

Le patrimoine géomorphologique de la vallée du Rhône et sa partielle invisibilité

Mélanie CLIVAZ

Introduction

Les paysages se transforment sous l'influence de processus naturels ou d'activités humaines. Ils peuvent ainsi gagner certaines qualités et en perdre d'autres. Les paysages du canton du Valais sont riches et variés. Ces derniers ont souvent une forte composante géomorphologique à travers les formes du relief et les processus qui leur donnent naissance et les font évoluer. Ces formes, dotées de certaines valeurs, notamment paysagère, esthétique, socio-économique, écologique, scientifique, culturelle¹, ont également un intérêt scientifique, car elles participent à la reconstitution de l'histoire de la Terre². Une grande partie d'entre elles doivent leur existence à des conditions climatiques ou géologiques spécifiques ayant aujourd'hui disparu, ce qui rend irréversibles les dommages qui leur sont causés³. Bien que la nécessité de conserver la nature soit reconnue par les autorités, les scientifiques et de plus en plus par la population, la protection du patrimoine géologique – ou géopatrimoine – et de la géodiversité en général est encore à la traîne par rapport à celle de la biodiversité⁴. En effet, les autorités et les associations de protection de la nature ont tendance à insister davantage sur la nécessaire protection des éléments biologiques que sur celle des formes géo(morpho)logiques sur lesquelles la biodiversité s'est construite et a évolué⁵.

Le patrimoine géologique et sa conservation ont suscité un intérêt grandissant dans plusieurs régions du monde à partir des années 1990⁶ et la recherche sur ce

- 1 Mario PANIZZA, Sandra PIACENTE, « Geomorphological assets evaluation », dans *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, Suppl. Bd., 87 (1993), p. 13-18; Mario PANIZZA, « Geomorphosites. Concepts, methods and examples of geomorphological survey », dans *Chinese Science Bulletin*, Suppl. Bd., 46 (2001), p. 4-6; Emmanuel REYNARD, « Géomorphosites et paysages », dans *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 11 (2005), p. 181-188; *IDEM*, « Geomorphosites: definition and characteristics », dans Emmanuel REYNARD, Paola CORATZA, Géraldine REGOLINI-BISSIG (éd.), *Geomorphosites*, Munich, Pfeil Verlag, 2009, p. 9-20.
- 2 Vincent GRANDGIRARD, *Géomorphologie, protection de la nature et gestion du paysage*, thèse de doctorat, Université de Fribourg, 1997; REYNARD, « Geomorphosites: definition and characteristics ».
- 3 Andreas STRASSER *et al.*, *Géotopes et la protection des objets géologiques en Suisse – un rapport stratégique*, Fribourg, 1995.
- 4 Murray GRAY, *Geodiversity. Valuing and conserving abiotic nature*, Chichester, J. Wiley & Sons, 2004.
- 5 Michael PEMBERTON, *Conserving geodiversity, the importance of valuing our geological heritage*, National Conference, Geological Society of Australia, 2001; Enrique SERRANO, Purificación RUIZ FLANO, « Geomorphosites and geodiversity », dans REYNARD, CORATZA, REGOLINI-BISSIG (éd.), *Geomorphosites*, p. 49-61.
- 6 Voir notamment Des O'HALLORAN *et al.* (éd.), *Geological and landscape conservation*, London, 1994; Chris SHARPLES, *Concepts and principles of geoconservation*, Tasmanian Parks & Wildlife Service website, 2002; GRAY, *Geodiversity*; REYNARD, CORATZA, REGOLINI-BISSIG (éd.), *Geomorphosites*; Emmanuel REYNARD, José BRILHA (éd.), *Geoheritage. Assessment, protection, and management*, Amsterdam, 2018.

type de patrimoine s'est rapidement développée⁷. Plusieurs méthodes d'inventaire et d'évaluation du géopatrimoine ont ainsi été proposées depuis⁸, et de nombreux inventaires de sites d'intérêt géomorphologique – ou géomorphosites⁹ – ont été réalisés à différentes échelles dans le monde entier. L'inventaire permet de documenter l'état de conservation ainsi que les différentes valeurs du géopatrimoine, et constitue ainsi une base pour l'adoption de stratégies de gestion telles que la géoconservation et/ou la valorisation géotouristique.

La délimitation et la caractérisation des géomorphosites peuvent parfois s'avérer compliquées, car les micro- et les méso-formes sont souvent imbriquées dans de plus grands systèmes géomorphologiques (échelle spatiale) et des processus actifs sont mélangés à des formes fossiles (échelle temporelle). De plus, certains géomorphosites ne sont pas identifiés clairement en raison de leur invisibilité¹⁰. Des chercheurs ont défini cinq formes d'invisibilité des géomorphosites¹¹. La première est originelle ou génétique et décrit les sites qui sont inaccessibles à la grande majorité des personnes, comme les cavités souterraines ou les reliefs sous-marins. L'invisibilité peut aussi être due aux limites de la perception elle-même lorsqu'une partie ou la totalité du site est masquée, lorsqu'il est visible sous un certain angle uniquement ou lorsqu'il est si grand qu'il n'est pas perceptible par l'œil humain (impact de météorite par exemple). La troisième forme d'invisibilité est définie comme « un masque du pittoresque » et correspond à la réduction des valeurs du site à la seule composante esthétique ou spectaculaire, ce qui masque ainsi d'autres intérêts du site (scientifique ou culturel par exemple). Les formes de relief peuvent également être camouflées ou détruites par des processus naturels (éboulements, éruptions volcaniques, etc.). Finalement, elles peuvent être rendues invisibles par des activités humaines (drainage, remblai, etc.).

Dans les régions très anthropisées, l'urbanisation, l'agriculture et les autres formes d'activités humaines ont modifié la géomorphologie originelle et l'ont parfois fait totalement disparaître. La présence d'activités humaines dans la plaine du Rhône en Valais est aujourd'hui importante. Cette dernière regorge toutefois de géomorphosites permettant de reconstituer l'histoire climatique et géo(morpho)logique de cette partie des Alpes. Cet article propose un aperçu du patrimoine

7 Emmanuel REYNARD, Paola CORATZA, « Scientific research on geomorphosites. A review of the activities of the IAG working group on geomorphosites over the last twelve years », dans *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 36 (2013), p. 159-168.

8 Pour une synthèse, voir José BRILHA, « Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review », dans *Geoheritage*, 8 (2016), p. 119-134.

