatiles de la Gérine			Fte02		1					x	1	**2**		
	Dépr. glacio-karstiques - Spitzflue			GKdé02		1					x	1	**2**		
	Dépr. glacio-karstiques - Chälli			GKdé03		1					x	1	**2**		
	Dépr. glacio-karstiques - Maischüpfen			GKdé05		1					x	1	**2**		
	Dépr. glacio-karstiques - Poutes Paluds			GKdé06		1					x	1	**2**		
	Dépr. glacio-karstiques - Dent de Lys.			GKdé10		1					x	1	**2**		
	Dépr. glacio-karstiques - En Lys			GKdé11		1					x	1	**2**		
	Vallée en auge (Pra de Cret - Tête de l'Herbette)			GLci16-17		1					x	1	**2**		
	Colline d'érosion glaciaire - Gruyères			GLcé07		1					x	1	**2**		
	Kettles et zone humide de Schwandholz			GLcg04		1					x	1	**2**		
	Cordons moraniques rhodaniens - Brünisried			GLvm02		1					x	1	**2**		
	Drumlins Kerzers			FLdr01		1					x	1	**2**		
	Kames de la Combert			GLka02		1					x	1	**2**		
	Eboulement du Lappé			GR07		1					x	1	**2**		
	Cluses et défilés de la Jogne			Kcl01		1					x	1	**2**		
	Escaliers du Mont			Kcl03		1					x	1	**2**		
	Cluse de Chabloz Derrey			Kcl05		1					x	1	**2**		
	Dolines Riggisalp-Neugantrisch			Kdo02		1					x	1	**2**		
	lapiés du Kaiseregg Alp			Kla01		1					x	1	**2**		
	Lapiés In den Löchern			Kla02		1					x	1	**2**		
	Lapiés des Morteys			Kla03		1					x	1	**2**		
	Lapiés les Ontanettes et Tsavas			Kla04		1					x	1	**2**		
	Lapiés Chenau			Kla06		1					x	1	**2**		
	Lapiés L'Urqui			Kla07		1					x	1	**2**		
	Falaises Châbles-Font			LPfa01		1					x	1	**2**		
	Gorges de la Singine		16			1					x	1	**2**		
	Grotte du Glacier/de Naye			Kcs09		1					x	1	**2**		

	nom	nouveau géotope	ASSN (2012)	Grandgiard (1999)	Berger (1995)	Occ.	AS	MJ	SM	RP	LB	Occ.	Occ.	Autre(s) désignation(s) / remarques
			Inclusions dans des inventaires généraux				Consultation d'experts							
	Falaise de poudingue OMM (A dvt Pt)	x				0		x				1	1	
	grotte du Bärenloch/Spitzflue	x				0		x				1	1	
	Les Clés (structural)	x				0		x				1	1	
	Mine de Saint-Martin/le Jordil	x				0		x				1	1	
	Eboulis froid du Chänel Gantrisch	x				0			x			1	1	
	Glacier rocheux fossile du Gros Chadoua	x				0			x			1	1	
	Bifé	x				0				x		1	1	
	La Gueyre - Jeu de Quilles	x				0				x		1	1	
	glissement de terrain du Hohberg	x				0				x		1	1	
	Paléo-vallée de la Singine et sources de la Hofmatt	x				0					x	1	1	
	Terrasses lacustres de Broc et Neirivue	x				0					x	1	1	
	Bloc erratique du MHNF	x				0					x	1	1	
	Terrasses fl. De la Sarine	x				0					x	1	1	
1	Terrasses fl. De la Glâne	x				0					x	1	1	
	Dépr. Glacio-karstique - Widdergalm	x				0					x	1	1	
	(Vallée en auge/cirque glaciaire Tissiniva)	x				0					x	1	1	
	Cirque gl. Steiniger Tosse et Knüsse	x				0					x	1	1	
	(cirque gl. Riggisalp)	x				0					x	1	1	
	((cirque gl. Seelihus))	x				0					x	1	1	
	Cordons morainiques entre Vaulruz et Vuadens (Pâquier Bulle Planchy)	x				0					x	1	1	
	Cordons morainiques rhodaniens - Chano-La Comba	x				0					x	1	1	
	Cordons morainiques locaux - Riggisalp	x				0					x	1	1	
	Cordons morainiques - Creux Charles	x				0					x	1	1	
	Drumlin Ferme Maillard	x				0					x	1	1	
	Dolines du Mongeron	x				0					x	1	1	
	Lapiés Breccaschlund	x				0					x	1	1	
	La Cierne (vallum morainique)	x				0		x				1	1	
	Bürgerwald/Chrüzflue	x				0					x	1	1	

Annexe 1.2 : organisation des données récoltées lors de la consultation d'experts. Les objets ont été classés en fonction du nombre d'occurrences dans les inventaires généraux de l'ASSN (2012), de Grandgirard (1999) et de Berger (1995) ainsi que du nombre de fois où ils ont été proposés par les personnes consultées.

Annexe II : Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg (Grandgirard, 1999a)

En vert : les objets directement intégrés à l'inventaire des GICs. En rouge : les objets non sélectionnés. En jaune : les géotopes qui nécessitent une appréciation approfondie.

Géotopes glaciaires (60)

(Ensembles de) cirques glaciaires (20)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
189	GLci 16	Le Curtillet	3	2	3	2	13				x				1	14
185	GLci 12	Col de Bounavalette - Le Déféria	3	2	3	2	13								0	13
190	GLci 17	Tsavas	3	2	2	2	12				x				1	13
177	GLci 04	Parwängen	3	2	2	2	12								0	12
182	GLci 09	Maischüpfen - Alpligen	3	2	2	2	12								0	12
183	GLci 10	Brendelspitz	3	2	2	2	12								0	12
186	GLci 13	Chaux de Brenleire	3	2	2	2	12								0	12
188	GLci 15	Vanil Noir	3	2	2	2	12								0	12
191	GLci 18	En Lys	3	2	2	2	12								0	12
193	GLci 20	Pierra Perchia	3	2	2	2	12								0	12
174	GLci 01	Cousimbert	2	2	3	2	11								0	11
179	GLci 06	Teuschlismad	3	2	1	2	11								0	11
184	GLci 11	Le Coulat	3	2	1	2	11								0	11
187	GLci 14	Tsuatsaux	3	2	1	2	11								0	11
180	GLci 07	Vanil des Cours	2	2	2	2	10			x					1	11
178	GLci 05	E de Villarvolard	2	2	2	2	10								0	10
181	GLci 08	Châlli	2	2	2	2	10								0	10
192	GLci 19	Gros Linsert - La Combette	2	2	2	2	10								0	10
175	GLci 02	Güger	2	2	1	2	9								0	9
176	GLci 03	La Potsena	2	2	1	2	9								0	9

(Ensemble de) vallées en auge (9)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
88	GLau03	Kaiseregg Alp - Walop	3	2	3	2	13					x			1	14
93	GLau08	Les Morteys	3	2	3	2	13								0	13
89	GLau04	Euschelspass	2	2	3	2	11								0	11
91	GLau06	Sattel	2	2	3	2	11								0	11
94	GLau09	N de la Dent de Lys	2	2	3	2	11								0	11
86	GLau01	NW du Schafarnisch	2	2	2	2	10					x			1	11
87	GLau02	Les Recardets	2	2	2	2	10								0	10
90	GLau05	Tissiniva Derrey	2	2	2	2	10								0	10
92	GLau07	Les Groins - la Draillarda	2	2	2	2	10								0	10

(Ensembles de) dépressions de culots de glace morte (5)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
170	GLcg02	SW de Düdingen	3	1	3	3	13			x	x	x			3	16
172	GLcg04	Schwandholz	3	3	2	3	14				x				1	15
171	GLcg03	Fragnière Moos	3	2	3	3	14								0	14
173	GLcg05	Rotmoos - Entenmoos	3	2	3	3	14								0	14
169	GLcg01	Le Marais	2	1	2	2	9								0	9

(Ensemble de) collines d'érosion glaciaire (9)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
160	GLce01	Mont Vully	3	1	3	2	12	x			x				2	14
167	GLce08	Les Cressets	3	2	3	2	13								0	13
166	GLce07	Pringy - Gruyères - La Bérauta	3	1	3	2	12				x				1	13
164	GLce05	Romont	3	0	2	2	10			x	x	x			3	13
163	GLce04	La Feyla - Le Poyet - La Brugerra	3	2	2	2	12								0	12
168	GLce09	Montbovon - Albeuve	3	1	3	2	12								0	12
161	GLce02	De Noréaz à Kriechenwil	3	1	2	2	11					x			1	12
162	GLce03	Murist - Seiry	3	1	1	2	10								0	10
165	GLce06	Oron-la-Ville - Moudon - Siviriez	2	1	2	2	9								0	9

Ensembles de drumlins (4)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
195	GLdr01	NE de Kerzers	3	2	2	2	12				x				1	13
197	GLdr03	Noréaz - Grolley	3	2	2	2	12								0	12
196	GLdr02	Domdidier - Ried	3	1	2	2	11								0	11
198	GLdr04	Torny-le-Grand - Prez-vers-Noréaz	3	1	2	2	11								0	11

Ensembles de kames (2)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
199	GLka01	Versant W de La Combert	3	2	3	2	13				x				1	14
200	GLka02	Bertigny	3	1	3	2	12				x	x			2	14

Ensemble de vallums/cordons morainiques (4)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
202	GLvm02	Brünisried	3	1	2	3	12				x				1	13
194	GLcm01	S de Vaulruz - La Pierra	3	1	2	2	11				x				1	12
201	GLvm01	Cugy - Frasses	3	1	2	2	11								0	11
203	GLvm03	W de Bulle	3	0	2	3	11								0	11

Complexes glaciaires (7)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
205	GL02	Breccaschlund	3	2	2	3	13	x	x		x	x			4	17
207	GL04	Les Morteys	3	2	2	3	13		x	(x)	x		x		4	17
209	GL06	Mont-Pèlerin - Attalens - Châtel-St-Denis	3	2	3	3	14								0	14
208	GL05	Entre Grandvillard et la chaîne des Vanils	3	2	2	3	13								0	13
210	GL07	W de Folliu Borna - Vanil des Artses	3	2	2	3	13								0	13
204	GL01	Le Gibloux	2	2	3	3	12								0	12
206	GL03	Orseire	2	2	2	2	10								0	10

Annexe 2.1 : géotopes glaciaires – organisation et préselection des données.
En vert : les objets directement intégrés à l'inventaire des GICs.

Géotopes karstiques (39)

(Ensembles de) cluses / défilés (6)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
230	Kcl05	Chabloz Derrey	3	3	2	2	13				x				1	14
229	Kcl04	Le Dégoliau	2	3	2	2	11								0	11
226	Kcl01	Cluses et défilés de la Jogne	2	1	3	2	10				x				1	11
228	Kcl03	Escaliers du Mont	2	2	2	2	10				x				1	11
231	Kcl06	La Tine	2	2	2	2	10			x					1	11
227	Kcl02	Cluses et défilés du R. de Motélon	2	2	2	2	10								0	10

Cavités souterraines (9)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
240	Kcs09	Grotte du Glacier (Dent de Hautaudon)	3	3	3	2	14				x				1	15
234	Kcs03	Réseau des Bimis	3	3	3	2	14	x							1	15
237	Kcs06	Gouffre des Corneilles (Dent de Lys)	3	3	3	2	14								0	14
236	Kcs05	Grosse Frasse (Dent de Lys)	3	3	2	2	13								0	13
239	Kcs08	Gouffre de Chenau (Dent de Hautaudon)	3	3	2	2	13								0	13
232	Kcs01	Protoconule (Schopfenspitz)	2	3	2	2	11								0	11
233	Kcs02	Trou du Nid (Schopfenspitz)	2	3	2	2	11								0	11
235	Kcs04	Trou des Vents (Vanil Blanc)	2	3	2	2	11								0	11
238	Kcs07	Grotte du Roc (Dent de Corjon)	2	3	2	2	11								0	11

Ensembles de dolines (6)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
244	Kdo04	Hochmatt	3	3	2	1	12								0	12
241	Kdo01	Schwarzsee	2	2	3	1	10				x				1	11
242	Kdo02	Riggisalp - Neugantrisch	2	2	3	1	10				x				1	11
245	Kdo05	Morteys-Dessus et Morteys de Folliéran	2	3	2	1	10								0	10
246	Kdo06	Lac des Joncs	2	1	3	1	9								0	9
243	Kdo03	Poutes Palud	2	2	1	1	8								0	8

(Ensembles) de lapiés (7)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
251	Kla05	Folliu Borna	3	3	2	1	12				x	x			2	14
247	Kla01	Kaiseregg Alp	3	3	2	1	12				x				1	13
248	Kla02	In den Löchern	3	3	2	1	12				x				1	13
249	Kla03	Les Morteys	3	3	2	1	12				x				1	13
253	Kla07	L'Urqui	3	3	2	1	12				x				1	13
252	Kla06	Chenau	2	3	2	1	10				x				1	11
250	Kla04	Les Ontannettes et Tsavas	1	3	3	1	9				x				1	10

Ouvalas (2)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
255	Kou02	Les Morteys-Dessus	3	3	2	1	12								0	12
254	Kou01	Les Morteys de Folliéran	2	3	2	1	10								0	10

(Ensembles) de vallées sèches (3)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
256	Kvs01	Les Combes	3	3	3	1	13								0	13
257	Kvs02	In den Löchern - In den Bächen - Hochmatt	2	3	2	1	10								0	10
258	Kvs03	Les Merlas	1	3	3	1	9								0	9

Complexes karstiques (6)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
259	K01	Breccaschlund	3	3	2	3	14	x	x						2	16
263	K05	Les Morteys	3	3	2	3	14								0	14
264	K06	Orgevalette - Chenau - En Lys	3	3	2	3	14								0	14
260	K02	Balachaux	3	3	2	2	13								0	13
262	K04	In den Löchern	3	3	2	2	13								0	13
261	K03	Poutes Palud	2	3	2	2	11								0	11

Annexe 2.2 : géotopes karstiques – organisation et préselection des données.

Géotopes glacio-karstiques (16)

(Ensemble de) dépressions glacio-karstiques (12)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
80	GKde11	En Lys	3	3	2	2	13				x	x			2	15
74	GKde05	Maischüpfen	3	3	2	2	13				x				1	14
79	GKde10	SE de la Dent de Lys	3	3	1	2	12				x	x			2	14
71	GKde02	N de la Spitzflue - Türmli - Combiflue - Combi - N de la Schopfenspitz	3	3	2	2	13								0	13
77	GKde08	Bounavalette	3	3	2	2	13								0	13
78	GKde09	Petsernetse	3	3	2	2	13								0	13
72	GKde03	Châlli	3	3	1	2	12				x				1	13
75	GKde06	Poutes Paluds	2	3	3	2	12				x				1	13
76	GKde07	La Verda	2	2	3	3	12								0	12
81	GKde12	Les Sciernes d'Albeuve	2	2	3	2	11								0	11
70	GKde01	Fochsen	2	3	1	2	10								0	10
73	GKde04	S de l'Euschelspass	2	2	2	2	10								0	10

Vallées glacio-karstiques (4)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
82	GKva01	Breccaschlund	3	3	3	2	14	x	x		x	x		x	5	19
83	GKva02	Les Fornis	3	3	2	2	13								0	13
84	GKva03	Porcheresse	3	3	2	2	13								0	13
85	GKva04	Bonaudon	3	3	2	2	13								0	13

Annexe 2.3 : géotopes glacio-karstiques – organisation et préselection des données.

Géotopes limno-palustres (61)

Accumulations lacustres (8)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
268	LPal04	Cheyres - Portalban	3	2	3	3	14			x					1	15
272	LPal08	Gros-Mont	3	1	3	3	13								0	13
265	LPal01	Grosses Moos	3	1	2	3	12								0	12
267	LPal03	Jeuss - Gurmels	3	1	2	3	12								0	12
269	LPal05	Broye entre Payerne et Salavaux	3	1	2	3	12								0	12
270	LPal06	Seedorf	3	1	2	3	12								0	12
271	LPal07	Fétigny	2	1	2	3	10								0	10
266	LPal02	Le Chablais (NE du lac de Morat)	2	1	1	3	9								0	9

(Ensembles) d'accumulations palustres (9)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
278	LPap06	Vaulruz - Chavannes-les-Forts	2	0	3	3	10								0	10
273	LPap01	E de Kerzers	2	0	2	3	9								0	9
274	LPap02	W de Albligen	2	0	2	3	9								0	9
275	LPap03	Heitiwil - Bergmoos	2	0	2	3	9								0	9
276	LPap04	Les Rosis (W de Lentigny)	2	0	2	3	9								0	9
277	LPap05	S de Romont	2	0	2	3	9								0	9
279	LPap07	N de Châtel-St-Denis	2	0	2	3	9								0	9
280	LPap08	Palézieux-Gare	2	0	2	3	9								0	9
281	LPap09	W d'Attalens	2	0	2	3	9								0	9

Ensemble de cordons littoraux (1)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
282	LPco01	Cheyres - Châbles	3	2	3	2	13				x				1	14

Falaise d'érosion lacustre (1)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
283	LPfa01	Châbles - Font	3	2	3	2	13			x	x				2	15

Lacs (3)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
286	LPlc03	Schwarzsee	3	2	3	2	13				x				1	14
284	LPlc01	Lac de Neuchâtel	3	2	3	2	13								0	13
285	LPlc02	Lac de Morat	3	2	3	2	13								0	13

Complexe limno-palustre (1)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
325	LP01	Cheyres - Portalban	3	2	3	3	14			x					1	15

(Ensembles de) zones humides (38)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
312	LPzh26	Le Mongeron	3	3	3	3	15				(x)				1	16
288	LPzh02	Düdinger Moos - Waldeggmoos - Tiefmoos - Garmiswilmoos	3	2	3	3	14			x		x			2	16
302	LPzh16	Seelihus	3	3	2	3	14				x	x			2	16
322	LPzh36	Lac des Joncs	3	2	3	3	14			x	x				2	16
307	LPzh21	Kaiseregg Alp	3	3	3	3	15								0	15
320	LPzh34	Coudré - Bounavalette	3	3	3	3	15								0	15
316	LPzh30	Crêtes du Niremont	3	3	3	2	14			x					1	15
304	LPzh18	Les Gurles - Communs de Maules	3	2	2	3	13			x		x			2	15
289	LPzh03	Fragnière Moos	3	2	3	3	14								0	14
293	LPzh07	Schwandholz	3	3	2	3	14								0	14
294	LPzh08	Rotmoos - Entenmoos	3	2	3	3	14								0	14
300	LPzh14	Pâquier Dessus	3	3	3	2	14								0	14
305	LPzh19	Riggisalp	3	3	2	3	14								0	14
313	LPzh27	Les Alpettes	3	2	3	3	14								0	14
317	LPzh31	Tissiniva	3	3	2	3	14								0	14
318	LPzh32	Gros Mont	3	2	3	3	14								0	14
319	LPzh33	Lac de Lussy	3	2	3	3	14								0	14
323	LPzh37	En Lys	3	2	3	3	14								0	14
309	LPzh23	La Mosse d'en Bas	3	2	2	3	13			x					1	14
291	LPzh05	Lac de Seedorf - La Goillette	2	2	3	3	12			x		x			2	14
292	LPzh06	Vers les Gours	3	2	2	3	13								0	13
295	LPzh09	NE de Lentigny - Les Nex	3	2	2	3	13								0	13
296	LPzh10	La Tourbière	3	2	2	3	13								0	13
298	LPzh12	Rohrmoos	3	2	2	3	13								0	13
301	LPzh15	L'Ochère	3	2	2	3	13								0	13
306	LPzh20	SE d'Echarlens	3	2	2	3	13								0	13
308	LPzh22	Les Mosses	3	2	2	3	13								0	13
310	LPzh24	S de Joux à Britse - Joux des Ponts - S des Ponts-d'Amont	3	2	2	3	13								0	13
311	LPzh25	Les Tourbières	3	2	2	3	13								0	13
314	LPzh28	Les Mosses de la Rogivue	3	2	2	3	13								0	13
315	LPzh29	La Gueyre - Frejima Devant - W de la Forêt du Lapé	3	3	3	1	13								0	13
321	LPzh35	Les Cressets - Le Roc	3	2	3	2	13								0	13
287	LPzh01	Wilermoos	2	2	3	3	12								0	12
297	LPzh11	Tschärluuschwand - Tilets Schwand - Sonnenwilschwand	3	3	2	1	12								0	12
299	LPzh13	Grattavache	3	3	2	1	12								0	12
303	LPzh17	Les Cavucennes	3	2	2	1	11								0	11
324	LPzh38	Cuvigne Derrey - Les Mosses	3	2	2	1	11								0	11
290	LPzh04	Pra des Vernes	2	2	2	2	10								0	10

Annexe 2.4 : géotopes limno-palustres – organisation et préselection des données.

Géotopes fluviatiles (69)

Accumulations alluviales (2)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
2	Faa02	Farvagny-le-Grand	2	2	1	3	10								0	10
1	Faa01	Fromatt	2	2	0	3	9								0	9

Cascades (4)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
5	Fca03	Jaun	3	3	3	0	12		x	x	x	x	x		5	17
6	Fca04	La Tâna au SE de Grandvillard	3	3	3	1	13				x				1	14
4	Fca02	Euschelsbach au S du Schwarzsee	3	3	2	0	11		x		x		x		3	14
3	Fca01	Seeweidbach à l'W du Schwarzsee	3	3	2	1	12				x				1	13

Coude de capture (10)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
12	Fcc06	Tasbergbach à Ameismühle	3	2	2	3	13				(x)				1	14
13	Fcc07	Arbogne au Moulin de Prez	3	2	2	3	13				(x)				1	14
8	Fcc02	Chandon au N de Chandossel	2	2	3	3	12								0	12
10	Fcc04	R. de Corsalettes au N de Grolley	3	2	1	3	12								0	12
9	Fcc03	Singine au S de Thörishaus	3	0	2	3	11								0	11
14	Fcc08	Gérine à Plasselb	2	2	1	3	10				(x)				1	11
11	Fcc05	Rio des Pelons à Montagny-les-Monts	2	2	1	3	10								0	10
7	Fcc01	Taverna à Flamatt	2	0	1	3	8								0	8
15	Fcc09	Veveyse de Châtel à Châtel-St-Denis	1	0	1	3	6				x				1	7
16	Fcc10	Veveyse de Fégire au S de Châtel-St-Denis	1	0	1	3	6								0	6

Cônes de déjection (9)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
25	Fcd09	Lessoc	3	1	3	3	13			x	x	x			3	16
21	Fcd05	Le Châtelet	2	2	2	3	11								0	11
22	Fcd06	Le Patchalet d'en Bas - Gros Cuard	2	2	2	2	10								0	10
24	Fcd08	Le Fey	2	2	2	2	10								0	10
17	Fcd01	Gresaley	2	2	1	2	9								0	9
23	Fcd07	Afflon	2	1	1	3	9								0	9
18	Fcd02	Farvagny-le-Grand	2	1	1	2	8								0	8
19	Fcd03	Schuemacherli	2	1	1	2	8								0	8
20	Fcd04	La Progena	2	2	0	2	8								0	8

Delta (2)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		ion d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
26	Fdt01	Greng	2	2	3	3	12					x			1	13
27	Fdt02	Schwarzsee	2	0	3	3	10								0	10

Gorges/Canyons (7)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
30	Fgc03	La Sarine, entre Vieux Châtel (ENE de Avry-devant-Pont) et Grandfey	3	1	3	3	13	x	x		x	x		x	5	18
28	Fgc01	La Singine (et ses principaux affluents en rive gauche), entre E de Hasenholz et Hangried	3	3	3	3	15	x			x				2	17
33	Fgc06	La Jogne, entre le barrage de Montsalvens et Broc-Fabrique	3	2	2	3	13		x	x	x		x		4	17
29	Fgc02	Le Gottéron, entre Ameismühle et sa confluence avec la Sarine	2	2	3	3	12		(x)		x	x		x	4	16
34	Fgc07	L'Hongrin (et un affluent), entre Pra du Pont et Comba d'Avau (N de Montbovon)	3	2	2	3	13				x				1	14
31	Fgc04	La Glâne (et un affluent), entre SW de Posat et sa confluence avec la Sarine	2	1	1	2	8								0	8
32	Fgc05	La Broye, entre les Denges (W de Rue) et Bressonnaz (SW de Moudon)	2	1	1	2	8								0	8

Plaines alluviales (3)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
37	Fpa03	Sarine entre Montbovon et Broc	3	0	3	3	12								0	12
36	Fpa02	Broye entre NE de Moudon et SW de Payerne	2	0	2	3	9								0	9
35	Fpa01	Sarine en aval du barrage de Schiffenen et Singine en aval de Thörishaus	2	0	2	2	8								0	8

Terrasses / Ensembles de terrasses (8)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
43	Fte06	Grande Citard	3	3	3	3	15								0	15
41	Fte04	Plasselb - Plaffeien - Zollhaus	3	2	3	3	14								0	14
45	Fte08	Dévin des Dailles	3	3	2	3	14								0	14
44	Fte07	Intyamon	3	0	3	3	12						x		1	13
38	Fte01	Cousset - Montagny-les-Monts - Grandsivaz	3	1	1	3	11								0	11
42	Fte05	Lac de la Gruyère - Sionge	3	1	1	3	11								0	11
40	Fte03	Praroman - le Mouret - Zénauva - Bonnefontaine	2	1	1	3	9								0	9
39	Fte02	Marly	2	0	1	3	8				x				1	9

Vallées à fond plat (4)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
47	Fvp02	La Gérine (et son principal affluent), entre le pont de Roggeli (Plasselb) et les Pralettes (Marly-le-Grand)	3	3	3	3	15				x				1	16
48	Fvp03	La Singine, entre Zollhaus et Hasenholz	3	3	3	3	15	x							1	16
49	Fvp04	La Sarine, E de la colline de Gruyères et E de Villars-sous-Mont	2	3	3	2	12								0	12
46	Fvp01	l'ancienne Broye, actuelle Arbogne, entre la Biole et Salavaux	1	0	3	3	8								0	8

Vallées du plateau (13)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
55	FvpI06	Vallons au SE de Cheyres (le Pissiau, Combodon et S de Béthanie)	2	3	3	2	12								0	12
60	FvpI11	Affluents de la Broye, entre Promasens et Montet	2	2	1	3	10								0	10
54	FvpI05	La Petite Glâne (et son principal affluent), en amont de la Ferme de Glâne (N de Cugy)	2	2	0	3	9								0	9
56	FvpI07	L'Arbogne (et ses principaux affluents), en amont de Corcelles-près-Payerne	2	1	1	3	9								0	9
57	FvpI08	Le Gottéron (et ses principaux affluents), en amont de Ameismühle	2	2	0	3	9								0	9
50	FvpI01	La Bibera, entre Schönenbüel et Kerzers	2	1	0	3	8				(x)				1	9
51	FvpI02	Le Chandon (et ses principaux affluents), entre les Marais (W de Chandon) et la plaine de la Broye	2	1	0	3	8				(x)				1	9
53	FvpI04	La Sonnaz, entre le Moulin (E de Seedorf) et sa confluence avec la Sarine (lac de Schiffenen)	2	1	0	3	8								0	8
58	FvpI09	La Lembe	2	1	0	3	8								0	8
59	FvpI10	La Glâne (et ses principaux affluents), en amont de Posat	2	1	0	3	8								0	8
61	FvpI12	La Broye, entre Charavet et les Denges (W de Rue)	2	1	0	3	8								0	8
62	FvpI13	La Mionna et le Flon (et son principal affluent)	2	1	0	3	8								0	8
52	FvpI03	La Taverna (et ses principaux affluents), entre W de St-Antoni et sa confluence avec la Singine	2	0	0	3	7								0	7

Vallées des Préalpes (7)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
64	Fvpr02	La Gérine (et ses principaux affluents), en amont du pont de Roggeli (Plasselb) (dans le Plasselbschlund)	3	3	1	2	12								0	12
66	Fvpr04	La Jogne et ses principaux affluents, en amont du lac de Montsalvens	3	2	0	3	11								0	11
68	Fvpr06	La Veveyse de Châtel (et ses principaux affluents) et la Veveyse de Fégire en amont de leur confluence	3	2	0	3	11								0	11
65	Fvpr03	La Serbache (et ses principaux affluents)	2	2	1	2	9								0	9
63	Fvpr01	La Warme Sense et la Kalte Sense (et son principal affluent), en amont de la confluence des deux rivières (Zollhaus)	2	2	0	2	8								0	8
67	Fvpr05	La Trême et ses principaux affluents, en amont de l'Ecluse	2	2	0	2	8								0	8
69	Fvpr07	L'Hongrin, en amont de Pra du Pont	2	2	0	2	8								0	8

Annexe 2.5 : géotopes fluviatiles – organisation et préselection des données.

Géotopes gravitaires (15)

Ensemble d'éboulis (5)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
215	GRei05	Dent de Folliéran - Vanil Carré	3	3	2	1	12					x			1	13
214	GRei04	Moléson	3	3	2	1	12								0	12
211	GRei01	Widdergalm	3	3	1	1	11								0	11
212	GRei02	Schafberg - Rotenchasten	3	3	1	1	11								0	11
213	GRei03	Chörblispitz	3	3	1	1	11								0	11

Eboulement (3)

Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
218	GRet03	Dent de Lys	3	3	2	2	13		x						1	14
217	GRet02	Grosses Pierres	3	2	2	1	11					x			1	12
216	GRet01	Derrière Bonne Fontaine	2	2	2	1	9								0	9

Complexes gravitaires (7)

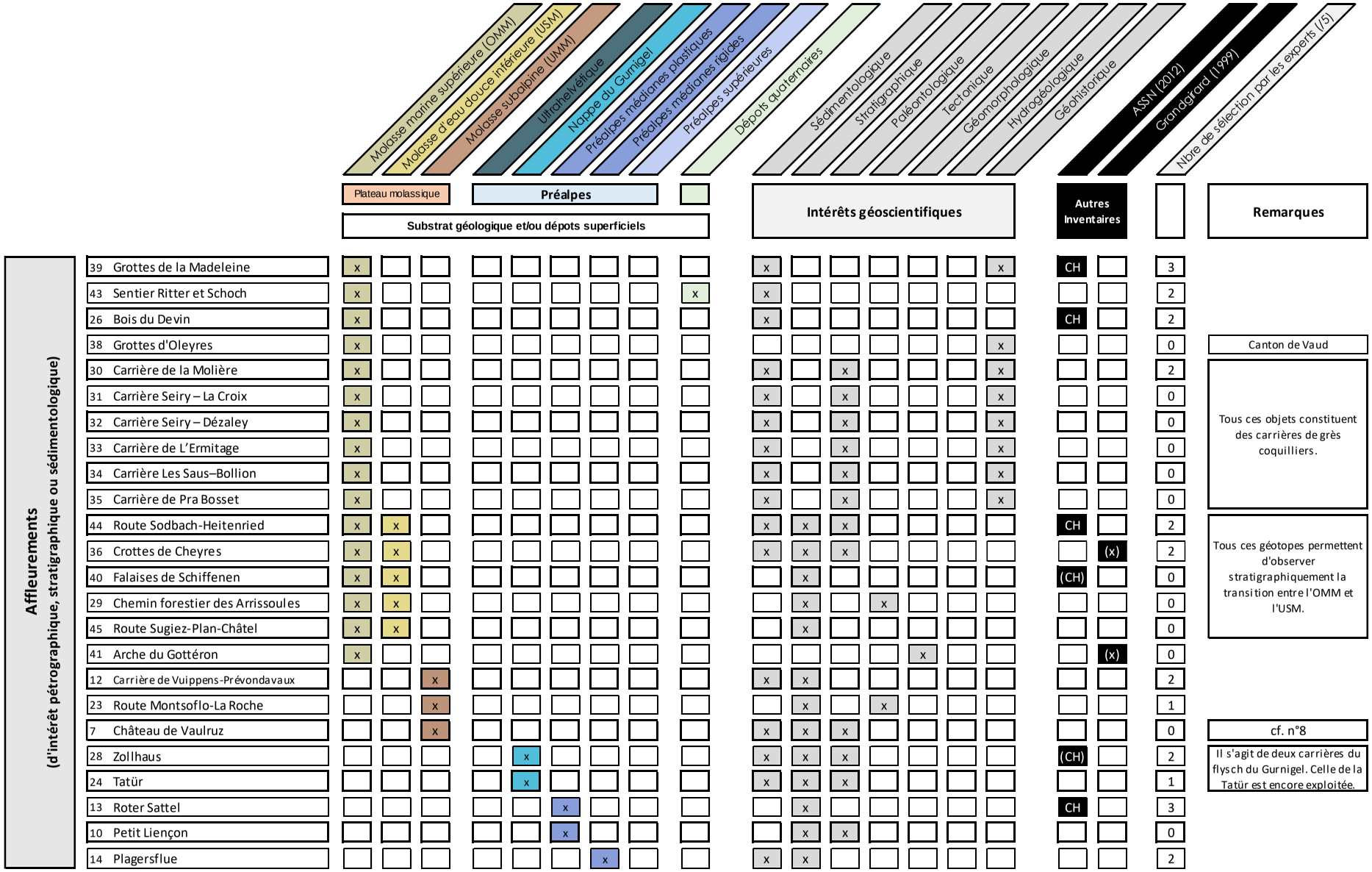
Objets			Evaluation Grandgirard					Autre inv.		Consulation d'experts					Occur.	Total
n°	Code	Désignation	Repr.	Int.	Rar.	v. p.	/15	CH	Berger	MJ	LB	SM	RP	AS		VG + occ.
219	GR01	Falli Hölli - Chleuwena	3	3	3	3	15	x			x	x	x		4	19
222	GR04	Villarbeney	3	2	3	3	14								0	14
225	GR07	Forêt du Lappé	3	3	2	1	12				x				1	13
221	GR03	E de Fuchses Schwyberg	3	3	2	1	12								0	12
224	GR06	Gastlosen	3	3	2	1	12								0	12
223	GR05	Les Esserts - Joux des Ponts (NE de Semsales)	2	2	2	2	10								0	10
220	GR02	Kapberg	2	3	1	1	9								0	9

Annexe 2.6 : géotopes gravitaires – organisation et préselection des données.

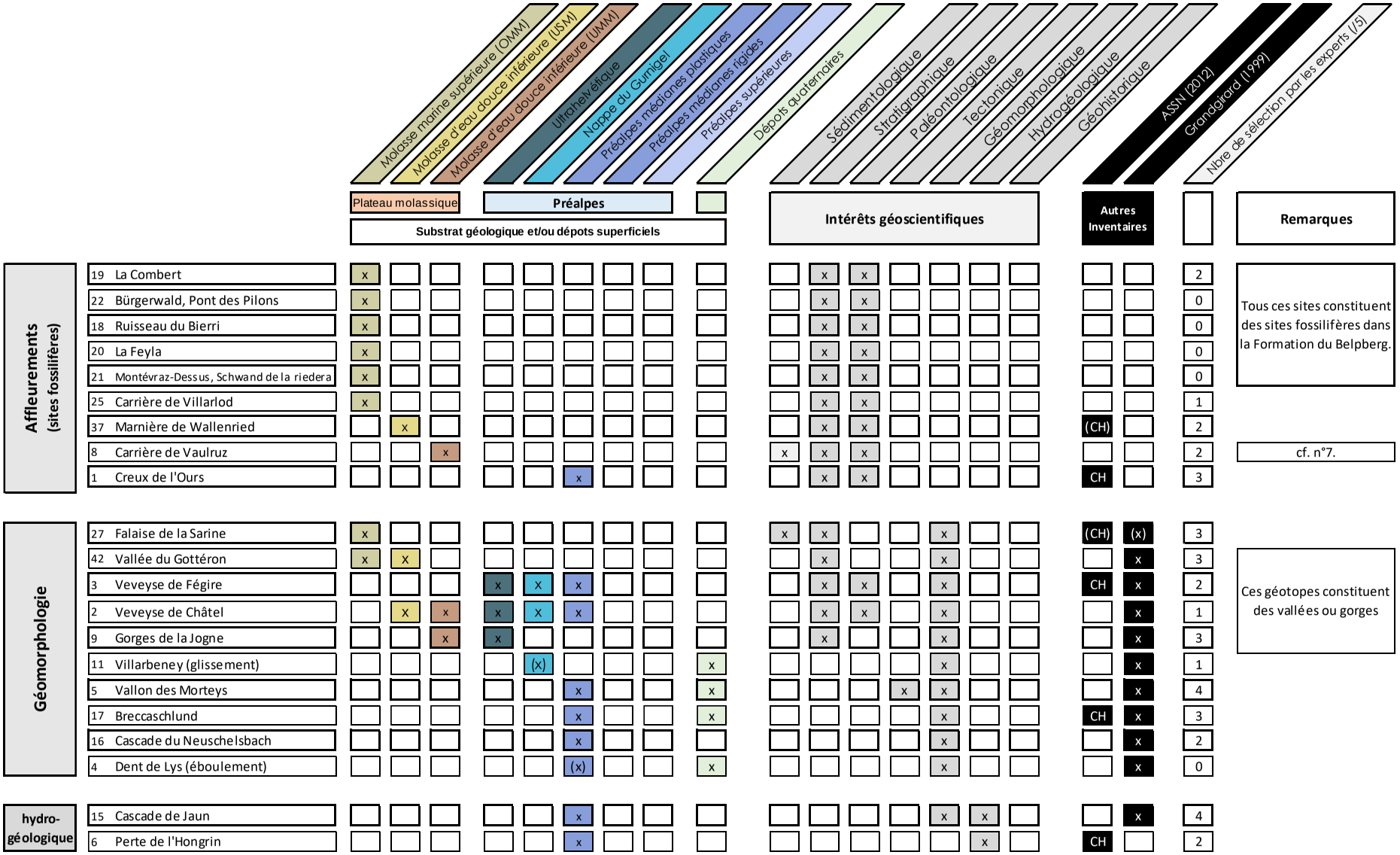
Annexe III: liste des géotopes géologiques du canton de Fribourg (Berger, 1995)

No	Nom	Localisation	Intérêt
1	**Creux de l'Ours**	564.950/154.140 à 565.100/154.380	Stratigraphique - Paléontologique
2	**Veveyse de Châtel**	559.900/153.200 à 560.700/153.000	Stratigraphique – Paléontologique - Géomorphologique
3	**Veveyse de Fégire**	559.800/151.140 à 560.160/ 151.000	Stratigraphique – Paléontologique - Géomorphologique
4	**Dent de Lys (éboulement)**	566.800/151.100 à 566.800/151.800	Géomorphologique
5	**Vallon des Morteys**	Tout le vallon	Géomorphologique –Tectonique
6	**Perte de l'Hongrin**	567.940/148.280	Hydrogéologique
7	**Château de Vaulruz**	565.950/163.850	Stratigraphique – Paléontologique - Sédimentologique
8	**Carrière de Vaulruz**	566.200/164.000	Stratigraphique – Paléontologique - Sédimentologique
9	**Gorges de la Jogne**	575.500/161.640 à 576.000/162.600	Géomorphologique - Stratigraphique
10	**Petit Liençon**	577.600/161.980 à 577.800/161.820	Stratigraphique - Paléontologique
11	**Villarbeney (glissement)**	575.000/164.500	Géomorphologique
12	**Carrière de Vuippens-Prévondavaux**	573.360/167.940	Startigraphique – Sédimentologique
13	**Rotter Sattel**	586.020/159.200	Stratigraphique
14	**Plagersflue**	590.200/160.550	Stratigraphique – Sédimentologique
15	**Cascade de Jaun**	587.600/162.400	Géomorphologique – Hydrogéologique
16	**Cascade du Neuschelsbach**	588.330/166.740	Géomorphologique
17	**Breccaschlund**	Tout le vallon	Géomorphologique
18	**Ruisseau du Bierri**	580.740/174.815 à 580.973/174.665	Stratigraphique - Paléontologique
19	**La Combert**	577.398/173.299	Stratigraphique - Paléontologique
20	**La Feyla, chemin forestier**	581.140/175.160	Stratigraphique - Paléontologique
21	**Montévraz-Dessus, Schwand de la Riedera**	580.360/174.800 à 580.300/184.700	Stratigraphique - Paléontologique
22	**Bürgerwald, Pont des Pilons**	581.720/174.980	Stratigraphique – Paléontologique
23	**Route Montsoflo – La Roche**	576.900/171.200 à 577.200/171.060	Stratigraphique – Tectonique
24	**Tatür**	584.360/172.800	Stratigraphique – Sédimentologique – Paléontologique
25	**Carrière de Villarlod**	567.540/172.800	Stratigraphique – Paléontologique
26	**Bois du Devin**	576.530/180.900	Sédimentologique
27	**Falaises de la Sarine**	Entre le barrage de Rossens et le pont de la Tuffière	Géomorphologique - Stratigraphique – Sédimentologique
28	**Zollhaus**	589.900/173.940	Stratigraphique – Sédimentologique – Paléontologique
29	**Chemin forestier des Arrissoules**	549.200/183.620 à 549.420/184.000	Stratigraphique – Tectonique
30	**Carrière de la Molière**	552.900/183.200	Sédimentologique – Paléontologique - Géohistorique
31	**Carrière Seiry – La Croix**	554.050/184.750	Sédimentologique – Paléontologique - Géohistorique
32	**Carrière Seiry – Dézaley**	554.000/185.250	Sédimentologique – Paléontologique - Géohistorique
33	**Carrière de L'Ermitage**	553.400/183.400	Sédimentologique – Paléontologique - Géohistorique
34	**Carrière Les Saus–Bollion**	552.600/184.900	Sédimentologique – Paléontologique - Géohistorique
35	**Carrière de Pra Bosset**	551.000/184.560	Sédimentologique – Paléontologique – Géohistorique
36	**Crottes de Cheyres**	500.960/185.640 à 552.260/187.500	Stratigraphique – Sédimentologique – Paléontologique
37	**Marnière de Wallenried**	574.300/192.400	Stratigraphique – Paléontologique
38	**Grottes d'Oleyres**	569.900/190.620 et 569.700/189.400 à 570.000/189.500	Géohistorique
39	**Grottes de la Madeleine (Einsiedelei)**	578.200/186.920	Sédimentologique – Géohistorique
40	**Falaises de Schiffenen**	581.300/192.200 à 582.100/192.700	Stratigraphique
41	**Arche du Gottéron**	579.480/183.700	Géomorphologique
42	**Vallée du Gottéron**	Partie aval, depuis Ameismühle	Géomorphologique – Stratigraphique
43	**Sentier Ritter et sentier Schoch**	579.000/182.400	Sédimentologique
44	**Route Sodbach-Heitenried**	590.100/185.670 à 590.720/186.600	Stratigraphique - Sédimentologique – Paléontologique
45	**Route Sugiez-Plan-Châtel**	574.820/201.300 à 574.240/201.500	Stratigraphique

Annexe 3.1: liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale (Berger, 1995). Version originale rapportée par Grandgirard (1999a).