9 Le géopatrimoine regroupe l'ensemble des éléments géologiques d'une région ou d'un pays ayant une valeur patrimoniale. On distingue le géopatrimoine *ex situ* (par exemple les collections de minéraux ou de fossiles dans les musées) et le géopatrimoine *in situ*, c'est-à-dire les sites à valeur patrimoniale dans le paysage. Il s'agit des géosites ou géotopes, et lorsque ces derniers sont des formes du relief, on parle de géomorphosites. L'inventaire qui est traité dans cet article concerne uniquement les géomorphosites; il n'a pas pris en compte d'autres types de géosites (sites fossilifères, mines ou gisements de minéraux par exemple).

10 Stephen TOOTH, « Invisible geomorphology? », dans *Earth Surface Processes and Landforms*, 34 (2009), p. 752-754; Christian GIUSTI, « Les sites d'intérêt géomorphologique: un patrimoine invisible? », dans *Géocarrefour*, 87 (2012), p. 151-156; Nathalie CAYLA *et al.*, « De l'invisibilité des géomorphosites à la révélation géopatrimoniale », dans *Ibidem*, p. 171-186; Mélanie CLIVAZ, Emmanuel REYNARD, « How to integrate invisible geomorphosites in an inventory: A case study in the Rhone River valley (Switzerland) », dans *Geoheritage*, 10 (2018), p. 527-541.

11 CAYLA *et al.*, « De l'invisibilité des géomorphosites à la révélation géopatrimoniale ».

géomorphologique visible et invisible d'une portion de la plaine rhodanienne, entre Agarn et Martigny, et du potentiel de valorisation de ce dernier.

Géomorphologie de la plaine du Rhône

La vallée du Rhône doit sa formation à la succession de différents processus orogéniques et géomorphologiques ainsi qu'aux variations climatiques. Les oscillations glaciaires du Quaternaire ont provoqué entre 30 et 50 avancées et retraits glaciaires dans le bassin du Rhône¹². De profondes dépressions, appelées ombilics, ont été surcreusées par les glaciers et sont séparées par des verrous constitués de roches résistantes à l'érosion (collines de la région de Sion, verrou de Saint-Maurice notamment). Par la suite, les différents matériaux déposés par les glaciers ont été remobilisés par les processus fluviaux et gravitaires. La profondeur du substrat rocheux varie considérablement dans la vallée du Rhône (150 m à Brigerbad, en amont de Viège, plus de 1000 m à l'aval de Saint-Maurice)¹³. Des prospections géophysiques ont montré des dépôts glacio-lacustres et lacustres ainsi que des dépôts deltaïques et alluviaux au-dessus des dépôts morainiques¹⁴. Le profil en auge de la vallée – caractéristique des vallées glaciaires – est influencé par la structure géologique : la suture géologique entre les domaines helvétique et pennique est située au niveau de la plaine alluviale¹⁵. Ainsi, les versants de la rive gauche sont pentus, car la vallée coupe transversalement le front des nappes. Les versants de la rive droite sont en revanche moins pentus et suivent le pendage, et l'érosion glaciaire a affecté le dos des nappes de charriage¹⁶. Le Valais central a connu un écroulement qui a considérablement modifié le profil de la vallée. Il s'est produit vers 9000-8000 ans BP¹⁷ sur le versant de la Varneralp, au-dessus du village de Salquenen¹⁸. Les matériaux écroulés ont considérablement modifié les écoulements du Rhône et ont engendré la création d'un barrage et d'un lac temporaire. Les déstabilisations successives du barrage ont favorisé la formation de chenaux dans le sens de la vallée, accentuant la morphologie bosselée encore visible aujourd'hui dans la région de Sierre. De nombreux cônes

¹² Walter WILDI, Andrea MOSCARIELLO, André PUGIN, « Histoire glaciaire du Léman », dans *Découvrir le Léman 100 ans après F.-A. Forel*, Genève, Slatkine, 1999, p. 399-414.

¹³ Olivier BESSON *et al.*, « Campagne de sismique-réflexion dans la vallée du Rhône (entre Sion et Martigny, Suisse) », dans *Bulletin de la Murithienne*, 109 (1991), p. 45-63; Olivier BESSON *et al.*, « Campagne de sismique-réflexion dans la vallée du Rhône entre Sion et St-Maurice: perspectives d'exploitation géothermique des dépôts torrentiels sous-glaciaires », dans *Bulletin du Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel*, 12 (1993), p. 39-58.

¹⁴ André PUGIN *et al.*, « Seismic modeling of lines Martigny and Vétroz », dans O. Adrian PFIFFNER *et al.* (éd.), *Deep structure of the Swiss Alps*, Basel, Birkhäuser, 1997, p. 272-276.

¹⁵ Rudolf TRÜMPY (éd.), *Geology of Switzerland, a guide-book*, Basel, 1980, 2 tomes.

¹⁶ Emmanuel REYNARD *et al.*, « Le Rhône alpin vu sous l'angle de la géomorphologie: état des lieux », dans Emmanuel REYNARD, Myriam EVÉQUOZ-DAYEN, Pierre DUBUIS (éd.), *Le Rhône: dynamique, histoire et société*, Sion, 2009 (Cahiers de Vallesia, 21), p. 75-102.

¹⁷ BP signifie « before present », le présent étant fixé par convention à 1950 après J.-C.

¹⁸ Maurice LUGEON, « L'éboulement de Sierre (Valais) », dans *Le Globe*, 27 (1898), p. 82-85; Marcel BURRI, « La géologie du Quaternaire aux environs de Sierre », dans *Bulletin de la Murithienne*, 72 (1955), p. 1-14; *IDEM*, « Géologie récente de Finges et de ses environs (VS) », dans *Bulletin de la Murithienne*, 115 (1997), p. 5-27; Andrea PEDRAZZINI *et al.*, « From deep seated slope deformation to rock avalanche: Destabilization and transportation models of the Sierre landslide (Switzerland) », dans *Tectonophysics*, 605 (2013), p. 149-168.

de déjection et d'alluvions occupent la plaine alluviale au sortir des vallées latérales¹⁹. Les cours d'eau latéraux et le Rhône ont ainsi contribué au remplissage sédimentaire de la vallée. La ventilation de la vallée du Rhône a également joué un rôle dans la formation du paysage. Jusqu'au début du XX^e siècle, les régions de Charrat, de Saillon et de Martigny, les plus exposées au vent, comptaient plusieurs grandes dunes formées par la remobilisation par le vent des sédiments déposés dans la plaine²⁰. Ces formes éoliennes remarquables ne sont aujourd'hui plus visibles dans le paysage en raison de l'exploitation des matériaux pour combler les marais et construire les digues du Rhône et les remblais de la ligne de chemin de fer. Le paysage de la vallée du Rhône a de plus beaucoup évolué depuis le milieu du XIX^e siècle à cause des importants travaux de correction du Rhône et de ses affluents. La plaine alluviale tributaire des processus fluviaux a cédé la place à une plaine alluviale où se côtoient activités humaines et espaces bâtis, qui mettent à mal l'intégrité de son riche patrimoine géomorphologique.