Annexe 3.2 : organisation et documentation des données de la liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale (Berger, 1995). 1ère partie.



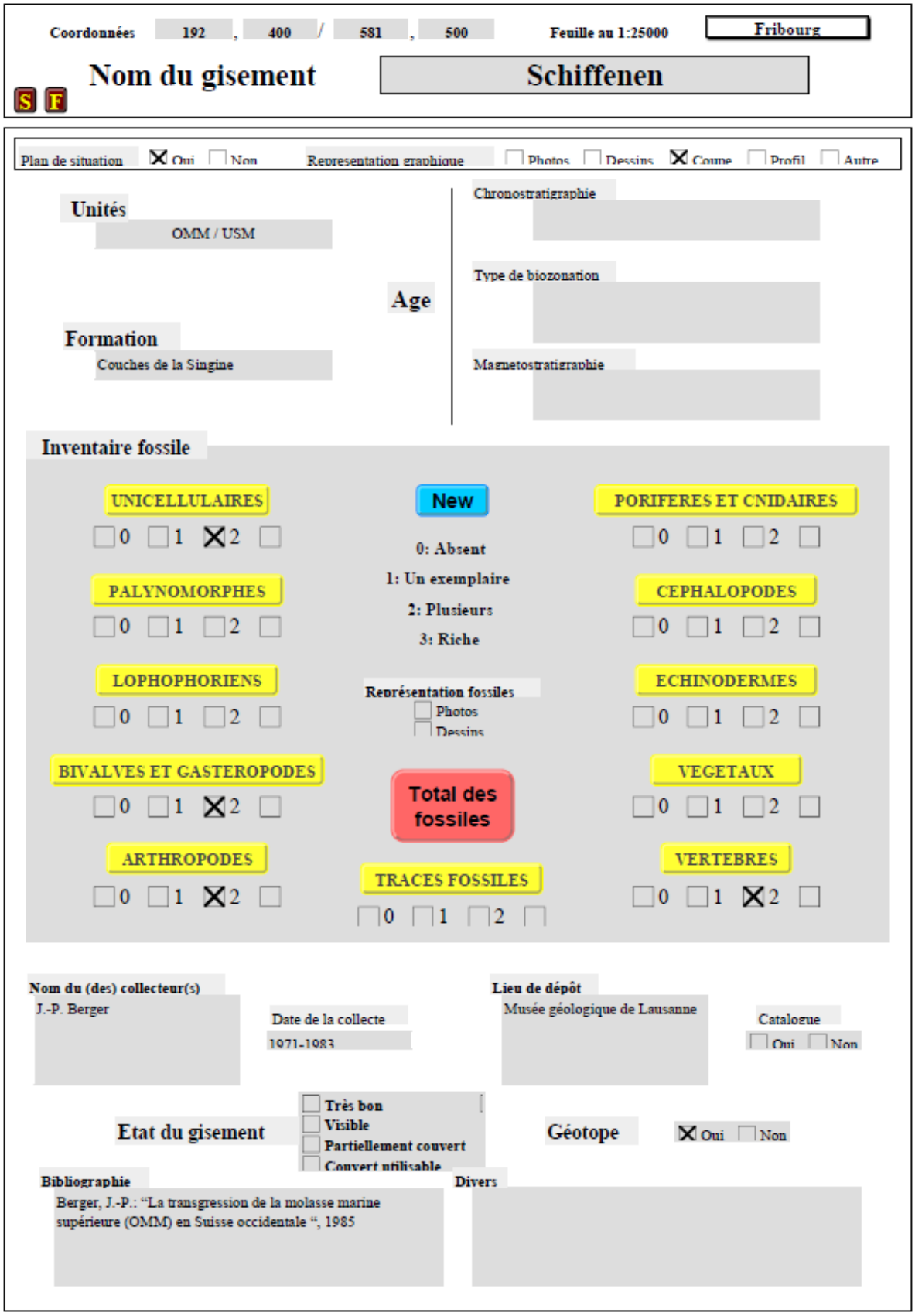
Annexe 3.3 : organisation et documentation des données de la liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale (Berger, 1995). 2ème partie.

Annexe IV : *Inventaire spéléologique du canton de Fribourg* (SCPF, 2013)

n°	ID_SSS	Plaquette	Nom	Coord_X	Coord_Y	Altitude	DENIV	DEV	T_CAVITE	T_ENTREE
10	FR109-005	FR010	**Grotte du Binocle [MO2] = Réseau des Morteys**	578618	153127	2003	556	8750	Réseau avec plusieurs entrées	Entrée principale
226	FR103-001	FR233	**Grotte du Glacier (entrée supérieure) = Grottes de Naye**	565390	143080	1798	231	4861	Réseau avec plusieurs entrées	Entrée principale
117	FR103-105	FR117	**FB28 [Gouffre des Ressauts] = Réseau du Folliu**	566192	149132	1611	-561	3500	Réseau avec plusieurs entrées	Entrée principale
32	FR109-014	FR032	**Gouffre des Diablotins (entrée supérieure) [B15] = Gouffre des Diablotins**	579023	153365	2092	-652	2202	Réseau avec plusieurs entrées	Entrée principale
43	FR103-068	FR043	**Grotte de l Epaule = Réseau du Vanil Blanc**	568442	152007	1487	-151	1342	Réseau avec plusieurs entrées	Entrée principale
157	FR103-050	FR163	**DL4 [Gouffre des Cornelles]**	567274	150821	1726	-276	1100	Cavité naturelle	Entrée principale
45	FR103-056	FR045	**Trou des Vents [Grotte du Vanil Blanc, Tanna dou Chothlié]**	568170	152127	1533	107	1012	Cavité naturelle	Entrée principale
80	FR109-017	FR080	**Gouffre du Protoconule [BA7]**	585189	163700	1791	-258	1000	Cavité naturelle	Entrée principale
304	FR103-141		**VA6 [Grotte du Dragon (entrée inférieure)] = Grotte du Dragon**	565585	147950	1745	227	733	Réseau avec plusieurs entrées	Entrée principale
174	FR103-036	FR180	**U1 [Gouffre de l Urqui]**	565330	146932	1606	-235	557	Cavité naturelle	Entrée principale
41	FR103-058	FR041	**Gouffre de l Ombriau du Milieu [Gouffre de l Ombriau d En Haut]**	568639	152048	1387	-170	410	Cavité naturelle	Entrée principale
222	FR103-022	FR229	**Gouffre de Chenau**	565955	144305	1520	204	350	Cavité naturelle	Entrée principale
329	FR246-001		**Grottes de la Lamberta [Grottes des Roches-Grises ou du Mont Vully]**	573196	200362	527	15	330	Autre cavité artificielle	Entrée principale
130	FR103-023	FR130	**Grotte du Roc [H1, Grotte des Dix Heures]**	567720	148130	900	-107	268	Cavité naturelle	Entrée principale
1	FR109-028	FR001	**Bärenloch [SF1]**	587841	165616	1645	-72	260	Cavité naturelle	Entrée principale
12	FR120-001	FR012	**Emergence de Bellegarde [Emergence de Jaun]**	587622	162033	1012	-80	250	Cavité naturelle	Entrée principale
186	FR103-072	FR192	**VU2 [Grotte de l Encensoir]**	566525	150106	1613	-80	250	Cavité naturelle	Entrée principale
212	FR120-019	FR218	**IL18 [P25, Gouffre des Indécis]**	584510	158463	1810	-100	250	Cavité naturelle	Entrée principale
170	FR103-037	FR176	**U2 [Gouffre des Rata-Vôlanna]**	565148	146880	1653	-98	245	Cavité naturelle	Entrée principale
83	FR109-016	FR083	**Trou du Nid [Gouffre de Bellegarde, MH1]**	585069	163541	1810	148	244	Cavité naturelle	Entrée principale
328	FR245-001		**Souterrain du Vully**	573900	201470	640	6	225	Autre cavité artificielle	Entrée principale
143	FR103-109	FR149	**FB32 [Gouffre de la Fondue]**	566198	149062	1619	-80	220	Cavité naturelle	Entrée principale
136	FR103-123	FR142	**FB46 [Gouffre du Creux]**	566047	148700	1645	-151	190	Cavité naturelle	Entrée principale
155	FR103-049	FR161	**DL3 [Gouffre inférieur du Vanys]**	567339	150904	1651	-88	186	Cavité naturelle	Entrée principale
274	FR103-003		**Trou(s) du Guet [Grotte de l Or]**	565740	143190	1580	-51	170	Cavité naturelle	Entrée principale
19	FR109-013	FR019	**Caverne Framboise (entrée supérieure) [MO13] = Caverne Framboise**	578656	153198	1978	-47	167	Réseau avec plusieurs entrées	Entrée principale
291	FR103-035		**VA6 [Grotte du Dragon]**	565600	147935	1730	25	140	Cavité naturelle	Entrée principale
106	FR103-077	FR106	**FB1**	565971	149304	1656	-32	135	Cavité naturelle	Entrée principale
313	FR109-019		**Trou du Dormeur**	0	0	0	-60	130	Cavité naturelle	Entrée principale
255	FR109-027	FR278	**S5**	584190	155739	1861	-56	125	Cavité naturelle	Entrée principale
154	FR103-046	FR160	**Gouffre de la Grosse Frasse**	568356	150947	1390	-100	104	Cavité naturelle	Entrée principale
244	FR120-014	FR253	**IL13 [P71, Gouffre des Ratilovas]**	584486	158443	1836	-44	102	Cavité naturelle	Entrée principale

Annexe 4: liste des 32 cavités fribourgeoises d'un développement supérieure à 100 m (SCPF, 2013).

Annexe V : *Inventaire des sites fossilifères fribourgeois* (Berger, 1998)



Annexe 5.1 : fiche d'inventaire des sites fossilifères fribourgeois (Berger, 1998).

←

Score global	n°	Nom du gisement	Coordonnées		Chrono-statigraphie	Unités	Formation	Unicellulaires	Porifères, Cnidaires	Polymorphes	Céphalopodes	Lophophoriens	Echinodermes	Bivalves, gastéropodes	Végétaux	Arthropodes	Vertébrés	Traces fossiles	Score global
12	307	Nord - Est du chalet "Les Cours"	577258	165144	Valanginien	Ultrahelvétique	Calcaires et marnes tachetés		1		3	2	1	2			1	2	12
11	16	Vully						3						2	2	2	2		11
	31	Crottes de Cheyres et	551000	186400		Limite USM-OMM	OMM: Couches de la Singine USM: Molasse grise de Lausanne	3						2	2	2	2		11
	158	CORJON (route de)	568600	145700				1	1	0	2	2	2	2		0	1	0	11
10	14	Burggraben	197000	577000				2						2	2	2	2		10
	83	Rio de Chapelleyre 2	582800	165550	Rhétien	Préalpes médianes plastiques	Couches de Kössen	1	2	0	0	3	2	2	0	0	0		10
	102	N de Plioumont	579800	162700	Pliensbachien	Préalpes médianes plastiques	Spathique à Silicieuse	2	0	0	2	2	1	2	1	0	0		10
	135	Pratzey	578815	174540		helvétien	grès conglomératiques		3			3		2		2			10
	209	Riondounaire	560160	152960	Tithonique	Préalpes fribourgeoises					2	2	2	2			2		10
	210	le Dâ (torrent)	561180	156004	Tithonique	Préalpes fribourgeoises					2	2	2	2			2		10
	308	Gorge de la Jogne	575885	161922	Valanginien	Ultrahelvétique : Massif du Montsalvens	Calcaires et marnes tachetés à niveaux silicieux				3	2	1	2				2	10
9	50	Teysachaux-Creux de l'Ours	565070	154300	Toarcien inf.	Préalpes Médianes Plastiques		0	0	0	3	0	0	2	2	0	2		9
	67	Gare de Lessoc	570034	149084	Néocomien	Préalpes médianes plastiques		3			2			2	2				9
	84	Rio de l'Essert 1	583200	165700	Rhétien	Préalpes médianes plastiques	Couches du Kössen	0	0	0	0	3	2	2	2	0	0		9
	96	Affleurement de la butte Plioumont	579650	162700	Sinémurien	préaplpes médianes plastiques	Spathique	2	0	0	1	2	2	0	2	0	0		9
	121	Biffé dessous	576700	165250	Argovien	Préalpes externes	Calcaire concretionné	0	0	0	3	2	2	2	0	0	0		9
	143	Petit Molojy	564825	152800	Rhétien	Préalpes médianes		0	0	0	2	2	2	3	0	0	0	0	9
8	5	Coussiberlé	575000	193000		USM - OMM	Molassae grise de Lausanne Couches de la Singine	2						2	2		2		8
	6	Schiffenen	581000	192400		OMM / USM	Couches de la Singine Molasse grise de Lausanne	2						2		2	2		8
	8	Gottéron	580000	183000				2						2	2		2		8
	10	La Broye (Rue)						2						2	2		2		8
	107	Les Craux				Préalpes médianes	Callovien	0	0	0	2	2	0	2	0	0	0	2	8
	142	Pralet/Grevalla Dessus	563700	150800	Sinémurien	Préalpes médianes		2	0	0	2	2	0	2	0	0	0	0	8
	208	Briaz (Mola)	560370	151460	Tithonique	Préalpes fribourgeoises					2	2	2	2					8
	211	Botterens	575050	163400	Titonique	Préalpes fribourgeoises					2	2	2	2					8
	212	Villarbeney	574680	164210	Titonique	Préalpes fribourgeoises					2	2	2	2					8
	214	Le Mouret	579610	177100	Titonique	Préalpes fribourgeoises					2	2	2	2					8
	262	Grangettes 1	563052	169052	Burdigalien	molasse	grès massifs	3				2			3				8
	269	Mont Olivet (carrière)	565340	169285	Helvétien	molasse	grès du Mont Olivet					3	2	3					8
	287	Champotey (carrière)	573006	167000	Rupélien	molasse	couches de Vaulruz	2						2	2		2		8

Annexe 5.2 (Partie 1): liste des gisements fossilifères les plus riches du canton de Fribourg d'après les données de l'inventaire de Berger (1998). Le score total correspond à la somme des scores attribués à chacune des 11 catégories de fossiles. Sur les 305 objets référencés, seuls les 55 sites ayant obtenu un score supérieur à 6 sont reportés dans cette liste.

Score global	n°	Nom du gisement	Coordonnées		Chrono-statigraphie	Unités	Formation	Unicellulaires	Porifères, Cnidaires	Polymorphes	Céphalopodes	Lophophoriens	Echinodermes	Bivalves, gastéropodes	Végétaux	Arthropodes	Vertébrés	Traces fossiles	Score global
7	12	Marnand						1					2	2		2			7
	71	Gîte à bas	578800	161100	Lotharingien	Préalpes médianes	Lias inférieur	0	0	0	2	1	2	0	0	0	0	2	7
	88	Falaise de Poyet Riond (pt 1382,4)	582750	165400	Hettangien	Préalpes médianes plastiques	Oolithique	0	0	0	1	3	0	3	0	0	0		7
	92	Forêt de Chapalleyre	582600	165500	Sinémurien	Préalpes médianes plastiques	Spathique	0	0	0	3	2	0	2	0	0	0		7
	145	Pralet	564225	150850	Rhétien	Préalpes médianes		3	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	7
	146	Crau Gindroz	565100	151200	RhétienHettangien	Préalpes médianes		3	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	7
	163	CRAU (route de)	570150	145050	Aalénien			0	1	0	2	2	0	2	0	0	0	0	7
	167	SAUTAZ	569050	146250	Bajocien			0	1	0	2	2	1	1	0	0	0	0	7
6	4	Cournillens / Gazoduc	574800	189600		USM	Molasse grise de Lausanne								2	2	2		6
	21	Carrière du Bois de Verrey	171150	557000		OMM		2						2	2				6
	32	Route Champ d'Amont	551000	184000				2							2		2		6
	34	Rio de Combodon	184000	550500										2	2		2		6
	36	Tasbergbach (Ameismühle)	582550	183750										2	2		2		6
	75	Les Plains	575100	160700	Bajocien	Préalpes médianes	Dogger	0	0	0	2	2	0	2	0	0	0		6
	82	Rio de la Chapelleyre 1	582300	165700	Keuper	Préalpes médianes plastiques	Dolomitique	2	0	0	0	0	2	2	0	0	0		6
	91	Chalet "les Pâles"	579850	164250	Sinémuiren	Préalpes médianes plastiques	Spathique	0	0	0	2	2	0	2	0	0	0		6
	124	Le Pessot	576800	165500	argovien	Préalpes externes	Calcaire concretionné	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0		6
	125	Aux Esserts	563079	183051		Burdigalien moyen		3						3					6
	148	Veveyse de Châtel	565600	151500	Rhétien	Préalpes médianes		2	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	6
	149	Gros Mology	566200	152500	Rhétien	Préalpes médianes		2	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	6
	150	La Cagne	564250	150800	Trias - Sinémurien	Préalpes médianes		0	0	0	0	2	0	3	0	0	1	0	6
	156	SONLOMONT	571650	143550				1	2	0	0	0	0	2	0	0	1	0	6
	164	CUVIGNE-DERREY	567700	146600	Paléocène	PREALPES MEDIANES	FLYSCH	2	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	6
	239	Canal du moulin des Grangettes	563625	169450	Burdigalien	OMM	Couches de Mausson (les grès massifs)	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	6
	264	Grangettes 2	563052	169052	Burdigalien	molasse	couches du Mausson	3							3				6
	296	Crêt-Vudy (carrière NW)	572046	161000	Dogger	Préalpes externes					2			2				2	6

Annexe 5.2 (Partie 2): liste des gisements fossilifères les plus riches du canton de Fribourg d'après les données de l'inventaire de Berger (1998). Le score total correspond à la somme des scores attribués à chacune des 11 catégories de fossiles. Sur les 305 objets référencés, seuls les 55 sites ayant obtenu un score supérieur à 6 sont reportés dans cette liste.

Annexe VI : *Liste des unités stratigraphiques et coupes-types du canton (CSS, Swisstopo)*

valide	obsolète	tecto.	Einheit	unité	type / rang	en usage	remarque, hiérarchie	géotope	bbl-ref	Y	X	coupe-type	Y_base	X_base
	1		*Clamagnaulaz-Sandstein*	***Grès de Clamagnaulaz***	*faciès pétrographique*	*non*	*>>> Molasse grise de Lausanne*		*Rumeau 1954, Habicht 1987*	*2565865*	*1184820*	*Fin de Clamagnaulaz*	*2565865*	*1184820*
	1		*Arbogne-Schichten*	***Couches de l'Arbogne***	*faciès pétrographique*	*non*	*>>> Molasse grise de Lausanne*		*Rumeau 1954, Habicht 1987*	*2566120*	*1184460*	*Pont de l'Arbogne / Moulin de Prez*	*2567475*	*1183050*
1			Châtel-Kalk	**Calcaire de Châtel**	lithostratigraphie (?)	à valider	Ultrahelvétique		Studer 1834, Rutsch et al. 1966	2559950	1153250	carrière de la Planière	2559950	1153250
	1		*Guiga-Sandstein*	***Grès de la Guiga***	*lithostratigraphie (?)*	*non*	*>>> Grès de Cucloz*		*Tercier 1928, Mornod 1945*	*2577575*	*1169195*	*La Guiga*	*2577575*	*1169195*
1			Hochmatt-Kalkarenit	**Calcarénite de la Hochmatt**	lithostratigraphie (Banc)	oui	Formation des Chenaux Rouges		Guillaume 1986, Braillard 2015	2582410	1156900	Hochmatt	2582410	1156900
1			Sapallaz-Nagelfluh	**Poudingue de la Sapallaz**	lithostratigraphie (Banc)	oui	Couches du Gibloux		Mornod 1949, Habicht 1987, Gabus 2000	2566650	1169710	La Moleire	2567430	1169683
1			Roter-Sattel-Hartgrund	**Harground de Roter Sattel**	lithostratigraphie (Banc)	oui	Formation des Forclettes	national	Guillaume 1986, Barillard 2015	2586020	1159200	Oberrügg / Roter Sattel	2586020	1159200
1			Plagersflue-Kalkarenit	**Calcarénite de la Plagersflue**	lithostratigraphie (Banc)	oui	Formation de Rote Platte		Guillaume 1986	2590200	1160550	Plagersflue	2590200	1160550
1			Pra-du-Pont-Hartgrund	**Hardground de Pra du Pont**	lithostratigraphie (Banc)	oui	Formation de Rote Platte		Guillaume 1986	2567900	1147500	Pra du Pont	2567900	1147500
1			Villarbeney-Formation	**Formation de Villarbeney**	lithostratigraphie (Formation)	à valider	Ultrahelvétique		Anatra et al. 1980	2575900	1164100	abrupt de Villarbeney	2575900	1164100
1			Intyamon-Formation	**Formation de l'Intyamon**	lithostratigraphie (Formation)	oui	-	national	Python-Dupasquier 1990, Braillard 2015	2571200	1153450	Oberrügg / Roter Sattel	2585900	1159440
1			Cuvigne-Derrey-Formation	**Formation de Cuvigne Derrey**	lithostratigraphie (Formation)	oui	-		Plancherel et al. 2012	2567770	1146780	ruisseau au NE de Cuvigne Derrey	2567750	1146850
1			Staldengraben-Formation	**Formation du Staldengraben**	lithostratigraphie (Formation)	oui	-		Septfontaine 1983, Braillard 2015	2588320	1167610	Staldengraben	2588320	1167610
1			La-Molière-Muschelsandstein	**Grès coquillier de la Molière**	lithostratigraphie (Membre)	oui	*Formation de la Singine*		de Razoumowsky 1789, de Girard 1901	2552920	1183160	carrière de la Molière	2552920	1183160
1			Mont-Olivet-Sandstein	**Grès du Mont Olivet**	lithostratigraphie (Membre)	oui	Couches du Gibloux		Mornod 1949, Habicht 1987, Gabus 2000	2565350	1169300	carrière du Mont-Olivet	2565340	1169285
	1		*Vaulruz-Sandstein (USM-l)*	***Grès de Vaulruz (USM-l)***	*lithostratigraphie (Membre)*	*non*	*>>> USM (Molasse Rouge de Vevey)*		*de Girard 1901, Haus 1937*	*2566600*	*1164000*	*Les Moilles*	*2566600*	*1164000*
1			Rontins-Member	**Membre des Rontins**	lithostratigraphie (Membre)	oui	Formation de Rote Platte		Guillaume 1986	2572130	1155400	Les Rontins	2572130	1155400
1			Allières-Member	**Membre d'Allières**	lithostratigraphie (Membre)	oui	Formation de Rote Platte		Guillaume 1986	2566710	1146310	route d'Allières	2567625	1147410

Annexe 6.1 : liste des unités stratigraphiques et coupes-types du canton (CSS, Swisstopo). Seules les unités qui possèdent une coupe-type expressément répertoriée sur les cartes géologiques sont cataloguées ci-dessus.

Annexe VII : *Inventaire des géomorphosites du Pays d'Enhaut* (Duhem, 2008 ; Bussard, 2014)

Inventaire de Bussard (2014)		Inventaire de Duhem (2008)	
GPEkar002	Vallée glacio-karstique de la Brecca	**GPEkar99**	Complexe glacio-karstique de Breccaschlund
GPEgra005	Éboulement des Grosses Pierres	**GPEgra116**	Éboulement des Grosses Pierres
GPEkar006	Vallon glacio-karstique des Morteys	**GPEgla125** **GPEkar133**	Système glaciaire des Morteys Système karstique des Morteys
GPEstr007	Synclinaux perché de la chaîne des Vanils	**GPEstr129**	Synclinaux perché de la chaîne des Vanils
GPEkar023	Grotte du glacier (ou grottes de Naye)	**GPEkar100**	Grottes de Naye
GPEkar027	Dépression glacio-karstique d'En Lys	**GPEkar122**	Dépression glacio-karstique d'En Lys
GPEgra028	Éboulis soufflants de la combe de Vudèche	**GPEper131**	Eboulis soufflants de la Combe de Vudèche
GPEflu030	Plaine alluviale de la Sarine entre Lessoc et Broc	**GPEflu101**	Plaine alluviale de la Sarine

Annexe 7.1 : géotopes inventoriés à la fois dans les travaux de Bussard (2014) et de Duhem (2008). Les dénominations des objets varient parfois entre les deux auteurs.

Inventaire de Bussard (2014)		Inventaire de Duhem (2008)	
GPEorg004	Plaines marécageuses de Gros Mont et des Chapelles	**GPEorg105**	Accumulation lacustre du Gros Mont
GPEflu024	Cluses de l'Hongrin et de Rossinière	**GPEflu112**	Cluse de Montbovon
GPEkar026	Lapiés de la chaîne de la Dent de Lys	**GPEkar118**	Lapiés de l'Urqui

Annexe 7.2 : géotopes délimités différemment dans l'inventaire de Bussard et celui de Duhem (2008).

Inventaire de Duhem (2008)	
GPEgla106	Collines d'érosion glaciaire : Les Cressets
GPEgra108	Éboulement de la Dent de Lys
GPEkar114	Vallée glacio-karstique des Fornis
GPEflu123	Gorges de l'Hongrin

Annexe 7.3 : géotopes figurant uniquement dans l'inventaire de Duhem (2008).

Inventaire de Bussard (2014)	
GPEflu001	Zone alluviale de la Gérine dans le Plasselbschlund
GPEgra003	Éboulement (supra-glaciaire) de la forêt du Lapé
GPEper029	Glacier rocheux fossile soufflant de Gros Chadoua
GPEflu031	Cascade de la Tâna
GPEgla032	Succession de verrous et ombilics glaciaires de Bounavaux
GPEflu033	Gorges de la Jogne

Annexe 7.4 : géotopes figurant uniquement dans l'inventaire de Bussard (2014).

Annexe VIII: liste des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

1. Relief molassique du Mont Gibloux

2. Ecaille de molasse subalpine du Stoutz

3. Ecaille de molasse subalpine de Champotey et carrière de Prévondavau

4. Ecaille de molasse subalpine et gisement fossilifère marin de Vaulruz

5. Massif du Montsalvens

6. Sommet de la Berra

7. Chrüzflue et lentille de gypse du Bürgerwald

8. Structure plissée des Dents de Broc, du Chamois et du Bourgo

9. Synclinal perché du Moléson

10. Vallon synclinal des Morteys
(y.c. Complexe glacio-karstique - Eboulement des Grosses Pierres)

11. Vallon structural du Breccaschlund
(y.c. Complexe glacio-karstique - Gisement à faune würmienne du Bärenloch)

12. Chaîne des Gastlosen

13. Olistolithe de la Brendelspitz

14. Ichtyosaure et gisements d'ammonites du Creux de l'Ours

15. Gisements de bivalves de La Combert

16. Gisement de mammifères aquitaniens de la marnière de Wallenried

17. Séquences de marées du Bois du Devin

18. Paléoplage molassique de l'Ermitage de la Madeleine

19. Molasse et dépôts quaternaires des Sentiers Ritter et Schoch

20. Transition USM-OMM de la route Sodbach-Heitenried

21. Falaise lacustre et transition USM-OMM des Crottes de Cheyres

22. Couches stratigraphiques du Crétacé-Tertiaire de Roter Sattel

23. Lacune stratigraphique de la Plagersflue

24. Ancienne carrière de flysch de Zollhaus

25. Carrières de flysch de Tatüre

26. Carrière de grès coquillier de la Molière

27. Ancienne carrière de tuf de la Tuffière

28. Carrière de grès molassique de Villarlod

29. Terrils des mines de charbons du Jordil

30. Instabilités de terrain de Falli Hölli

31. Glissement de Villarbeney

32. Eboulement de la Dent de Lys (face nord)

33. Eboulement supraglacaire de la forêt du Lapé

34. Ouvala du lac des Joncs

35. Ancienne carrière de la Gypsera et dolines de gypse du Lac Noir

36. Ensemble de dolines Riggisalp - Geissalp - Schönenboden

37. Alignement de dolines de gypse du Mongeron

38. Complexe karstique Hochmatt – In den Löchern

39. Lapiés de la chaîne de la Dent de Lys

40. Dépression glacio-karstique d'En Lys

41. Réseaux karstiques du Haut-Intyamon

42. Réseau karstique des Morteys et Gouffre des Diablotins

43. Grotte de Naye (ou du Glacier)

44. Gouffre du Protoconule

45. Exsurgence et cascade de Jaun

46. Estavelle de l'Hongrin et source de Neirivue

47. Blocs erratiques d'importance cantonale (65 objets)

48. Succession de verrous et ombilics glaciaires de Bounavaux

49. Colline d'érosion glaciaire du Mont Vully

50. Colline d'érosion glaciaire de Romont

51. Collines d'érosion glaciaire Gruyères – Pringy – Bérauta

52. Collines d'érosion glaciaire Remaufens – Châtel-St-Denis

53. Collines d'érosion glaciaire des Cressets

54. Ensemble de drumlins de Courgeveaux à Muntelier (Ferme Maillard – Bodemünzi – Aderahübel – Grande Ferme)

55. Complexe glaciaire de Montévraz – Zénauva – Oberried – Montécu – Bonnefontaine
(y.c kames, terrasses de kame et cordons morainiques)

56. Kames de Pont-la-Ville et de la Combert

57. Terrasse fluvio-glaciaire de la Grande Cithard

58. Complexe morainique rhodanien (Nord de Brünisried)

59. Complexe morainique rhodanien
(Chano - La Comba)

60. Recoupement des complexes morainiques rhodanien (Vaulruz - Vuadens) et sarinien (le Pâquier - Bulle/Planchy)

61. Cordons morainiques locaux du Creux Charles

62. Cordons morainiques locaux de Tissiniva (NO des Dents de Brenleire et Folliéran)

63. Glaciers rocheux fossiles et cordons morainiques locaux (Geissalp - Schönenbodenegg - Neugantrisch)

64. Glacier rocheux fossile soufflant de Gros Chadoua

65. Eboulis froids ventilés du Chänel Gantrisch

66. Lit fluvial actif de la Gérine

67. Lit fluvial actif de la Singine

68. Cascade de Seeweidbach

69. Cascade de l'Euschelsbach

70. Cascade de la Tâna

71. Cône de déjection de Lessoc

72. Terrasses fluviatiles de la Glâne (Les Muèses – confluence Sarine)

73. Terrasses fluviatiles et fluvio-lacustres de l'Hongrin

74. Terrasse fluviolacustre de Neirivue

75. Terrasse fluviolacustre de Broc

76. Gorges du Gottéron

77. Gorges de la Jogne

78. Gorges de la Veveyse de Fégire

79. Gorges de la Veveyse de Châtel et terrasses fluvio-glaciaires du Devin des Dailles

80. Gorges de la Sarine

81. Gorges de la Singine

82. Cluse, gorges et carrière de calcaire de l'Evi

83. Succession de cluses et défilés de la Jogne

84. Vallée abandonnée Ameismühle/Tafers/Rohr

85. Lac Noir et instabilités de terrain du Seeschlund

86. Cordons littoraux et marais lacustres de la Grande Cariçaie

87. Delta de Greng

88. Bassin limno-palustre et lac de Seedorf

89. Gros Mont
(y.c. Plaine marécageuse – Collines d'érosion glaciaire du Jeu de Quilles – défilé des Escalier du Mont)

90. Plaine marécageuse asséchée du Grosses Moos

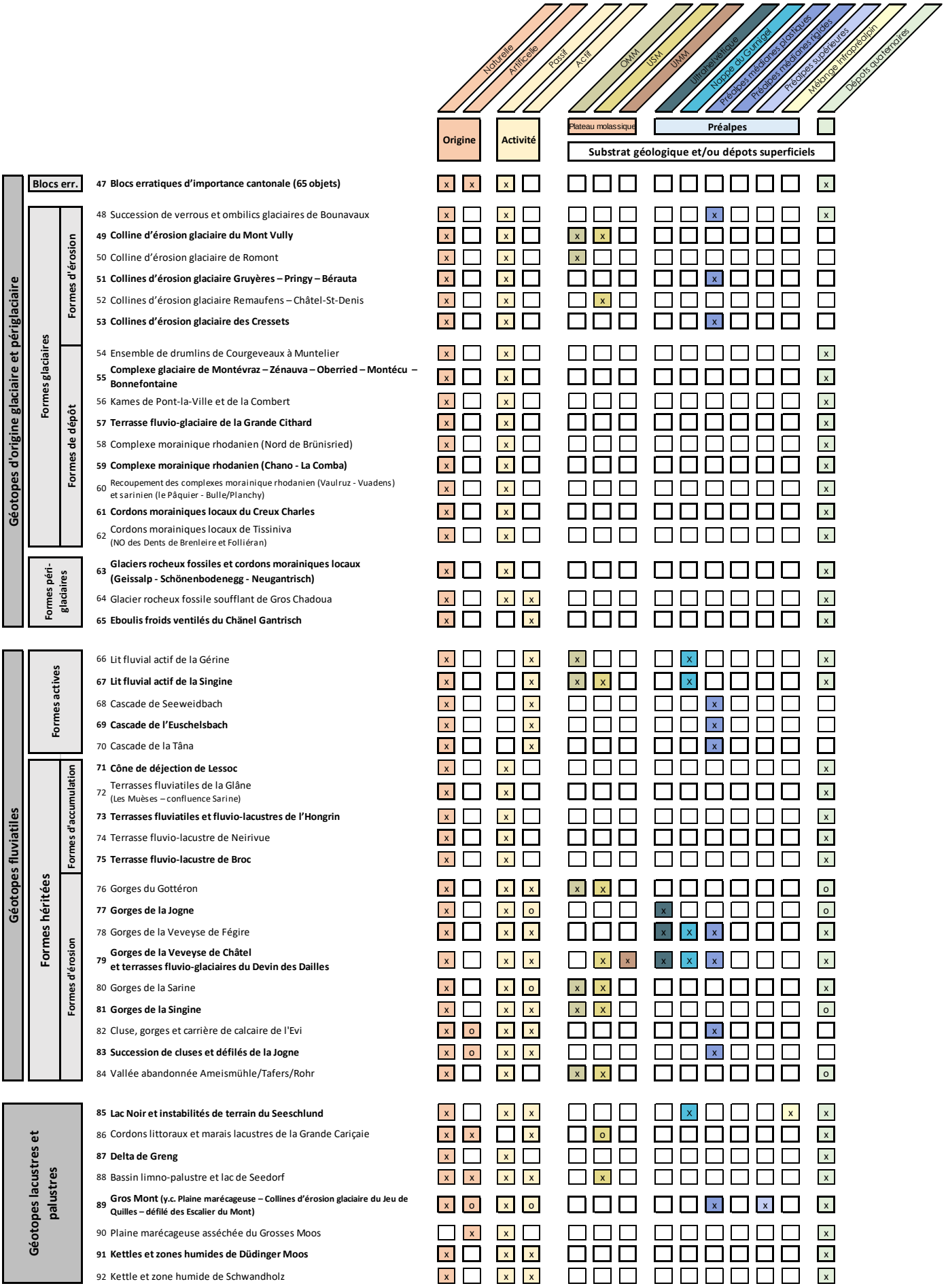
91. Kettles et zones humides de Düdinger Moos

92. Kettle et zone humide de Schwandholz

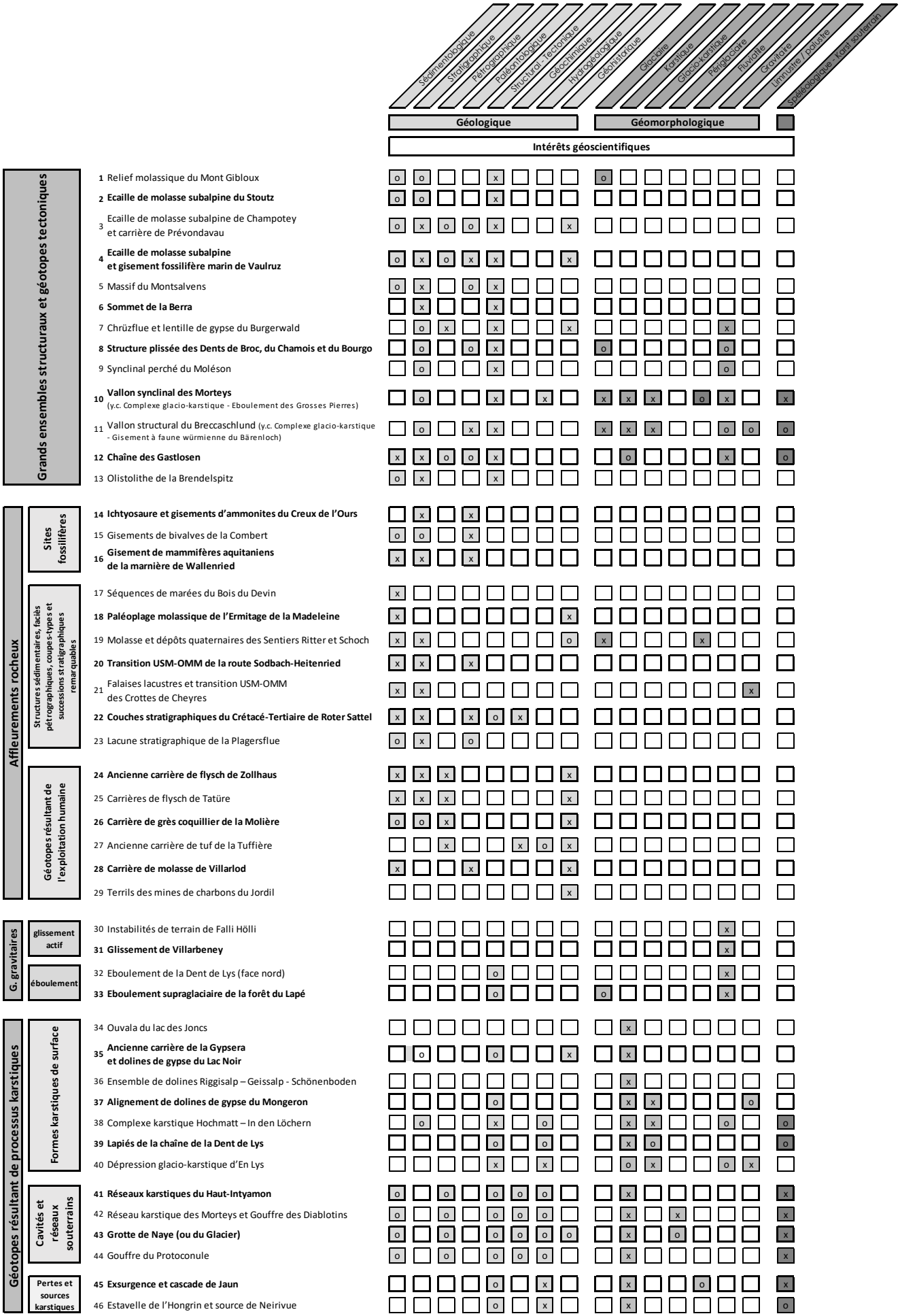
Annexe IX : *Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale* – Base de données

			Origine		Activité		Plateau molassique			Préalpes						
			Naturelle	Artificielle	Passif	Actif	OMM	USM	UMM	Ultrahelvétique	Nappe du Gurnigel	Préalpes médianes plastiques	Préalpes médianes rigides	Préalpes supérieures	Mélange Infrapréalpin	Dépôts quaternaires
			Substrat géologique et/ou dépots superficiels													
Grands ensembles structuraux et géotopes tectoniques		1 Relief molassique du Mont Gibloux	x		x		x									o
		2 Ecaille de molasse subalpine du Stoutz	x		x			x								
		3 Ecaille de molasse subalpine de Champotey et carrière de Prévondavau	x	x	x				x							
		4 Ecaille de molasse subalpine et gisement fossilifère marin de Vaulruz	x	x	x	x			x							
		5 Massif du Montsalvens	x		x					x						
		6 Sommet de la Berra	x		x						x					
		7 Chrüzflue et lentille de gypse du Burgerwald	x	x	x	x					x				x	o
		8 Structure plissée des Dents de Broc, du Chamois et du Bourgo	x		x							x				o
		9 Synclinal perché du Moléson	x		x							x				o
		10 Vallon synclinal des Morteys (y.c. Complexe glacio-karstique - Eboulement des Grosses Pierres)	x		x							x				x
		11 Vallon structural du Breccaschlund (y.c. Complexe glacio-karstique - Gisement à faune würmienne du Bärenloch)	x		x							x				x
		12 Chaîne des Gastlosen	x		x								x			x
		13 Olistolithe de la Brendelspitz	x		x									x		
Affleurements rocheux	Sites fossilifères	**14 Ichtyosaure et gisements d'ammonites du Creux de l'Ours**	x		x							x				
		15 Gisements de bivalves de la Combert	x		x		x									
		16 Gisement de mammifères aquitaniens de la marnière de Wallenried		x	x			x								
	Structures sédimentaires, faciès pétrographiques, coupes-types et successions stratigraphiques remarquables	17 Séquences de marées du Bois du Devin	x		x		x									
		18 Paléoplage molassique de l'Ermitage de la Madeleine		x	x		x									
		19 Molasse et dépôts quaternaires des Sentiers Ritter et Schoch		x	x		x									x
		20 Transition USM-OMM de la route Sodbach-Heitenried		x	x		x	x								
		21 Falaises lacustres et transition USM-OMM des Crottes de Cheyres	x	x	x		x	x								
		22 Couches stratigraphiques du Crétacé-Tertiaire de Roter Sattel	x		x							x				
		23 Lacune stratigraphique de la Plagersflue		x	x								x			
	Géotopes résultant de l'exploitation humaine	**24 Ancienne carrière de flysch de Zollhaus**		x	x						x					
		25 Carrières de flysch de Tatüre		x	x						x					
		26 Carrière de grès coquillier de la Molière		x	x		x									
		27 Ancienne carrière de tuf de la Tuffière		x	x											x
		28 Carrière de molasse de Villarlod		x	x		x									
		29 Terrils des mines de charbons du Jordil		x	x			x								
G. gravitaires	glissement actif	30 Instabilités de terrain de Falli Hölli	x			x					x					x
		31 Glissement de Villarbeney	x			x				x	x					x
	éboulement	32 Eboulement de la Dent de Lys (face nord)	x		x							x				x
		33 Eboulement supraglaciaire de la forêt du Lapé	x		x								x			x
Géotopes résultant de processus karstiques	Formes karstiques de surface	34 Ouvala du lac des Joncs	x			x									x	
		35 Ancienne carrière de la Gypsera et dolines de gypse du Lac Noir	x	x	x	x									x	
		36 Ensemble de dolines Riggisalp – Geissalp - Schönenboden	x			x						x				
		37 Alignement de dolines de gypse du Mongeron	x			x						x				
		38 Complexe karstique Hochmatt – In den Löchern	x		x	x						x				x
		39 Lapiés de la chaîne de la Dent de Lys	x		x	x						x				
		40 Dépression glacio-karstique d'En Lys	x		x	x						x				x
	Cavités et réseaux souterrains	**41 Réseaux karstiques du Haut-Intyamon**	x		x	x						x				o
		42 Réseau karstique des Morteys et Gouffre des Diablotins	x		x	x						x				o
		43 Grotte de Naye (ou du Glacier)	x		x	x						x				o
		44 Gouffre du Protoconule	x		x	x						x				o
	Pertes et sources karstiques	**45 Exsurgence et cascade de Jaun**	x			x						x				
		46 Estavelle de l'Hongrin et source de Neirivue	x			x						x				

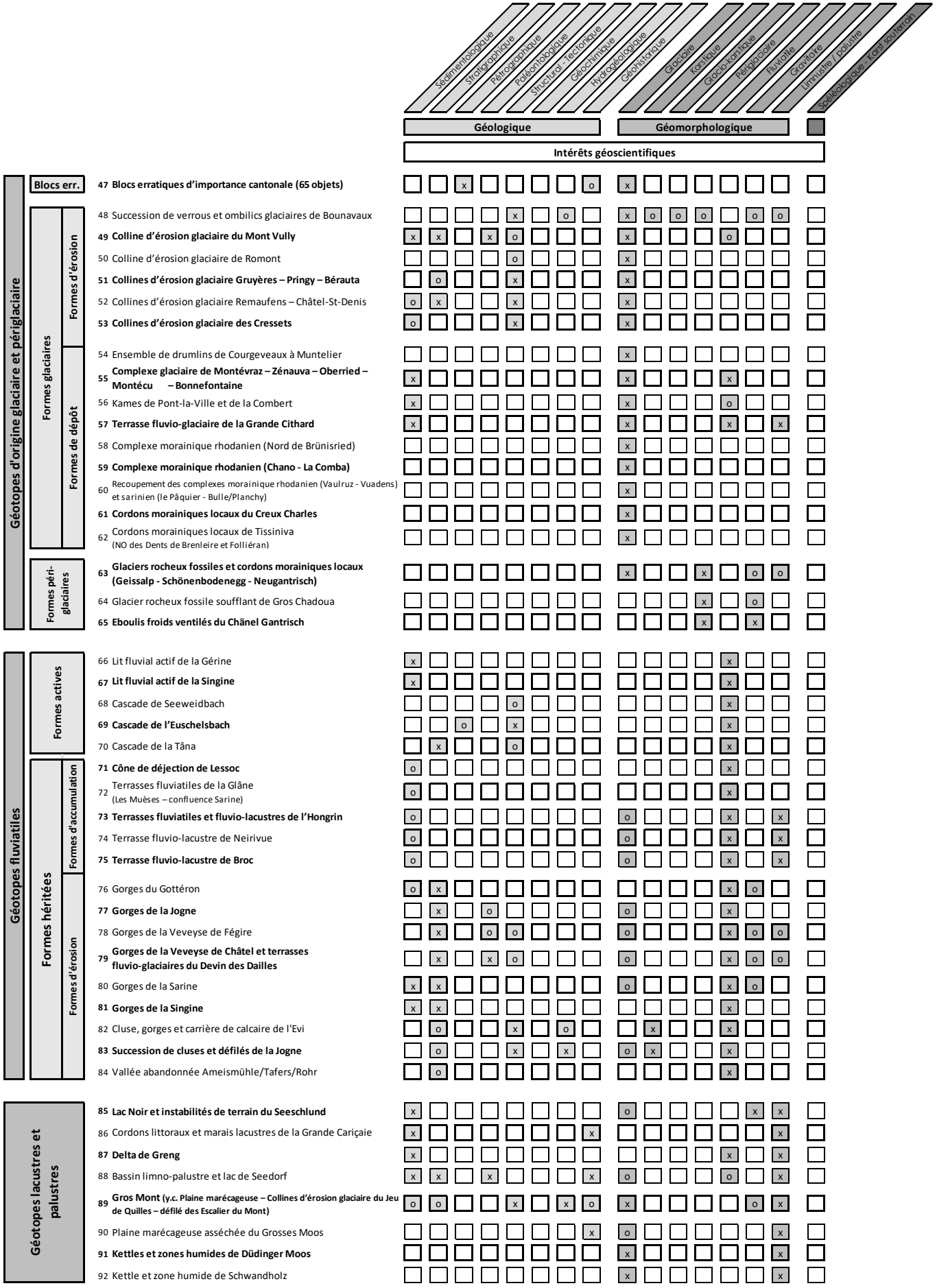
Annexe 9.1 : base de données de l'Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale : origine, activité et type de substrat représenté (Partie 1). Les "x" marquent des caractéristiques ou attributs principaux et les "o" des attributs ou caractéristiques secondaires.



Annexe 9.1 : base de données de l'Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale : origine, activité et type de substrat représenté (Partie 2). Les "x" marquent des caractéristiques ou attributs principaux et les "o" des caractéristiques ou attributs secondaires.



Annexe 9.2 : base de données de l'Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale : type d'intérêt géoscientifique représenté (Partie 1). Les "x" marquent les intérêts principaux, justifiant à eux seuls l'importance cantonale d'un géotope. Les "o" indiquent les intérêts secondaires.



Annexe 9.2 : base de données de l'Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale : type d'intérêt géoscientifique représenté (Partie 2). Les "x" marquent les intérêts principaux, justifiant à eux seuls l'importance cantonale d'un géotope. Les "o" indiquent les intérêts secondaires.

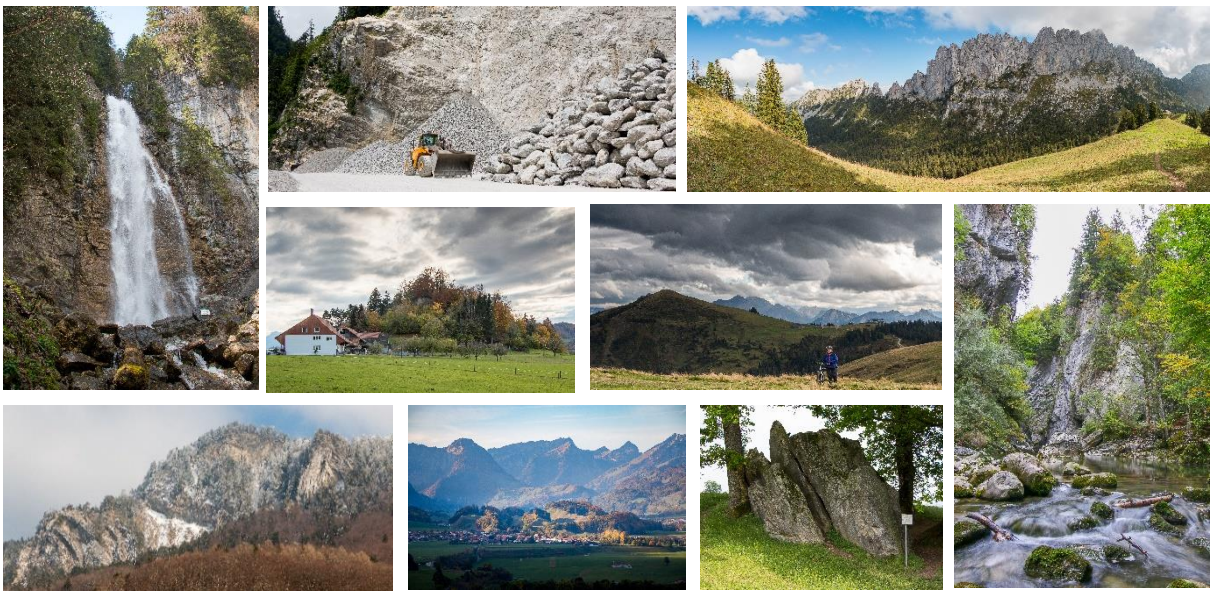
UNIVERSITÉ DE FRIBOURG
UNIVERSITÄT FREIBURG

Département de Géosciences, Institut de Géographie

Travail de Master

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Annexe X - proposition de 11 fiches d'inventaire



Réalisé par

Quentin Vonlanthen
Rte de la Gérine 22
1723 Marly

Sous la direction de

Dr. Luc Braillard & Prof. Reynald Delaloye

Fribourg, Août 2019

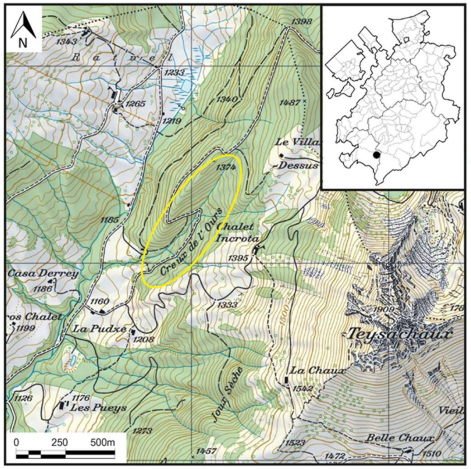
Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Ichtyosaure et gisements d'ammonites du Creux de l'Ours (Lias)

GIC n°14

Description synthétique :

Ce géotope consiste en un affleurement de couches du Toarcien (Lias) très abondantes en fossiles situé dans le lit du ruisseau du Creux de l'Ours. Le gisement a livré poissons, bivalves, restes de végétaux, une riche faune d'ammonites et un ichtyosaure exceptionnellement bien préservé.



Fr.ch

Localisation :

Commune / Lieu-dit : Châtel-St-Denis

Carte(s) nationale(s) : 1244 Châtel-St-Denis

CH1903+ : 2 565 050 / 1 154 260

Altitude : **min :** 1210 m **max :** 1380 m

Altitude ponctuelle : 1280 m

Dimensions :

Type géométrique : surfacique

Remarques : la zone délimitée dans le document *Arcgis* englobe la vingtaine de gisements référencés le long du ruisseau du Creux de l'Ours.

Caractéristiques et intérêts principaux :

naturel ☒ / artificiel ☐ actif ☐ / **passif** ☒

Catégorie	géologique ☒	géomorphologique ☐	spéléologique ☐
Intérêt principal	paléontologique		
Intérêt(s) secondaire(s)	stratigraphique		

Mots clés : Ichtyosaure, ammonites, fossiles, Toarcien, Lias

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Cadre géologique et temporel

Région concernée : Préalpes

Unité(s) lithostratigraphique(s)	
Unité tectonique :	KI *Préalpes médianes plastiques*
Formation :	Formation de la Combe du Pissot
Membre :	Couches du Creux de l'Ours

Unité(s) géochronologique(s)	
Ère géologique	Mésozoïque
Période géologique :	Jurassique
Époque géologique :	Lias (Jurassique inférieur)
Âge géologique :	Toarcien

Remarques : par commodité, Weidmann (1993) intègre les couches du Creux de l'Ours dans l'unité A de la *Formation du Staldengraben* dans la notice explicative de la carte Châtel-St-Denis.

Intérêts scientifiques

(par ordre de pertinence)

Intérêt scientifique principal :

- **Paléontologique :** mise au jour, au 19ème siècle, d'un Ichtyosaure remarquablement bien conservé et unique dans le canton de Fribourg. Très riche faune d'ammonites qui ont parfois conservé leur nacre (test aragonitique). Le site est toujours particulièrement abondant en fossiles.

Intérêt scientifique secondaire :

- **Stratigraphique** : les « couches du Creux de l'Ours » constituent un membre lithostratigraphique informel de la *Formation de la Combe du Pissot*. Elles pourraient témoigner de l'événement anoxique océanique du Toarcien, épisode de changement climatique et environnemental de grande échelle.

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Description du géotope

Description générale :

Ce géotope se situe dans la région des Paccots, à proximité du sommet de la Teysachaux (1909 m). Il consiste en une vingtaine de gisements fossilifères qui s'échelonnent le long du ruisseau du Creux de l'Ours, petit affluent du Ruisseau de Rathvel qui alimente lui-même la Veveyse de Châtel (Fig. 3). Il est possible de trouver des fossiles en aval et en amont de la route forestière qui franchit le cours d'eau (2'565'045, 1'154'275).

Description scientifique :

L'ichtyosaure du Creux de l'Ours

Les ichtyosaures sont des reptiles marins particulièrement abondants au cours du Jurassique. Pouvant mesurés plus de 15 mètres, leur morphologie rappelle celle des dauphins actuels et est caractérisée par une tête imposante prolongée par une mâchoire effilée, des palettes natatoires composées de nombreuses phalanges ainsi que des orbites oculaires exceptionnellement larges.

La renommée du site fossilifère du Creux de l'Ours est principalement due à la découverte, dans le lit du cours d'eau, d'un fossile d'Ichtyosaure remarquablement bien conservé (Fig. 1). Mise au jour en 1870 par le guide et naturaliste châtelois J. Cardinaux, la dalle de 200 x 75 cm a été préparée par un spécialiste d'Holzmaden, commune allemande célèbre pour ses gisements de faunes marines du Toarcien. Les os fossilisés ont été soigneusement replacés en position anatomique et les parties manquantes, soit près des deux tiers de l'animal, remplacées par des moulages (Menkveld-Gfeller, 1998). Le squelette a ensuite été vendu au Musée d'histoire naturelle de Berne pour 120 francs de l'époque (Weidmann, 1981). Il a très vite fait l'objet d'une description et d'une esquisse par Ooster & Fischer-Ooster (1870-1871) qui le désignent sous le nom de *Ichtyosaurus tenuirostris* CONYBEARE avant d'être redéterminé en tant que *Stenopterygius longifrons* OWEN par von Huene (1939).

Dès les années 1940, le caractère indigène du specimen a été mis en doute par le Prof E. Gagnebin qui a longtemps arpenté les préalpes médianes fribourgeoises et vaudoises sans jamais trouver trace de reptile marin dans les couches du Toarcien. En collaboration avec l'université de Lausanne, Gagnebin avait pourtant dirigé d'importantes fouilles à proximité du lieu de découverte présumé de l'Ichtyosaure fribourgeois (Bersier, 1944-48). Il y récolta des os de poissons et une très riche faune d'ammonites inconnues jusqu'alors mais pas de reste d'ichtyosaure. De plus, la forte tectonisation des couches du Creux de l'Ours semblait interdire la préservation d'un fossile de si grande taille. Gagnebin en vint donc à suspecter Cardinaux, lequel n'était pas à sa première tromperie, d'avoir secrètement importé le fossile d'Holzmaden ou de Boll (Jura Souabe) avant de le céder sous une fausse origine. Ces soupçons sont rapportés par von der Weid (1960) et ont motivés une enquête au sein du Musée d'histoire naturelle de Berne. En étudiant la lithologie et la fracturation de la gangue du squelette, Furrer (1960) a mis fin à ces rumeurs et validé l'authenticité de la provenance du fossile. Ce résultat a été confirmé lors d'un réexamen de la dalle conduit par Menkveld-Gfeller (1998) et par la découverte d'autres gisements d'Ichtyosaures dans les Préalpes médianes (Weidmann, 1981 ; Berger, 1998a, Mennecart et Havran, 2013). En 2010, lors d'une chasse aux fossiles ouverte aux amateurs, une petite dalle comprenant des restes de vertèbres a été mise au jour au Creux de l'Ours, concluant peut-être pour de bon les débats sur la provenance du fossile de Cardinaux (Mennecart et Havran, 2013).

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Exposé à l'entrée du Musée d'histoire naturelle de Berne dès 1942, le squelette est de retour en terre fribourgeoise depuis 2011 dans la salle « géologie » du Musée d'histoire naturelle de Fribourg (MHNF).

Les ammonites et autres fossiles du Creux de l'Ours

Outre cette découverte majeure, les différents gisements du Creux de l'Ours ont livré des restes de poissons, des bivalves et des traces de végétaux ainsi qu'une riche faune d'ammonites (Fig. 2). Constituant la nourriture principale des Ichtyosaures, ces ammonites ont parfois conservé leur nacre (test aragonitique) et les plus beaux spécimens sont exposés au MHNF. A la suite de Cardinaux, ces fossiles ont été mis au jour et décrits par Favre & Schardt (1887), Hug (1898), Mauve (1921), Pugin (1951) et Von der Weid (1960). Lors d'une fouille sommaire réalisée dans le cadre d'un stage, Yerly (2012) a extrait dix ammonites plus ou moins complètes, trois bivalves, une plante et une écaille de poisson, ce qui témoigne de l'abondance en fossiles du site. Tout comme les trouvailles antérieures, ces fossiles abondent les collections du MHNF.

Intérêt stratigraphique du site

L'érosion du ruisseau du Creux de l'Ours offre de beaux affleurements dans le lit du cours d'eau. Les « couches du Creux de l'Ours » constituent d'ailleurs un membre lithostratigraphique informel de la *Formation du Staldengraben*. Elles sont constituées de calcaires marneux et bitumineux datés du Toarcien inférieur (Weidmann, 1981). La qualité de conservation et l'abondance en fossiles, le contenu en matière organique ainsi que le type de diagenèse ont été interprétés comme une conséquence de l'événement anoxique océanique du Toarcien (Mettraux et al., 1986, 1989). Cet épisode d'envergure mondiale correspond à une perturbation globale du cycle du carbone et marque la fin du Jurassique inférieur (Lias).

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Evaluation

LPNat, 12 septembre 2012

Art. 32 Principes

[1] *Lorsqu'ils revêtent un intérêt particulier sur les plans **esthétique**, **typologique**, **scientifique** ou **éducatif**, les paysages et géotopes caractéristiques doivent dans la mesure du possible être préservés des atteintes qui en altèrent le caractère.*

Evaluation de l'intérêt scientifique

Valeur scientifique	Description	Pond.	Score
Représentativité	Le Creux de l'Ours constitue un excellent exemple d'un gisement fossilifère du Toarcien. L'abondance en fossiles est remarquable.	2x	3
Intégrité	L'affleurement qui aurait livré l'ichtyosaure et qui a été exploité durant près d'un siècle a été bétonné dans les années 1970 lors de la construction d'une route forestière. Les gisements en amont et en aval de cette route sont intacts et rafraîchis par l'érosion du cours d'eau.	1x	2
Rareté	Ce site n'a pas d'équivalent sur le territoire cantonal. La découverte d'un ichtyosaure très complet justifie son importance nationale et, *de facto*, cantonale.	1x	3
Valeur paléogéographique	Ce géotope constitue le témoin de l'environnement et de la paléobiodiversité de la fin du Lias. Il pourrait documenter l'événement anoxique du Toarcien inférieure.	1x	3
Valeur scientifique globale	Très élevée		14/15

Appréciation des valeurs additionnelles
(écologique, esthétique, culturelle/historique)

Aucune

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Informations complémentaires

Inclusion dans des inventaires existants

Inventaire	Auteur	Code
Inventaire des géotopes suisses	ASSN (2012)	CH_122
Liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale	Berger (1995)	1
Inventaire des sites fossilifères fribourgeois	Berger (1998b)	ID 104 et 249 à 269

Relation spatiale avec d'autres géotopes

Nom	Relation spatiale
-	-

Géotopes fribourgeois aux caractéristiques similaires ou proches

L'*Inventaire des sites fossilifères fribourgeois* (Berger, 1998b) recense une dizaine de gisements datés du Toarcien et riches en ammonites. Ces sites devraient être considérés comme des géotopes d'importance locale.

Inclusion dans des aires de protection

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Caractéristiques d'usage et de gestion

Vulnérabilité, protection et préservation du site

Atteintes existantes :	**faibles**	Le site est très bien préservé. Seule une petite section, déjà bien exploitée, a été bétonnée lors de la construction d'une route forestière.
Menaces potentielles ou avérées :	**moyennes**	La menace majeure est liée aux fouilles sauvages du site.
Statut de protection actuel :	**inexistant**	Le site en lui-même n'est protégé par aucun cadre légal. Seules les découvertes de fossiles sont réglementées par l'Art. 36 de la LPnat.

Mesures de protection proposées :	La localisation et la valeur du site ne devraient pas être diffusées au plus grand nombre afin de limiter les fouilles sauvages. Les potentiels futurs travaux dans le lit du cours d'eau (endiguement, seuils) ou d'élargissement de la route peuvent être perçus de manière positive. Suivis par un géologue, ils pourraient rafraichir ou donner accès à de nouveaux bancs riches en fossiles.

Valorisation du site

Valorisation existante : oui / **non** **Public cible :** spécialisé

Conditions de visites	**moyennes**
Facilité d'accès	« *Ce site est facile d'accès. En arrivant depuis Les Paccots, une belle place de parc est aménagée au croisement juste avant La Pudze […]. Il faut par la suite compter un bon quart d'heure de marche pour monter jusqu'au site. Muni d'une autorisation de circuler, il est possible de monter jusqu'au site en voiture. La roche affleure dans le ruisseau en amont et en aval de la route qui le coupe, mais est plus accessible en amont*. » (Yerly, 2012 : 123)
Sécurité	Aucun problème de sécurité.

Intérêt éducatif	**faible**
Lisibilité	Seul le contenu fossilifère des affleurements a une réelle valeur éducative.
Equipement d'interprétation	Aucun

Proposition de valorisation :	Aucune valorisation *in situ* n'est nécessaire. Des chasses aux fossiles encadrées par des spécialistes ont eu lieu par le passé sur le site et devraient se poursuivre à l'avenir.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Références bibliographiques

Berger, J.P. (1995). *Géotopes: propositions pour le canton de Fribourg*. Institut de Géologie et de Paléontologie de l'Université de Fribourg. Liste non publiée.

Berger, J.-P. (1998). *Le poisson de la Hochmatt : point de la situation.* Rapport interne Université de Fribourg. 4p.

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 NW de la feuille XVII. *Matériaux pour la Carte Géologique de la Suisse*, 22: 1-636.

Ooster, W.A., **Fischer-Ooster**, C. (1870-1). *Ichtyosaurus tenuirostris* aus den Liasschichten der Kette des westlichen Fusses des Moléson in Freiburger Alpen. Protozoae Helv. II. 73-84

Furrer, H. (1960). *Der Ichtyosaurus von Teysachaux*. Mittteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, N.F., 18: 75-80.

Hug, O. (1898). *Beiträge zur Kenntnis der Lias- und Dogger-Ammoniten aus der Zone der Freiburger Alpen*, II. Mémoire de la société paléontologique suisse, 25: 1-24.

Mauve C. (1921). *Geologische Untersuchungen im Molésongebiet*. Eclogae geologicae Helvetiae, 16/4: 374-455.

Mennecart, B. & **Havran**, M. (2013). Nouvelles données sur les Ichtyosaures du canton Fribourg. *Bull. Soc. fribourg. Sci. nat.*, 102, 77–84.

Menkveld-Gfeller, U. (1998). *Der Fischsaurier vom Teysachaux: Ein echter Freiburger?* Schweizer Strahler, 11(8), 345–347.

Mettraux, M., **Dupasquier**, C. & **Homewood**, P. (1986). *Conditions de dépôt et diagenèse précoce du Toarcien inférieur des Préalpes médianes romandes (Suisse).* - Doc. BRGM 110, 231-237.

Mettraux, M., **Weissert**, H. & **Homewood**, P. (1989). *An oxygen-minimum palaeoceanographic signal from Early Toarcian cavity fills*. - J. geol. Soc. (London) 146, 333-344.

Pugin L. (1952). Les Préalpes médianes entre le Moléson et Gruyères (Préalpes fribourgeoises). *Eclogae geologicae Helvetiae*, 44/2: 207-297.

Von Der Weid, J. (1961). Géologie des Préalpes médianes au SW du Moléson. *Eclogae geologicae Helvetiae*, 53/2 : 521-624.

Huene, F.v. (1939). *Ein ganzes Ichthyosaurier-Skelett aus den westschweizerischen Voralpen*. Mitt. Naturf. Ges. Bern.

Weidmann, M. (1981). Un Ichtyosaure dans le Lias supérieur des Préalpes Médianes vaudoises. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 75/3: 165-170

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Illustrations complémentaires (figures, plans, schémas, ...)

Fig. 1 : fossile de l'ichtyosaure du Creux de l'Ours, actuellement au MHNF (crédit photographique : Etat de Fribourg).

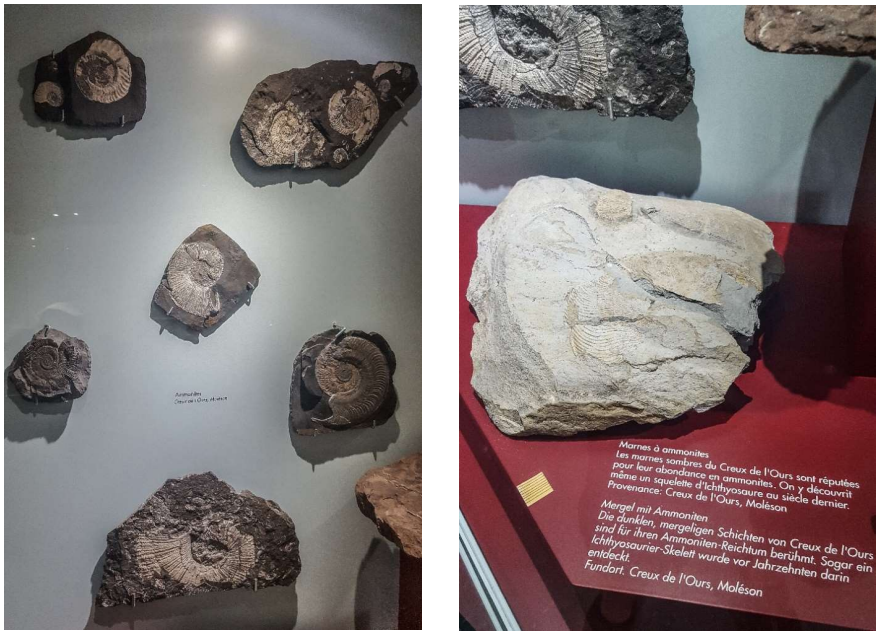


Fig. 2: collection d'ammonites provenant du Creux de l'Ours et exposée au public dans la salle géologie du MHNF.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Photographie du site

Fig. 3 : vue générale d'une partie du gisement fossilifère du Creux de l'Ours (Yerly, 2012).

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

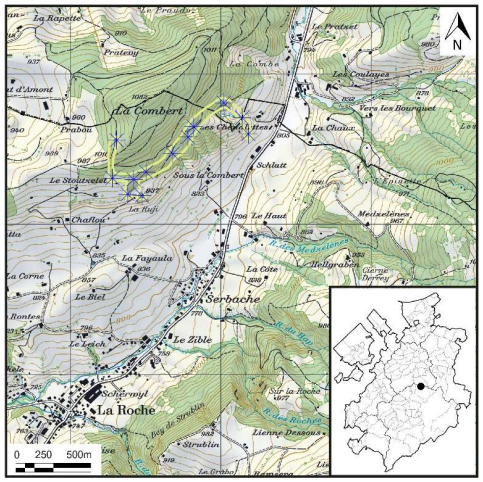
Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Gisements de bivalves de la Combert (OMM, Burdigalien)

GIC n°15

Description synthétique :

Le site fossilifère de la Combert est constitué d'une dizaine de gisements qui ont livré de nombreux mollusques, principalement des bivalves mais également quelques gastéropodes. Une aussi forte concentration de formes de vie marine est particulièrement rare dans les couches de la molasse marine supérieure (OMM).



Yerly, 2012

Localisation :

Commune : La Roche - Treyvaux

Carte(s) nationale(s) : 1205 Rossens

CH1903+ : 2 577 475 / 1 173 325

Altitude ponctuelle : 950 m

Dimensions :

Type géométrique : surfacique

Remarque : la zone délimitée dans le document *Arcgis* englobe la dizaine de gisements référencés par Weidmann (2005) sur le versant SE de la Combert.

Caractéristiques et intérêts principaux :

naturel ☐ / **artificiel** ☒ actif ☐ / **passif** ☒

Catégorie	géologique ☒	géomorphologique ☐	spéléologique ☐
Intérêt principal	paléontologique		
Intérêt(s) secondaire(s)	sédimentologique stratigraphique		

Mots clés : La Combert, Molasse marine supérieure, OMM, Couches du Belpberg, fossiles, bivalves.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Cadre géologique et temporel

Région concernée : bassin molassique

Unité(s) lithostratigraphique(s)	
Unité tectonique :	M *Molasse du Plateau*
Groupe lith. :	Molasse marine supérieure
Sous-groupe lith. :	OMM-II
Formation :	Belpberg-Formation

Unité(s) géochronologique(s)	
Ere géologique	Cénozoïque (Tertiaire)
Période géologique :	Néogène
Epoque géologique :	Miocène
Age géologique :	Burdigalien

Intérêts scientifiques

(par ordre de pertinence)

Intérêt scientifique principal :

- **paléontologique :** riche gisement de coquilles de mollusques (bivalves, gastéropodes) qui confirme le caractère marin de l'OMM.

Intérêts scientifiques secondaires :

- **sédimentologique** : l'horizon coquillier est constitué de roches marno-gréseuses. Ce faciès témoigne d'une phase de sédimentation calme et uniforme qui a permis la conservation des fossiles en position de vie. Ce niveau contraste avec les niveaux conglomératiques qui composent la plus grande partie des *Couches du Belpberg* et qui sont typiques d'une accumulation en milieu deltaïque.

- **stratigraphique :** l'horizon fossilifère qui affleure à la Combert fait partie des *Couches du Belpberg* (Weidmann, 2005) qui ont également été désignées sous l'appellation de *Couches de Montévraz-La Combert* par Emmenegger (1962). Ces unités lithostratigraphiques informelles et locales constituent la partie supérieure, et donc la plus récente, de la molasse marine supérieure (OMM).

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Description du géotope

Description générale :

Ce géotope englobe 12 gisements fossilifères localisés majoritairement sur le versant SE de la Combert et référencés sur la carte géologique de Rossens (Weidmann, 2005). Il s'agit de petits affleurements rocheux (Fig. 2) d'un niveau des *Couches du Belpberg* particulièrement riches en fossiles de mollusques endobiontes (bivalves, gastéropodes).

Description scientifique :

Les gisements de mollusques :

Les *Couches du Belpberg* sont réputées depuis longtemps pour l'abondance de leurs gisements qui livrent des coquilles de mollusques marins remarquablement préservées. Parmi l'ensemble des sites répertoriés dans cette formation, celui de la Combert comporte certainement les meilleurs gisements si l'on se réfère à la qualité des pièces conservées au Musée d'histoire naturelle de Fribourg (MHNF) et aux récentes visites rapportées par Yerly (2012) dans son état des lieux des sites fossilifères fribourgeois. Un certain nombre d'études font mention des fossiles mis au jour à la Combert : Studer (1853), Gilliéron (1885), Dillenius (1911), Buess (1920), Emmenegger (1962), Demarcq & Schoepfer (1990). Berger (1992) a réalisé une synthèse de ces travaux et on trouvera chez Yerly (2012) un index taxinomique des différents fossiles de la Combert conservés dans les collections du MHNF (Fig. 1). La majorité des specimen sont des bivalves appartenant à diverses familles taxinomiques (Pectinidae, Mytilidae, Cardiidae, Mactridae, Ostreidae, etc.) et sont très proches des moules, palourdes, huitres et pétoncles marins actuels. Ces mollusques endobiontes vivaient dans le sable sous une tranche d'eau de profondeur variable et ont parfois été retrouvés en position de vie, c'est-à-dire non disloqués. Quelques gastéropodes de la famille des Turritellidae ont également été découverts à la Combert. Il s'agit d'escargots de mer occupant des coquilles allongées et spiralées de forme conique.

Stratigraphie, paléogéographie et environnements de dépôt :

Les *Couches du Belpberg* constituent la formation supérieure, et donc la plus récente, de la molasse marine supérieure (OMM). Comprenant des bancs conglomératiques plus résistants que la molasse grèseuse sous-jacente (Fm de la Singine), elles constituent les reliefs les plus marqués de l'avant-pays fribourgeois : Gibloux, la Combert, la Feyla, et bon nombre de collines de la région singinoise. Epaisse d'environ 225m à la Combert (Emmenegger, 1961), ces couches témoignent de l'important cône deltaïque, dit du Gibloux, qui progradait vers le nord dans l'ancienne voie marine de l'OMM (Homewood et al., 1989). Apportés par d'importants fleuves en provenance de l'édifice alpin, les sédiments étaient ensuite remaniés et dispersés par les courants de marée ou par les vagues de houle ou de tempête (Weidmann, 2005). Emmenegger (1961) distingue quatre lithofaciès différents dans les *Couches du Belpberg* qu'il désigne encore sous l'ancienne dénomination d' « Helvétien ». Les affleurements fossilifères de la Combert sont constitués de grès fortement calcaires, spathiques à ciment plus ou moins marneux qui témoignent d'une phase de sédimentation plus calme et uniforme entre deux niveaux conglomératiques. La richesse en coquilles avait déjà valu le nom de «*Muschelsandsteinhorizont*», attribué par Rutsch (1928), à ce niveau qui a servi d'horizon-repère pour déterminer la chronostratigraphie de la partie supérieure de l'OMM (Schoepfer, 1989).

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Evaluation

LPNat, 12 septembre 2012

Art. 32 Principes

[1] *Lorsqu'ils revêtent un intérêt particulier sur les plans **esthétique**, **typologique**, **scientifique** ou **éducatif**, les paysages et géotopes caractéristiques doivent dans la mesure du possible être préservés des atteintes qui en altèrent le caractère.*

Evaluation de l'intérêt scientifique

Valeur scientifique	Description	Pond.	Score
Représentativité	Le site de la Combert constitue un excellent exemple d'un gisement fossilifère du Burdigalien. L'abondance en fossiles est remarquable.	2x	2
Intégrité	Les sites sont totalement intacts.	1x	3
Rareté	Les gisements de mollusques sont plutôt rares dans l'OMM. Seule la région de Montévraz - la Feyla a livré des fossiles équivalents en territoire fribourgeois. Les faciès coquilliers du NE du canton (carrière de la Molière, Murist, etc.) témoignent d'environnements de dépôt différents où les bivalves n'ont pas été retrouvés en position de vie.	1x	2
Valeur paléogéographique	Les couches marno-gréseuses fossilifères constituent un des rares témoins de la vie aquatique au sein de la voie marine burdigalienne.	1x	3
Valeur scientifique globale	Elevée		**12**/15

Appréciation des valeurs additionnelles

(écologique, esthétique, culturelle/historique)

Aucune

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Informations complémentaires

Inclusion dans des inventaires existants		
Inventaire	**Auteur**	**Code**
Liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale	Berger (1995)	19
Inventaire des sites fossilifères fribourgeois	Berger (1998)	ID 196 – 198 – 221 - 230

Relation spatiale avec d'autres géotopes	
Nom	Relation spatiale
-	-

Géotopes fribourgeois aux caractéristiques similaires			
Nom	**Inventaire**	**Code**	**Importance**
Ruisseau du Bierri	Berger (1995)	18	Locale
La Feyla, chemin forestier	Berger (1995)	20	Locale
Montévraz-Dessus, Schwand de la Riedera	Berger (1995)	21	Locale
Bürgerwald, Pont des Pilons	Berger (1995)	22	Locale

Inclusion dans des aires de protection

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Caractéristiques d'usage et de gestion

Vulnérabilité, protection et préservation du site

Atteintes existantes :	faibles	Aucune
Menaces potentielles ou avérées :	faibles	De par leur localisation, ces gisements sont peu menacés. Seules les fouilles sauvages avec des découvertes non soumises au MHNF peuvent être problématiques.
Statut de protection actuel :	inexistant	Le site en lui-même n'est protégé par aucun cadre légal. Seules les découvertes de fossiles sont réglementées par l'Art. 36 de la LPnat.

Mesures de protection proposées :	La localisation et la valeur du site ne devraient pas être diffusées au plus grand nombre afin de limiter les fouilles sauvages.

Valorisation du site

Valorisation existante : oui / **non** **Public cible :** spécialiste

Conditions de visites	moyennes
Facilité d'accès	Les flancs de la Combert sont accessibles en voiture depuis La Roche ou Treyvaux. Certains sites sont facilement accessibles à pied et affleurent en bordure de chemins forestiers. D'autres se trouvent en pente raide, parfois dans le lit de petits ruisseaux.
Sécurité	L'accès aux sites localisés hors des sentiers balisés n'est pas dangereux mais est rendu difficile par la forte pente et la dense végétation du sous-bois du flanc SE de la Combert.

Intérêt éducatif	faible
Lisibilité	Seul le contenu fossilifère des affleurements a une réelle valeur éducative.
Equipement d'interprétation	Aucun

Proposition de valorisation :	Aucune valorisation *in situ* n'est nécessaire. Des chasses aux fossiles encadrées par des spécialistes seraient envisageables dans ce secteur.

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Références bibliographiques

Berger, J.-P. (1992). *Paléontologie de la Molasse de Suisse occidentale*. – Thèse d'habilitation Fac. Sci. Univ. Fribourg (manuscrit inédit).

Berger, J.P. (1995). *Géotopes: propositions pour le canton de Fribourg*. Institut de Géologie et de Paléontologie de l'Université de Fribourg. Liste non publiée.

Buess, H. (1927). *Über die subalpine Molasse im Kanton Freiburg*. – Mém. Soc. fribourg. Sci. nat. 9, 1–105.

Demarcq, G. & **Schoepfer**, P. (1990). Les Pectinidés du Miocène de Suisse occidentale. – *Eclogae geol. Helv. 83/3*, 751–791.

Dillenius, E. (1911). *Neuere Untersuchungen im Tertiärgebiet am Nordrand der Freiburger Alpen*. – Inaug.-Diss. Univ. Freiburg. Armbruster, Bern.

Emmenegger, C. (1961). Géologie de la région sud de Fribourg. Molasse du Plateau et Molasse subalpine. – *Bull. Soc. fribourg. Sci. nat.*, 51, 5–166.

Gilliéron, V. (1885). *Description géologique des territoires de Vaud, Fribourg et Berne compris dans la feuille XII entre le lac de Neuchâtel et la crête du Niesen*. – Matér. Carte géol. Suisse 18.