L'inventaire comme moyen de reconnaissance du patrimoine géomorphologique

Afin de rendre compte de la richesse du patrimoine géomorphologique de la plaine du Rhône et des impacts irréversibles des activités humaines sur la géomorphologie, un inventaire des formes géomorphologiques remarquables a été dressé en 2015²¹. Réalisé dans le cadre d'un mémoire de master, il ne prend en compte qu'une portion de la vallée du Rhône, entre Agarn et Martigny. Parmi les diverses méthodes d'inventaire existantes ayant pour objectif commun d'évaluer des éléments du géopatrimoine à travers différentes valeurs – scientifiques, écologiques, culturelles, esthétiques, économiques, éducatives, etc.²² –, cet inventaire se fonde

¹⁹ Louis HORWITZ, *Contribution à l'étude des cônes de déjections dans la vallée du Rhône (entre le glacier du Rhône et le Léman)*, thèse de doctorat, Université de Lausanne, 1911 ; Philippe SCHOENEICH *et al.*, « Le retrait glaciaire dans les vallées des Préalpes et des Alpes au Tardiglaciaire », dans *Bulletin d'études préhistoriques et archéologiques alpines*, 9 (1998), p. 23-37.

²⁰ André MORLOT, « Les dunes de sable mouvant de Saxon en Valais », dans *Bulletin de la Société d'histoire naturelle vaudoise*, 5/41 (1857), p. 306-307 ; Helmut GAMS, « La Grande Gouille de la Sarvaz et les environs », dans *Bulletin de la Murithienne*, 39 (1914), p. 125-186 ; Philippe FARQUET, « Les marais et les dunes de la plaine de Martigny », dans *Bulletin de la Murithienne*, 42 (1925), p. 113-159 ; *IDEM*, « Un aspect inconnu de la plaine valaisanne: les dunes rhodaniennes », dans *L'Écho illustré*, 5 (1934), p. 520-521 ; Benoît MAILLARD, *Les dunes de la plaine du Rhône*, travail personnel de recherche non publié, Université de Lausanne, 2007.

²¹ Mélanie CLIVAZ, *Inventaire des géomorphosites de la plaine du Rhône entre Agarn et Martigny*, mémoire de master, Université de Lausanne, 2015.

²² Voir par exemple Viola Maria BRUSCHI, Antonio CENDRERO, « Geosite evaluation: can we measure intangible values? », dans *Il Quaternario*, 18/1 (2005), p. 293-306 ; Paola CORATZA, Cecilia GIUSTI, « Methodological proposal for assessment of the scientific quality of geomorphosites », dans *Ibidem*, p. 307-313 ; Enrique SERRANO, Juan José GONZÁLEZ-TRUEBA, « Assessment of geomorphosites in natural protected areas: the Picos de Europa National Park (Spain) », dans *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 3 (2005), p. 197-208 ; Paulo PEREIRA, Diamantino PEREIRA, « Methodological guidelines for geomorphosite assessment », dans *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 2 (2010), p. 215-222.

sur la méthode développée par l'Université de Lausanne²³. Il a été réalisé en deux étapes: la sélection des sites, puis l'évaluation de leur valeur intrinsèque (valeur scientifique et valeurs additionnelles y compris les valeurs écologiques, esthétiques et culturelles)²⁴. Les sites inclus dans l'inventaire devant être caractéristiques de la géomorphologie et de la morphogénèse régionale, leur sélection est une étape essentielle²⁵. Ce processus de sélection compte quatre étapes. Dans un premier temps, le contexte géomorphologique est décrit et les principaux processus géomorphologiques sont répertoriés. Une première liste de sites est ensuite établie à l'appui de la littérature, des connaissances préalables de la personne en charge de l'inventaire, mais également des enquêtes de terrain, du matériel cartographique et photogramétrique (cartes topographiques, cartes géologiques, modèles numériques de terrain, photographies aériennes ou satellites, etc.). Les sites sont alors classés sur la base d'un critère spatial (formes rares *versus* formes représentatives) et d'un critère temporel (formes actives *versus* formes héritées). Une liste contenant les sites représentatifs de la géomorphologie et des différentes étapes de la morphogénèse régionale est finalement établie. Ces sites sont ensuite décrits en détail, leur valeur intrinsèque est évaluée et les caractéristiques de leur utilisation et de leur gestion sont documentées – sont prises en compte la protection (statut de protection, dommages et menaces) et la promotion (conditions de visite, équipements existants et intérêt éducatif)²⁶.

Une approche géohistorique pour inventorier les formes aujourd'hui invisibles

Les sources iconographiques et cartographiques ainsi que les archives textuelles constituent une mine d'informations importante pour identifier des formes géomorphologiques aujourd'hui disparues. En exploitant ces sources à travers une perspective diachronique, l'approche géohistorique permet de mettre en évidence les trajectoires, les permanences et les changements d'un paysage²⁷. Le secteur de la plaine du Rhône entre Chippis et Martigny a fait l'objet de plusieurs études

23 Emmanuel REYNARD *et al.*, «A method for assessing scientific and additional values of geomorphosites», dans *Geographica Helvetica*, 62/3 (2007), p. 148-158; Emmanuel REYNARD *et al.*, «Integrated approach for the inventory and management of geomorphological heritage at the regional scale», dans *Geoheritage*, 8 (2016), p. 43-60.

24 Pour plus de détails sur la méthodologie, voir REYNARD *et al.*, «Integrated approach for the inventory and management of geomorphological heritage at the regional scale».