Homewood, P., **Keller**, B., **Schoepfer**, P., **Yang**, C. S. (1989). *Faciès, processus de sédimentation et reconstitution des conditions paléomarines dans la Molasse marine supérieure suisse*. Bull. Soc. Géol. France (8), t. V, n°5, pp. 1015-1027

Rutsch, R.F. (1928). *Geologie des Belpberges. Ein Beitrag zur Kenntnis der Stratigraphie, Paläontologie und Tectonik der Molasse südlich von Bern*. Mitt. natf. Ges. Bern (1927), Diss. Univ. Bern.

Schoepfer, P. (1989). *Sédimentologie et stratigraphie de la Molasse marine supérieure entre le Gibloux et l'Aar*. – Thèse Fac. Sci. Univ. Fribourg. Impr. St Paul, Fribourg.

Studer, B. (1853). Geologie der Schweiz, 2. Bd.: Nördliche Nebenzone der Alpen. Jura und Hügelland Schulthess, Zürich.

Weidmann, M. (2005). Rossens, Feuille 1205, notice explicative. in Atlas Géologique de la Suisse 1:25'000: Office fédéral des eaux et de la géologie.

Yerly, B. (2012). *Sites fossilifères fribourgeois*. Rapport de Stage post-Master. MHNF. Fribourg

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Illustrations complémentaires (figures, plans, schémas, ...)

Fig. 1 : fossiles de bivalves extraits à la Combert et exposés au Musée d'histoire naturelle de Fribourg (MHNF).

Photographie du site

Fig. 2 : vue sur l'affleurement situé dans la partie Est du gisement de la Combert. (Yerly, 2012).

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

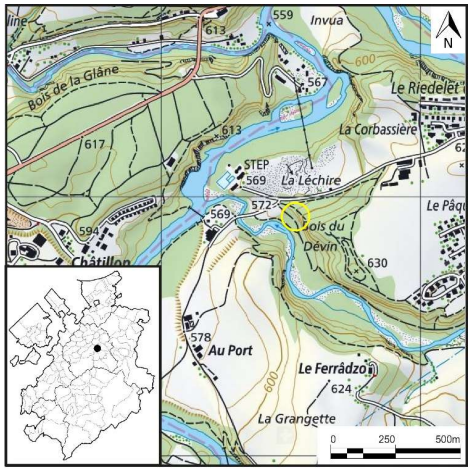
Département des Géosciences,
Institut de Géographie

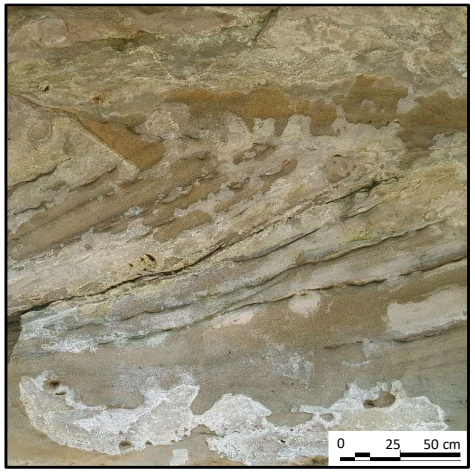
Séquences de marées du Bois du Devin

GIC n°17

Description synthétique :

L'affleurement de molasse marine supérieure (OMM) du Bois du Devin présente des séquences de marées exceptionnellement préservées. La finesse des structures sédimentaires a permis la reconstitution des cycles tidaux de l'ancienne voie marine burdigalienne (env. 20 Ma). Ces caractéristiques justifient la renommée internationale du site qui attire les sédimentologues de l'Europe entière.





Localisation :

Commune : Marly

Carte(s) nationale(s) : 1205 Rossens

CH1903+ : 2 576 520 / 1 180 930

Altitude ponctuelle : 572 m

Dimensions :

Type géométrique : linéaire

Hauteur : ~ 10 m

Longueur : ~ 50 m

Caractéristiques et intérêts principaux :

naturel ☒ / artificiel ☐ actif ☐ / **passif** ☒

Catégorie	géologique ☒	géomorphologique ☐	spéléologique ☐
Intérêt principal	sédimentologique		
Intérêt(s) secondaire(s)			

Mots clés : Molasse marine supérieure, OMM, Formation de la Singine, Burdigalien, séquences de marées

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Cadre géologique et temporel

Région concernée : bassin molassique

Unité(s) lithostratigraphique(s)	
Unité tectonique :	M *Molasse du Plateau*
Groupe lith. :	Molasse marine supérieure
Sous-groupe lith. :	OMM-I
Formation :	m_2 Fm de la Singine

Unité(s) géochronologique(s)	
Ere géologique	Cénozoïque (Tertiaire)
Période géologique :	Néogène
Epoque géologique :	Miocène
Age géologique :	Burdigalien

Intérêts scientifiques

(par ordre de pertinence)

Intérêt scientifique principal :

- **sédimentologique :** l'affleurement du Bois du Devin permet d'admirer des séquences de marées exceptionnellement préservées. La finesse des structures sédimentaires permet de reconstruire avec une rare précision les cycles tidaux qui affectaient l'ancienne voie marine burdigalienne.

Intérêts scientifiques secondaires :

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Description du géotope

Description générale :

Ce géotope consiste en un affleurement de molasse marine supérieure (OMM) d'environ 10m de hauteur pour un développement horizontal d'une cinquantaine de mètres. Orienté selon un axe NNO-SSE et localisé dans le Bois du Devin, sur la commune de Marly, l'affleurement (Fig. 4 et 5) est accessible depuis l'un des sentiers qui longent la zone alluviale de la Gérine, en rive droite. Il a fait l'objet d'une étude approfondie par Allen & Homewood (1984) qui ont publié les résultats de leurs recherches dans la revue internationale *Sedimentology*. Le géotope est également cité en exemple dans des articles plus généraux traitant des différents faciès de la molasse marine supérieure (Homewood, 1981 ; Homewood & Allen, 1981 ; Homewood et al., 1989). La présente fiche d'inventaire se base sur ces différents travaux ainsi que sur les données recueillies lors d'une excursion de sédimentologie encadrée par la Prof. A. Foubert (Université de Fribourg) en mai 2018.

Description scientifique :

Lithologie

D'un point de vue lithologique, la roche est un grès moyen à grossier constitué de grains subanguleux témoignant d'un transport plutôt court de la zone source jusqu'au bassin de sédimentation. La couleur verdâtre est liée à la présence de glauconie, minéral formé dans des conditions réductrices et qui témoigne d'un milieu de dépôt marin. Notons encore l'incorporation de restes de plantes carbonisées qui attestent de la position proximale du milieu de sédimentation par rapport au continent.

Un affleurement présentant trois faciès sédimentaires

Le profil d'érosion verticale de l'affleurement, constitué de deux surplombs bien marqués, met en évidence trois unités de faciès différents. La partie basse, d'une épaisseur variant de 1 à 2m environ, est caractérisée par une stratification oblique tabulaire alors que la partie supérieure, qui concerne les 4 à 5 derniers mètres, permet d'observer des structures en auges bien marquées (Allen & Homewood, 1984). Mais le site doit essentiellement sa renommée à la zone médiane de l'affleurement qui dévoile des séquences de marées remarquablement bien conservées (Fig. 1, 3 et 6).

Structure interne des barres de marées

Ce niveau intermédiaire est constitué de barres de marée (*tidal sandwave*) qui progradent horizontalement, du S vers le N, sur toute la longueur de l'affleurement. Cet horizon correspond à un **faciès à « *bundles* »** (Allen & Homewood, 1984) caractérisé par une stratification oblique plane en faisceaux (terme francophone traduisant *bundles*). Chacun de ces faisceaux est composé de deux strates sableuses et est délimité, à sa base et dans sa partie supérieure, par un joint discordant drapé de matériaux fins (silts, argiles). Chaque faisceau correspond ainsi à l'enregistrement sédimentaire des quatre phases d'un cycle de marées (marée haute, jusant, marée basse, flot), schématisé sur la Fig. 3 et détaillé ci-dessous.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

- A **marée haute**, le fond sableux est recouvert d'une tranche d'eau assez importante. Il s'agit d'une situation calme d'un point de vue hydrodynamique ce qui favorise le dépôt de matériaux fins (silts, argiles) qui viennent draper les rides formées antérieurement (« *high water drap* »).

- La phase de **jusant** correspond à la période de courant dominant et du maximum d'accumulation. Lors de cette période de reflux, d'importants volumes d'eau sont canalisés par les chenaux tidaux. D'après Allen & Homewood (1984), la charge sédimentaire pouvait ainsi être cinq fois plus importante que lors du flot. Le fort courant unidirectionnel conduit à la migration des dunes de sable par formation successive de lamines de *foreset* (Fig. 2). Cette phase est appellée « *sandwave reactivation stage and full vortex stage of the dominant flow* » par ces auteurs.

- A **marée basse**, le fond marin se retrouve à l'air libre et aucun dépôt sédimentaire ne témoigne de cette période émergée.

- Enfin, lors du **flot**, un courant subordonné et de sens opposé à celui du jusant remanie les surfaces pour former des rides à laminations inverses (« *rippled flood apron* »). Ces petites rides seront ensuite drapées par un liseré de sédiments fins, recommençant ainsi un nouveau cycle.

Cyclicité et périodicité des séquences de marées

Allen et Homewood (1984) ont compté pas moins de 140 *bundles* adjacents correspondant à autant de cycles de marées étalés sur une période de deux mois et demi. Les auteurs ont mis en évidence une variation cyclique de l'épaisseur de ces faisceaux (Fig. 1). Ces cycles respectent une périodicité de 27 jours témoignant d'un régime de marée semi-diurne. Lors de marées de vives eaux (*springs*), l'alignement de la lune et du soleil induisent des marnages importants qui mobilisent beaucoup de sédiments. Les faisceaux peuvent alors atteindre une trentaine de centimètres d'épaisseur. A contrario, la sédimentation est jusqu'à dix fois plus faible lors des marées de mortes eaux (*neaps*) et les *bundles* s'en trouvent fortement amincis.

Reconstitution du milieu sédimentaire

L'analyse sédimentologique de l'affleurement du Bois du Devin prouve ainsi la forte influence des paramètres astronomiques sur les paléocourants de la voie marine qui occupait le plateau suisse au Burdigalien. A ce propos, Homewood *et al.* (1985) ont estimé un marnage entre 2.5 et 4.5 m dans cette mer d'avant-pays. Le milieu de dépôt où s'est formée la molasse du Bois du Devin se situait en zone côtière (*coastal*) et intertidale, avec une morphologie de côte resserrée autorisant des courants de marées relativement rapides. Dans ces environnements se développaient des chenaux de marées serpentant entre des bancs sableux dont la partie supérieure pouvait atteindre la zone de marnage. Ce genre de milieu est assez proche des estuaires actuels des côtes néerlandaises ou de la baie du Mont Saint-Michel.

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Evaluation

LPNat, 12 septembre 2012

Art. 32 Principes

[1] *Lorsqu'ils revêtent un intérêt particulier sur les plans **esthétique**, **typologique**, **scientifique** ou **éducatif**, les paysages et géotopes caractéristiques doivent dans la mesure du possible être préservés des atteintes qui en altèrent le caractère.*

Evaluation de l'intérêt scientifique

Valeur scientifique	Description	Pond.	Score
Représentativité	L'affleurement du Bois du Devin constitue un exemple type de faciès à *bundles*. La finesse et la visibilité des structures sédimentaires tout comme le nombre de cycles successifs enregistrés sont remarquables.	2x	3
Intégrité	L'affleurement est parfaitement intègre et préservé de toute atteinte anthropique majeure. Contrairement à d'autres affleurements de molasse, particulièrement ceux situés directement en bordure de chemin, les inscriptions gravées y sont peu fréquentes. L'effondrement naturel de gros blocs n'est pas problématique puisqu'elle permet un certain rafraichissement des surfaces exposées.	1x	3
Rareté	Dans le canton, des enregistrements sédimentaires de cycles tidaux ont également été étudiés à proximité du barrage de Rossens. L'exceptionnelle lisibilité du phénomène au Bois du Devin en fait un site réputé internationalement dans les domaines scientifiques spécialisés.	1x	3
Valeur paléogéographique	Ce géotope constitue le témoin de deux mois et demi de sédimentation dans la mer burdigalienne, il y a environ 20 millions d'années. Il permet de reconstruire avec précision les conditions sédimentaires de ce milieu soumis à des cycles de marées semi-diurne.	1x	3
Valeur scientifique globale	Très élevée		15/15

Appréciation des valeurs additionnelles
(écologique, esthétique, culturelle/historique)

Aucune

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Informations complémentaires

Inclusion dans des inventaires existants

Inventaire	Auteur	Code
Inventaire des géotopes suisses	ASSN (2012)	CH_123
Liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale	Berger (1995)	26

Relation spatiale avec d'autres géotopes

Nom	Relation spatiale
-	-

Géotopes fribourgeois aux caractéristiques similaires ou proches

Nom	Inventaire	Code	Importance
Grottes de la Madeleine	GIC	n°18	cantonale
Gorges de la Sarine y. c. Falaise de la Sarine	GIC Berger (1995)	n°80 n°27	cantonale locale

Inclusion dans des aires de protection

Inventaire fédéral des zones alluviales d'importance nationale
objet n°60, « Bois du Devin »

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Caractéristiques d'usage et de gestion

Vulnérabilité, protection et préservation du site

Atteintes existantes :	**faibles**	Le site est très bien préservé. Seules quelques rares inscriptions gravées dans la molasse y ont été repérées.
Menaces potentielles ou avérées :	**faibles**	De par ses caractéristiques et son emplacement, le site est peu menacé.
Statut de protection actuel :	**inexistant**	Le site n'est protégé par aucun cadre légal.

Mesures de protection proposées :	Aucune mesure n'est nécessaire actuellement.

Valorisation du site

Valorisation existante : oui / **non** **Public cible :**

Conditions de visites	**bonnes**
Facilité d'accès	Le site est visible depuis un sentier pédestre. Pour accéder au pied de l'affleurement, il est nécessaire de se frayer un chemin dans la végétation sur une quinzaine de mètres.
Sécurité	Chutes de blocs possibles au pied de l'affleurement.

Intérêt éducatif	**moyen**
Lisibilité	Les structures sédimentaires sont remarquablement bien exprimées. Cependant, des connaissances préalables sont nécessaires pour apprécier pleinement la valeur du géotope.
Equipement d'interprétation	Aucun

Proposition de valorisation :	Un panneau explicatif faisant le lien entre les structures sédimentaires préservées dans l'OMM et les environnements côtiers actuels permettrait de sensibiliser le public au caractère marin de la molasse. Ce panneau pourrait être intégré au *Sentier* de l'eau, sentier didactique mis en place par le Service des forêts du 1er arrondissement du canton et qui passe à proximité de l'affleurement.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Références bibliographiques

Allen, P. A. & **Homewood**, P. (1984). Evolution and mechanics of a Miocene tidal sandwave. *Sedimentology*, vol. 31, issue 1, p. 63-81

Homewood, P. (1981). Facies et environnements de dépôt de la Molasse de Fribourg. *Eclogae geol. Helv.*, 74(1), p. 29-36.

Homewood, P. & **Allen**, P .A. (1981). Wave-, tide- and current-controlled sandbodies of Miocene Molasse, western Switzerland. *Bull. amer. Assoc. Petroleum Geol.* 65, 2534-2545.

Homewood, P., **Keller**, B., **Schoepfer**, P., **Yang**, C. S. (1989). Faciès, processus de sédimentation et reconstitution des conditions paléomarines dans la Molasse marine supérieure suisse. *Bull. Soc. Géol. France* (8), t. V, n°5, pp. 1015-1027

Illustrations complémentaires (figures, plans, schémas, ...)

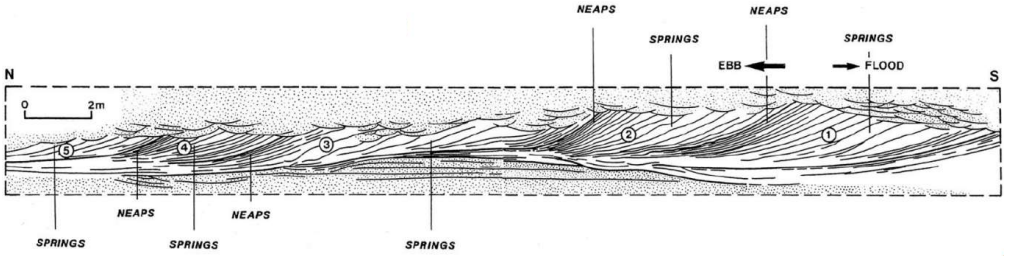


Fig. 1 : variation cyclique de l'épaisseur des bundles montrant une périodicité de 27 jours. Cette succession témoigne d'un régime de marée semi-diurne alternant périodes de vives eaux (springs) et de mortes eaux (neaps) qui influent sur l'épaisseur des faisceaux. Allen & Homewood, (1984).

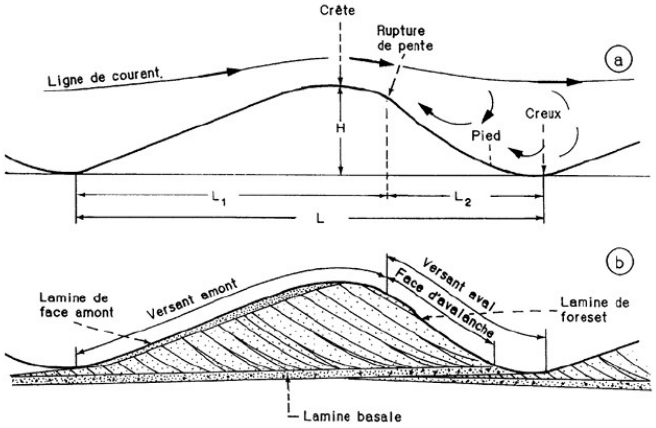


Fig. 2 : migration d'une dune de sable par formation successive de lamines de foreset sous l'effet d'un courant unidirectionnelle (phase de jusant p.ex.). Cojan & Renard (2013).

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

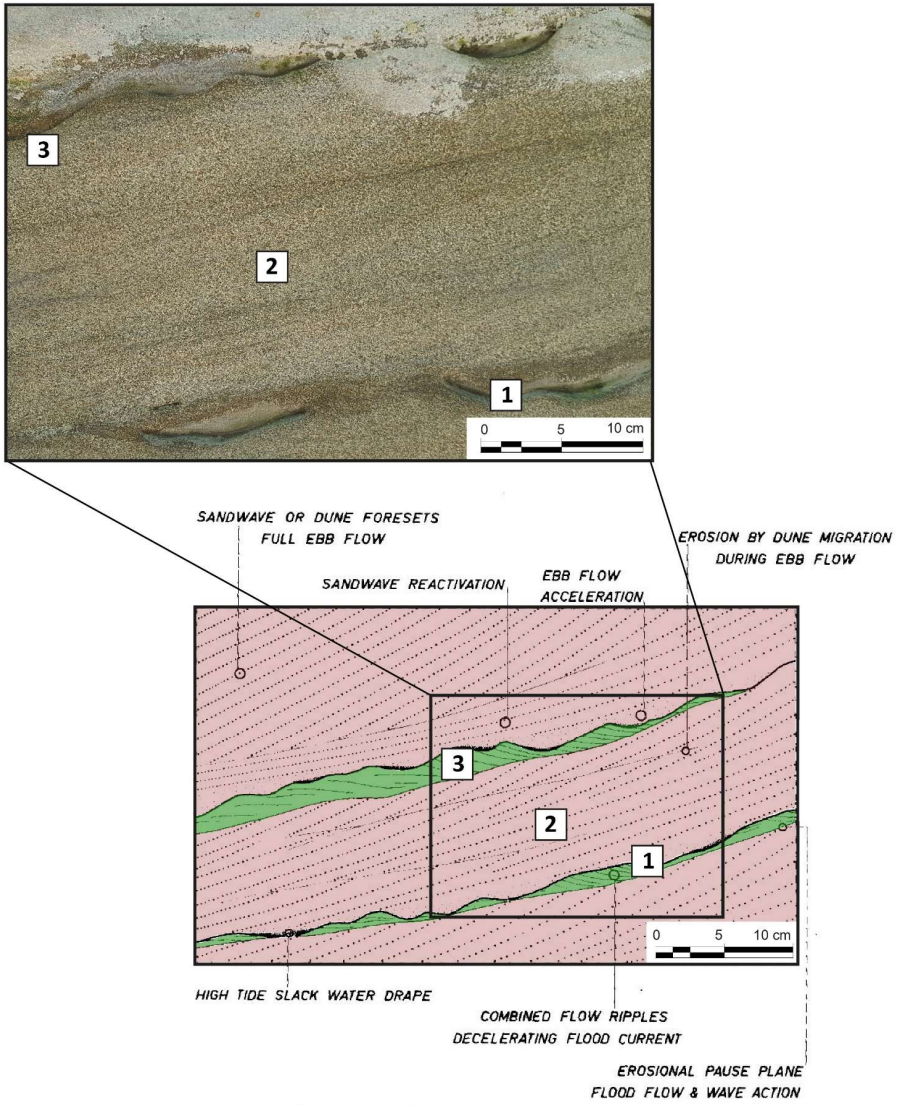


Fig. 3 : schéma typique d'un bundle de vive-eau mis en lien avec le faciès observable au Bois du Devin. Le n°1 correspond à une phase de marée haute avec dépôts silteux. Le n°2 représente la période de jusant où l'accumulation sédimentaire est la plus forte. A marée basse, il n'y a aucun dépôt. La zone n°3 représente les laminations inverses liées au courant de flot.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Photographies du site

Fig. 4 : vue générale de l'affleurement du Bois du Devin.

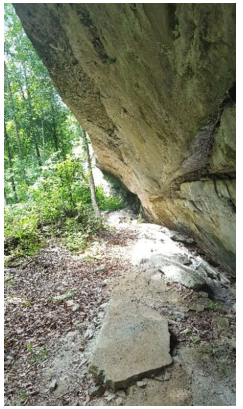


Fig. 5 : profil d'érosion verticale de l'affleurement.

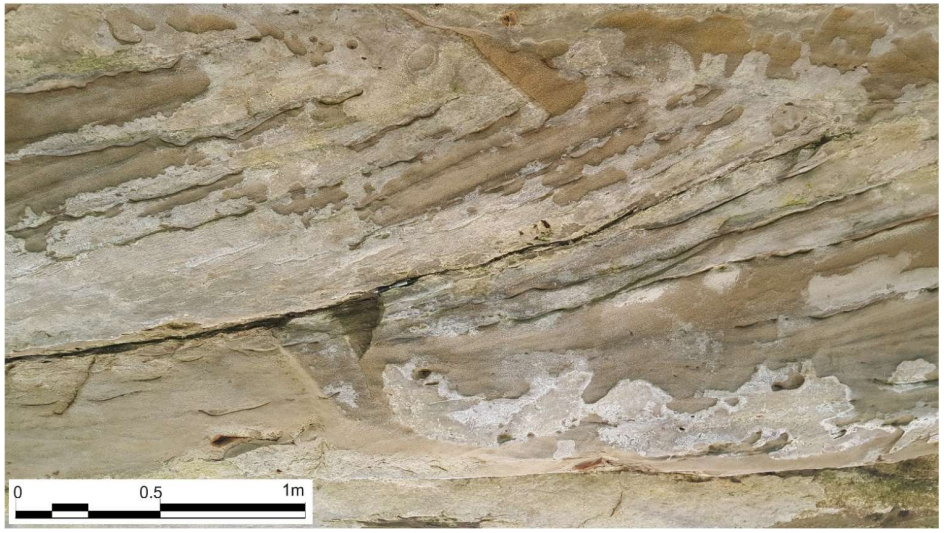


Fig. 6 : séquences de bundles caractéristiques d'un dépôt tidal (voir Fig. 1).

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

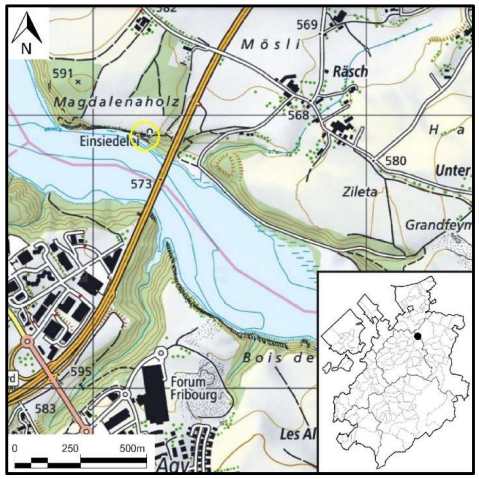
Ermitage de la Madeleine

Paléoplage et structures sédimentaires de l'OMM

GIC n°18

Description synthétique :

Le site de la Madeleine consiste en plusieurs grottes taillées à même la molasse (OMM) et autrefois utilisées comme ermitage. Cet habitat troglodyte dévoile de belles structures sédimentaires ainsi que des dunes de grès pétrifiées. Foulée par les visiteurs du lieu, cette paléoplage d'environ 20 millions d'années témoigne de l'origine marine des roches qui constituent le soubassement rocheux d'une bonne partie du plateau fribourgeois.



Localisation :

Commune / Lieu-dit : Düdingen

Carte(s) nationale(s) : 1185 Fribourg

CH1903+ : 2 578 200 / 1 186 925

Altitude ponctuelle : 560 m

Dimensions :

Type géométrique : surfacique

Remarques : les grottes de la Madeleine sont constituées d'une trentaine de salles creusées à même la molasse et reliées par une centaine de mètres de galeries.

Caractéristiques et intérêts principaux :

naturel ☐ / **artificiel** ☒ actif ☐ / **passif** ☒

Catégorie	géologique ☒	géomorphologique ☐	spéléologique ☐
Intérêt principal	sédimentologique		
Intérêt(s) secondaire(s)	géohistorique		

Mots clés : Molasse marine supérieure, OMM, Formation de la Singine, Burdigalien, paléoplage, grottes, ermitage

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Cadre géologique et temporelle

Région concernée : bassin molassique

Unité(s) lithostratigraphique(s)	
Unité tectoniques :	M *Molasse du Plateau*
Groupe lith. :	Molasse marine supérieure
Sous-groupe lith. :	OMM-I
Formation :	m_2 Fm de la Singine

Unité(s) géochronologique(s)	
Ère géologique	Cénozoïque (Tertiaire)
Période géologique :	Néogène
Epoque géologique :	Miocène
Age géologique :	Burdigalien

Intérêts scientifiques

(par ordre de pertinence)

Intérêt scientifique principal :

- **sédimentologique :** le creusement de salles dédiées à la vie en communauté et à la pratique religieuse laisse apparaitre de très beaux affleurements de molasse marine supérieure (OMM). Des structures sédimentaires, typiques d'un environnement marin peu profond, sont ainsi particulièrement bien observables, et ce en trois dimensions. Au sol, l'érosion naturelle et le passage répété des visiteurs révèlent des dunes de sables fossiles formant une véritable « paléoplage ». Ce phénomène plutôt rare constitue un exemple d'un grand intérêt pédagogique et qui témoignent des conditions de sédimentation dans l'ancienne voie marine burdigalienne.

Intérêt scientifique secondaire :

- **géohistorique :** le site de la Madeleine est un ermitage religieux creusé à même la roche. Si certaines mentions dans des chroniques permettent d'envisager une occupation du lieu dès la fin du moyen Âge, la configuration actuelle du site doit beaucoup aux travaux réalisés par les moines Jean-Baptiste Duprez et Joannes Liecht entre 1680 et 1708. Au moins sept ermitages rupestres creusés dans la molasse sont répertoriés entre les lacs de Pérolles et de Schiffenen. L'Ermittage de la Madeleine constitue l'exemple le plus étendu et le mieux préservé de ces sites religieux particuliers (Bender, 2018).

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Description du géotope

Texte descriptif repris de la fiche d'inventaire n°54 de l'*Inventaire des géotopes suisses* (ASSN, 2012).

Description générale :

Les affleurements sont visibles dans une série de grottes creusées dans la molasse, autrefois utilisées comme ermitage.

Description scientifique :

Creusées dans les grès de la Molasse marine supérieure (OMM) d'âge burdigalien (20 millions d'années), ces grottes présentent un extraordinaire éventail de structures sédimentaires particulièrement intéressantes : la comparaison de ces structures, visibles en trois dimensions dans les grottes, avec celles formées actuellement par des dunes de sable sur les côtes bretonnes ou bordelaises prouve d'existence d'une mer dans la région du Fribourg il y a environ 20 millions d'années (le paysage actuel du Mont Saint Michel est un bon exemple des conditions existant à Fribourg à l'époque). On ne trouve que très peu de fossiles dans ces grès, mais la présence occasionnelle, dans d'anciennes carrières proches, de dents de requins et de fragments de bivalves (huîtres, praires, coques...) confirme clairement l'origine marine de ces sédiments. D'autres témoins géologiques situés dans diverses régions d'Europe montrent que cette mer, appelée « Paratéthys » formait un vaste croissant relié à la Méditerranée à ses deux extrémités. Il se situait le long des Alpes et des Carpathes (Marseille-Lyon-Genève-Zurich-Munich-Vienne-Bucarest). La mer s'est ensuite retirée, ne laissant en relique que la Mer Noire et la Mer Caspienne. L'intérêt du site de la Madeleine est la préservation des structures en trois dimensions; plus particulièrement, la dernière salle montre un sol formé par des dunes de grès : une paléoplage.

Autres caractéristiques :

Creusées au XVIIe siècle, les grottes de l'ermitage ont connu une certaine notoriété durant l'époque romantique lorsque les voyageurs de passage à Fribourg étaient friands d'impressions fortes que les falaises de la Sarine pouvaient leur procurer. Certains occupants de l'ermitage ont aussi, paradoxalement, connu un rayonnement régional le temps de leur séjour. Entre le moyen Âge et le XVIIIe siècle, la ville de Fribourg a compté 4 ou 5 ermitages. Celui de la Madeleine est le dernier à avoir été occupé. Ce site faisait partie de la couronne de sept chapelles entourant la ville. Des ermites, qui fonctionnaient comme pasteurs sur la Sarine, sont attestés depuis 1448. Au cours de la seconde moitié du XVIIème siècle, une chapelle fait son apparition dans les documents. Deux ermites, Jean-Baptiste de Prato de Gumefens et Jean Liecht de Friedberg (Souabe), agrandissent le chapelle et les grottes déjà existantes, creusant la Molasse très friable pour constituer un ensemble vaste et très divers de grottes dans la falaise, avec chapelle à trois autels, sacristie, clocher, antichambre, petite salle, bûcher, chambre chauffée, cuisine, grande salle, cellule, cave, écurie, etc. Un replat est aménagé en jardin, équipement indispensable de l'ermitage pour l'alimentation des ermites et la décoration florale de la chapelle. La réussite est totale puisque ce lieu attire aujourd'hui encore de nombreux visiteurs.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Evaluation

LPNat, 12 septembre 2012

Art. 32 Principes

[1] *Lorsqu'ils revêtent un intérêt particulier sur les plans **esthétique**, **typologique**, **scientifique** ou **éducatif**, les paysages et géotopes caractéristiques doivent dans la mesure du possible être préservés des atteintes qui en altèrent le caractère.*

Evaluation de l'intérêt scientifique

Valeur scientifique	Description	Pond.	Score
Représentativité	Le site est particulièrement exemplaire puisqu'il présente des structures sédimentaires variées qu'il est possible d'observer sous des angles différents. La présence d'une « paléoplage » est exceptionnelle et présente un intérêt didactique indéniable.	2x	3
Intégrité	Les différentes structures tout comme les paléoplages sont bien visibles et la fréquentation du site ne semble pas les altérer de manière significative.	1x	2
Rareté	De tels sites sont plutôt rares dans le plateau molassique suisse. Il s'agit d'un excellent témoin du caractère marin de l'OMM. La possibilité de fouler une paléoplage est tout à fait exceptionnelle.	1x	3
Valeur paléogéographique	L'Ermitage de la Madeleine comporte des éléments clés pour la compréhension de l'environnement de dépôts constitué par l'ancienne voie marine qui a occupé le bassin molassique au cours du Burdigalien.	1x	3
Valeur scientifique globale	Très élevée		**14**/15

Appréciation des valeurs additionnelles

(écologique, esthétique, culturelle/historique)

Valeur historique et religieuse : habitat troglodyte certainement occupé dès la fin du moyen Âge et agrandi entre 1680 et 1708 par des ermites qui y ont aménagés des lieux de vie ainsi que des salles dédiées à la pratique religieuse. La première mention d'un ermitage à Räsch date de 1448 sans que l'on puisse affirmer qu'il s'agisse du site de la Madeleine (Bender, 2018). Dans tous les cas, la situation particulière de ces grottes a contribué l'attractivité du site à l'époque romantique et constitue aujourd'hui un centre d'intérêt touristique régional.

Valeur esthétique : le site de l'Ermitage de la Madeleine est assez singulier et présente des caractéristiques remarquables sur le plan esthétique. Le cadre extérieur est particulièrement verdoyant et arboré avec plusieurs belvédères proposant des vues plongeantes sur le Lac de Schiffenen. Les nombreuses salles troglodytes sont surprenantes avec une roche apparente qui présente des structures sédimentaires bien marquées et quelques sculptures relatant des scènes bibliques ou hagiographiques (Fig. 3).

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Informations complémentaires

Inclusion dans des inventaires existants		
Inventaire	**Auteur**	**Code**
Inventaire des géotopes suisses	ASSN (2012)	n°124
Liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale	Berger (1995)	n°39

Relation spatiale avec d'autres géotopes	
Relation spatiale	**Nom**
Englobé dans :	GIC n° 80 - Gorges de la Sarine

Géotopes fribourgeois aux caractéristiques similaires			
Nom	**Inventaire**	**Code**	**Importance**
Séquences de marées du Bois du Devin	GIC	n°17	cantonale
Molasse et dépôts quaternaires des Sentiers Ritter et Schoch	GIC	n°19	cantonale

Inclusion dans des aires de protection
aucune

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Caractéristiques d'usage et de gestion

Vulnérabilité, protection et préservation du site

Atteintes existantes :	**faible**	Jusqu'à aujourd'hui, la fréquentation du lieu n'a pas de conséquence notable sur les structures sédimentaires visibles sur les murs ainsi que sur la paléoplage conservée au sol.
Menaces potentielles ou avérées :	**moyenne**	Le passage répété des visiteurs et une augmentation de la fréquentation du lieu pourraient entrainer l'aplanissement des structures de paléoplage.
Statut de protection actuel :	**inexistant**	aucun

Mesures de protection proposées :	Dans la « grande salle », qui présente les plus belles structures de paléoplage, le flux de visiteurs devrait être canalisé afin de de limiter le piétinement à un secteur bien délimité.

Valorisation du site

Valorisation existante : oui / non **Public cible :** grand public

Conditions de visites	**Excellente**
Facilité d'accès	Le site est facilement accessible et nécessite quelques minutes de marches depuis le parking du stand de tir de Räsch.
Sécurité	Aucun problème de sécurité pour les visiteurs.

Intérêt éducatif	**élevé**
lisibilité	Les structures sont particulièrement visibles aussi bien sur les murs que sur le sol des différentes salles qui constituent cet ancien habitat troglodyte.
Equipement d'interprétation	Un prospectus est disponible sur place. L'intérêt géologique du site est mentionné en ces termes : « *l'ermitage abrite un phénomène géologique que l'on a reconnu que récemment. Les vagues du sol en molasse prouvent l'existence de dunes de sable fossiles qui se sont formées dans une mer du tertiaire (miocène). Après l'excavation effectuée dès 1680 pour aménager l'ermitage, l'érosion naturelle a fait réapparaître les structures d'origine du sable. Le visiteur marche ainsi sur des dunes de sable qui prouvent l'existence d'une mer à Fribourg il y a de cela environ 20 millions d'années* ».

Proposition de valorisation :	Panneau explicatif spécifiquement orienté sur l'intérêt sédimentologique du site ou organisations de visites géologiques.

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Références bibliographiques

ASSN (Académie suisse des sciences naturelles). (2012). *Inventaire des géotopes suisses*. Disponible sur le géoportail de la Confédération : map.geo.admin.ch.

Bender, L. (2018). Ermitages religieux des environs de la ville de Fribourg (15e–19e siècles) : un patrimoine à redécouvrir. In : AS – Archéologie Suisse, SAM – Groupe de travail suisse pour l'archéologie du Moyen Age et de l'époque moderne, SBV – Association suisse Châteaux forts (eds). *La Suisse de 1350 à 1850 à travers les sources archéologiques*. Actes du Colloque. Bern, 25-26.1.2018.

Berger, J.P. (1995). *Géotopes: propositions pour le canton de Fribourg*. Institut de Géologie et de Paléontologie de l'Université de Fribourg.

Homewood, P., **Allen**, P., **Weidmann**, M., **Fasel**, J.-M. & **Lateltin**, O. (1985). The Swiss Molasse Basin. In: Allen, P., Homewood, P. & Williams, W. (Ed.): Foreland Basins: Excursion guidebook (p. 5-39). - *Int. Symp. on Foreland Basins*, Fribourg, 2.-4.9.1985.

Illustrations complémentaires (figures, plans, schémas, ...)

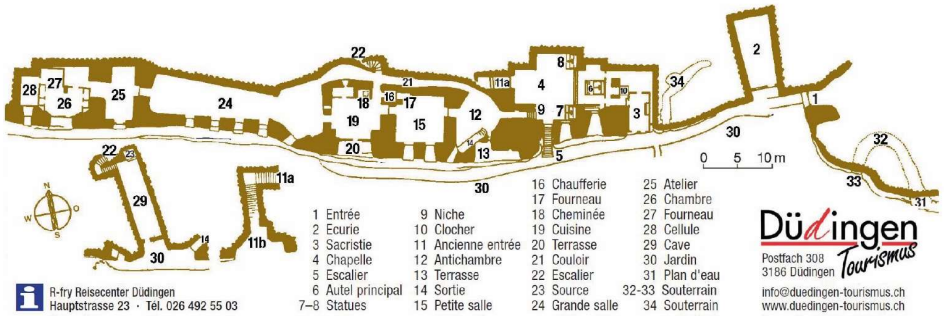


Fig. 1 : Plan général de l'Ermitage de la Madeleine (@Düdingen Tourismus).

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Photographies du site

Fig. 2 : vue extérieure de l'Ermitage de la Madeleine.

Fig. 3 : structures de dunes sableuses (paléoplage) préservées dans la « grande salle » de l'Ermitage de la Madeleine. La fracturation de la roche est également bien visible.

Fig. 4 : chapelle creusée dans le substrat molassique qui révèle des structures en auges bien marquées.

Fig. 5 : « grande salle » de l'Ermitage de la Madeleine avec son sol ondulé (paléoplage) et ses structures sédimentaires bien préservées visibles en trois dimensions.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

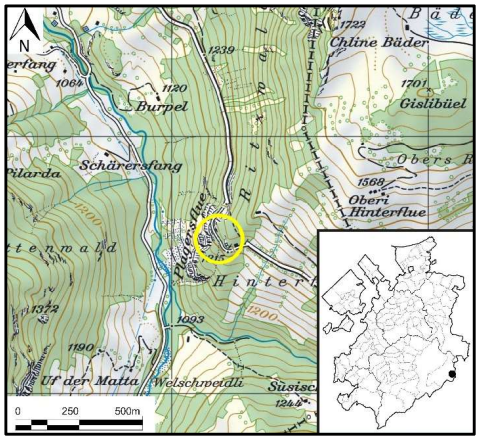
Lacune stratigraphique de la Plagersflue

(Préalpes médianes rigides)

GIC n°23

Description synthétique :

Ce géotope consiste en un affleurement où le contact entre le groupe lithostratigraphique des Couches Rouges et la Formation de la Dorrfflüe est particulièrement visible. Il met en évidence une importante lacune stratigraphique (environ 50 Ma) liée à l'absence des *Formation des Sciernes d'Albeuve* et de l'essentiel de la *Formation de l'Intyamon*. Cette lacune est typique des Préalpes médianes rigides et en détermine le caractère cassant.



Localisation :

Commune / Lieu-dit : Jaun

Carte(s) nationale(s) : 1226 Boltigen

CH1903+ : 2 590 180 / 1 160 610

Altitude ponctuelle : 1315m

Dimensions :

Type géométrique : ponctuel

Hauteur : 2-3 m

Longueur : ~ 5m

Caractéristiques et intérêts principaux :

naturel ☒ / artificiel ☐ **actif** ☒ / passif ☐

Catégorie	géologique ☒	géomorphologique ☐	spéléologique ☐
Intérêt principal	stratigraphique		
Intérêt(s) secondaire(s)	sédimentologique paléontologique		

Mots clés : Affleurement, Préalpes médianes rigides, Formation de la Dorfflüe, Groupe des Couches Rouges, Rote-Platte-Formation, Calcarénite de Plagersflue.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Cadre géologique et temporel

Région concernée : Préalpes

Unité(s) lithostratigraphique(s)		Unité(s) géochronologique(s)	
Unité tectoniques :	Kl *Préalpes médianes rigides*	**Période géologique :**	**Crétacé**
Séquence stratigraphique :	Groupe des Couches Rouges Rote-Platte-Formation Plagersflue-Kalkarenit *Lacune stratigraphique* Formation de la Dorfflüe	**Epoque géologique :**	**Crétacé supérieur** *Lacune temporelle* **Crétacé inférieur**
		Age géologique :	**Turonien moyen** *Lacune temporelle* **Berriasien précoce**

Autre référence temporelle (paléoclimatologie) : aucune

Intérêts scientifiques

(par ordre de pertinence)

Intérêt scientifique principal :

- **Stratigraphique :** contact entre les *Couches Rouges* (Turonien moyen) et la *Formation de la Dorfflüe* (Berriasien précoce) exprimant une lacune sédimentaire d'environ 55 millions d'années typique des Préalpes médianes rigides.

Intérêts scientifiques secondaires :

- **Sédimentologique :** les calcaires massifs de la *Formation de la Dorfflüe* se sont déposés dans un environnement de plate-forme avec un faciès lagunaire pour les niveaux les plus récents. La lacune du Crétacé précoce correspond à une période de non dépôt ou d'érosion. La sédimentation reprend au Turonien moyen avec la Calcarénite de la Plagersflue qui résulte de l'accumulation de sables ou d'argiles (calcasiltite) calcaires dans un bassin peu profond.

- **Paléontologique :** la *Calcarénite de la Plagerflue* comprend une association de foraminifères planctoniques qui a permis de dater ce niveau du Turonien moyen (Guillaume, 1986).

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Description du géotope

Description générale :

Le lieu-dit *Plagersflue* désigne la haute paroi rocheuse qui domine la vallée d'Abländschen et la Jogne (encore nommée Jäunli dans sa partie amont) de plus de 200 m. Le géotope considéré consiste en un affleurement rocheux (2'590'180/1'160'610) situé en bordure de la route menant du village au col du Jaun. Depuis la construction d'un tunnel au début des années 90, cette portion de route est fermée au trafic ce qui permet un accès facilité et sécurisé au site. L'observateur attentif y verra un banc de roche de teinte rougeâtre reposant, avec un pendage d'environ 50°, sur un banc calcaire de couleur grise.

Description scientifique :

Cet affleurement est tout à fait remarquable car il révèle, de manière particulièrement nette (Fig. 1 et 2), la transition entre le groupe lithostratigraphique des Couches Rouges (Turonien moyen) et les calcaires massifs plus anciens de la *Formation de la Dorfflüe* (Berriasien précoce). Ce contact se fait par l'intermédiaire de la *Calcarénite de la Plagersflue* qui appartient à la *Formation de Rotte-Plate* et dont le géotope qui nous intéresse constitue la coupe-type (Guillaume, 1986). A noter que ce mince niveau (environ 30 cm) de calcarénite est plutôt rattaché au sommet de la *Formation de l'Intyamon* par Python-Dupasquier (1990). Dans tous les cas, il y a donc une très importante **lacune stratigraphique** entre les limites, inférieure et supérieure, de ces deux bancs. En effet, la *Formation des Sciernes d'Albeuve* et l'essentiel de la *Formation de l'Intyamon* sont absents et il n'y a ainsi aucun enregistrement sédimentaire du Crétacé précoce (Fig. et 4). Cette lacune sédimentaire et temporelle recouvre une période d'environ 55 millions d'années et est caractéristique des Préalpes médianes rigides. Elle détermine le style tectonique cassant de cette nappe par rapport au Préalpes médianes plastiques dont la série stratigraphique, plus complète et comprenant des roches incompétentes, rend possible les structures plissées (Braillard, 2015). La série stratigraphique visible au Plagersflue est ainsi constitutive de l'écaille monoclinale des Gastlosen qui comprend, en terre fribourgeoise, les Sattelspitzen et les Gastlosen elles-même avant de se prolonger, côté bernois, par le chaînon Bäderhore – Mittagflue – Schafflüe – Festi. Cette écaille est traversée par la Jogne sous la Plagersflue à la faveur d'une « zone décro-chevauchante » qui se prolonge, au sud, vers le hameau d'Abländschen. Cet accident tectonique majeur couplé à l'action érosive de la Jogne explique donc la présence de roches affleurantes au niveau de la Plagersflue. La construction de la route menant au Jaunpass au 19ème siècle a ensuite mis à jour le géotope considéré ici.

Autres caractéristiques :

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Evaluation

LPNat, 12 septembre 2012

Art. 32 Principes

[1] *Lorsqu'ils revêtent un intérêt particulier sur les plans **esthétique**, **typologique**, **scientifique** ou **éducatif**, les paysages et géotopes caractéristiques doivent dans la mesure du possible être préservés des atteintes qui en altèrent le caractère.*

Evaluation de l'intérêt scientifique

Valeur scientifique	Description	Pond.	Score
Représentativité	Le contact entre les deux bancs est particulièrement lisible grâce à la différence de tons entre les deux roches. Il s'agit du meilleur exemple de cette lacune stratigraphique et temporelle caractéristique des Préalpes médianes rigides.	2x	3
Intégrité	L'affleurement est parfaitement visible et non altéré par la végétation ou par de quelconques détériorations humaines.	1x	3
Rareté	L'affleurement du contact *Couches Rouges – Fm de la Dorrflüe*, typique des Préalpes médianes rigides, est unique en territoire fribourgeois.	1x	3
Valeur paléogéographique	La valeur paléogéographique de l'affleurement est remarquable avec la mise à jour de deux bancs exprimant des environnements sédimentaires différents et séparés par une importante lacune stratigraphique.	1x	3
Valeur scientifique globale	**Très importante**		**15/15**

Appréciation des valeurs additionnelles
(écologique, esthétique, culturelle/historique)

aucune

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Informations complémentaires

Inclusion dans des inventaires existants

Inventaire	Auteur	Code
Liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale	Berger (1995)	n°14

Relation spatiale avec d'autres géotopes

aucune

Géotopes fribourgeois aux caractéristiques similaires

Nom	Inventaire	Code	Importance
Gastlosen	Géotopes suisses	CH054	national

***Commentaire** : la transition entre les Couches Rouges et la formation de la Dorrflüe, particulièrement bien exprimée à la Plagersflue, se retrouve sur le versant bernois des Gastlosen où elle n'est que peu identifiable.*

Inclusion dans des aires de protection

aucune

Caractéristiques d'usage et de gestion

Vulnérabilité, protection et préservation du site

Atteintes existantes :	**faibles**	Le site est intact.
Menaces potentielles ou avérées :	**moyennes**	Le géotope n'est que peu menacé. Seule l'installation d'un pylône soutenant des lignes à haute tension à cet endroit précis pourrait faire disparaitre l'affleurement.
Statut de protection actuel :	**inexistant**	Aucun

Mesures de gestion proposées :	Veiller à la visibilité de l'affleurement en limitant la croissance de végétation, mousse et lichen.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Valorisation du site

Valorisation existante : oui / **non** **Public cible :** initié, spécialiste

Conditions de visites	bonnes
Facilité d'accès	Le site est facilement accessible en voiture.
Sécurité	La route étant aujourd'hui fermée à la circulation, il n'y a aucun problème de sécurité.

Intérêt éducatif	moyen
lisibilité	Le contact entre les deux bancs est particulièrement lisible grâce à la différence de ton des roches. L'appréciation de l'intérêt scientifique de ce géotope nécessite cependant de bonnes connaissances de géologie régionale.
Equipement d'interprétation	aucun

Proposition de valorisation :	Aucune valorisation nécessaire.

Références bibliographiques

Braillard, L. (2015). Blatt 1226 Boltigen. – Geol. Atlas Schweiz 1: 25 000, Erläut. *143*.

Guillaume, M. (1986). *Révision stratigraphique des Couches rouges de la nappe des Préalpes médianes romandes*. Thèse Univ. Fribourg.

Python-Dupasquier, C. (1990). *La Formation de l'Intyamon ("Crétacé moyen") des Préalpes médianes romandes*. Thèse Univ. Fribourg.

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Illustrations complémentaires (figures, plans, schémas, ...)

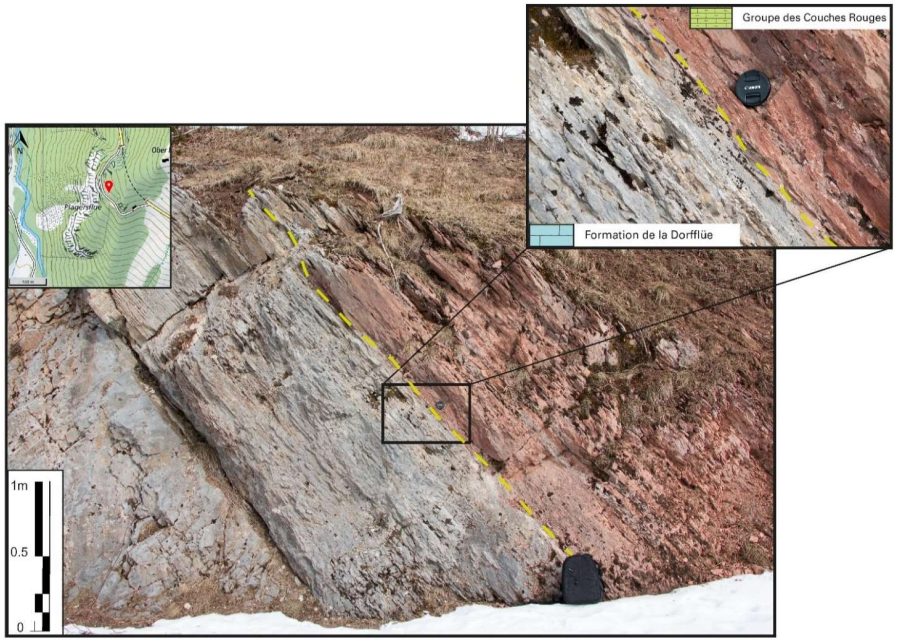


Fig. 1 : Affleurement de la Plagersflue exprimant le contact (trait-tillé jaune) entre les calcaires massifs de la Formation de la Dorfflüe et le Groupe des Couches Rouges (Formation de Rote-Platte) (28.2.18).

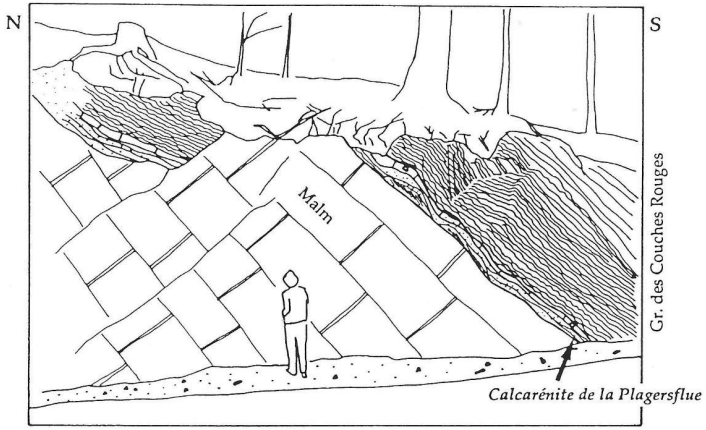


Fig. 2 : Vue générale de l'affleurement de la Plagersflue (Python-Dupasquier, 1990).

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

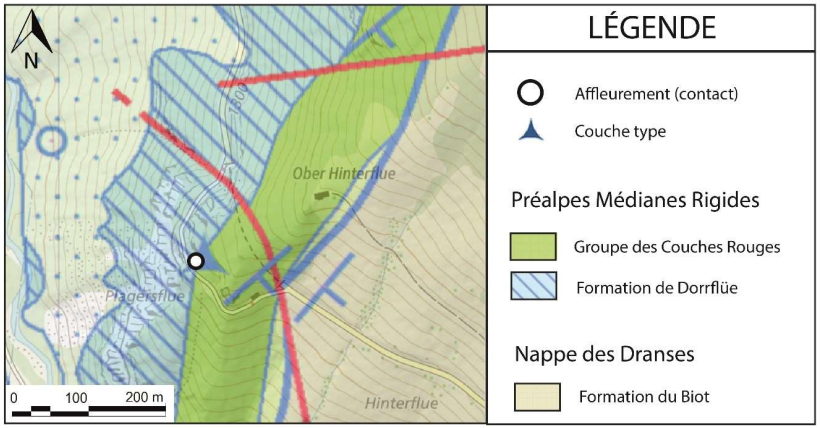


Fig. 3 : Extrait de la carte géologique vectorielle (Geocover) au niveau de Plagersflue. Fond de carte : Jeux de données géologiques vectorielles GeoCover (© Swisstopo).

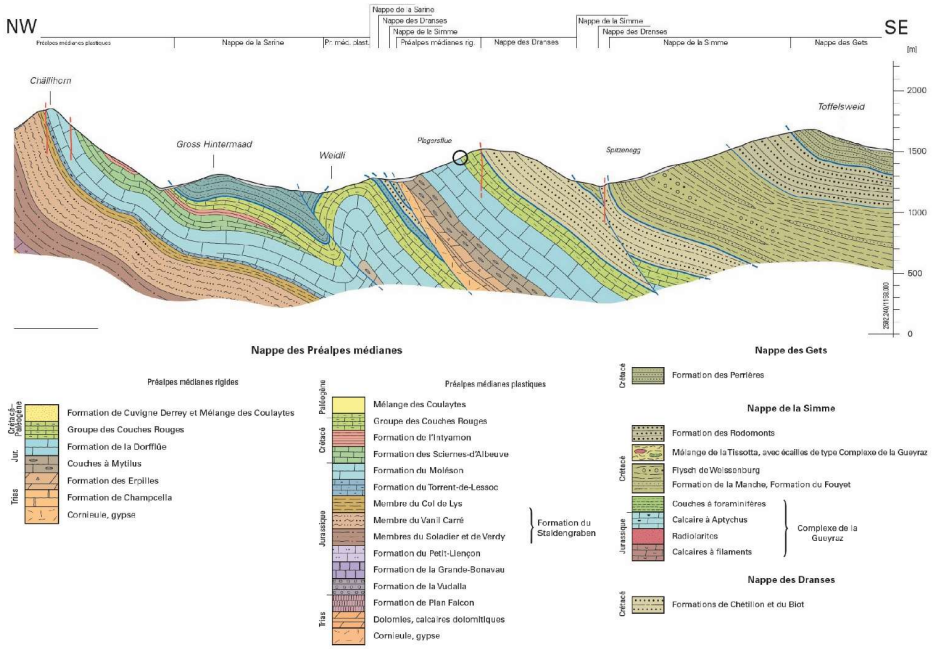


Fig. 4 : Coupe géologique entre le Chällihorn (FR) et Toffelsweid (BE). L'emplacement de l'affleurement de la Plagersflue est mis en évidence par un cercle noir (d'après Braillard, 2015).

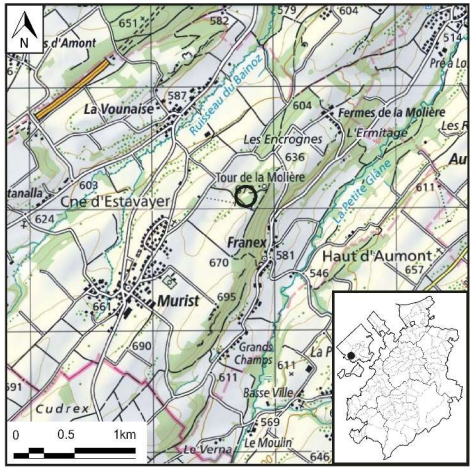
Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Carrière de grès coquillier de la Molière

GIC n°26

Description synthétique :

Exploité depuis plusieurs siècles pour ses caractéristiques pétrographiques remarquables, le grès coquillier de la Molière est toujours extrait dans la carrière éponyme. Dominé par sa tour médiévale, ce site offre de beaux affleurements qui permettent l'observation du faciès particulier de cette roche, fait de coquilles, de grès et d'un abondant ciment calcaire. Au cours de son exploitation, la carrière a également livré un certain nombre de fossiles témoignant de la paléoécologie de l'ancienne voie marine burdigalienne et de ses zones côtières.



Localisation :

Commune / Lieu-dit : Estavayer
Carte(s) nationale(s) : 1184 Payerne
CH1903+ : 2 552 875 / 1 183 100
Altitude ponctuelle : 670 m

Dimensions :

Type géométrique : surfacique
Hauteur : ~ 4-6 m
Longueur : ~ 100 m

Caractéristiques et intérêts principaux :

naturel ☐ / **artificiel** ☒ actif ☐ / **passif** ☒

Catégorie	géologique ☒	géomorphologique ☐	spéléologique ☐
Intérêt principal	Pétrographique géohistorique		
Intérêt(s) secondaire(s)	sédimentologique stratigraphique paléontologique		

Mots clés : Molasse marine supérieure, OMM, Formation de la Singine, Burdigalien, grès coquillier, *Muschelsandstein*, fossiles, bois flottés carbonifiés, carrière.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Cadre géologique et temporel

Région concernée : bassin molassique

Unité(s) lithostratigraphique(s)	
Unité tectonique :	M *Molasse du Plateau*
Groupe lith. :	Molasse marine supérieure
Sous-groupe lith. :	OMM-I
Formation :	m_2 Fm de la Singine
Membre :	Grès coquillier de la Molière

Unité(s) géochronologique(s)	
Ere géologique	Cénozoïque (Tertiaire)
Période géologique :	Néogène
Epoque géologique :	Miocène
Age géologique :	Burdigalien

Intérêts scientifiques

(par ordre de pertinence)

Intérêt scientifique principal :

- **pétrographique :** Le faciès coquillier de la Molière est caractérisé par un ciment calcaire abondant qui lie une grande proportion de valves de lamellibranches à du grès. Cette composition en fait une roche dure, compacte et très résistante qui se distingue des grès tendres bien plus fréquents dans le canton.

- **géohistorique** : la carrière de la Molière est exploitée de manière quasi ininterrompue depuis l'occupation romaine de la région. Le grès coquillier de la Molière a joué un rôle non négligeable dans l'histoire économique de la Broye et fait partie intégrante du patrimoine bâti fribourgeois.

Intérêts scientifiques secondaires :

- **sédimentologique** : Le grès visible à la Molière « *résulte d'une sédimentation rapide en zone littorale prodeltaïque* » (Briel, 1962). En témoignent l'orientation des valves, l'absence de grains fins, la présence de galets exotiques et la structure entrecroisée irrégulière (dunes sous-marines).

- **stratigraphique :** le grès coquillier de la Molière est un membre lithostratigraphique situé dans la partie inférieure de la Formation de la Singine (OMM-I) et dont la carrière éponyme constitue la coupe-type.

- **paléontologique :** le site de la Molière a livré bon nombre de fossiles aussi bien de forme marines (mollusques, poissons, requins, cétacés) que terrestres (tortues, crocodiles, mammifères).

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Description du géotope

Description générale :

La carrière de la Molière se trouve à côté de la tour médiévale du même nom, à proximité du village de Murist et du hameau de Franex. Avec la carrière de Seiry, elle constitue la dernière carrière historique de grès coquillier encore en activité dans le canton de Fribourg (Fig. 2 et 5).

Description scientifique :

Le site de la Molière a donné son nom à un membre **lithostratigraphique** local et informel situé dans la partie inférieure de la Molasse marine supérieure (OMM) : le **Grès coquillier de la Molière**. Il s'agit d'une variété particulièrement riche en carbonate du grès coquillier (*Muschelsandstein*), type de roche peu fréquente dans la Molasse du Plateau suisse. La dénomination de « pierre ou grès de la Molière » a longtemps été utilisée abusivement par les habitants et exploitants broyards pour désigner, sans distinction, l'ensemble des grès coquilliers extraits dans les carrières de la région valdo-fribourgeoise (Fig. 1).

La **pétrographie** du grès coquillier de la Molière ainsi que les différents faciès observables ont fait l'objet de descriptions approfondies par Briel (1962) dont une synthèse est présentée ici. Il s'agit d'une roche sédimentaire bioclastique constituée de trois composantes principales : une proportion variable (30 à 70%) de valves de lamellibranches, un grès mal classé, moyen à grossier et un ciment de $CaCO_3$ formant une matrice de granulométrie moyenne à grossière (Fig. 3 et 4). Cette roche incorpore également des galets exotiques, des débris végétaux grossiers tels des bois flottés souvent carbonisés et riches en pyrite (Meisser et Frey, 1996), ainsi que divers fossiles d'animaux (Weidmann & Ginsburg, 1999). Elle prend des teintes verdâtres à jaune-brun en fonction de son état d'altération. Cette pigmentation est liée à l'inclusion de glauconites et de limonites qui complètent quartz, feldspaths et micas typiques du grès (Bollin, 1996).

L'analyse **sédimentologique** du faciès coquillier livre des informations assez précises sur le milieu de dépôt dont est issue cette roche. Au cours du Burdigalien, soit entre 20 et 16 millions d'années environ, une mer étroite et peu profonde, entre 20 et 50 mètres d'après Martel et al. (1994), s'étendait sur le Plateau suisse reliant la Paratéthys à la Téthys. Les conditions de sédimentation variaient géographiquement en fonction de la proximité avec le continent, de la profondeur, ainsi que de la force et du type de courant (Homewood et al., 1989). Les différents milieux de dépôts ont également changé à travers le temps suite à de fortes fluctuations du niveau marin. Ainsi, certains secteurs ont connu des phases d'émersion durant lesquelles la flore et la faune terrestres ont pu s'implanter et prospérer. C'est du moins ce que semblent indiquer les fossiles terrestres qui ont été mis à jour à la Molière (Weidmann & Ginsburg, 1999). D'après Briel (1962), « *le faciès coquillier résulte d'une sédimentation rapide en zone littorale prodeltaïque* ». Un fort courant explique l'absence de particules fines et l'orientation des valves avec une concavité vers le bas, indice d'un dépôt subaquatique agité. Ces coquilles de lamellibranches ne sont jamais en position de vie, presque toujours disloquées et le plus souvent sous forme de fragments. Les bivalves ont donc un caractère allochtone. Ceux-ci prospéraient dans des aires plus calmes pour être remaniés, après leur mort, par les vagues et les courants. Mélangés au sable et aux apports détritiques en provenance du continent, ces bioclastes se sont sédimentés sous une faible tranche d'eau en formant des structures obliques ou entrecroisées (Briel, 1962). La position proximale et prodéltaïque est confirmée par la présence de végétaux flottés et l'inclusion de graviers et galets transportés par des fleuves en provenance de l'édifice alpin (Gerber, 1913).

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Le site de la Molière revêt également un grand intérêt **paléontologique**. Aussi loin que remonte l'exploitation de cette carrière, les fossiles ont dû intriguer l'esprit de ceux qui les mettaient à jour. Il faut cependant attendre le 18ème siècle pour que les premiers naturalistes rendent compte de leurs découvertes. On trouvera chez Weidmann & Ginsburg (1999), l'histoire de ces découvreurs et la liste de leurs trouvailles qui ont enrichi les collections des musées d'histoire naturelle de Lausanne, Fribourg, Berne, Neuchâtel Genève et Bâle. Cités par Alexander von Humboldt (1823, p. 306), certains fossiles ont contribué à la notoriété internationale du site, attirant des chercheurs venant de l'Europe entière. La particularité du gisement, que l'on retrouve dans d'autre faciès de grès coquillier, vient de l'alternance entre des fossiles marins (mollusques, poissons, requins, cétacés) et des formes terrestres (tortues, crocodiles, rhinocéros, suidés et ruminants). Ces fossiles sont rarement intacts et ont souvent perdu leurs détails morphologiques. Cette altération est liée aux courants fluviatiles ou de marée qui ont transporté, roulé et usé les restes d'animaux de leur milieu de vie jusqu'au lieu de leur enfouissement (Weidmann & Ginsburg, 1999). Malgré l'absence de dents de micromammifères, Berger (1985) a pu dater le gisement de la zone MN3 du Burdigalien inférieur. La faune de grands mammifères semblent en effet correspondre à celle du riche gisement de l'ancienne carrière de Brüttelen/Flue, à environ 35 km au NE de la Molière, pour laquelle un âge précis a pu être avancé (Weidmann & Ginsburg, 1999).

l'exploitation du Grès de la Molière : deux millénaires d'histoire broyarde

Le toponyme « Molière ou Molleyre » dérive du terme latin *mola* signifiant la meule (Bossard et Chavan, 1986). Les Romains exploitèrent la roche de ce site dès les premiers siècles de notre ère pour en faire des meules à usage domestique. En effet, les caractéristiques pétrographiques du grès coquillier en font une roche dure, compacte et très résistante contrairement aux grès tendres et gélifs qui affleurent dans la plus grande partie du canton de Fribourg (Weidmann & Ginsburg, 1999). L'abondance du ciment calcaire, qui distingue le véritable grès de la Molière des autres faciès coquillier, rend cette roche plus résistante encore à l'épreuve du temps. Ceci explique son usage quasi ininterrompu jusqu'à nos jours, où la carrière fournit encore pierres de taille, placages et matériaux à sculpter. On retrouve ainsi le grès de la Molière dans les ruines de la cité d'*Aventicum* et dans de nombreux édifices anciens de la région : Abbatiale de Payerne, Collégiale d'Estavayer-le-Lac, Pont de Lucens et, bien sûr, le château de la seigneurie de Molière, dont ne subsiste aujourd'hui que la tour du donjon. De par sa durabilité et sa résistance à la rupture, la roche est souvent employée pour des pièces particulièrement exposées aux intempéries et à l'usure régulière (Weidmann & Ginsburg, 1999). Ceci explique son choix pour les marches de l'Hôtel de Ville de Fribourg et le succès des nombreux bassins de fontaine ouvragés entre le 16ème et le 19ème siècle et exportés dans diverses localités fribourgeoises, vaudoises et neuchâteloises (Bonard, 1977).

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Evaluation

LPNat, 12 septembre 2012

Art. 32 Principes

[1] *Lorsqu'ils revêtent un intérêt particulier sur les plans **esthétique**, **typologique**, **scientifique** ou **éducatif**, les paysages et géotopes caractéristiques doivent dans la mesure du possible être préservés des atteintes qui en altèrent le caractère.*

Evaluation de l'intérêt scientifique

Valeur scientifique	Description	Pond.	Score
Représentativité	La carrière de la Molière constitue un très bel affleurement de grès coquillier, régulièrement rafraichi par l'exploitation du site. Il s'agit ici du vrai « grès coquillier de la Molière » qui est plus carbonaté que d'autres faciès exploités dans d'autres secteurs.	2x	3
Intégrité	L'exploitation actuelle de la carrière conduit à la destruction progressive des bancs de grès coquillier. Elle permet cependant le rafraîchissement de l'affleurement qui contribue à l'intérêt du site.	1x	2
Rareté	A l'échelle cantonale, le faciès coquillier de l'OMM concerne un secteur restreint limité à l'exclave d'Estavayer-le-Lac. Il s'agit de la dernière carrière de grès coquillier en exploitation avec celle de Seiry. La forte proportion de ciment calcaire distingue ce site d'autres affleurements aux caractéristiques pétrographiques assez proches.	1x	3
Valeur paléogéographique	De par sa richesse en fossiles et son faciès sédimentologique particulier, ce géotope est extrêmement précieux pour reconstituer l'environnement de la voie marine burdigalienne.	1x	3
Valeur scientifique globale	Très élevée		**14**/15

Appréciation des valeurs additionnelles

(écologique, esthétique, culturelle/historique)

Valeur culturelle, historique et économique:
Exploitation bimillénaire de cette roche qui fait partie intégrante du patrimoine bâti broyard (Abbatiale de Payerne, Collégiale d'Estavayer-le-Lac, Pont de Lucens et tour de la Molière). Les qualités pétrographiques de cette roche expliquent son exportation bien au-delà de la région valdo-fribourgeoise.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Informations complémentaires

Inclusion dans des inventaires existants

Inventaire	Auteur	Code
Liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale	Berger (1995)	30
Die mineralischen Rohstoffe der Schweiz	SGTK	-

Relation spatiale avec d'autres géotopes

Nom	Relation spatiale
-	-

Géotopes fribourgeois aux caractéristiques similaires

Nom	Inventaire	Code	Importance
Carrière Seiry – La Croix	Berger (1995)	31	Locale
Carrière Seiry – Dézaley	Berger (1995)	32	Locale
Carrière de l'Ermitage	Berger (1995)	33	Locale
Carrière Les Saus-Bollion	Berger (1995)	34	Locale
Carrière de Pra Bosset	Berger (1995)	35	Locale

Inclusion dans des aires de protection

aucune

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Caractéristiques d'usage et de gestion

Vulnérabilité, protection et préservation du site

Atteintes existantes :	**faibles**	Atteintes visuelles liées à l'exploitation actuelle de la carrière (mâts de charge, pneus au pied des parois). Le débitage de blocs peut être considéré comme positif car il rafraichit l'affleurement.
Menaces potentielles ou avérées :	**faibles**	Mauvaise gestion du site lorsque ce dernier ne sera plus exploité.
Statut de protection actuel :	**inexistant**	Aucun

Mesures de protection proposées :	L'Etat devrait envisager l'aménagement du site à la fin de la concession et maintenir visibles les affleurements.

Valorisation du site

Valorisation existante : oui **/ non** **Public cible :** grand public

Conditions de visites	**bonnes**
Facilité d'accès	Accès possible depuis Murist ou Franex par de multiples chemins de randonnée.
Sécurité	Pas de problème de sécurité en dehors des périodes d'exploitation.

Intérêt éducatif	**élevé**
Lisibilité	La tour de la Molière toute proche permet de faire le lien entre le substrat géologique sous-jacent et son utilisation en tant que pierre de construction. Les affleurements ainsi que les blocs au sol permettent d'observer la pétrographie particulière du grès.
Equipement d'interprétation	Aucun équipement d'interprétation ne concerne spécifiquement le grès de la Molière et son exploitation. Deux « sentiers nature de la Molière » passent à proximité de la carrière.

Proposition de valorisation :	Panneau explicatif faisant le lien entre la Tour de la Molière et la carrière de grès coquillier. Inciter à se rapprocher des affleurements pour repérer les coquilles constitutives de la roche.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Références bibliographiques

Berger J.-P. (1985). *La transgression de la Molasse marine supérieure (OMM) en Suisse occidentale*. Münchner Geowiss. Abh. (A), 5: 1 -208.

Bollin, R. (1996). *Pierres naturelles à Fribourg.* MHNF, Fribourg, 1996, 108 p.

Bonard P., (1977). Fontaines des campagnes vaudoises. Ed. 24 Heures, Lausanne.

Bossard M. et Chavan J.-P. (1986). Nos lieux-dits. Toponymie romande. Payot, Lausanne.

Briel A. (1962). *Géologie de la région de Lucens (Broye).* Eclogae geol. Helv. 5511: 189-274.

Gerber E, (1913). Jensberg und Brüttelen, zwei Ausgangspunkte für die Molasse-Stratigraphie des bernischen Mittellandes. *Eclogae geol. Helv.* 12: 451-476.

Homewood P., **Keller** B., **Schoepfer** P. et **Yang** C. S. (1989). *Faciès, processus de sédimentation et reconstitution des conditions paléomarines dans la Molasse marine supérieure suisse*. Bull. Soc. géol. France (8), 5: 1015-1027.

Humboldt F. W. H. A. von. (1823). *Essai géognostique sur le gisement des roches dans les deux hémisphères*. Iere éd., Levrault, Paris.

Martel A. T., **Allen**, P. A. and **Slingerland** R. (1995). *Use of tidal-circulation modeling in paleogeographical studies: an example from the Tertiary of the Alpine perimeter*. Geology 22: 925-928.

Meisser N. et **Frey** A. (1996). *Présence d'halotrichite à la Tour de la Molière*. Schw. Strahler 10/10: 25.

Morlot A., (1854). Sur les polis glaciaires de roches en place. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat*. 4: 38.

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Illustrations complémentaires (figures, plans, schémas, ...)

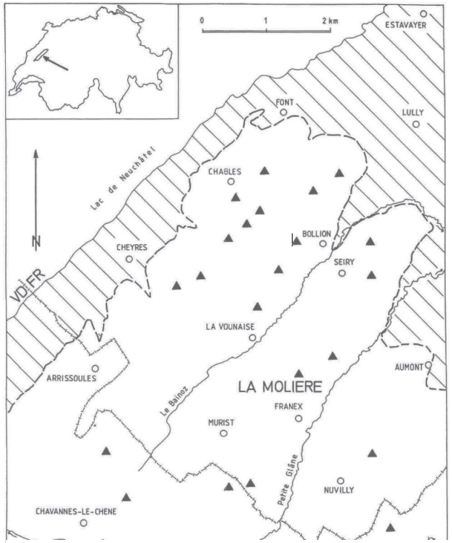


Fig. 1 : Carte géologique schématique de la région-type du grès de la Molière et situation des principales carrières (triangles noirs). Barré oblique : USM; en blanc : OMM. (Weidmann, 1999).

Fig. 2 : Etat de la carrière en 1999. La surface supérieure du banc, aujourd'hui disparu, a été abrasée par le glacier du Rhône qui y a buriné des stries glaciaires d'après les observations de Morlot (1854). Le substrat rocheux a ensuite été recouvert par une moraine de fond visible sur la gauche. (Weidmann, 1999)

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Photographies du site

Fig. 3 : vue détaillée sur le grès coquillier constitué de fragments de coquilles, de grès et d'un ciment calcaire (@strati.ch).

Fig. 4 : moulages de lamellibranches constitutifs du grès coquillier de la Molière (@strati.ch).

Fig. 5 : L'un des affleurements actuellement exploités sur le site de la Molière.

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

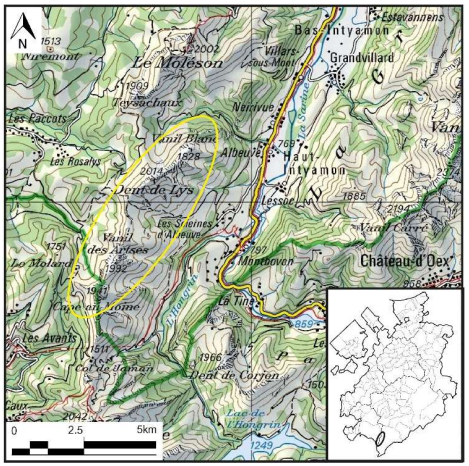
Réseaux karstiques de l'Haut-Intyamon

Versant SE de la chaîne Vanil de l'Arche, Vanil Blanc, Dent de Lys, Folliu Borna, Vanil des Artses et Cape au Moine

GIC n°41

Description synthétique :

Le massif montagneux qui s'étend du Vanil de l'Arche (1581m) à la Cape au Moine (1941m) et qui culmine à la Dent de Lys (2014m) renferme d'importants réseaux karstiques dont certains comptent parmi les plus développés du canton. Véritables portes d'entrées de ce vaste monde souterrain, plus de cent cavités occupent le versant gruyérien de la chaîne et figurent à l'*Inventaire spéléologique fribourgeois* (SPCF, 2013). Ces entrées de galeries ont servi à la délimitation du présent géotope en surface (Fig. 1).



Grotte du Dragon (Association des Folliu-Bornés, AFB)

Localisation :

Commune / Lieu-dit : Haut-Intyamon

Carte(s) nationale(s) : 1244 Châtel-St-Denis
1245 Château-d'Oex

CH1903+ : 1 566 190 / 1 149 130

Altitude : **min :** 1387 m **max :** 1970m

Altitude ponctuelle : 1750 m

Dimensions :

Type géométrique : surfacique

Remarque : Ce géotope comprend 107 entrées de cavités localisées sur le versant SE de la chaîne allant du Vanil Blanc à la Cape au Moine. La délimitation précise est représentée sur la fig. 1. L'extension des différentes cavités est détaillée dans la partie « description du géotope ».

Caractéristiques et intérêts principaux :

naturel ☒ / artificiel☐ **actif** ☒ / **passif** ☒

Catégorie	géologique ☒	géomorphologique ☒	spéléologique ☒
Intérêt principal		karstique	Réseaux souterrains
Intérêt(s) secondaire(s)	hydrogéologique, structural, tectonique, géochimique, pétrographique		

Mots clés : Karst, réseaux souterrains, cavités, gouffres, spéléologie.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Cadre géologique et temporel

Région concernée : Préalpes

Unité(s) lithostratigraphique(s)		Unité(s) géochronologique(s)	
Unité tectonique :	KI *Préalpes médianes plastiques*	**Ère géologique**	Mésozoïque
Formations :	Formation des Sciernes d'Albeuve (Calcaires plaquetés) Formation du Moléson (Calcaires massifs)	**Période géologique :**	Jurassique - Crétacé
		Epoque géologique :	Crétacé inférieur Jurassique supérieur (Malm)
		Age géologique :	Barrémien (~125 Ma) Kimméridgien (~157 Ma)

Remarque : Le contexte géologique et temporel concerne uniquement la roche dans laquelle est formé le réseau karstique. La mise en place de ce dernier s'inscrit sur une longue durée, depuis l'émersion et la mise en place des roches constitutive de la chaîne jusqu'à nos jours. Certaines périodes ont certainement été plus propices à de fortes dissolutions karstiques comme les phases de déglaciation qui ont suivi des périodes glaciaires durant lesquelles l'activité morphogénétique a été bien plus réduite (permafrost en altitude et couverture de glace dans les zones basses).

Intérêts scientifiques

(par ordre de pertinence)

Intérêt scientifique principal :

- **karstique / spéléologique :** les réseaux souterrains du Haut-Intyamon résultent de processus de dissolution des calcaires par des eaux chargées en CO_2.

Intérêts scientifiques secondaires :

- **hydrogéologique :** ce géotope fait partie de la zone vadose d'un vaste bassin hydrogéologique qui alimente un collecteur aboutissant en partie à la source de Neirivue. Des puits verticaux actifs drainent les écoulements actuels vers la nappe phréatique sous-jacente.

- **structural / tectonique** : les réseaux karstiques se développent dans le flanc interne du synclinal de l'Intyamon, également nommé synclinal de la Sarine (Mosar, 1994). La fracturation importante détermine le développement et l'orientation des galeries qui le parcourent.

- **géochimique / pétrographique :** ce géotope comporte un grand nombre de concrétions calcaires de formes variées.

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Description du géotope

Cadre géographique

Entre la cluse de l'Evi et le col de Jaman (1512m) se développe une chaine montagneuse qui comprend les sommets du Vanil de l'Arche (1581m), du Vanil Blanc (1828m), de la Dent de Lys (2014m), du Folliu Borna (1849m), du Vanil des Artses (1993m) et de la Cape au Moine (1941m). Les versants SE de cette chaîne dominent l'Intyamon et sont très fortement karstifiés, tant en surface (lapiés, dolines, dépressions glacio-karstiques) qu'en profondeur (réseaux karstiques souterrains). L'inventaire spéléologique fribourgeois (SCPF, 2013) y recense plus d'une centaine de cavités qui donnent parfois accès à des réseaux extrêmement développés.

Cavités principales

Ce géotope peut être divisé en 5 secteurs qui intègrent chacun des cavités exceptionnellement développées à l'échelle des Préalpes (tableau 1 et fig. 1).

ID_SSS	Code FR	Nom	Secteur	Déniv.	Dév.
FR103-068	FR043	Grotte de l'Epaule	Vanil Blanc	-151m	1342m
FR103-056	FR045	Trou des Vents	Vanil Blanc	107m	1012m
FR103-058	FR041	Gouffre de l'Ombriau du Milieu	Vanil Blanc	-170m	410m
FR103-050	FR163	Gouffre des Corneilles	Dent de Lys	-276m	1100m
FR103-046	FR160	Gouffre de la Grosse Frasse	Dent de Lys	-100m	104m
FR103-105	FR117	Gouffre des Ressauts	Folliu Borna	-561m	3500m
FR103-123	FR142	Gouffre du Creux	Folliu Borna	-151m	190m
FR103-141	-	Grotte du Dragon	Vanil des Artses	227m	733m
FR103-036	FR180	Gouffre de l'Urqui	Cape au Moine	-235m	557m

Tableau 1 : Principales cavités des réseaux de l'Haut-Intyamon (SCPF, 2013).

Historique des explorations et de la recherche scientifique

Plusieurs cavités sont connues depuis longtemps des bergers locaux et ont parfois été utilisées comme dépotoirs. Si certaines grottes ont été arpentées dès le 19ème siècle, les explorations spéléologiques à proprement parler ont débuté dans les années 1960 et se poursuivent encore actuellement. Le récit de ces explorations a fait l'objet de nombreuses publications dans les revues internes d'associations de spéléologues comme *Stalactite*, *Niphargus*, *Cavernes* ou *le Trou* (voir bibliographie). On trouvera une compilation de ces rapports sur le site web du Groupe Spéléo de Lausanne (GSL) : www.speleo-lausanne.ch. L'épikarst et l'endokarst de la région sont également abordés dans des monographies plus générales (Favre, 1952 ; Pugin, 1952 ; Testaz, 1966, 1969, 1970).

Cadre géologique et morphogenèse

Les différents réseaux se développent sur le flanc interne du synclinal de l'Intyamon, également nommée synclinal de la Sarine par Mosar (1994) et qui appartient à la Nappe des Préalpes médianes plastiques. Le pendage des couches est orienté SE avec une inclinaison moyenne de 30 à 40 degrés atteignant 60° sur certains secteurs spécifiques. Les réseaux karstiques se développent principalement dans les calcaires massifs très solubles du Malm. Appartenant à la *Formation du Moléson*, ces roches constituent les parties sommitales

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

de la chaîne. Quelques entrées de galeries sont également localisées en aval, dans les calcaires plaquetés plus récents de la *Formation des Sciernes d'Albeuves* (Crétacé inférieur). Depuis la mise en place de la chaîne, La dissolution karstique s'est opérée préférentiellement dans les zones de faiblesse de la roche, c'est-à-dire le long des nombreuses failles qui parcourent le massif ainsi qu'au niveau des joints de stratification qui marquent la limite des différentes phases de sédimentation.