25 Amandine PERRET, *Géopatrimoines des trois Chablais: identification et valorisation des témoins glaciaires*, thèse de doctorat, Université de Lausanne, 2014 (Géovisions, 45).

26 Pour plus de détails concernant l'évaluation des sites, voir REYNARD *et al.*, «Integrated approach for the inventory and management of geomorphological heritage at the regional scale».

27 Christian GRATALOUP, «Géographie historique et analyse spatiale: de l'ignorance à la fertilisation croisée», dans Philippe BOULANGER, Jean-René TROCHET (éd.), *Où en est la géographie historique? Entre économie et culture*, Paris, L'Harmattan, 2005, p. 33-42.

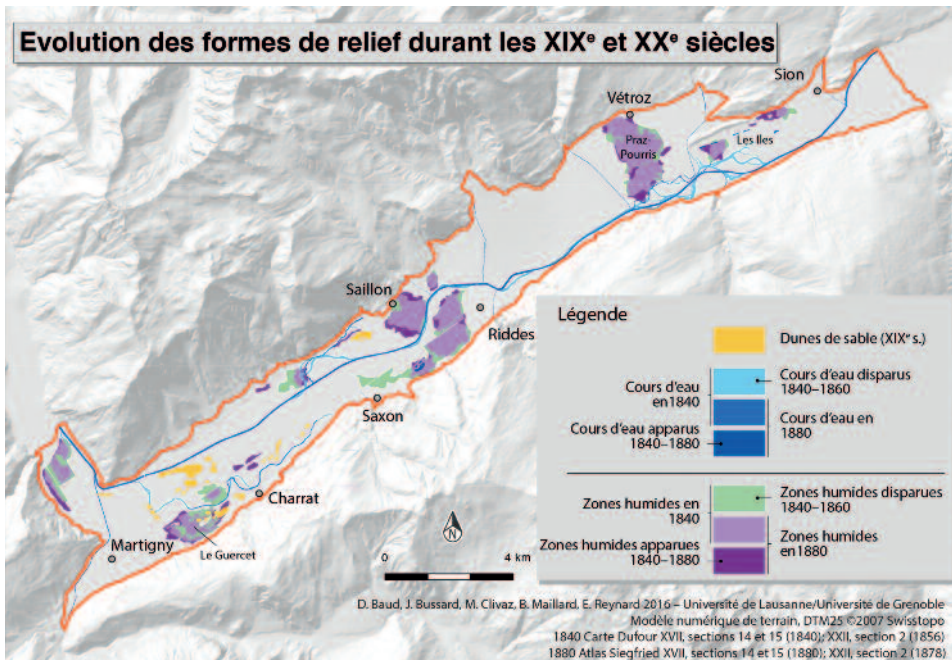


Fig. 1. Evolution de certaines formes du relief de la plaine du Rhône entre Sion et Martigny durant les XIX^e et XX^e siècles (carte modifiée de BAUD *et al.*, « Les transformations paysagères de la plaine du Rhône »).

géohistoriques²⁸. La combinaison de noms de lieux, d’archives écrites, de cartes historiques, de modèles numériques de terrain et de sources iconographiques dans un système d’information géographique (SIG) a permis d’identifier des formes géomorphologiques aujourd’hui invisibles.

La toponymie peut également être indicatrice de l’ancienne présence de formes de relief aujourd’hui disparues et ainsi aider à comprendre les processus géomor-

²⁸ Sabine STÄUBLE, « Evolution de la plaine du Rhône suisse du début du XIX^e siècle à nos jours : étude cartographique dans le Valais central », dans REYNARD, ÈVÉQUOZ-DAYEN, DUBUIS (éd.), *Le Rhône : dynamique, histoire et société*, p. 167-175; Dominique BAUD, Emmanuel REYNARD, « Géohistoire d’une trajectoire paysagère dans la plaine du Rhône valaisan. Analyse du secteur entre Riddes et Martigny (1840-1965) », dans *Norois*, 237 (2015), p. 15-31; Dominique BAUD, Emmanuel REYNARD, Jonathan BUSSARD, « Les transformations paysagères de la plaine du Rhône : analyse diachronique et cartographie historique (1840-2010) », dans Emmanuel REYNARD, Myriam ÈVÉQUOZ-DAYEN, Gilles BOREL (éd.), *Le Rhône : entre nature et société*, Sion, 2015 (Cahiers de Vallesia, 29), p. 225-258; Filippo BRANDOLINI, Emmanuel REYNARD, Manuela PELFINI, « Multi-temporal mapping of the Upper Rhone Valley (Valais, Switzerland) : fluvial landscape changes at the end of the Little Ice Age (18th-19th centuries) », dans *Journal of Maps*, 16 (2020), p. 212-221.

phologiques²⁹. Cette approche a notamment été utilisée dans la région de Saillon³⁰. Ainsi, des noms de lieux comme *Les Moilles*, *Les Frasses*, *Grand Blettay*, *Pro Pourri*, *Les Maraîches* font référence à des zones humides, tandis que les noms de lieux comme *Les Epineys* (végétation épineuse), *Les Ilots*, *Les Iles* (dépôt de gravier d'une rivière tressée), *Grand Glariers* (épandage de gravier), *Lanches* (lit de rivière) font référence à d'anciennes traces du Rhône. Le toponyme *Les Chantons* – signifiant petites collines – indique la présence de dunes de sable.

Le patrimoine géomorphologique de la plaine du Rhône

L'inventaire réalisé dans la plaine du Rhône entre Agarn et Martigny recense 27 sites issus de sept processus géomorphologiques³¹ : fluvial (cônes alluviaux, gorges), gravitaire (éboulements, glissements de terrain), glaciaire (blocs erratiques, verrous glaciaires), karstique (sources, lac souterrain), éolien (dunes), anthropique (accumulation de pierres, digues) et lacustre-marécageux (marais et lac).

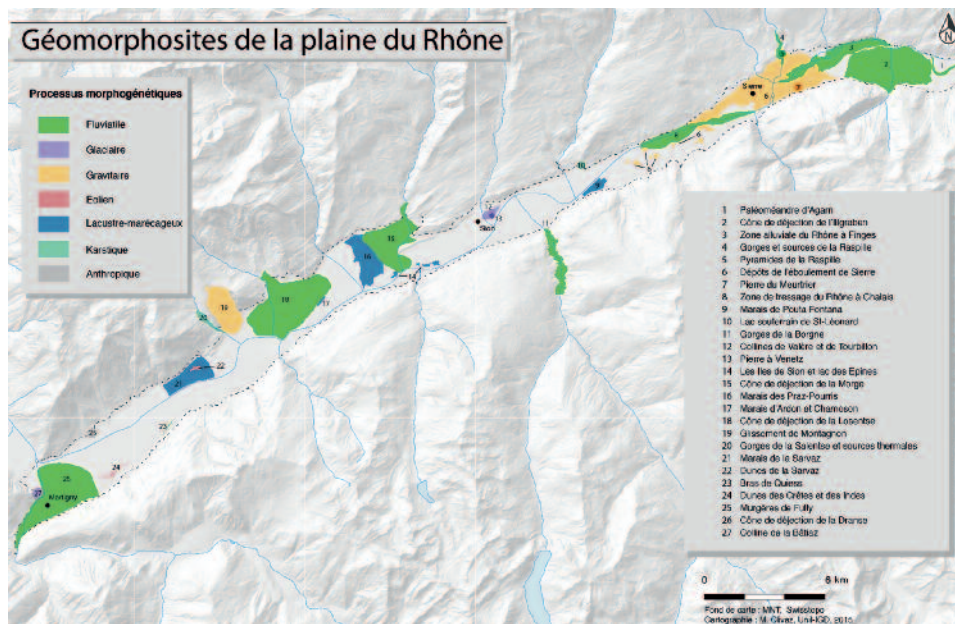


Fig. 2. Situation des 27 géomorphosites inventoriés dans la plaine du Rhône, selon leur processus morphogénétique (CLIVAZ, *Inventaire des géomorphosites de la plaine du Rhône*).

²⁹ Emmanuel REYNARD, Laetitia LAIGRE, Benoît MAILLARD, « Repérer des géomorphosites disparus: le cas de la plaine du Rhône valaisanne », dans Emmanuel REYNARD, Laetitia LAIGRE, Nicolas KRAMAR (éd.), *Les géosciences au service de la société*, Lausanne, 2011 (Géovisions, 37), p. 55-74; Dominique SELLIER, « Patrimoine géomorphologique et toponymie: perception et désignation des montagnes quartzitiques de la façade atlantique nord-européenne (Norvège, Ecosse, Irlande) », dans *Norois*, 229 (2013), p. 53-75.

³⁰ REYNARD, LAIGRE, MAILLARD, « Repérer des géomorphosites disparus ».

³¹ CLIVAZ, *Inventaire des géomorphosites de la plaine du Rhône*.

L'importance des processus fluviaux dans la morphogénèse de la vallée du Rhône se reflète dans la répartition des formes inventoriées selon les processus morphogénétiques. En effet, les formes fluviales sont les plus nombreuses (11 sites), suivies des lacs et des marais (5 sites). Parmi les sites inventoriés, cinq sont des formes anciennes, aujourd'hui disparues : deux sites de dunes de sable, un ancien tronçon du Rhône tressé et deux marais aujourd'hui asséchés.

Les dunes de sable occupaient principalement la région en amont de Martigny. Trois facteurs permettent d'expliquer leur présence dans ce secteur³² : la disponibilité de sédiments fins déposés par le Rhône, l'existence du cône alluvial de la Dranse réduisant la pente du fleuve en amont de Martigny et favorisant ainsi le dépôt de sédiments fins, et le régime des vents réguliers remontant la vallée en direction de Sion. Le régime éolien s'explique par la situation de ce secteur de la vallée du Rhône à la confluence de quatre vallées : la vallée amont du Rhône, la vallée de la Dranse et le vallon de la Forclaz, ainsi que la cluse du Rhône en aval. Les sables fins déposés par les crues du Rhône dans la plaine alluviale étaient remobilisés par le vent pour former des dunes de part et d'autre du fleuve³³. Les dunes de la Sarvaz couvraient une zone d'environ un kilomètre de long près d'un ancien secteur tressé du Rhône à Saillon et avaient une hauteur maximale de 3 mètres.



Fig. 3. Dune de sable dans la région de la Sarvaz (GAMS, « La Grande Gouille de la Sarvaz et les environs »).

³² REYNARD, LAIGRE, MAILLARD, « Repérer des géomorphosites disparus » ; MAILLARD, *Les dunes de la plaine du Rhône*.

³³ Philippe FARQUET, *Martigny. Chroniques, sites et histoire*, Martigny, Ville de Martigny, 1953 ; MORLOT, « Les dunes de sable mouvant de Saxon en Valais ».

Les dunes des Crêtes et des Indes à Charrat, organisées en deux lignes parallèles au Rhône, avaient une hauteur de 15 à 20 mètres, ce qui attirait les scientifiques³⁴. Les dunes ont complètement disparu du paysage de la plaine du Rhône en raison de la diminution des apports sédimentaires venant de l'amont et de l'exploitation des matériaux pour le colmatage des zones humides, pour les travaux de construction et pour l'agriculture³⁵.

Avant les travaux de correction, plusieurs tronçons du Rhône étaient tressés. A cause de l'endiguement du fleuve, tous ont disparu, à l'exception du tronçon entre La Souste et Chippis. A la hauteur de Chalais, un secteur tressé particulièrement développé occupait près de la moitié de la plaine alluviale jusqu'au milieu du XIX^e siècle³⁶. Par l'endiguement du Rhône, les multiples chenaux et bancs ont complètement disparu et ont été remplacés par des terres agricoles³⁷.

Outre les tronçons tressés, de nombreux marais occupaient autrefois la plaine du Rhône, ce qui a incité certains voyageurs du XIX^e siècle à comparer la vallée du Rhône à la Camargue provençale³⁸. Une vaste zone humide s'étendait sur près de 250 hectares dans la plaine des *Praz-Pourris*, entre les cônes alluviaux de la Morge et de la Lizerne³⁹. Considérés comme des lieux insalubres dans les croyances populaires⁴⁰, les marais abritaient pourtant une grande diversité faunistique et floristique⁴¹. Cette zone est aujourd'hui drainée et occupée par des terres agricoles et des espaces bâtis⁴². Une analyse géohistorique a permis de mettre en évidence l'évolution de cette zone marécageuse et différentes étapes des travaux de drainage⁴³. Même si les premières mesures d'assainissement de la plaine des *Praz-Pourris* ont été entreprises en marge des travaux de la Première Correction du Rhône dans les années 1870, il a fallu attendre la Seconde Guerre mondiale pour que cette zone soit entièrement asséchée et mise en culture.