Hydrogéologie

La majeure partie des conduits qui constituent les réseaux karstiques sont fossiles. Les galeries ont été formées en régime noyé alors que les couches constitutives de la chaîne n'avaient pas atteint leur position actuelle. La morphologie de la région ainsi que les conditions climatiques étaient sensiblement différentes qu'aujourd'hui si bien que les calcaires karstifiables se trouvaient sous le niveau de base hydrologique. Actuellement, ces galeries héritées sont disproportionnées par rapport aux conditions hydrologiques qui règnent à ces altitudes élevées. Elles drainent cependant toujours les eaux d'infiltration en période humide (fonte des neiges, fortes pluies) pour alimenter un réseau plus profond et bien plus actif. La résurgence principale de ce système hydrogéologique est la **source de Neirivue** comme l'ont prouvé des essais de traçage (Fig. 2) effectué en juin 2003 (Bossy, 2004, 2005 ; Dutruit, 2005). Des colorants ont été injectés dans le Réseau du Folliu, le Gouffre de l'Urqui, et dans le réseau de l'Epaule (Vanil Blanc) et ont mis entre 6 et 7 jours pour atteindre l'exsurgence. Lorsque celle-ci n'est plus capable d'absorber le débit des grosses crues, le réseau se met en charge et le niveau de la nappe augmente. Des cavités situées dans les gorges de l'Hongrin deviennent alors émissives à l'instar de l'estavelle de l'Hongrin ou de la grotte du Roc d'où les eaux jaillissent pour former une impressionnante cascade éphémère (Genoux, 1996).

L'ascension souterraine du Vanil des Artses

Le 23 août 2013, des membres de l'association des Follius-Bornés (AFB) ont réalisé la première ascension souterraine du Vanil des Artses (1993m). Entrée par la Grotte du Dragon (1730m) côté Intyamon (Fig. 4), l'équipe de spéléologues est ressortie par le dénommé « Gouffre de L'Eau de Là » à environ 25 m du sommet, sur le versant qui domine les Paccots et le Léman. Cette expédition de 7 heures a été largement médiatisée. Un journaliste a accompagné les explorateurs dont l'exploit a fait l'objet d'un reportage au journal télévisé de la Radio Télévision Suisse Romande (RTS) le soir même. *La Liberté* a accordé une double-page à l'événement (Fig. 3) qui a également été relayé dans le journal *La Gruyère* et sur les ondes de Radio Fribourg.

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Evaluation

LPNat, 12 septembre 2012

Art. 32 Principes

[1] *Lorsqu'ils revêtent un intérêt particulier sur les plans **esthétique**, **typologique**, **scientifique** ou **éducatif**, les paysages et géotopes caractéristiques doivent dans la mesure du possible être préservés des atteintes qui en altèrent le caractère.*

Evaluation de l'intérêt scientifique

Valeur scientifique	Description	Pond.	Score
Représentativité	Par le nombre et la diversité des cavités qui le constituent, son extension importante, le contexte et les modalités de sa genèse, son altitude élevée ainsi que son activité hydrologique actuelle, ce réseau de cavités est particulièrement exemplaire.	2x	3
Intégrité	Agressions très ponctuelles liées à l'exploration.	1x	3
Rareté	Outre les caractéristiques mis en avant ci-dessus, la possibilité de gravir un sommet (Vanil des Artses) de l'intérieur est unique en territoire fribourgeois. L'exploit est sans précédent en Suisse.	1x	3
Valeur paléogéographique	Présence de remplissages sédimentaires susceptibles de fournir des informations sur les climats passés. L'intérêt paléogéographique de ce géotope n'est pas pleinement exploité actuellement.	1x	2
Valeur scientifique globale	Très élevé		**14**/15

Appréciation des valeurs additionnelles

(écologique, esthétique, culturelle/historique)

Valeur écologique : écosystème pour les organismes cavernicoles et lieu d'hibernation de nombreuses espèces de chauves-souris.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Informations complémentaires

Inclusion dans des inventaires existants

Inventaire	Auteur	Code
Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg (Partiellement)	Grandgirard (1999)	Kcs04, Kcs05, Kcs06
Inventaire spéléologique du canton de Fribourg	SCPF (2013)	FR10 ; FR16-27 ; FR30-32 ; FR61-66 ; FR155

Relation spatiale avec d'autres géotopes

Relation spatiale	Inventaire et code
Prolongement de formes karstiques de surface comme les lapiés.	Grandgirard (1999): Kla05, Kla06, Kla07, K06, GKde11
Lien hydrogéologique avec la **source de Neirivue** et plusieurs résurgences des Gorges de l'Hongrin (**Estavelle de l'Hongrin** et **Grotte du Roc**).	ASSN (2012) : CH317 SCPF (2013) : FR130 à 133

Géotopes fribourgeois aux caractéristiques similaires

Nom	Inventaire	Code	Importance
Réseau karstique des Morteys et Gouffre des Diablotins	GIC	n°42	cantonale
Grotte de Naye (ou du Glacier)	GIC	n°43	cantonale
Gouffre du Protoconule	GIC	n°44	cantonale

Inclusion dans des aires de protection

Inventaire fédéral des districts francs fédéraux (Partiellement)
Objet n°25, Dent de Lys

Parc naturel régional Gruyère Pays-d'Enhaut
Objet n°23, (Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (LPN), Ordonnance sur les parcs)

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Caractéristiques d'usage et de gestion

Vulnérabilité, protection et préservation du site

Atteintes existantes :	**faible**	Agressions très ponctuelles liées à l'exploration (désobstruction, minage).
Menaces potentielles ou avérées :	**faible**	Les seules menaces sont liées aux altérations des concrétions dues à l'exploration des cavités. Les spéléologues sont cependant bien conscients de cette problématique. Les entrées de cavités peuvent également être utilisées comme dépotoirs.
Statut de protection actuel :	**moyen**	Cette région est protégée par le règlement des aires de protection citées précédemment.

Mesures de protection proposées :	Aucune mesure supplémentaire n'est nécessaire actuellement.

Valorisation du site

Valorisation existante : oui / **non** **Public cible :** spécialiste

Conditions de visites	**mauvaises**
Facilité d'accès	Certaines cavités sont localisées à proximité de sentiers pédestres. D'autres se trouvent dans des secteurs beaucoup plus exposées, en pleine parois rocheuse.
Sécurité	L'exploration des cavités exigent des compétences spéléologiques poussées. Elle est donc strictement réservée aux spécialistes.

Intérêt éducatif	**faible**
lisibilité	L'intérieur des cavités n'est pas accessible au public. Aucune valorisation n'est donc envisageable *in situ*.
Equipement d'interprétation	Aucun sur le site.

Proposition de valorisation :	Il serait envisageable de montrer le lien entre les formes exokarstiques comme les lapiez et le réseau karstique sous-jacent (endokarst) au travers de panneaux explicatifs installés le long des sentiers de la région.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Références bibliographiques

Audétat M. (1963). Gouffre des Corneilles (FR). - *Stalactite* (SIS), 1, février : 15-16

Ballenegger F. (2003). Le Réseau du Folliu. - *Stalactite*, 53(1), 1/2003 : 30-35

Ballenegger V. et **Demierre** M. (2003). Le Folliu Borna. - *Le Trou* 65 : 67-75

Brasey J. (1989). Brèves nouvelles. Plongées à la Grotte du Roc. - *Stalactite*, 39 (1), : 51-52

Brasey J. (1990). Grotte du Roc (Montbovon). - *Canard mousquetonné*, SCPF, février 1990 : 13

Demierre M. (2005). Explorations 2003-2004 dans le Réseau du Folliu. - *Le Trou 66* : 52-55

Dutruit J. (1988). Trou des Vents. *Le Trou, Bulletin du Groupe Spéléo Lausanne,* 48: 34-40.

Dutruit J. (1989). Gouffre de l'Ombriau d'En Haut. *Le Trou, Bulletin du Groupe Spéléo Lausanne,* 49: 31-33.

Dutruit J. (1994). Les cavités du Vanil Blanc. *Le Trou, Bulletin du Groupe Spéléo Lausanne,* 58: 15-21.

Dutruit J. (1998). Prospection sur le massif du Folliu Borna. - *Le Trou*, 62 : 20-23

Dutruit J. (1999). Brèves nouvelles. Gouffre de Chenalette (FB18). - *Stalactite*, 49(1), 1/99 : 55

Dutruit J. (2003). 1998-2001 : de l'Urqui à Choutsa - *Le Trou*, 65 : 58-66

Dutruit J. (2005). Le Gouffre du Creux (FB46, Folliu Borna). - *Le Trou*, 66 : 56-58

Favre G. (1952. *Les Préalpes médianes entre l'Hongrin inférieur et la Sarine. Région de la Dent de Corjon.* Thèse, Institut de Géologie de l'Université de Fribourg.

Genoux M. (1991). La Grotte du Roc. - *Niphargus*, SCPE, 6 : 4-10

Genoux M. (1993). La Grotte du Roc. - *Bulletin des Culs Terreux*, SSS-Naye, 156 : 6-9

Godel, J. (2013). Dans le ventre de la Gruyère. - Journal *La Gruyère*, 101, 30 août 2005

Genoux M. (1996). Les cavités des Gorges de l'Hongrin (Canton de Fribourg). - *Stalactite*, 46(1), 1/96 : 31-42

Liberek M. (1971). Le Trou des Vents. *Cavernes,* 3: 85-88.

Liberek M. (1972). Grotte du Vanil Blanc (Trou des Vents). *Stalactite,* 1: 35-36.

Perrin J. (1989). Le lapiaz du Folliu Borna. - *Le Trou*, 49 : 20-29

Pugin L. (1952). *Les Préalpes médianes entre le Moléson et Gruyères (Préalpes fribourgeoises).* Thèse, Institut de Géologie de l'Université de Fribourg.

Rosselet G., **Ballenegger** F. et **Demierre** M. (2007). Le Réseau du Folliu et ses environs. - *Actes du 12ème congrès suisse de spéléologie*, Vallée de Joux, 15-17 septembre 2007, Supplément no.16 à Stalactite : 299-306

Sugnaux, C. (2013). Frisson dans les entrailles de la Gruyère. - *La Liberté*, 9 septembre 2006

Testaz G. (1966). Les phénomènes karstiques de la nappe des Préalpes médianes romandes. *Cavernes, Bull. sect. neuch. Soc. suisse Spéléo.,* 10(3): 69-84.

Testaz G. (1969). Le rôle de l'érosion karstique dans l'évolution du relief des Préalpes médianes. *Actes du 3ème Congrès suisse de Spéléologie, Interlaken, septembre 1967,* 23-31.

Testaz G. (1970). *Morphologie karstique des Préalpes romandes.* Mémoire de licence, Institut de Géographie de l'Université de Lausanne.

Wenger R. (1984). Synthèse sur les cavités de la Dent de Lys (FR). - *Stalactite, 34(1)*, 1/84 : 8-2

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Illustrations complémentaires (figures, plans, schémas, ...)

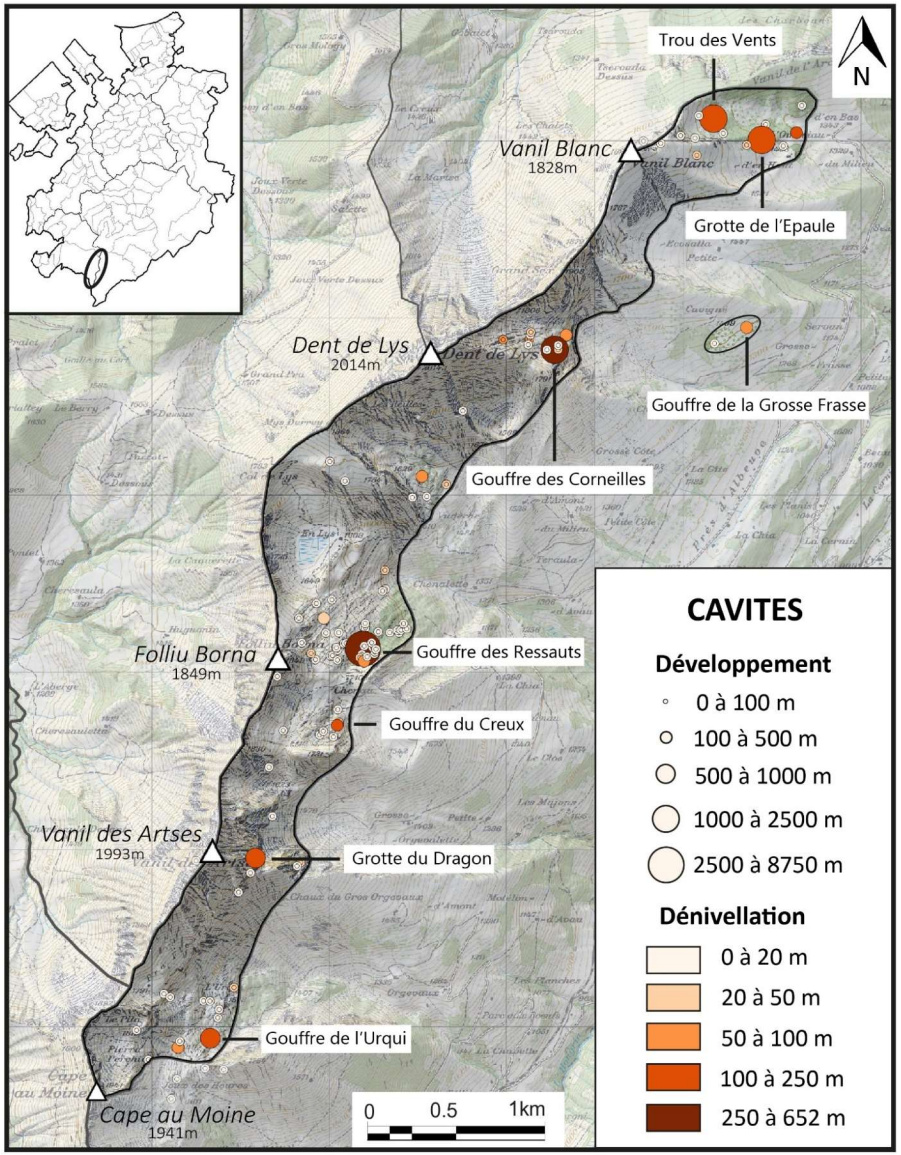


Fig. 1: Délimitation du géotope et distribution des cavités représentées en fonction de leur développement connu par exploration. Carte réalisée à partir des données de l'Inventaire des cavités du canton de Fribourg (SCPF, 2013). Fond de carte : estompage du relief dérivé du MNT Swissalti3d et carte topographique au 1/25'000 (©Swisstopo).

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

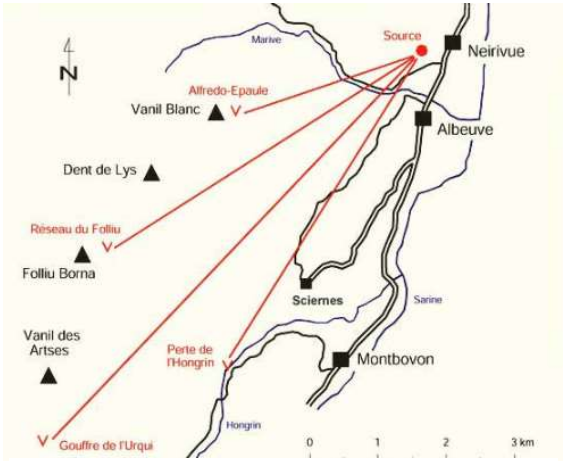


Fig. 2 : Croquis de situation des essais de traçage réalisés entre la source de Neirivue et différentes cavités du Haut-Intyamon (©GSL).

Fig. 3 : Page de titre de la Liberté (24-24.8.13) qui a consacré une double page à l'ascension souterraine du Vanil des Artses (Photo de D. Andrey).

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Photographies du site

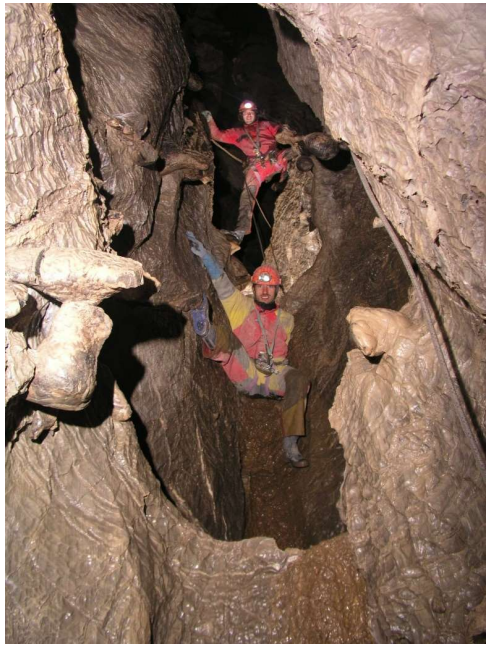


Fig. 4 : descente du gouffre du Folliu Borna (©AFB).

Fig. 5 : la Grotte du Dragon, entrée inférieure du réseau du Vanil des Artses (©AFB).

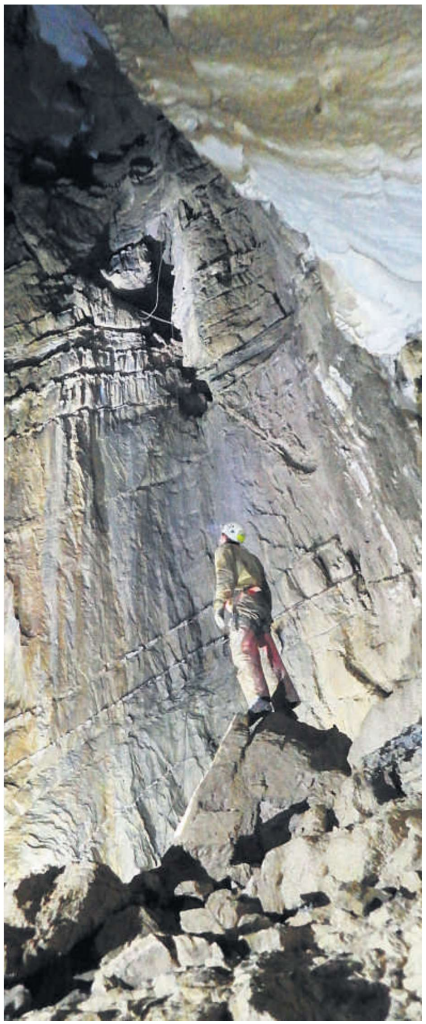


Fig. 6 : La grande salle du dragon (env. 20m de hauteur) au cœur-même du Vanil des Artses (©AFB).

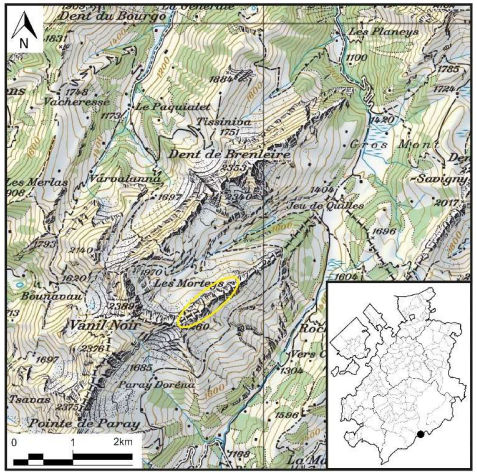
Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Réseau karstique des Morteys et Gouffre des Diablotins

GIC n°42

Description synthétique :

Localisé au SE du vallon des Morteys, ce géotope comprend deux réseaux spéléologiques totalisant plus de 10 kilomètres de galeries explorées, développement inégalé dans le canton de Fribourg et les Préalpes suisses. Le réseau karstique souterrain se situe à une altitude élevée (> 2000m), au cœur des Rochers des Tours constitués de calcaires massifs du Malm (*Formation du Moléson*) fortement redressées et fracturées.



Localisation :

Commune / Lieu-dit : Val-de-Charmey

Carte(s) nationale(s) : 1245 Château-d'Oex

CH1903+ : 2 578 618 / 1 153 127

Altitude : **min :** 1964m **max :** 2260m

Altitude ponctuelle : 2003 m

Dimensions :

Type géométrique : surfacique

Remarque : Ce géotope comprend 26 entrées de cavités localisées sur le versant NE des Rochers des Tours. La délimitation précise est représentée sur la Fig. 1. L'extension des différentes cavités est détaillée dans la partie « description du géotope ».

Caractéristiques et intérêts principaux :

naturel ☒ / artificiel☐ **actif** ☒ / **passif** ☒

Catégorie	géologique ☒	géomorphologique ☒	spéléologique ☒
Intérêt principal		karstique	Réseaux souterrainx
Intérêt(s) secondaire(s)	hydrogéologique, structural, tectonique, géochimique, pétrographique		

Mots clés : Karst, réseaux souterrains, cavités, gouffres, spéléologie.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Cadre géologique et temporelle

Région concernée : Préalpes

Unité(s) lithostratigraphique(s)		Unité(s) géochronologique(s)	
Unité tectoniques :	Kl *Préalpes médianes plastiques*	**Ère géologique**	Mésozoïque
Formation :	Formation des Sciernes d'Albeuve (Calcaires plaquetés) Formation du Moléson (Calcaires massifs)	**Période géologique :**	Jurassique - Crétacé
		Epoque géologique :	Crétacé inférieur Jurassique supérieur (Malm)
		Age géologique :	Barrémien (~125 Ma) Kimméridgien (~157 Ma)

Remarque : Le contexte géologique et temporel concerne uniquement la roche dans laquelle est formé le réseau karstique. La mise en place de ce dernier s'inscrit sur une longue durée, depuis l'émersion et la mise en place des roches constitutive de la chaîne jusqu'à nos jours. Certaines périodes ont certainement été plus propices à de fortes dissolutions karstiques comme les phases de déglaciation qui ont suivi des périodes glaciaires durant lesquelles l'activité morphogénétique a été bien plus réduite (permafrost en altitude et couverture de glace dans les zones basses).

Intérêts scientifiques

(par ordre de pertinence)

Intérêt scientifique principal :

- **karstique / spéléologique :** le réseau souterrain des Morteys et le Gouffre des Diablotins résultent de processus de dissolution des calcaires par des eaux chargées en CO_2.

Intérêts scientifiques secondaires :

- **hydrogéologique :** ce géotope fait partie de la zone vadose d'un vaste bassin hydrogéologique aboutissant à la source des Planeys et à l'exsurgence de Jaun. Les puits verticaux drainent les écoulements actuels vers la nappe phréatique.
- **structural / tectonique** : le réseau des Morteys et le Gouffre des Diablotins se développent dans le flanc interne du synclinal du Vanil Noir dont la fracturation importante détermine le développement et l'orientation des galeries qui le parcourent.
- **géochimique / pétrographique :** ce géotope comporte un grand nombre de concrétions de calcite ainsi que des formes minérales cristallisées plutôt rares comme des fleurs de gypse ou des sels de mirabilite.

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Description du géotope

Description générale :

Les cavités du vallon des Morteys ont été découvertes et explorées dès le milieu des années 1970 par des membres du Spéléo-Club des Préalpes Fribourgeoises (SCPF). Alors que les cavités des lapiés de la Tête de l'Herbette et de la Selle des Morteys sont rapidement obstruées par des éboulis (Brasey, 1989), les grottes qui se développent dans la partie sud du vallon débouchent sur le plus important réseau karstique des Préalpes. Ce statut a justifié l'inclusion conjointe du réseau des Morteys et du Gouffre des Diablotins dans l'inventaire des géotopes suisses (ASSN, 2012). Le récit et les plans des explorations successives de ce réseau ont été publiés dans les revues internes d'association de spéléologues comme le *Canard mousquetonné* (Magnin 1990, 2000 ; Perrin, 1991 ; SCPF, 1993, 1994, 1997), *Stalactite* (SCPF, 1986), *Niphargus* (Perrin, 1991) ou *le Trou* (Perrin, 1992). Ces deux systèmes ont également fait l'objet de publications scientifiques, que ce soit sur le contexte géologique et tectonique de leur formation (Müller et Plancherel, 1982 ; Brasey, 1989, 1981), leur contenu en glace (Morard et al., 2010a, 2010b, 2012) ou le cadre de vie optimale qu'elles offrent à de nombreuses espèces de chauves-souris (Magnin, 1990b).

Description scientifique :

La crête des Rochers des Tours, qui relie la Tour de Dorena (2260m) à la Dent de Bimis (2157m), délimite la partie SE du Vallon des Morteys (Fig. 1 et 2). Cette imposante paroi constitue le flanc interne du synclinal du Vanil Noir. A sa base, elle est formée de calcaires plaquetés du Crétacé (*Fm des Sciernes d'Albeuve*) surmontés de calcaires massifs du Malm (*Fm du Moléson*). Ces derniers sont fortement redressés et fracturés ce qui les rend particulièrement sensibles aux processus de karstification. L'*inventaire spéléologique du canton de Fribourg* (SPCF, 2013), y recense 26 entrées de cavités qui donnent accès à plus de 10 kilomètres de galeries déjà explorées. Ce géotope comprend en réalité deux systèmes qui n'ont pas pu être reliés jusqu'ici (fig. 3) :

- Le **réseau des Morteys** à proprement parlé qui constitue le plus important réseau spéléologique des Préalpes avec un développement de 8750 m pour un dénivelé négatif de 556 m (SPCF, 2013).
- le **Gouffre des Diablotins** qui renferme deux des plus grands puits verticaux de Suisse (respectivement 160 et 155m) pour un développement total de 2202 et 652m de dénivellation négative (SPCF, 2013).

Etant donné leur proximité et leur relation morphologique évidente, ces deux complexes ont été regroupés sous l'appellation « **réseau des Bimis** » par Grandgirard (1999). Ce réseau est particulièrement diversifié et comprend des puits, cheminées, salles, galeries, méandres ainsi que trois niveaux phréatiques anciens. Les spéléologues rapportent également une grande richesse de concrétions de calcite (stalagmites, stalactites, coulées, fistuleuses, excentriques, draperies, perles des cavernes, gours) ainsi que des formes minérales cristallisées plutôt rares comme des fleurs de gypse ou des sels de mirabilite mis à jour pour la première fois dans une grotte suisse (ASSN, 2012).

D'après Grandgirard (1999), « *Le réseau spéléologique des Bimis peut schématiquement être caractérisé par deux types de conduits correspondant à deux phases bien distinctes de la genèse de ce réseau :*

- *Les **galeries fossiles**, subhorizontales, creusées en écoulement noyé (galeries dites "phréatiques").*
- *Les **galeries actives**, subverticales, permettant aux eaux actuelles de circuler rapidement depuis la surface du terrain jusqu'à la zone noyée de l'aquifère (source des Planeys et de la Cascade de Jaun).*

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Pour l'auteur, les conduits fossiles se seraient formés « *alors que le niveau de base des vallées environnantes était situé à plus de 2000 mètres d'altitude* ». Pour Brasey (1989), les trois niveaux de galeries fossiles pourraient témoigner de phases actives de creusement lors d'interstades de la glaciation würmienne. De dimension plus importante, les galeries médianes pourraient même correspondre à une période interglaciaire. Il est également envisageable que ces galeries soient beaucoup plus anciennes et qu'elles aient été formées alors que les couches calcaires n'avaient pas atteint leur position actuelle. Avant le redressement final du synclinal des Morteys, la morphologie de la région ainsi que les conditions climatiques étaient sensiblement différentes si bien que les calcaires ont pu se trouver sous le niveau de base hydrologique conduisant au creusement de conduits en régime noyé. Pour être validées, ces hypothèses devraient être confrontées à l'analyse des concrétions et des remplissages argileux dont le potentiel de datation et de reconstitution climatique n'a pas été exploité jusqu'ici.

A la suite de Müller et Plancherel (1982), Brasey (1991) a également mis en évidence la forte dépendance entre la fracturation des calcaires en surface (décrochements, failles, diaclases) et le développement des réseaux karstiques en profondeur (Fig. 5A). Les conduits horizontaux se sont essentiellement développés sur des joints de stratification ou le long de fractures qui leurs sont parallèles. Ils sont recoupés par les galeries verticales, généralement situées à l'intersection de plan de failles. Ces puits sont hydrologiquement fonctionnels puisqu'ils drainent les écoulements actuels de la zone vadose jusqu'à la nappe karstique.

Notons encore la présence de glace qui remplit une partie du Gouffre des Diablotins et qui pourrait emprisonnée des informations climatiques sur la période Holocène (Fig. 4 et 5). Les études (Morard et al., 2010a, 2010b, 2012) se sont pour l'heure uniquement portées sur la fluctuation du volume de glace entre 1991 et 2011. L'instrumentation de l'une des entrée de la grotte a permis de mieux comprendre les phénomènes de circulation d'air (effet de cheminée) et les échanges thermiques saisonniers entre l'intérieur et l'extérieur de la cavité. Cette interaction entre les conditions climatiques externe et le climat hypogée déterminent les cycles de fonte et regel de la glace en profondeur.

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Evaluation

LPNat, 12 septembre 2012

Art. 32 Principes

[1] *Lorsqu'ils revêtent un intérêt particulier sur les plans **esthétique**, **typologique**, **scientifique** ou **éducatif**, les paysages et géotopes caractéristiques doivent dans la mesure du possible être préservés des atteintes qui en altèrent le caractère.*

Evaluation de l'intérêt scientifique

Valeur scientifique	Description	Pond.	Score
Représentativité	Par la diversité des cavités qui le constituent, son extension importante, la présence de très nombreuses microformes, le contexte et les modalités de sa genèse ainsi que son activité actuelle, ce réseau de cavités est particulièrement exemplaire.	2x	3
Intégrité	Agressions très ponctuelles liées à l'exploration; 98% de la grotte est pratiquement à l'état originel.	1x	3
Rareté	Importantes galeries creusées en régime noyé et situées nettement au-dessus du niveau de base des écoulements actuels; Présence de sels de mirabilite décrits pour la première fois dans une grotte suisse. Des cristaux analogues ont par la suite été trouvés également dans le Faustloch (région du nord du lac de Thoune, Oberland bernois). Le réseau des Morteys est le plus important réseau spéléologique de l'unité tectonique des Préalpes suisses. Présence de deux des plus profonds puits de Suisse connus actuellement. L'ensemble de ces particularités en fait un site d'une rare richesse, unique dans le canton de Fribourg.	1x	3
Valeur paléogéographique	Présence de remplissages sédimentaires et de glace susceptibles de fournir des informations sur les climats passés. Les différents niveaux de galeries fossiles horizontales pourraient fournir des informations sur des niveaux de bases anciens et potentiellement déterminés par l'englacement de la région. L'intérêt paléogéographique de ce géotope n'est pas pleinement exploité actuellement.	1x	3
Valeur scientifique globale	Exceptionnelle		15/15

L'évaluation s'appuie sur celle de Grandgirard (1999) et de l'ASSN (2012)

Appréciation des valeurs additionnelles

(écologique, esthétique, culturelle/historique)

Valeur écologique : le réseau des Morteys offre des conditions idéales pour l'hibernation de chauves-souris. Les restes de 51 individus ont été retrouvés (Magnin, 1990a et b).

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Informations complémentaires

Inclusion dans des inventaires existants

Inventaire	Auteur	Code
Inventaire des géotopes suisses	ASSN (2012)	CH_322
Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg	Grandgirard (1999)	Kcs03
Inventaire spéléologique du canton de Fribourg	SCPF (2013)	FR10 ; FR16-27 ; FR30-32 ; FR61-66 ; FR155

Relation spatiale avec d'autres géotopes

Relation spatiale	Nom
Englobé dans	Vallon synclinal des Morteys (GIC n°10)
Lien hydrogéologique avec	Exsurgence et cascade de Jaun (GIC n°45)

Géotopes fribourgeois aux caractéristiques similaires

Nom	Inventaire	Code	Importance
Réseaux karstiques du Haut-Intyamon	GIC	n°41	cantonale
Grotte de Naye (ou du Glacier)	GIC	n°43	cantonale
Gouffre du Protoconule	GIC	n°44	cantonale

Inclusion dans des aires de protection

Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale (IFP)
objet n°1504, « Vanil Noir »

Réserve naturelle cantonale (FR) géré par Pro Natura
Règlement du 11.01.1983 concernant la protection de la réserve du Vanil-Noir

Zone de protection intégrale (ZPI) au niveau communal
art. 24 RCU de la Commune de Charmey, « Réserve du Vanil-Noir »

Inventaire fédéral des districts francs fédéraux
objet n°26, Hochmatt - Motélon

Parc naturel régional Gruyère Pays-d'Enhaut
Objet n°23, LPN, Ordonnance sur les parcs

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Références bibliographiques

Académie suisse des Sciences Naturelles (ASSN) (2012). *Réseau des Morteys et Gouffre des Diablotins (FR, VD). Géotope suisse n°322 (FR)*. Lausanne : Groupe de travail pour les géotopes en Suisse.

Brasey, J. (1989). *Contribution à l'étude géologique du Vallon des Morteys et de ses environs*. - Dipl. Inst. Géol. Uni. Fribourg, non publié, 103 p.

Brasey, J. (1991). *Influence de la fracturation sur la genèse du Réseau des Morteys*. - Actes du 9e Congrés national de la Société suisse de Spéléologie, Charmey, 61-64.

Bovey, M. (1995). *Gouffre des diablotins*. - Akten des 10. Nationalen Kongresses für Höhlenforschung, Breitenbach, (Schweiz), 170-172.

Brasey, J. (1987). *Le réseau des Morteys: résultats 1986-1987*. - Actes du 8e Congrès national de spéléologie, 183-184.

Grandgirard, V. (1999). *Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg*. Fribourg : Institut de Géographie.

Lehmann, S. (2006). *Randonnée naturaliste dans la réserve naturelle du Vanil Noir* (3ème éd.). Fribourg : Pro Natura Fribourg.

Magnin, B. (1990a). Quelques informations sur les chauves-souris des Morteys. - *Canard mousquetonné*, 3pp.

Magnin, B. (1990b). Observations sur les restes de chiroptères du réseau des Morteys, dans le canton de Fribourg, Suisse (Mammalia Chiroptera). - *Bull. Soc. Frib. Sc. Nat. 78* (1/2), 66-80.

Magnin, B. (2000). Ossements découverts dans la grotte du Bärenloch, de l'Epaule et dans le gouffre des Bimis (FR). - *Le Canard Mousquetonné 16*, 27-31.

Morard, S., **Bochud**, M., **Delaloye**, R. (2010a). La glacière des Diablotins : évolution rapide d'une masse de glace souterraine au coeur des Préalpes fribourgeoises. - *Bull. Soc. Frib. Sc. Nat. 99*, 99-121.

Morard, S., **Bochud**, M., **Delaloye**, R. (2010b). Rapid changes of the ice mass configuration in the dynamic Diablotins ice cave – Fribourg Prealps, Switzerland. *The Cryosphere*, 4, 489-500, doi:10.5194/tc-4-489-2010.

Morard, S., **Bochud**, M., **Delaloye**, R. (2012). *Evolution de la masse de glace et formation de poches d'eau dans la glacière dynamique des Diablotins (Préalpes fribourgeoises).* Actes du 13e Congrès national de Spéléologie, 2012

Müller I. & Plancherel R. (1982). Contribution à l'étude de l'hydrogéologie karstique du massif du Vanil Noir et de la chaîne des Gastlosen (Préalpes fribourgeoises, Suisse). *Bull. Soc. Frib. Sc. Nat.,* 71(1/2): 102-132.

Perrin, J. (1991). Grotte des Bimis. - *Niphargus 9*, 12-16.

Perrin, J. (1992). Grotte des Bimis. - *Le Trou 54*, 21-26.

Spéléo-club Des Préalpes Fribourgeoises (SCPF) (1986). Le Réseau des Morteys. - *Stalactite 36(2)*, 59-79.

Spéléo-club Des Préalpes Fribourgeoises (SCPF) (1993). Saison 91-92. *Le Canard mousquetonné 1-18*.

Spéléo-club Des Préalpes Fribourgeoises (SCPF) (1994). La désobstruction des filles aux Diablotins. - *Le Canard mousquetonné 12*, 14-16.

Spéléo-club Des Préalpes Fribourgeoises (SCPF) (1997). Activités. - *Le Canard mousquetonné 5-6*; 9-23.

Spéléo-club Des Préalpes Fribourgeoises (SCPF) (1996): Gouffre des Diablotins. - *Le Canard mousquetonné 14,* 3-5.

Documentaire audiovisuel:

Gravenhorst, J. (2017). *Unsere wilde Schweiz 2/4 – Das Vanil Noir*, Docstation, 3sat SRF, 51 min. Disponible sur le lien suivant : http://www.3sat.de/mediathek/?mode=play&obj=69645

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Illustrations complémentaires (figures, plans, schémas, ...)

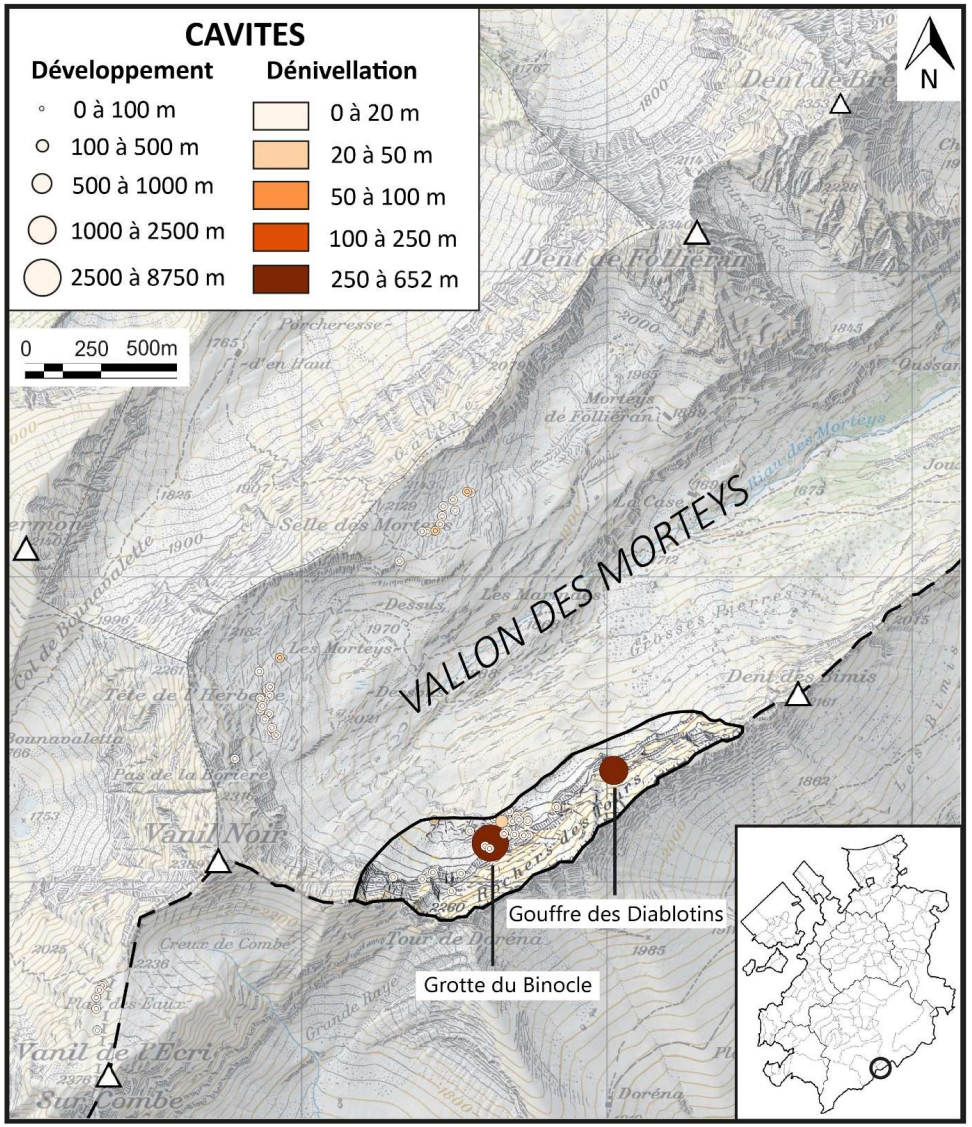


Fig. 1 : Délimitation du géotope et localisation du Gouffre des Diablotins et de la Grotte du Binocle, principale entrée du réseau des Morteys. Carte réalisée à partir de l'inventaire de cavités du canton de Fribourg (SCPF, 2013). Fond de carte @Swisstopo.

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Fig. 2 : Vue sur le Vallon des Morteys depuis le sentier menant au Vanil Noir. Sur la droite, la paroi des Rochers des Tours qui comprend le réseau des Morteys et le Gouffre des Diablotins.