Aujourd'hui, seuls les lieux-dits rappellent la présence d'une zone humide dans cette région : *Praz-Pourris* est le toponyme de Prés pourris faisant référence à des prairies impropres à la pâture du bétail, car trop humides, alors que le toponyme *Les*

³⁴ MORLOT, « Les dunes de sable mouvant de Saxon en Valais » ; FARQUET, « Les marais et les dunes de la plaine de Martigny ».

³⁵ FARQUET, « Les marais et les dunes de la plaine de Martigny ».

³⁶ Laetitia LAIGRE, *Etude diachronique de la dynamique fluviale du Rhône suisse depuis la fin du Petit Age Glaciaire – Cartographie paléoenvironnementale sectorielle de la source au Lac Léman*, mémoire de master, Université Paris 1, 2009.

³⁷ STÄUBLE, « Evolution de la plaine du Rhône suisse du début du XIX^e siècle à nos jours ».

³⁸ Voir Gabriel BENDER, *De la Camargue à la Californie. La plaine, le Rhône et les riverains. Enjeux, débats et réalisations dans la région de Martigny, 1750-1860*, mémoire de licence, Université de Genève, 1996.

³⁹ Paul DE RIVAZ, *Topographia historica, districts de Sierre, Sion et Conthey*, p. 477, cité par Jean-Henry PAPILLOU, *Histoire démographique de Conthey (Valais), 1680-1930*, mémoire de licence, Université de Fribourg, 1973, p. 21 ; Jean-Henry PAPILLOU, *Conthey mon pays*, Conthey, 1979 ; Charly REY, « Marais du Valais central : appauvrissement de la flore palustre au cours des 150 dernières années », dans *Bulletin de la Murithienne*, 125 (2008), p. 11-27.

⁴⁰ Hildebrand SCHINER, *Description du département du Simplon ou de la ci-devant République du Valais*, Sion, 1812.

⁴¹ REY, « Marais du Valais central ».

⁴² Sabine STÄUBLE, Emmanuel REYNARD, « Evolution du paysage de la plaine du Rhône dans la région de Conthey depuis 1850. Les apports de l'analyse de cartes historiques », dans *Vallesia*, 60 (2005), p. 433-458.

⁴³ Léna PASCHE, « Travaux de correction des cours d'eau en Valais et dans la région de Conthey (1860-1900) », dans *Vallesia*, 59 (2004), p. 225-246 ; STÄUBLE, REYNARD, « Evolution du paysage de la plaine du Rhône dans la région de Conthey depuis 1850 ».

Fougères renvoie aux plantes qui poussent dans les zones humides⁴⁴. Le marais de la Sarvaz est une autre forme caractéristique de cette plaine décrite comme marécageuse par certains voyageurs. Il était situé à proximité des dunes de la Sarvaz et était alimenté en eau par une source karstique au régime nival, ce qui entraînait la formation de lacs temporaires au début de l'été⁴⁵. Cette zone humide a été assainie au moyen du puisement dans le stock de sable des dunes⁴⁶. Les disparitions de ces deux formes caractéristiques du paysage ancien de la plaine du Rhône sont donc étroitement liées. Des cultures intensives occupent aujourd'hui une grande partie de l'ancien marais de la Sarvaz⁴⁷.

La figure 4 présente les résultats de l'estimation de la valeur intrinsèque des sites, regroupant la valeur scientifique et les valeurs additionnelles (écologique, esthétique et culturelle).

La taille des cercles indique la valeur scientifique, alors que les valeurs additionnelles importantes sont représentées à l'aide de pictogrammes. Globalement, la valeur scientifique – fondée sur des critères d'intégrité, de représentativité, de rareté

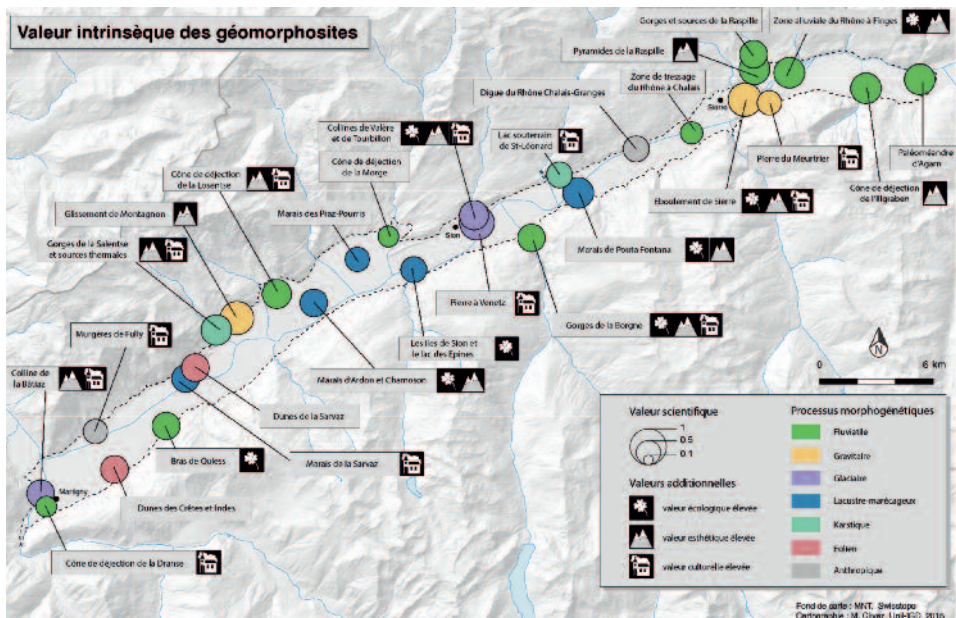


Fig. 4. Valeur intrinsèque (valeur scientifique et valeurs additionnelles) des géomorphosites (CLIVAZ, *Inventaire des géomorphosites de la plaine du Rhône*).

⁴⁴ Henry SUTER, *Noms de lieux de Suisse romande, Savoie et environs*, [en ligne:] <http://henrysuter.ch/glossaires/toponymes.html> (consulté le 30 mai 2020), repris par REY, « Marais du Valais central ».

⁴⁵ GAMS, « La Grande Gouille de la Sarvaz et les environs ».

⁴⁶ *Ibidem*, p. 157 : « L'exploitation du sable pour l'assainissement les [les dunes] fait disparaître de plus en plus. Il reste à espérer qu'on réussira à en conserver au moins une petite partie comme monument naturel ». Son appel n'a toutefois pas été entendu et toutes les dunes ont disparu.

⁴⁷ Henri THURRE, *Les domaines de la Sarvaz: une agriculture valaisanne en mutation au XX^e siècle*, Fribourg, Faim de siècle, 2013, p. 205.

et d'intérêt paléogéographique – des géomorphosites de la plaine du Rhône est élevée. Trois sites se démarquent par leur valeur scientifique très élevée : le bloc erratique *Pierre à Venetz* (0.94 sur une échelle de 0 à 1), l'éboulement de Sierre (0.88) et le glissement de Montagnon (0.88). La valeur scientifique des formes disparues décrites ci-dessus est moyenne en raison principalement de leur intégrité nulle : dunes de la Sarvaz (0.63), dunes des Crêtes et des Indes (0.63), marais de la Sarvaz (0.63), marais de *Praz-Pourris* (0.5), secteur tressé du Rhône à Chalais (0.44).

Les valeurs additionnelles sont estimées de manière qualitative. Les géomorphosites de la plaine du Rhône ont une valeur écologique assez faible. Plusieurs sites ont néanmoins une influence reconnue sur l'écologie et la biodiversité, par exemple la zone alluviale de Finges, les dépôts de l'éboulement de Sierre, le marais de *Pouta Fontana*, le marais d'Ardon et Chamoson, ou encore le *Bras de Quiess* à Saxon. Si les formes disparues pouvaient avoir une valeur écologique élevée lorsqu'elles étaient encore présentes dans la plaine du Rhône, elles n'ont aujourd'hui plus aucune importance pour l'écologie et la biodiversité. Ces sites disparus n'ont également plus de valeur esthétique, car il n'existe plus de possibilités de les observer. D'autres sites ont en revanche une valeur esthétique importante. Il s'agit notamment des gorges de la Borgne, des collines de Valère et de Tourbillon, de la colline de la Bâtiaz ou encore des dépôts de l'éboulement de Sierre. La valeur culturelle, dernière valeur additionnelle soupesée dans le cadre d'un inventaire de géomorphosites, peut être liée à différents domaines, comme la religion, l'histoire, l'archéologie, les arts ou encore la littérature. Des vestiges archéologiques ont, par exemple, été découverts près de la Pierre du Meurtrier – bloc éboulé situé dans le bois de Finges – relatant l'existence de traces humaines datant de 6500 avant J.-C.⁴⁸, ce qui confère à ce site une valeur culturelle élevée. Les géomorphosites disparus ont une valeur culturelle très faible, à l'exception du marais de la Sarvaz qui fait l'objet d'une légende rappelant les processus hydro-géomorphologiques. Selon cette légende, il existait une ville près de la Sarvaz qui a été inondée par la colère de Dieu, car ses habitants n'étaient pas assez pieux⁴⁹.

L'intégrité des géomorphosites de la plaine du Rhône

Les processus naturels et les activités humaines transforment les formes du relief, entraînant parfois leur totale disparition. Le retrait d'un glacier est un exemple de la

⁴⁸ Manuel MOTTET, Gabriele GIOZZA, « Salgesch/Salquenen, district de Loèche, Pfywald, Mörderstein », dans *Vallesia*, 60 (2005), p. 481-482.

⁴⁹ GAMS, « La Grande Gouille de la Sarvaz et les environs », p. 134, qui note : « Voici ce qu'en racontent les gens du pays : Il y a des centaines et des milliers d'années, lorsque les villages de Saillon et de Saxon n'existaient pas encore, il y avait une grande ville au bord de la Sarvaz, dominée par l'église sur la pente du 'Tsamouayre'. C'était la ville de Gru, dont les habitants étaient aussi impies que riches. Nulle admonition ne réussit à les corriger : pour punir les habitants de ce 'Sodome valaisan' de leurs méfaits, Dieu fit pleuvoir jour et nuit, jusqu'à ce que le Rhône ayant débordé inonda [sic] la ville. Mais les habitants continuèrent à danser et à se moquer du Créateur. Alors la ville de Gru s'enfonça dans les eaux par un tremblement de terre effroyable, et les survivants qui cherchèrent à s'échapper à la nage, furent ensevelis par un éboulement ».

disparition naturelle d'un objet géomorphologique. Lorsque l'éradication est causée par l'activité humaine, elle est souvent définitive⁵⁰.

Dans la plaine du Rhône, où les activités humaines sont omniprésentes, la majorité des géomorphosites inventoriés sont affectés dans leur intégrité ou menacés.

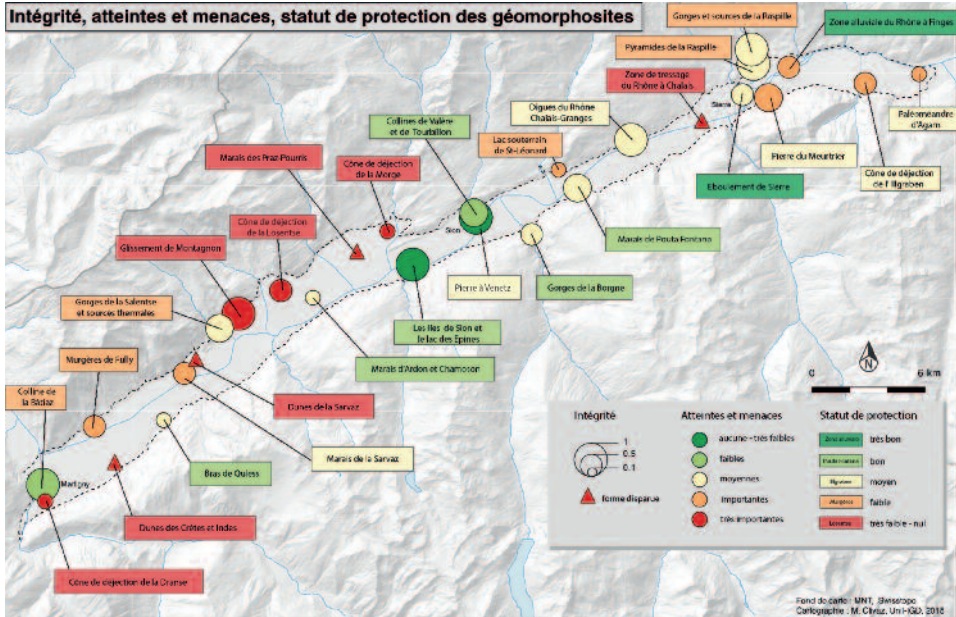


Fig. 5. Intégrité, dommages et menaces, et statut de protection des géomorphosites de la plaine du Rhône (CLIVAZ, *Inventaire des géomorphosites de la plaine du Rhône*).