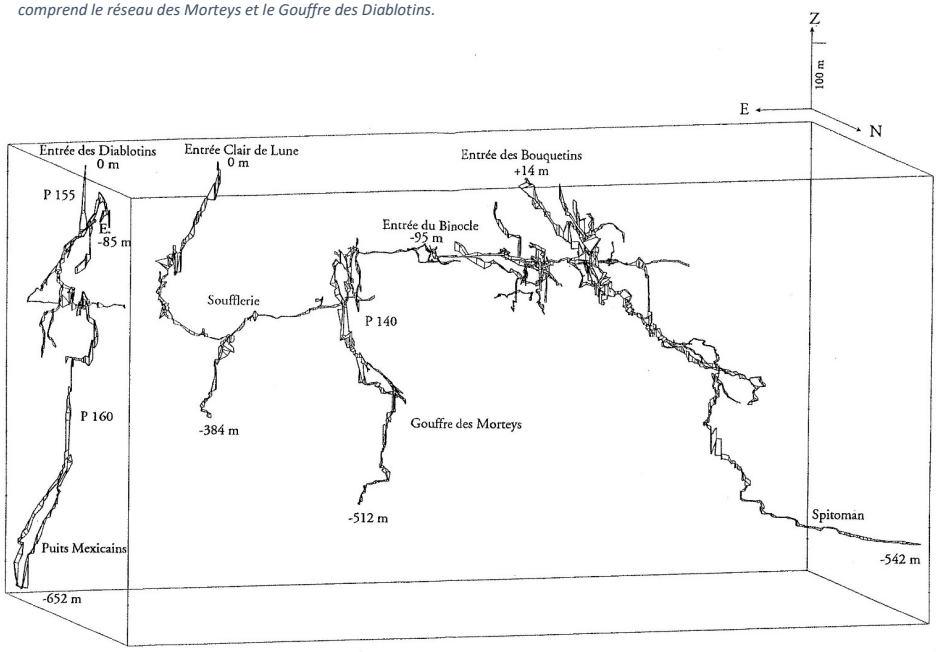


Fig. 3 : vue en trois dimensions du Gouffre des Diablotins et du Réseau des Morteys (SCPF, 1995).

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

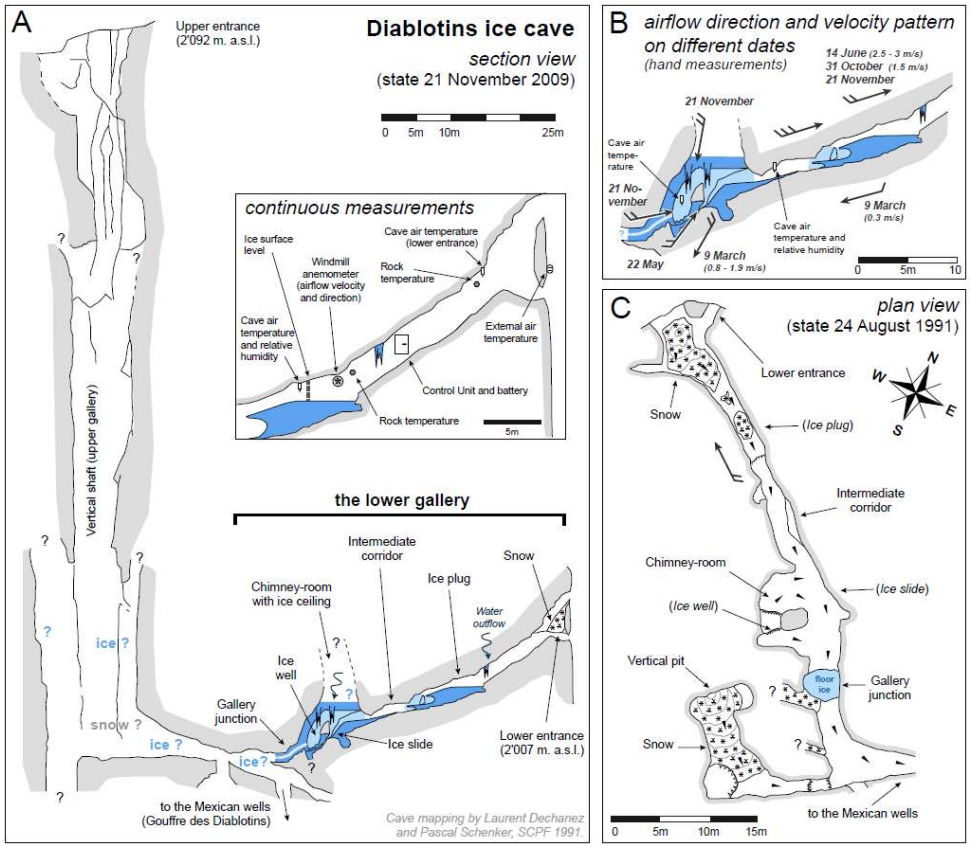


Fig. 4 : Monitoring du Gouffre du Diablotins par Morard et al. (2010)
*(**A**) Vue en coupe de la zone des entrées du Gouffre des Diablotins avec la distribution de la glace rencontrée le 21 novembre 2009 et la localisation des instruments utilisés pour les mesures continues. (**B**) Représentation de la direction et de la vitesse du flux d'air observées en 2009-2010 (le nombre de traits sur les flèches représentent la vitesse moyenne : une barre < 1m/s, deux barres : 1-3m/s, trois barres > 3m/s). (**C**) Vue en plan de la zone des entrées du Gouffre des Diablotins : la galerie était quasiment libre de glace le 24 août 1991 (cartographie de la cavité par Laurent Dechanez et Pascal Schenker, SCPF). La roche est représentée en gris, la glace en bleu foncé ou bleu clair lorsqu'elle occupe uniquement la partie SO de la galerie inférieure.*

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Photographies du site

*Fig. 5 : (**A**) l'une des entrées du réseau des Morteys située dans le prolongement d'une importante faille tectonique. (**B**) Bouchon de glace qui obstrue l'une des cavités de la Grotte des Diablotins (Morard et al., 2010). (**C**) Instrumentation de la Grotte des Diablotins décrit dans la Fig. 4.*

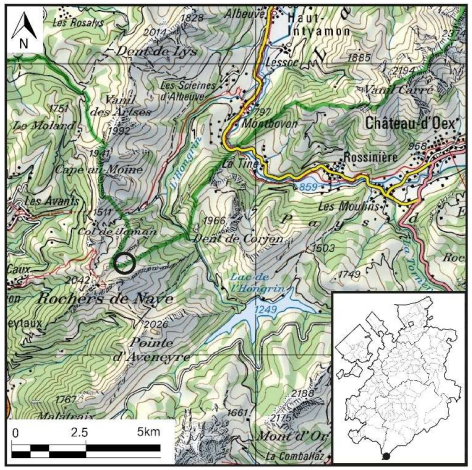
Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Grottes de Naye (ou Grotte du Glacier)

GIC n°43

Description synthétique :

Le réseau karstique des grottes de Naye est le deuxième plus développé du canton de Fribourg avec presque 5 km de galeries connues et des secteurs encore totalement inexplorés. Ce véritable labyrinthe souterrain se développe dans une paroi calcaire du vallon de Bonaudon qui appartient au massif des Rochers de Naye. Le site a la particularité d'être accessible aux randonneurs équipés d'une lampe de poche puisqu'un secteur de la grotte, appelé le *Réseau des touristes*, est aménagé et permet de relier deux entrées différentes en arpentant une petite partie de ce vaste monde souterrain.



© Marc Wittwer (Dutruit, 2008)

Localisation :

Commune / Lieu-dit : Haut-Intyamon

Carte(s) nationale(s) : 1264 Montreux

CH1903+ : Sup. : 2 565 390 / 1 143 080
Inf. : 2 565 315 / 1 143 080

Altitude ponctuelle : Sup. : 1814 m
Inf. : 1765 m

Dimensions :

Type géométrique : Surfacique

Développement : 4861 m

Dénivellation : 231 m (-130, +101m)

Caractéristiques et intérêts principaux :

naturel ☒ / artificiel☐ **actif ☒ / passif ☒**

Catégorie	géologique ☒	géomorphologique ☒	spéléologique ☒
Intérêt principal		karstique	Réseau souterrain
Intérêt(s) secondaire(s)	hydrogéologique, structural, tectonique, géochimique, pétrographique		

Mots clés : Karst, réseaux souterrains, cavités, gouffres, spéléologie.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Cadre géologique et temporel

Région concernée : Préalpes

Unité(s) lithostratigraphique(s)	
Unité tectonique :	KI *Préalpes médianes plastiques*
Formation :	Formation du Moléson (Calcaires massifs)

Unité(s) géochronologique(s)	
Ère géologique	Mésozoïque
Période géologique :	Jurassique
Epoque géologique :	Jurassique supérieur (Malm)
Age géologique :	Kimméridgien - Berriasien

Remarque : Le contexte géologique et temporel concerne uniquement la roche dans laquelle est formé le réseau karstique. La mise en place de ce dernier s'inscrit sur une longue durée, depuis l'émersion et la mise en place des roches constitutive de la chaîne jusqu'à nos jours. Certaines périodes ont certainement été plus propices à de fortes dissolutions karstiques comme les phases de déglaciation qui ont suivi des périodes glaciaires durant lesquelles l'activité morphogénétique a été bien plus réduite (permafrost en altitude et couverture de glace dans les zones basses).

Intérêts scientifiques

(par ordre de pertinence)

Intérêt scientifique principal :

- **karstique / spéléologique :** La Grotte de Naye et son réseau souterrain résultent de processus de dissolution des calcaires par des eaux chargées en CO_2.

Intérêts scientifiques secondaires :

- **structural / tectonique** : le réseau karstique se développe dans le flanc externe du synclinal de Naye. La fracturation importante détermine le développement et l'orientation des galeries qui le parcourent.
- **géochimique / pétrographique :** ce géotope comporte un certain nombre de concrétions calcaires de formes variées (coulées stalagmitiques, stalactites, fistuleuses et gours).
- **hydrogéologique :** La majorité de la grotte se situe en zone vadose mais les parties basses du réseau sont périodiquement noyées. L'exutoire de ces eaux souterraines n'a pas encore été déterminé.

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Description du géotope

La Grotte de Naye a fait l'objet d'un numéro spécial de la revue *le Trou* du Groupe Spéléo Lausanne (Dutruit, 2008). Cette publication d'une septantaine de page constitue la somme des connaissances actuelles sur le réseau souterrain de cette grotte. Disponible en ligne, le document est remarquablement détaillé et agrémenté d'un grand nombre d'images et de plans. La présente fiche s'appuie sur ce travail et nous renvoyons le lecteur à cet article pour de plus amples informations.

Cadre géographique

Egalement nommée « Grotte du Glacier », la Grotte de Naye se situe à l'extrême sud du canton de Fribourg (Fig. 1). Le réseau se développe dans une imposante paroi calcaire d'environ 150 m qui constitue le versant nord de la Grande Chaux de Naye. Cette arrête marque la frontière valdo-fribourgeoise et sépare les vallons de Bonaudon (FR, Haut-Intyamon) et de Naye (VD, Veytaux). Les entrées de galeries se situent donc en territoire fribourgeois alors que le réseau se développe majoritairement dans le sous-sol du Canton de Vaud.

Historique des explorations

Les grottes du massif des Rochers de Naye sont connues depuis longtemps des habitants de la région et sont à l'origine de plusieurs légendes. La première source faisant état d'une exploration de la grotte de Naye date du début du 19ème siècle. Le Doyen Bridel (1808), Pasteur à Montreux, y rapporte l'exploration de chercheurs en quête de métaux précieux. L'exploration des galeries par des naturalistes amateurs se poursuit durant le 19ème siècle et jusqu'au milieu du 20ème siècle où 800m de réseau sont déjà connus. Entre 1976 et 1981, la section des Rochers de Naye de la Société Suisse de Spéléologie (SSS) entreprend une première exploration d'envergure pour topographier et désobstruer le réseau, connu désormais sur 2'800m. Entre 1992 et 1997, le Groupe Spéléo Lausanne (GSL) reprend le flambeau et porte le développement total exploré à 4'861m ce qui en fait le second réseau le plus important du canton de Fribourg (SCPF, 2013).

Description des cavités

Cinq orifices permettent d'accéder aux galeries souterraines. Trois de ces entrées se situent en pleine paroi et sont inaccessibles. Les deux autres sont atteignables grâce à un sentier balisé et ont été aménagées pour permettre l'accès des visiteurs. Il est ainsi possible de relier l'entrée inférieure (1765m) et supérieure (1814m, Fig. 4) de la grotte par l'extérieur, en empruntant un aménagement d'escalier et de passerelles à flanc de falaise ou, muni d'une lampe de poche, d'arpenter l'intérieur du massif. Nommé « **Réseau des touristes** » par des spéléologues facétieux, ce secteur se compose de galeries sommairement aménagées (marches d'escaliers, échelles, plateformes, chaînes) et balisées (catadioptres) qui permettent l'accès aux non-spécialistes (Fig. 5). Ce réseau comprend notamment la « salle du glacier » qui a donné l'un de ses noms à l'ensemble de la grotte. En effet, jusqu'à la fin du 19ème siècle, la glace occupait une grande partie de cette cavité, empêchant le passage vers les galeries supérieures. En 1893, une désobstruction à la dynamite a permis l'accès vers « le Trou de l'Aigle » tout en générant un courant d'air qui a fait disparaitre la glace en une cinquantaine d'année (GSL, s.d.). Le reste du réseau, accessible uniquement aux spéléologues, est d'une complexité inédite et forme un véritable labyrinthe en trois dimensions (Fig. 2). Afin d'en faciliter la représentation topographique, les spéléologues ont divisé le réseau en différents secteurs (*réseaux des touristes, du Jeûne, des Merveilles, du Lada, du Bronx*, etc.). Ce formidable travail de cartographie est disponible dans le numéro du *Trou* cité en introduction (Dutruit, 2008).

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Remplissages et spéléothèmes

Le réseau est rempli de dépôts détritiques variés (moraine, éboulis, boulets de calcite) et de formations argileuses assez rares (*sapins d'argile, mille doigts*). A cause de la fréquentation du lieu, la *Galerie des touristes* est aujourd'hui vierge de toute concrétion. Dans le reste du réseau, on retrouve quelques spéléothèmes comme des coulées stalagmitiques, stalactites, fistuleuses et gours (Fig. 4). La météorologie souterraine est également favorable à la formation de coulée de glace dans un certain nombre de galeries.

Cadre géologique (stratigraphie et fracturation)

Les différentes entrées de la grotte se situent dans une paroi calcaire du Malm de la formation du Moléson. Ces falaises forment le flanc externe et NW du synclinal de Naye (Fig. 3) appartenant aux préalpes médianes plastiques. Le pendage des couches est dont subvertical au niveau des galeries supérieures et s'atténue en profondeur. La majeure partie du réseau se développe dans les calcaires très solubles du Malm mais la lithologie change dans les parties profondes avec un calcaire plus argileux et moins karstifiable (*Formation du Torrent de Lessoc*). Les roches sous-jacentes sont faiblement perméables et constituent la limite d'extension du réseau spéléologique. La dissolution karstique s'est opérée préférentiellement dans les zones de faiblesse de la roche, c'est-à-dire le long ou à l'intersection des nombreuses failles qui parcourent le massif. A noter qu'un cas de néotectonique a été observé dans l'une des galeries du réseau de Naye (Dutruit, 2008).

Morphogenèse

L'agencement labyrinthique et l'extrême densité du réseau de Naye témoigne d'une histoire particulièrement longue et complexe. La morphologie de nombreuses galeries témoigne d'un stade de creusement en régime noyé. Durant cette période, le paysage était sensiblement différent si bien que les calcaires karstifiables se trouvaient sous le niveau de base hydrologique. Par la suite, le niveau de base s'est abaissé comme en témoignent les profils en trou de serrure ou en canyon d'un bon nombre de galeries.

Hydrogéologie souterraine et résurgences des eaux

Les galeries supérieures sont généralement à sec et parfois le siège de faibles écoulements lors de périodes pluvieuses et de fonte des neiges. Seule la *Galerie du Ruisseau* est parcourue par un cours d'eau réellement pérenne. Les zones basses du réseau (*Réseau du Jeûne, Salle des Sapins d'Argile, Puits-Qui-Chante,* etc.), plus proche du niveau de base hydrogéologique, sont quant à elle périodiquement noyées en périodes humides. Si une liaison hydrologique a pu être démontrée entre le vallon de Naye et les sources de Grandchamp à proximité de Chillon, aucun essai de traçage n'a encore été réalisé directement depuis la Grotte du Glacier. Les eaux du réseau spéléologique pourraient atteindre ces sources, côtés Léman, ou alors alimenter les résurgences des Gorges de l'Hongrin, dans l'Intyamon. Un phénomène de dispersion des eaux entre le bassin du Rhin et du Rhône est également envisageable.

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Evaluation

LPNat, 12 septembre 2012

Art. 32 Principes

[1] *Lorsqu'ils revêtent un intérêt particulier sur les plans **esthétique**, **typologique**, **scientifique** ou **éducatif**, les paysages et géotopes caractéristiques doivent dans la mesure du possible être préservés des atteintes qui en altèrent le caractère.*

Evaluation de l'intérêt scientifique

Valeur scientifique	Description	Pond.	Score
Représentativité	Par le nombre et la diversité des cavités qui la constituent, la complexité de leur agencement, son extension importante, le contexte et les modalités de sa genèse et son altitude élevée, la Grotte de Naye est particulièrement exemplaire.	2x	3
Intégrité	Altération notable du *Réseau des touristes* lié à l'aménagement et à la fréquentation du lieu depuis près de deux siècles (fonte d'un glacier souterrain, récolte de concrétions, déchets etc.) Dans le reste du réseau, les agressions sont très ponctuelles et liés à l'exploration spéléologique.	1x	1
Rareté	Outre les caractéristiques mis en avant ci-dessus, notamment son extension importante, la Grotte de Naye constitue, dans le Canton de Fribourg, l'unique cavités accessibles et visitables par des non spécialistes.	1x	3
Valeur paléogéographique	Présence de remplissages sédimentaires susceptibles de fournir des informations sur les climats passés. Morphologie des galeries témoignant de la variation du niveau de base liée à l'évolution topographique de la région au cours du temps géologique. L'intérêt paléogéographique de ce géotope n'est pas pleinement exploité actuellement.	1x	2
Valeur scientifique globale	Elevé		**12**/15

Appréciation des valeurs additionnelles

(écologique, esthétique, culturelle/historique)

Valeur culturelle : les grottes du massif des Rochers de Naye sont à l'origine de plusieurs légendes locales. Parmi celles-ci, l'une fait état d'un trésor gardé par un bouc secondé d'une armée de gnomes (Maurice, 1956 ; Dutruit, 2008).

Valeur historique : des chercheurs d'or se sont aventurés dans la grotte au début du 19ème siècle. L'exploration du réseau par des amateurs ou des personnages plus illustres (notamment E.A. Martel (1897), considéré comme le fondateur de la spéléologie moderne) a également fait l'objet de nombreux récits, particulièrement précieux pour connaitre l'évolution de la grotte (englacement, effondrement) et de la pratique de la spéléologie.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Informations complémentaires

Inclusion dans des inventaires existants

Inventaire	Auteur	Code
Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg	Grandgirard (1999)	Kcs09
Inventaire spéléologique du canton de Fribourg	SCPF (2013)	FR233 - FR235
Inventaire des géomorphosites du PNR Gruyère-Pays d'Enhaut	Bussard (2014)	GPEkar023

Relation spatiale avec d'autres géotopes

Relation spatiale	Nom
Géotope intégré dans le Vallon glacio-karstique de Bonaudon.	Grandgirard (1999): GKva04
Potentiel lien hydrogéologique avec plusieurs résurgences des Gorges de l'Hongrin (Estavelle de l'Hongrin et Grotte du Roc).	ASSN (2012) : CH317 SCPF (2013) : FR130 à 133

Géotopes fribourgeois aux caractéristiques similaires

Nom	Inventaire	Code	Importance
Réseau karstique des Morteys et Gouffre des Diablotins	GIC	n°42	cantonale
Réseaux karstiques du Haut-Intyamon	GIC	n°41	cantonale
Gouffre du Protoconule	GIC	n°44	cantonale

Inclusion dans des aires de protection

Parc naturel régional Gruyère Pays-d'Enhaut
Objet n°23, (Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (LPN), Ordonnance sur les parcs)

Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale (IFP)
Objet n°1515 « Tour d'Aï – Dent de Corjon »
(Ordonnance concernant l'inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels)

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Caractéristiques d'usage et de gestion

Vulnérabilité, protection et préservation du site

Atteintes existantes :	**moyenne**	Altération notable du *Réseau des touristes* lié à l'aménagement et à la fréquentation du lieu. Dans le reste du réseau, les agressions liées à l'exploration spéléologique sont négligeables.
Menaces potentielles ou avérées :	**moyenne**	Augmentation de la fréquentation du site et des comportements nuisibles (pollution, déchets, détérioration des galeries).
Statut de protection actuel :	**faible**	Bien qu'appartenant à des zones protégées, le site ne bénéficie d'aucun statut de protection spécifique.

Mesures de protection proposées :	Informer les visiteurs de la fragilité du milieu qu'ils fréquentent et des comportements à éviter.

Valorisation du site

Valorisation existante : oui / non **Public cible :** randonneur averti

Conditions de visites	**moyenne**
Facilité d'accès	Dans le secteur des grottes, le sentier à emprunter est un chemin de randonnée alpine (balisage bleu et blanc), plutôt aérien et réservé aux marcheurs aux pieds sûrs. 40 minutes suffisent pour atteindre le site du parking de la dent de Jaman ou de la station des Rochers de Naye.
Sécurité	Le site comporte de nombreux dangers (risque de chute et de glissade), tant à l'extérieur qu'à l'intérieur des cavités. Il doit être uniquement fréquenté d'un public averti et muni d'une lampe de poche.

Intérêt éducatif	**moyen**
lisibilité	Il s'agit du seul site spéléologique du canton de Fribourg accessible à des personnes non spécialisées (*Réseau des touristes*). Sans connaissances préalables, support explicatif ou guide, il est cependant difficile de comprendre la morphogenèse et les processus à l'origine du réseau. De plus, les spéléothèmes sont quasiment inexistants dans la partie accessible au public.
Equipement d'interprétation	Aucun

Proposition de valorisation :	La lisibilité des formes à l'intérieur de la grotte est insuffisante pour une mise en valeur poussée du site. Il est cependant envisageable de créer un panneau explicatif à l'entrée de la grotte pour sensibiliser à l'ampleur du réseau développé dans la paroi calcaire.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Références bibliographiques

Bridel, Ph-S. (1808). *Coup d'oeil sur les Alpes de la Paroisse de Montreux*, Lettre I, Veytaux. – Etrennes Helvétiques, Imp. Vincent, Lausanne

Dutruit, J. (2008). Grotte du Glacier ou Grotte de Naye. *Le Trou 67*, numéro spécial, Groupe Spéléo Lausanne

Groupe Spéléo Lausanne GSL (s.d.). *Karst des Rochers de Naye, Grotte du Glacier*. Disponible à l'adresse suivante : http://www.speleo-lausanne.ch/06_Activites/Explorations/Vd-alpes/Rochers-Naye/Glacier/_Glacier-home.htm

Martel, E.A. (1897). *Glacières naturelles des Rochers de Naye*. Compte rendu des séances à la Société de Géographie, no. 18, 19 et 20.

Illustrations complémentaires (figures, plans, schémas, ...)

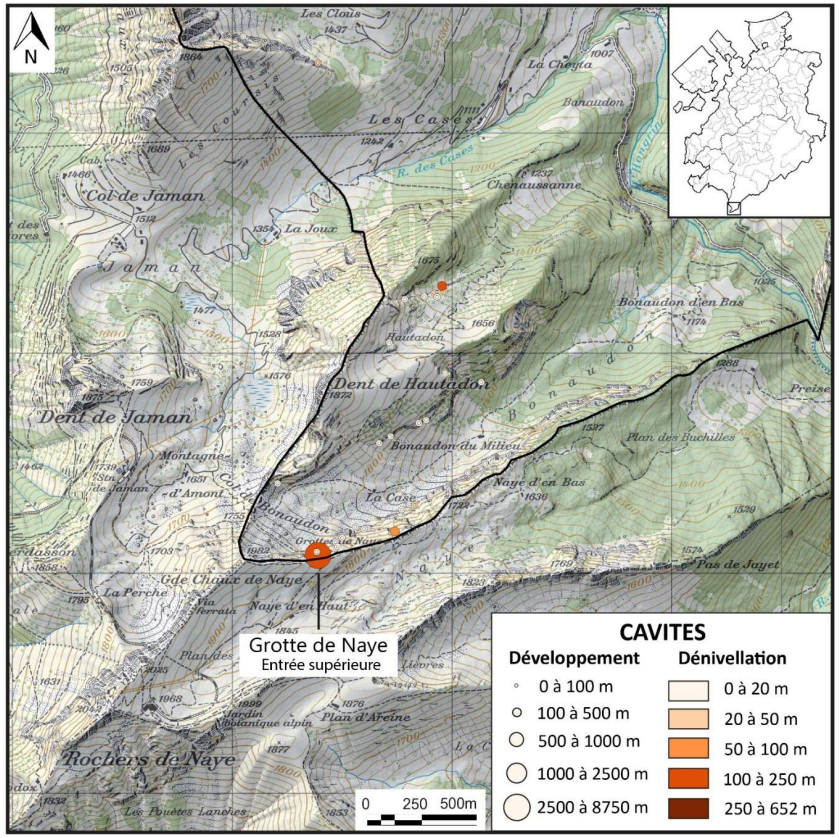


Fig. 1 : ensemble des cavités fribourgeoises situées dans les vallons de Hautadon et de Bonaudon. La Grotte de Naye (ou du Glacier) débouche sur le plus grand réseau de la région. L'entrée supérieure de ce réseau est mise en évidence ci-dessus. Carte réalisée à partir de l'inventaire de cavités du canton de Fribourg (SCPF, 2013). Fond de carte : superposition d'une carte topographique 1:25'000 et d'un MNT (swissALTI3D, éclairage NW45°). © Swisstopo.

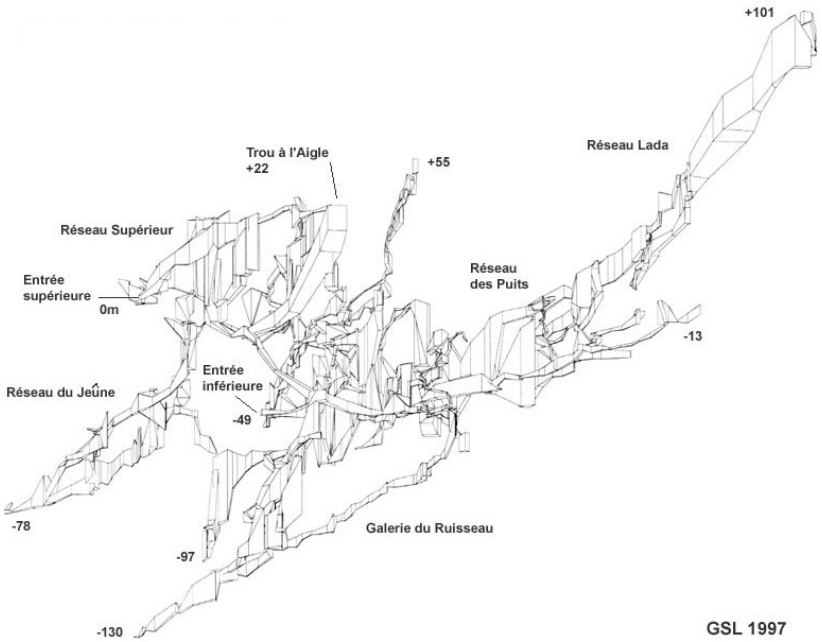


Fig. 2 : vue générale en trois dimensions du réseau des grottes de Naye (GSL, 1997). L'ensemble des relevés topographiques sont rassemblés dans le numéro spécial n°67 du Trou (Dutruit, 2008).

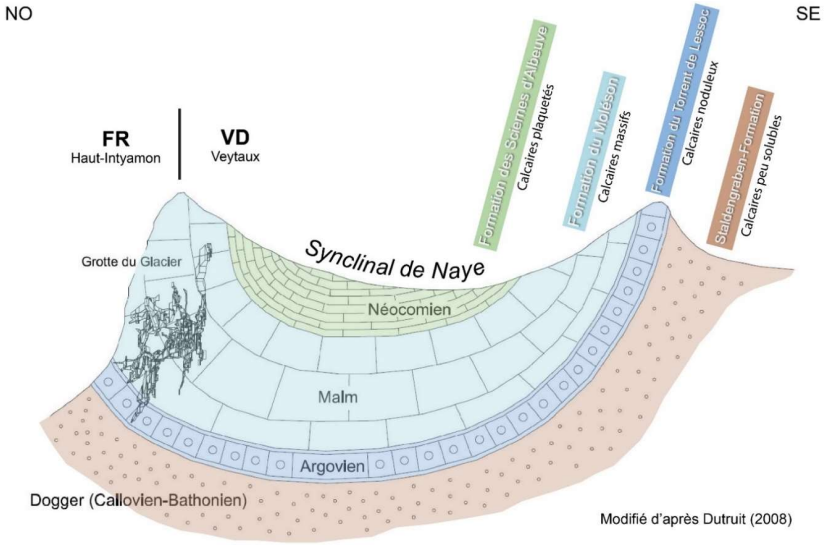


Fig. 3 : coupe géologique simplifiée du synclinal de Naye au niveau de la Grotte du Glacier (Modifié d'après Dutruit, 2008).

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Photographies du site

Fig. 4 : salle des Gours dans le Réseau des Merveilles (photo : P.Beerli - Le Trou n°67)

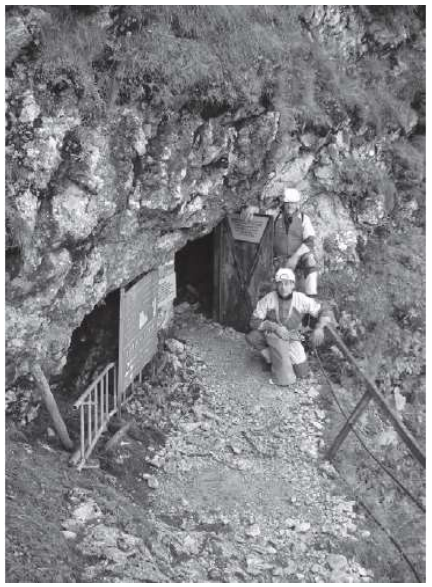


Fig. 5 : entrée supérieure et panneaux d'information au public (photo : M. Wittwer - Le Trou n°67)

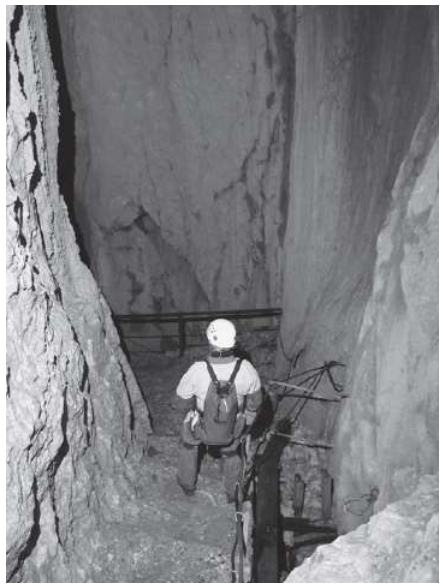


Fig. 6 : aménagement de la Galerie des touristes vers l'entrée supérieure (photo : M. Wittwer / Le Trou n°67)

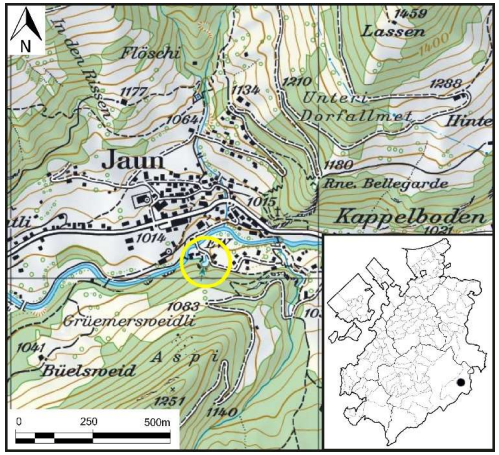
Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Exsurgence karstique et cascade de Jaun

GIC n°45

Description synthétique :

La cascade de Jaun constitue l'exsurgence d'un réseau karstique de très grande extension. Des essais de traçage ont en effet permis de prouver un lien hydrogéologique avec la plaine du Gros Mont, le vallon des Morteys et le synclinal perché du Vanil Noir. Les caractéristiques hydrologiques de ce géotope en font un site rare à l'échelle des Préalpes.



Localisation :

Commune / Lieu-dit : Jaun

Carte(s) nationale(s) : 1226 Boltigen

CH1903+ : 2 587 630 / 1 162 040

Altitude : 998 m

Dimensions :

Type géométrique : ponctuel

Hauteur : ~ 10 m

Débit moyen : ~ 700 l/s

Débit max. : ~ 6'000 l/s

Caractéristiques et intérêts principaux :

naturel ☒ / artificiel ☐ **actif** ☒ / passif ☐

Catégorie	géologique ☒	géomorphologique ☒	spéléologique ☒
Intérêt principal	hydrogéologique	Karstique	Accès à un réseau souterrain ennoyé
Intérêt(s) secondaire(s)		fluviatile	

Mots clés : Cascade, source, exsurgence, système hydrogéologique, réseau karstique souterrain.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Cadre géologique et temporel

Région concernée : Préalpes

Unité(s) lithostratigraphique(s)	
Unité tectoniques :	KI *Préalpes médianes plastiques*
Formation :	Staldengraben-Formation
Membre :	Membre du Vanil Carré

Unité(s) géochronologique(s)	
Période géologique :	Jurassique
Epoque géologique :	Dogger (Jurassique moyen)
Age géologique :	Bajocien tardif - Bathonien

Remarque : le contexte géologique et temporel concerne uniquement la roche sur le lieu de l'exsurgence. Le réseau karstique souterrain en amont se développe majoritairement dans les calcaires massifs très solubles du Malm appartenant à la *Formation du Moléson* ainsi que dans les calcaires plaquetés de la *Formation des Sciernes d'Albeuve*.

Intérêts scientifiques

(par ordre de pertinence)

Intérêt scientifique principal :

- **Hydrogéologique :** l'exsurgence de Jaun constitue l'exutoire d'un réseau hydrographique karstique souterrain d'une grande complexité et de très grande extension.
- **Spéléologique :** ce géotope constitue l'entrée d'un réseau souterrain ennoyé qui a été exploré sur près de 250 m pour une dénivellation négative de 80 m.
- **Karstique** : l'exsurgence de Jaun est un témoin remarquable d'un réseau karstique souterrain de grande extension.

Intérêts scientifiques secondaires :

- **Géomorphologie fluviatile** : la source se trouvant à environ 12 m au-dessus du bassin de rétention, les eaux qui émergent forment une cascade, forme plutôt rare à l'échelle du canton.

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Description du géotope

Description générale :

Ce géotope consiste en une source karstique permanente jaillissant d'un affleurement calcaire au sud du village de Jaun (Fig. 5 à 10). L'eau sort de l'exutoire, situé à une dizaine de mètres de hauteur, pour former une cascade qui vient remplir un bassin largement artificialisé. Les eaux de l'exsurgence vont ensuite alimenter le Jaunbach qui devient La Jogne en terres francophones.

Description scientifique (morphogenèse, activité géomorphologique)**:**

De par son débit, la cascade de Jaun est unique en terre fribourgeoise et compte parmi les plus importantes sources karstiques des Préalpes (Braillard, 2015). En moyenne, 700 litres/seconde jaillissent de l'exutoire mais le régime hydrologique est caractérisé par une forte variabilité entre des périodes d'étiage hivernales et des phases de crues intenses liées à la fonte des neiges au printemps. Entre le mois de mai et la fin juin, les débits dépassent ainsi régulièrement les 3'000 litres/seconde et atteignent des pics autour de 6'000 litres/seconde (Müller, 1974).

La cascade constitue une source karstique qu'il convient de nommer « exsurgence ». En effet, le réseau karstique est alimenté par une infiltration diffuse de l'eau de précipitation ou de fonte. Le terme « résurgence » est quant à lui strictement réservé au phénomène de réapparition d'une rivière souterraine dont la perte est connue. Il n'est pas rare que la source soit encore nommée « émergence de Jaun » ce qui témoigne du mystère, longtemps resté en suspens, de l'origine de l'eau formant la cascade. C'est dans le cadre d'une étude liée à un projet hydroélectrique dans la région du Gros Mont que la question fut partiellement résolue. Schardt (1928), dont la recherche est rapportée par Büchi (1931), mena des essais de traçage à partir du Rio des Morteys. L'eau de ce ruisseau, qui coule dans le vallon éponyme, a pour particularité de s'infiltrer peu à peu dans le réseau karstique sous-jacent. En fonction des conditions hydriques et météorologiques, le cours d'eau superficiel s'écoule plus ou moins bas et n'atteint que rarement la plaine marécageuse de La Verda, en aval. En septembre 1928, après une période particulièrement sèche, le ruisseau prenait fin à une altitude de 1700 m où furent versés 10 kg de fluorescéine. Si aucune trace du colorant n'apparut à la source de la Chaudanne (VD), ce dernier fut détecté après trois jours dans les deux sources des Planeys. Au niveau de l'exsurgence de Jaun, situé à plus de 12 km à vol d'oiseau, il fallut attendre 11 jours pour voir apparaitre la substance colorée. L'existence d'un drainage karstique partant du synclinal du Vanil Noir et aboutissant à la cascade du Jaun était établie. Ces essais de traçage furent poursuivis par Tercier (1949, 1951) à partir de la plaine du Gros Mont.

Les études sur l'exsurgence de Jaun ne reprirent qu'au milieu des années 70, sous l'impulsion de Müller (1975, 1976a, 1976b, 1981). Les résultats de ces recherches sont rassemblés et synthétisés dans un article de Müller & Plancherel (1982) qui met en évidence les caractéristiques, bien distinctes, des systèmes hydrogéologiques drainant le massif du Vanil Noir et la chaîne des Gastlosen. Pour la première fois, les bassins d'alimentation karstiques des principales sources de la région (sources de la Chaudanne, de Jaun et du Sandli) sont esquissés sur carte (Fig.). Aujourd'hui encore, l'extension exacte de ces bassins en surface reste incertaine et hypothétique. Il est en effet fort probable que les limites changent en fonction de l'état hydrodynamique du

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

système karstique sous-jacent. En profondeur, le réseau hydrologique se développe essentiellement dans les calcaires plaquetés du Crétacé inférieur (*Fm des Sciernes d'Albeuve*) et dans les calcaires massifs très solubles du Malm (*Fm du Moléson*). Le flanc nord du synclinal du Vanil Noir (crête nord du vallon des Morteys) et le flanc sud de l'anticlinal de la Jogne (Hochmatt, crête de l'Oberrüg) comportent des formations plus imperméables et peu sensibles aux processus de karstification comme celle du *Staldengraben*. Ces niveaux imperméables empêchent les eaux souterraines de rejoindre la vallée de la Jogne et les contraignent à s'écouler vers le village de Jaun. De prime abord, l'emplacement de l'exsurgence de ces eaux est plutôt surprenant d'un point de vue tectonique (Braillard, 2015). En effet, la grande « *dislocation transversale Bellegarde - Lac Noir* » (Plancherel, 1976) ne passe qu'à 150 m à l'est de la source qui aurait pu s'établir dans l'axe de cet important accident tectonique. Müller et Plancherel (1982) explique cette particularité en arguant que « *les accidents décrochants ne fonctionnent généralement pas, ou rarement, comme des drains, mais plutôt comme des écrans peu perméables* […]. *Les exutoires qu'on repère au voisinage des accidents majeurs seraient dus au fait que l'eau souterraine bute sur l'obstacle d'une moindre perméabilité*.»

En 1974 et 1975, le débit de la cascade du Jaun fût enregistré en continu et des paramètres physico-chimiques tels que la température, la dureté ou la conductibilité de l'eau, mesurés de manière hebdomadaire (Fig.). En mettant en relation ces mesures avec les hauteurs de précipitations enregistrées à la station pluviométrique du Jaun ainsi qu'avec des observations de la fonte des neiges en altitude, Müller et Plancherel (1982) mirent en évidence « *l'existence d'un réservoir à écoulement lent, qui alimente la source pendant l'étiage, et d'un réservoir à écoulement rapide qui, lors des crues, introduit de fortes dilutions et une baisse sensible de la température de l'eau* » (Fig.). Ce phénomène est confirmé par les études ultérieures de Schouwey (1989), Thierrin (1990), Montcalm (1997) et Grasso (1999). Ce dernier met en exergue le comportement hydraulique des systèmes karstiques pendant un cycle de crue/récession, phénomène particulièrement bien exprimé à la cascade de Jaun. Suite à un événement pluvieux ou à la fonte marquée du manteau neigeux, l'eau s'infiltre en traversant l'épikarst avant d'atteindre la zone noyée. Cela conduit à une brusque élévation de pression dans l'ensemble du réseau karstique ennoyé. L'onde de pression se propage très rapidement ce qui conduit à une augmentation quasi instantanée du débit de la source. Lors de cette phase, dite « *piston flow* », l'eau expulsée est fortement chargée en $CaCO_3$ car son long transit dans le réseau a permis un enrichissement en calcaire. Cette forte concentration minérale diminue lorsque les eaux fraichement infiltrées et peu minéralisées atteignent l'exutoire. Sans apport supplémentaire d'eau météorique, le niveau piézométrique baisse dans l'aquifère karstique et la source est à nouveau sous un régime d'étiage. Par inversion du gradient hydraulique, l'eau provient alors des zones peu perméables et non karstifiées du massif qui restituent lentement, vers les drains, l'eau emmagasinée lors des phases de hautes eaux.

Le réseau karstique ennoyé qui aboutit à la cascade de Jaun a été exploré pour la première fois par des membres du Groupe Lémanique de Plongée Souterraine (GLPS) en 1973 (Brandt, 1976). Depuis cette date, plusieurs explorations ont été tentées par des spéléologues-plongeurs amateurs avec un record établi en mars 1989. Le réseau a ainsi pu être exploré sur une distance horizontale de 250 m avec une dénivellation négative de 80 m (Fig.) comme le relate un article paru dans la revue du Spéléo-Club des Préalpes fribourgeoises (Brasey, 1989).

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Evaluation

LPNat, 12 septembre 2012

Art. 32 Principes

[1] *Lorsqu'ils revêtent un intérêt particulier sur les plans **esthétique**, **typologique**, **scientifique** ou **éducatif**, les paysages et géotopes caractéristiques doivent dans la mesure du possible être préservés des atteintes qui en altèrent le caractère.*

Evaluation de l'intérêt scientifique

Valeur scientifique	Description	Pond.	Score
Représentativité	De par ses dimensions, son environnement et son activité, l'exsurgence de Jaun constitue un témoin particulièrement impressionnant de l'activité morphogénique des eaux souterraines en milieu karstique. Il s'agit du meilleur exemple de ce phénomène dans le canton de Fribourg.	2x	3
Intégrité	Malgré un petit captage installé dans la cavité et quelques ancrages installés pour des explorations spéléologiques, l'exsurgence et la cascade elle-même sont intactes et leur activité n'est pas entravée. Seul le bassin est artificialisé.	1x	3
Rareté	De par son débit et son contexte particulier (formation d'une cascade), l'exsurgence de Jaun est unique un terre fribourgeoise et compte parmi les plus importantes sources karstiques des Préalpes.	1x	3
Valeur paléogéographique	Aucune	1x	0
Valeur scientifique globale	**Très importante**		**12**/15

L'évaluation s'appuie sur celle de Grandgirard (1999)

Appréciation des valeurs additionnelles

(écologique, esthétique, culturelle/historique)

Valeur esthétique :

Le spectacle constitué par cette cascade émergeant d'un massif rocheux est saisissant. Lors des pics de crue, et tout particulièrement à la fonte des neiges, le fort débit rend le phénomène plus impressionnant encore. Le site présente également un fort intérêt après des périodes de grand froid où le gel accroit encore la beauté du lieu. L'aménagement du site, avec sa route goudronnée, sa zone de pic-niques, ses deux ponts en bois et un sentier pédestre longeant la cascade, permet d'observer le phénomène depuis une multitude de points de vue.

Valeur historique/économique :

Depuis 1912, le bassin qui recueille les eaux de la cascade est relié à une petite station hydroélectrique appartenant à l'entreprise EWG. Celle-ci est aujourd'hui désaffectée et les eaux sont turbinées dans un nouveau bâtiment, en bordure de la Jogne.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Informations complémentaires

Inclusion dans des inventaires existants

Inventaire	Auteur	Code
Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg	Grandgirard (1999)	Fca03
Liste provisoire des géotopes géologiques d'importance cantonale	Berger (1995)	n°15
Inventaire spéléologique du canton de Fribourg	SCPF (2013)	FR012
Inventaire des sites naturels du canton de Fribourg	DTPF (1978)	n°135
Sources et pertes en régions karstiques	OFEV, ISSKA	141226FR0001
Bassins d'alimentation en régions karstiques	OFEV, ISSKA	211245FR0001

Relation spatiale avec d'autres géotopes

Nom	Relation spatiale
Vallon synclinal et complexe glacio-karstique des Morteys	Ces géotopes font partie du bassin d'alimentation karstique de l'exsurgence de Jaun comme l'ont démontré des essais de traçage (voir description).
Réseaux karstiques des Morteys	
Zone humide du Gros Mont et collines d'érosion glaciaire du Jeu de Quilles	

Géotopes fribourgeois aux caractéristiques similaires

Nom	Inventaire	Code	Importance
Cascade du Seeweidbach	Grandgirard (1999)	Fca01	cantonale
Cascade de l'Euschelsbach	Grandgirard (1999) Berger (1995)	Fca02 N°16	cantonale
Cascade de la Tâna	Grandgirard (1999)	Fca04	cantonale
Source de Neirivue	SCPF (2013)	FR103-125	cantonale
Emergence du Pont du Roc	SCPF (2013)	FR011	locale
Résurgence des Mariés	SCPF (2013)	FR015	locale
Résurgence de la Route	SCPF (2013)	FR258	locale

Inclusion dans des inventaires existants

Zones de protection des eaux souterraines (OFEV)
« Zone de protection provisoire non délimitée selon le droit fédéral en vigueur ».
Service de l'environnement, Canton de Fribourg

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Caractéristiques d'usage et de gestion

Vulnérabilité, protection et préservation du site

Atteintes existantes :	**faible**	- Captage d'eau à l'intérieur de la cavité - Ancrages pour la spéléologie
Menaces potentielles ou avérées :	**faible**	- Nouveau projet de captage d'eau (peu probable)
Statut de protection actuel :	**inexistant**	- aucun

Mesures de protection proposées :	- Maintien du site dans son état actuel - Interdiction de projet de captage d'eau

Valorisation du site

Valorisation existante : oui / non **Public cible :** grand public

Conditions de visites	**Excellente**
Facilité d'accès	Le site se situe en bordure de route, dispose d'un parking et est facilement accessible à pied depuis le village de Jaun.
Sécurité	Aucun problème de sécurité

Intérêt éducatif	**élevé**
lisibilité	L'exutoire du réseau souterrain est parfaitement visible. Le processus d'exsurgence est donc particulièrement lisible.
Equipement d'interprétation	Un panneau explicatif bilingue fournit des informations sur l'origine de l'exsurgence, son exploration par des plongeurs et ses caractéristiques de taille et de débit.

Proposition de valorisation :	Eventuellement : mise à jour du panneau explicatif.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Références bibliographiques

Berger, J.P. (1995). *Géotopes: propositions pour le canton de Fribourg*. Institut de Géologie et de Paléontologie de l'Université de Fribourg. Liste non publiée.

Braillard, L. (2015). Blatt 1226 Boltigen. – Geol. Atlas Schweiz 1: 25 000, Erläut. *143*.

Brandt, C. (1976). L'émergence de Bellegarde. *Le Trou, Bulletin du Groupe Spéléo Lausanne,* 11: 14-16.

Brasey, J. (1989). La Cascade de Jaun. In : *Le Canard mousquetonné*. - Bull, spélo-club des Préalpes fribourgeoises.

Büchi, O. (1931). Die Färbung des Rio des Morteys und die Quelle von Jaun. *Bull. Soc. fribourg. Sci. nat. 30, 97-105.*

Burger, A. (1979). *Recherche de critères pour la protection des eaux souterraines karstiques contre la pollution*. Bull. Centre Hydrogéol. Univ. Neuchâtel 3, 115-154.

Direction des Travaux publics du canton de Fribourg – DTPF (1977). *Inventaire des sites naturels du canton de Fribourg.* Fribourg.

Grandgirard, V. (1999). *Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg*. Fribourg : Institut de Géographie.

Grasso, A. (1999). *Interprétation des réponses hydrauliques et chimiques des sources karstiques*. Thèse, Centre hydrogéol. Univ. Neuchâtel (inédit).

Montcalm, A. (1997). *Etude des paramètres lors d'un événement de crue à la Cascade de Jaun (Préalpes fribourgeoises, Suisse).* – Travail de stage, Centre hydrogéol. Univ. Neuchâtel (inédit).

Müller, I. (1975). Premiers résultats des études hydrogéologiques dans la région du Vanil Noir (Préalpes fribourgeoises). *Actes du 5ème Congrès suisse de Spéléologie, Interlaken, septembre 1974,* 138-144.

Müller, I. (1976a). Observations hydrogéologiques dans la région du Vanil Noir (Préalpes fribourgeoises). *Eclogae geol. Helv.,* 69/2: 481-499.

Müller, I. (1976b). Résultats des recherches hydrogéologiques dans la région des Gastlosen orientales (Préalpes fribourgeoises et bernoises). *Bull. Soc. Frib. Sc. Nat.,* 65(3): 165-181.

Müller, I. (1981). Spéléologie et hydrogéologie. Etat des recherches dans le massif du Vanil Noir (Préalpes fribourgeoises). *Stalactite,* 31(1): 10-17.

Müller, I. & **Plancherel**, R. (1982). Contribution à l'étude de l'hydrogéologie karstique du massif du Vanil Noir et de la chaîne des Gastlosen (Préalpes fribourgeoises, Suisse). *Bull. Soc. Frib. Sc. Nat.,* 71(1/2): 102-132.

Plancherel, R. (1976). Essai d'interprétation de la dislocation transversale de Bellegarde-Lac Noir (Préalpes médianes fribourgeoises). In : *Eclogae geol. Helv*. 65/2, 461-469.

Schardt, H. (1928). *Rapport sur l'essai de coloration du ruisseau des Morteys, le 14 septembre 1928*. – Inédit, Archives Entreprises Electriques Fribourgeoises (EEF), Fribourg.

Schouwey, V. (1989). *Comparaison des paramètres physico-chimiques de quatre systèmes karstiques (Préalpes fribourgeoises et jura neuchâtelois).* – Dipl. Centre hydrogéol. Univ. Neuchâtel (inédit).

Spéléo Club des Préalpes fribourgeoises. (2013). Inventaire spéléologique du Canton de Fribourg. Inventaire interne, non publié.

Tercier, J. (1949). *Les conditions géologiques de la région du Gros Mont (Préalpes fribourgeoises)*. – Inédit, Archives Entreprises Electriques Fribourgeoises (EEF), Fribourg.

Tercier, J. (1951). *Interprétation géologique des résultats des colorations d'eaux souterraines dans la région du Gros Mont (Canton de Fribourg).* – Inédit, Archives Entreprises Electriques Fribourgeoises (EEF), Fribourg.

Thierrin, J. (1990). *Contribution à l'étude des eaux souterraines de la région de Fribourg (Suisse occidentale).* –Thèse Univ. Neuchâtel.

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Illustrations complémentaires (figures, plans, schémas, ...)

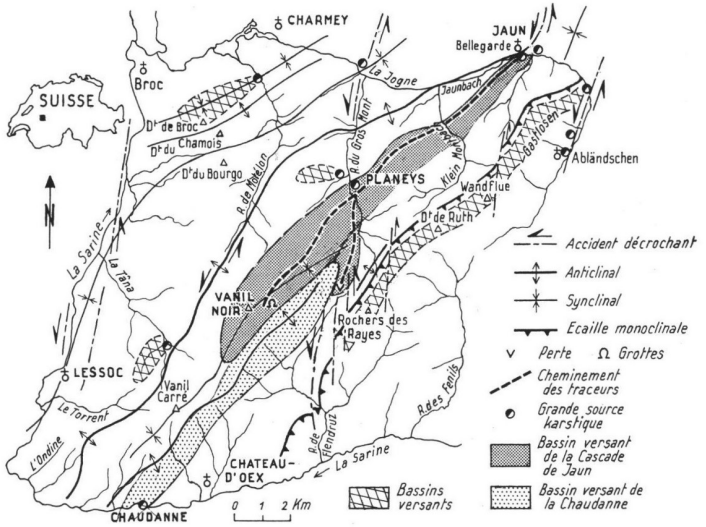


Fig. 1 : esquisse hydrogéologique et structurale du massif des Vanils à la chaîne de Gastlosen (Müller et Plancherel, 1982).

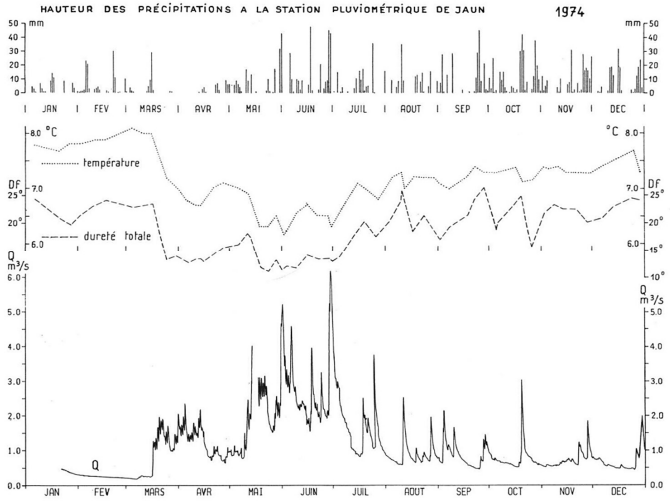


Fig. 2 : hydrogramme et fluctuations des propriétés physico-chimiques des eaux de la cascade de Jaun pour 1974 (Müller & Plancherel, 1982).

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

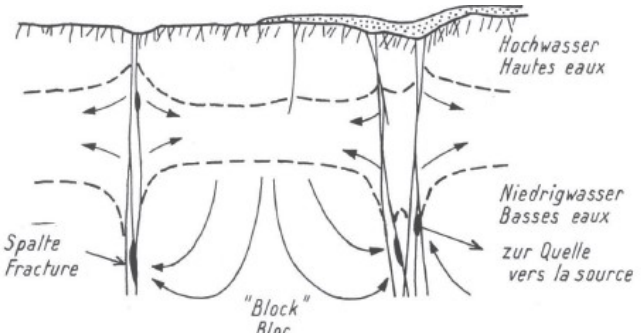


Fig. 3 : schéma du fonctionnement des aquifères calcaires (Müller & Plancherel, 1982 d'après Burger, 1979)

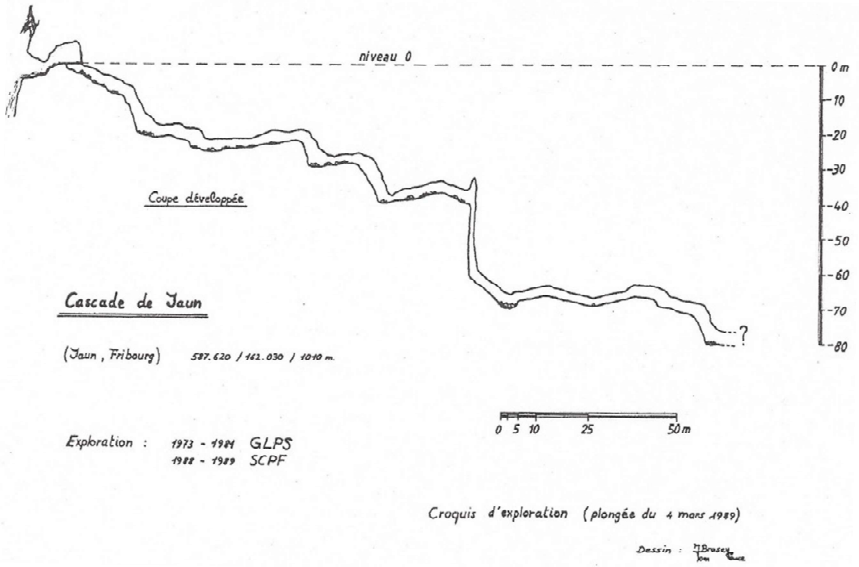


Fig. 4 : croquis d'exploration du réseau ennoyé aboutissant à la cascade de Jaun (Brasey, 1989).

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Photographies du site

Fig. 5 : vue générale de la cascade de Jaun avec le pont en bois qui enjambe le Jaunbach.

Fig. 6 : vue sur la cascade et le bassin de rétention avec le village de Jaun et les sommets du Schopfenspitz et du Maischüpfenspitz en arrière-plan.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Fig. 7 : vue détaillée de l'exsurgence.

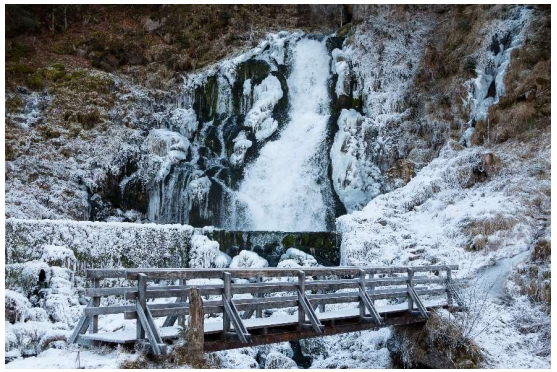


Fig. 8 : vue de la cascade après une période prolongée de gel (28.2.18).

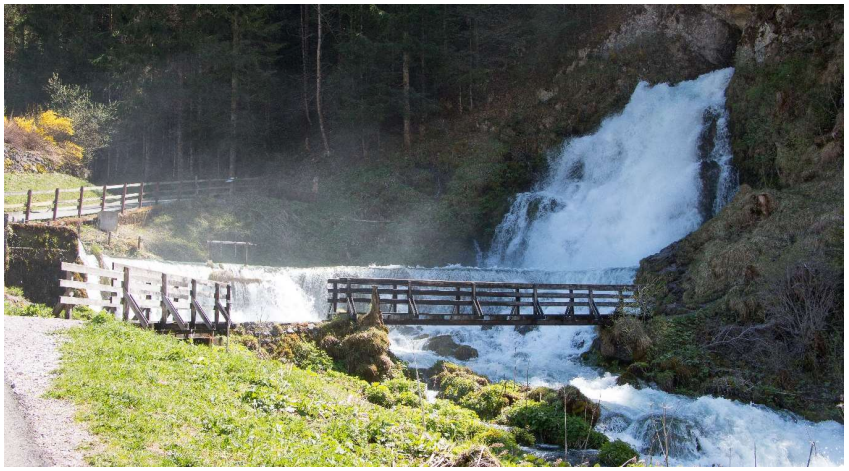


Fig. 9 : l'exsurgence de Jaun en période de crue (24.4.2018).

Fig. 10 : vue panoramique du site avec, sur la droite et au premier plan, l'ancienne centrale hydroélectrique datant de 1912 (28.2.2018).

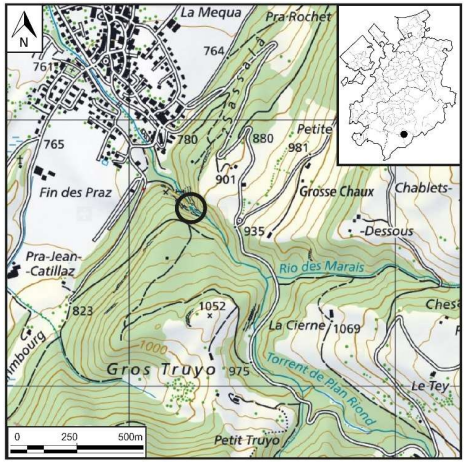
Département des Géosciences,
Institut de Géographie

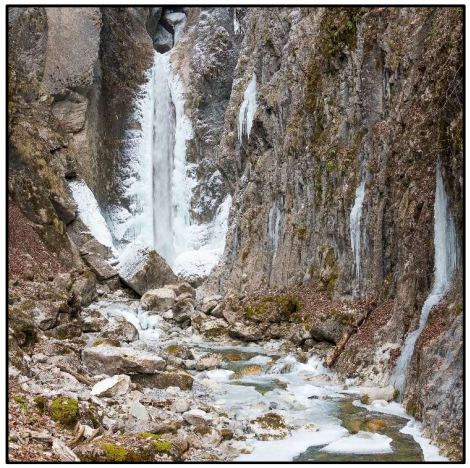
Cascade de la Tâna (Grandvillard)

GIC n°70

Description synthétique :

A proximité du village de Grandvillard, le torrent de la Tâna creuse son cours à travers les calcaires des Préalpes médianes plastiques. L'érosion fluviatile n'ayant pas achevé son travail, le cours d'eau forme une belle cascade qui jaillit des bancs redressés des calcaires massifs du Malm. Les alentours de la cascade sont constitués de hautes falaises et le site constitue un lieu de pèlerinage en raison d'un abri dédié à Notre-Dame de Lourdes aménagé dans les années 1950.





Localisation :

Commune / Lieu-dit :	Grandvillard
Carte(s) nationale(s) :	1245 Château-d'Oex
CH1903+ :	2 573 230 / 1 153 670
Altitude :	810 m

Dimensions :

Type géométrique :	ponctuel
Hauteur :	~ 70 m (plusieurs paliers) ~ 15 m (dernier palier)
Débit annuel simulé :	~ 780 l/s (OFEV, 2013)
Débit mensuel max. simulé :	~ 1990 l/s (OFEV, 2013)

Caractéristiques et intérêts principaux :

naturel ☒ / artificiel☐ **actif** ☒ / passif ☐

Catégorie	géologique ☒	géomorphologique ☒	spéléologique ☐
Intérêt principal		fluviatile	
Intérêt(s) secondaire(s)	stratigraphique structural	glaciaire	

Mots clés : Cascade, profil d'équilibre hydrologique, gorge épigénique.

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Cadre géologique et temporel

Région concernée : Préalpes

Unité(s) lithostratigraphique(s)		Unité(s) géochronologique(s)	
Unité tectonique :	KI *Préalpes médianes plastiques*	**Période géologique :**	Jurassique
Formation :	Formation des Sciernes d'Albeuve (Calcaires plaquetés) Formation du Moléson (Calcaires massifs)	**Epoque géologique :**	Crétacé inférieur Jurassique supérieur (Malm)

Remarque : le contexte géologique et temporel concerne uniquement les roches au niveau de la cascade. La formation de la chute d'eau est récente, postérieure à la dernière glaciation.

Intérêts scientifiques

(par ordre de pertinence)

Intérêt scientifique principal :

- **Géomorphologie fluviatile :** ce géotope consiste avant tout en une cascade témoignant d'une rupture dans le profil longitudinal de la Tâna qui n'a pas atteint son équilibre hydrologique. Cette chute d'eau constitue donc un témoin du creusement actuel d'une gorge épigénique qui fonctionne comme raccordement entre les bassins versants préalpins et la vallée de l'Intyamon où s'écoule la Sarine.

Intérêts scientifiques secondaires :

- **Géomorphologie glaciaire:** si les gorges et la cascade de la Tâna sont issues de processus fluviatiles et gravitaires, le tracé actuel du cours d'eau est indirectement lié à l'action des glaciers lors de la dernière glaciation. D'importants dépôts morainiques ont en effet comblé une ancienne vallée latérale et dévié le cours des affluents de la Tâna vers le nord, où elle s'écoule actuellement.

- **Stratigraphique** : la rupture de pente qui forme la cascade se trouve au contact des calcaires plaquetés du Crétacé inférieur (*Fm des Sciernes d'Albeuve*) et des calcaires massifs du Malm (*Fm du Moléson*).

- **Tectonique :** une faille tectonique perpendiculaire au sens de la pente affecte le secteur de la cascade. Les calcaires plaquetés qui surplombent la grotte mariale présentent également de très beaux plis.

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Description du géotope

Description générale :

La cascade de la Tâna se trouve au SE de Grandvillard, sur les hauteurs du village gruyérien. Ce cours d'eau, nommé « *Touana* » sur la dernière version de la carte nationale, draine les eaux d'un vaste bassin versant dominé par la chaîne des Vanils. La Tâna rejoint ensuite la vallée de l'Intyamon pour se jeter dans la Sarine à moins de deux kilomètres de la cascade. Cette chute d'eau se développe sur une septantaine de mètres de hauteur en plusieurs paliers successifs (Grandgirard, 1999). Sa partie terminale consiste en un dernier saut vertical d'environ 15 mètres qui vient alimenter un bassin relativement profond cerclé de grands blocs éboulés (Fig. 2). Au-dessus de la chute elle-même se déploie une imposante paroi calcaire que l'érosion fluviatile a déjà incisée sur plusieurs dizaines de mètres (Fig. 3). Cet environnement vertigineux et boisé s'observe depuis la rive gauche du torrent, à 100 m environ de la chute d'eau. Un abri dédié à Notre-Dame de Lourdes y a été creusé à même la roche en 1958. Au-dessus de ce sanctuaire, il est possible d'observer de très beaux plis qui affectent les calcaires plaquetés du Crétacé inférieur (*Fm des Sciernes d'Albeuve*). Le lieu de pèlerinage se trouve à proximité d'une passerelle métallique peu esthétique qui enjambe le cours d'eau et offre un point de vue privilégié sur la partie terminale de la cascade. L'accès à la rive droite est fermé au public à cause du risque de chutes de pierres et il n'est donc pas possible de s'aventurer à proximité immédiate de la cascade.

Description scientifique (morphogenèse, activité géomorphologique)**:**

La cascade de la Tâna se trouve dans un environnement géologique particulier qui a largement contribué à sa formation. Tout d'abord, ce secteur est affecté par une faille tectonique qui coupe perpendiculairement le substrat rocheux et offre une zone de faiblesse à l'érosion fluviatile et gravitaire. Les caractéristiques lithologiques variables le long du cours d'eau jouent également un rôle important. La rupture de pente s'effectue à la limite entre les calcaires massifs résistants de la *Formation du Moléson* et les calcaires plaquetés légèrement plus tendre de la *Formation des Sciernes d'Albeuve*. L'érosion régressive du torrent est parvenue à entailler les calcaires plaquetés alors que les calcaires massifs, plus durs et redressés en position subverticale, résistent encore à la force de l'eau. En amont, la rivière rencontre des lithologies moins résistantes et son profil longitudinal est à nouveau à l'équilibre. Etonnamment, la cascade de la Tâna constitue la seule chute d'eau remarquable de l'Intyamon. A moins de 5km au sud, « Le Torrent », qui débouche sur le cône alluvial de Lessoc, draine un bassin versant plus petit et connait un débit sensiblement plus faible que la Tâna. Pourtant, le profil longitudinal de ce cours d'eau est à l'équilibre et les calcaires massifs du Malm y ont été complétement incisés pour former les falaises des gorges de Mury. Ces observations parlent en faveur d'une période de creusement plus réduite à Grandvillard que dans les autres vallées latérales de l'Intyamon. A la fin de la dernière glaciation, les réseaux hydrographiques se sont généralement réorganisés en suivant les anciens tracés fluviatiles et en affouillant les remplissages morainiques qui les comblaient. Au sud de Grandvillard, un important dépôt morainique rattaché au glacier sarinien par Wengen (1924) ou à un glacier local par Nussbaum (1906) est visible au niveau des chalets du Gros et du Petit Truyo. Cette moraine a barré l'ancien raccordement épigénique vers la Sarine et dévié les affluents de la Tâna vers le nord où la rivière cherche aujourd'hui encore à atteindre son profil d'équilibre. En aval du vallum morainique du Truyo, la morphologie de la vallée est surdimensionnée par rapport au faible drainage actuel ce qui semble valider la thèse de son abandon à la fin de la dernière glaciation (Fig. 1).

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Evaluation

LPNat, 12 septembre 2012

Art. 32 Principes

[1] *Lorsqu'ils revêtent un intérêt particulier sur les plans **esthétique**, **typologique**, **scientifique** ou **éducatif**, les paysages et géotopes caractéristiques doivent dans la mesure du possible être préservés des atteintes qui en altèrent le caractère.*

Evaluation de l'intérêt scientifique

Valeur scientifique	Description	Pond.	Score
Représentativité	Du fait de ses dimensions, de son contexte géologique et géomorphologique particulier ainsi que son activité morphogénique importante, cette cascade est tout à fait exemplaire. Il s'agit d'un bon exemple d'érosion différentielle de l'eau sur des substrats rocheux de lithologies différentes.	2x	3
Intégrité	Le site de la cascade est intact et son activité n'est pas entravée. Seul le cours d'eau en aval est sujet à des aménagements anthropiques (digues et seuils en béton).	1x	3
Rareté	Les cascades sont plutôt rares dans le canton de Fribourg. Les modalités de formation de la cascade de la Tâna accroissent encore la particularité du site.	1x	3
Valeur paléogéographique	Cette cascade livre des informations sur la réorganisation des réseaux hydrographiques postglaciaires et le rôle des dépôts glaciaires comme barrage aux écoulements fluviatiles.	1x	2
Valeur scientifique globale	**Très élevé**		**14**/15

L'évaluation s'appuie sur celle de Grandgirard (1999) et de Bussard (2014)

Appréciation des valeurs additionnelles
(écologique, esthétique, culturelle/historique)

Valeur esthétique :
Le spectacle constitué par cette cascade entaillant une haute falaise calcaire est saisissant. Lors des pics de crue, et tout particulièrement à la fonte des neiges, le fort débit rend le phénomène plus impressionnant encore. Le site présente également un fort intérêt après des périodes de grand froid où le gel accroit encore la beauté du lieu.

Valeur religieuse :
Un abri dédié à la Vierge Marie a été aménagé à proximité de la cascade et constitue un lieu de pèlerinage régional depuis 1958.

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Informations complémentaires

Inclusion dans des inventaires existants

Inventaire	Auteur	Code
Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg	Grandgirard (1999)	Fca04
Inventaire des géomorphosites du PNR Gruyère Pays-d'Enhaut	Bussard (2014)	GPEflu031
Inventaire des sites naturels du canton de Friboug	DTPF (1978)	n°130

Relation spatiale avec d'autres géotopes

Géotopes fribourgeois aux caractéristiques similaires

Nom	Inventaire	Code	Importance
Cascade du Seeweidbach	Grandgirard (1999)	Fca01	cantonale
Cascade de l'Euschelsbach	Grandgirard (1999) Berger (1995)	Fca02 N°16	cantonale
Exsurgence et cascade de Jaun	Grandgirard (1999) Berger (1995)	Fca03 N°15	cantonale

Inclusion dans des aires de protection

Parc naturel régional Gruyère Pays-d'Enhaut
Objet n°23, LPN, Ordonnance sur les parcs

Caractéristiques d'usage et de gestion

Vulnérabilité, protection et préservation du site

Atteintes existantes :	**faibles**	Aucune atteinte sur la cascade elle-même. Le cours d'eau en aval est lui dégradé par des aménagements anthropiques (seuils en béton).
Menaces potentielles ou avérées :	**faibles**	La cascade n'est pas menacée.
Statut de protection actuel :	**inexistant**	Aucun pour le site lui-même, mais le cours d'eau est protégé par les législations fédérale et cantonale en matière de protection des eaux.

Mesures de protection proposées :	aucune

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Valorisation du site

Valorisation existante : oui / **non** **Public cible :** grand public

Conditions de visites	bonnes
Facilité d'accès	Le site se situe à 10min à pied du centre de Grandvillard. Un parking permet de se garer à moins de 200m du point de vue sur la cascade.
Sécurité	Le risque de chutes de pierres est important à proximité de la cascade. C'est pourquoi, il est interdit de s'aventurer au-delà de la passerelle qui traverse la Tâna. Cette restriction rend le site particulièrement sûr pour les pèlerins et observateurs de la cascade.

Intérêt éducatif	moyen
Lisibilité	La cascade de la Tâna constitue un exemple très représentatif d'une gorge en cours de formation et qui n'a pas atteint son profil d'équilibre. Le pouvoir érosif de l'eau est particulièrement perceptible sur ce site. Les modalités de formation de la cascade ne sont par contre pas évidentes à cerner sur le site lui-même.
Equipement d'interprétation	aucun

Proposition de valorisation :	Panneau explicatif proposant une vue plus générale permettant de comprendre les modalités de formation de la cascade (cf. Fig. 1).

Références bibliographiques

Berger, J.P. (1995). *Géotopes: propositions pour le canton de Fribourg*. Institut de Géologie et de Paléontologie de l'Université de Fribourg. Liste non publiée.

Bussard, J. (2014). *Protection et valorisation du patrimoine géomorphologique du Parc naturel régional Gruyère Pays-d'Enhaut, États des lieux et perspectives*. Mémoire de Master, Lausanne.

Direction des Travaux publics du canton de Fribourg. (1978). *Inventaire des sites naturels du canton de Fribourg.* Fribourg.

Grandgirard, V. (1999). *Inventaire des géotopes géomorphologiques du canton de Fribourg*. Fribourg : Institut de Géographie.

Nussbaum, F. (1906). *Die eiszeitliche Vergletscherungen des Saanegebietes*. In: Jb. geogr. Ges. Bern 20, 1-229.

Wengen, W. (1924). *Geologische Untersuchungen im Gebiete des Vanil Noir (Gruyère)*. Peter (Pfäffikon, Suisse).

Inventaire des géotopes fribourgeois d'importance cantonale

Illustrations complémentaires (figures, plans, schémas, ...)

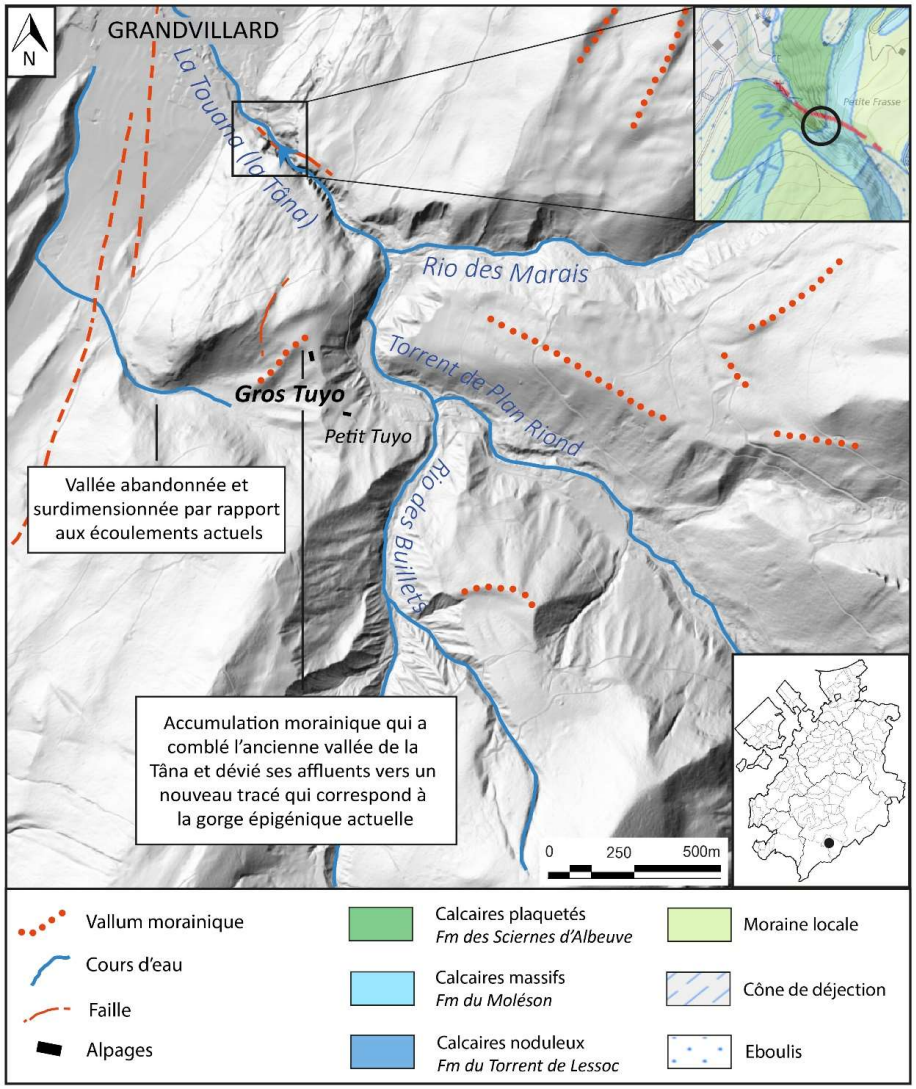


Fig. 1 : contexte géologique, géomorphologique et hydrologique à l'origine de la cascade de la Tâna. Fond de carte : jeux de données géologiques vectorielles GeoCover et swissALTI3D estompage du relief (@Swisstopo).

Département des Géosciences,
Institut de Géographie

Photographies du site

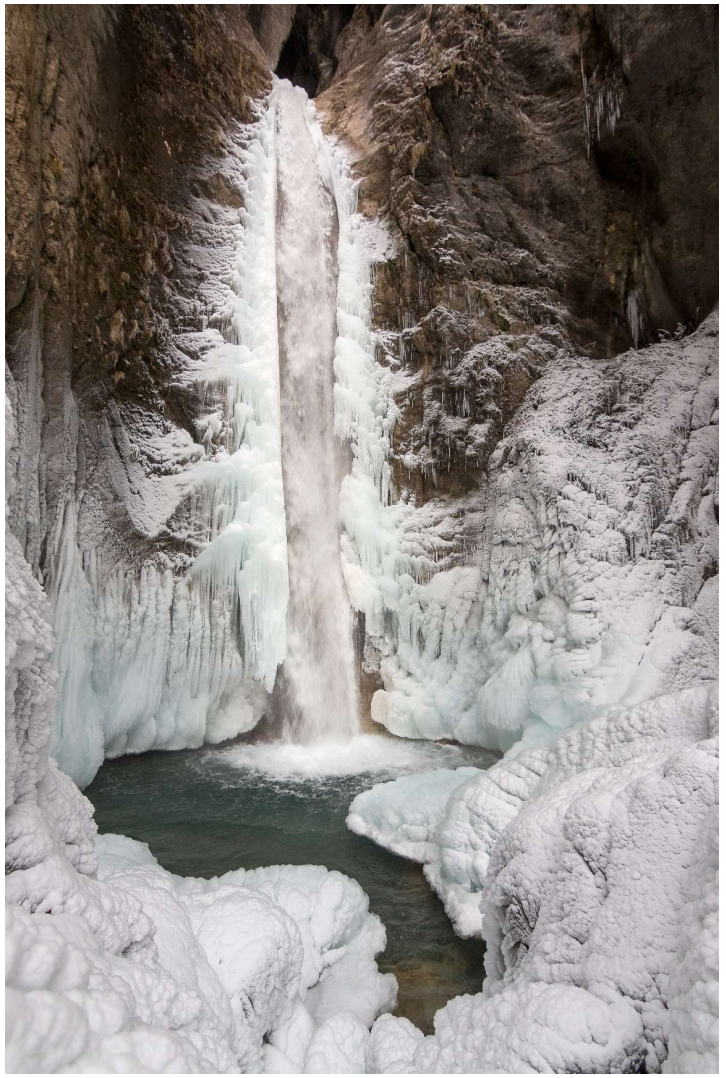


Fig. 2 : vue rapprochée de la cascade de la Tâna qui vient alimenter un petit bassin entouré de gros blocs éboulés. La photo a été réalisée lors d'une période prolongée de gel en février 2018.

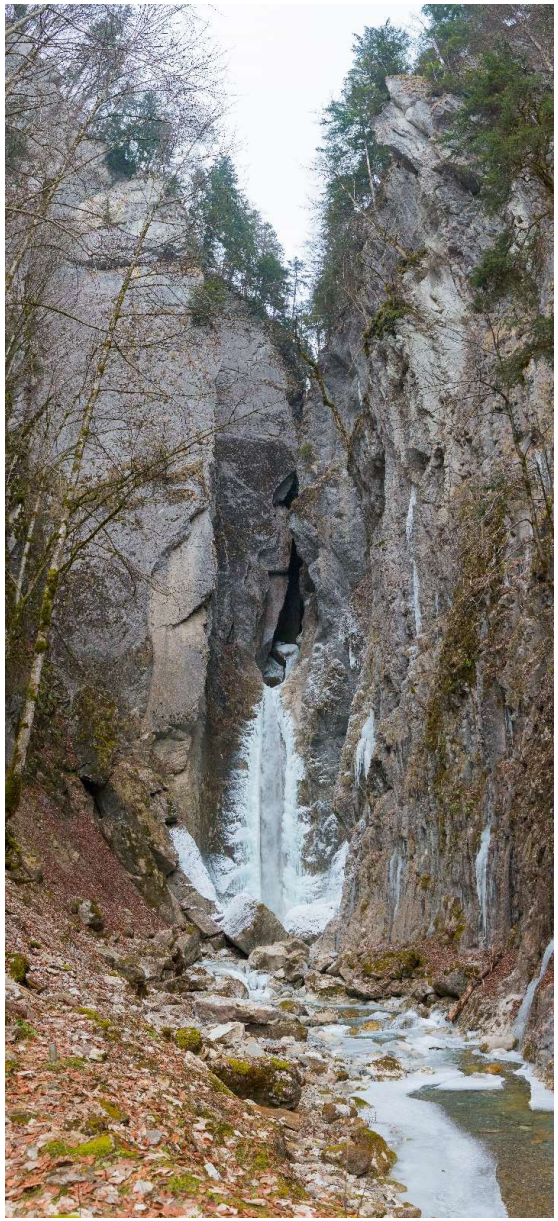


Fig.3 : vue panoramique verticale de la cascade de la Tâna qui a déjà entaillé les calcaires massifs de la Formation du Moléson sur plusieurs dizaines de mètres.