Les activités humaines sont responsables d'une grande partie des dommages causés aux sites. Parmi les sites ayant une intégrité faible, le paléoméandre d'Agarn est aujourd'hui entouré d'un terrain de golf. La grotte dans laquelle se trouve le lac souterrain de Saint-Léonard est renforcée pour éviter tout effondrement et ainsi assurer la sécurité des visiteurs. Les activités humaines peuvent également dégrader la qualité d'un site mais non son intégrité: la pollution des eaux d'un marais ou d'un cours d'eau aura pour conséquence un appauvrissement de la biodiversité du site, par exemple. La valeur esthétique d'une forme peut également être affectée par les activités humaines: un bâtiment construit devant un bloc erratique ou une ville érigée sur un cône alluvial, comme à Martigny, diminuent considérablement la visibilité du site.

Les géomorphosites disparus ont été détruits par la main de l'homme. Des travaux de renaturation ont été entrepris sur un des canaux de drainage du marais de la Sarvaz, avec l'espoir de pouvoir observer de nouveau certaines plantes que le marais abritait autrefois. Le statut de protection de la majorité des sites inventoriés est jugé

⁵⁰ STRASSER *et al.*, *Géotopes et la protection des objets géologiques en Suisse*.

insuffisant. En Suisse, il n'existe aucune loi fédérale spécifique pour la protection du patrimoine géomorphologique et géologique. Bien que certaines réglementations se trouvent au niveau cantonal, les géomorphosites sont souvent protégés de manière indirecte, par la protection d'un biotope ou d'un paysage⁵¹. Par exemple, la zone alluviale de Finges bénéficie d'une protection aux niveaux fédéral et cantonal. Elle est en effet inscrite à l'Inventaire fédéral des zones alluviales d'importance nationale (objet 133) ainsi qu'à l'Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale (objet 1716) et elle est protégée au niveau cantonal par une décision du Conseil d'Etat⁵². Les sites dont l'intégrité est affectée ou menacée ne bénéficient d'aucune protection indirecte.

Une valorisation géotouristique ou éducative comme moyen de protection des géomorphosites

Comme la réglementation pour la protection du patrimoine géomorphologique et géologique en Suisse est peu développée, d'autres actions doivent être envisagées pour assurer sa conservation. L'absence de reconnaissance des objets géomorphologiques comme dignes de protection par les autorités et la société civile représente une menace importante pour ce patrimoine⁵³. La sensibilisation des autorités et du grand public aux valeurs du géopatrimoine et à l'importance de sa conservation est une action essentielle. C'est dans le but d'offrir aux autorités un outil pour reconnaître le géopatrimoine afin de mieux le gérer, le protéger et le valoriser que plusieurs chercheurs ont proposé l'élaboration d'un inventaire des géotopes du canton du Valais⁵⁴. Malgré l'accent porté sur les avantages qu'apporterait un inventaire de ce type aux organismes responsables de la protection de la nature et du paysage du canton, aucun n'a été réalisé à ce jour.

Ainsi, à l'heure actuelle, la préservation des formes géomorphologiques remarquables passe essentiellement par leur reconnaissance comme objets dignes de protection par tout un chacun et donc par leur patrimonialisation. Patrimonialiser, c'est ériger un bouclier contre le changement, la destruction et la disparition⁵⁵. Le développement de produits géotouristiques ou didactiques peut amener à cette

⁵¹ Emmanuel REYNARD, « Geoheritage protection and promotion in Switzerland », dans *European Geologist*, 34 (2012), p. 44-47.

⁵² Le site est protégé au niveau cantonal par la *Décision concernant la protection du site de Finges à Sierre, Salquenen, Varone et Loèche* du 17 décembre 1997 (RS 451.120).

⁵³ Ralph LUGON, Emmanuel REYNARD, « Pour un inventaire des géotopes du canton du Valais », dans *Bulletin de la Murithienne*, 121 (2003), p. 83-97 ; Ralph LUGON, Emmanuel REYNARD, Céline FUCHS, *Géotopes valaisans : typologie, état des lieux et recommandations pour un projet d'inventaire*, 2003, [en ligne :] https://serval.unil.ch/resource/serval:BIB_2B9BA0A5DF0D.P001/REF.pdf (consulté le 23 septembre 2020).

⁵⁴ LUGON, REYNARD, FUCHS, *Géotopes valaisans*.

⁵⁵ Guy DI MÉO, « Patrimoine et territoire, une parenté conceptuelle », dans *Espaces et sociétés*, 78/4 (1995), p. 15-34 ; André MICOUD, « Des patrimoines aux territoires durables. Ethnologie et écologie dans les campagnes françaises », dans *Ethnologie française*, 37/2 (2004), p. 13-22 ; Simon MARTIN, *Valoriser le géopatrimoine par la médiation indirecte et la visualisation des objets géomorphologiques*, thèse de doctorat, Université de Lausanne, 2013 (Géovisions, 41).

prise de conscience⁵⁶. Les activités éducatives sont largement développées dans les géoparcs, les parcs naturels, mais aussi dans les zones urbaines, notamment dans le cadre du géotourisme⁵⁷. Le géotourisme – pratique touristique s'appuyant sur les ressources géomorphologiques et géologiques⁵⁸ – et le géopatrimoine entretiennent une relation double : le géopatrimoine nourrit l'offre touristique par sa valeur particulière, alors que le géotourisme renforce le regard patrimonial de la société sur le relief⁵⁹.

Les produits géotouristiques sont extrêmement divers : sentier thématique, brochure, carte, support multimédia fixe ou mobile, panneau, visite guidée, etc. Certains géomorphosites de la plaine du Rhône font l'objet de panneaux et de brochures, par exemple les marais de *Pouta Fontana* et d'Ardon et Chamason ou encore les pyramides de la Raspille.

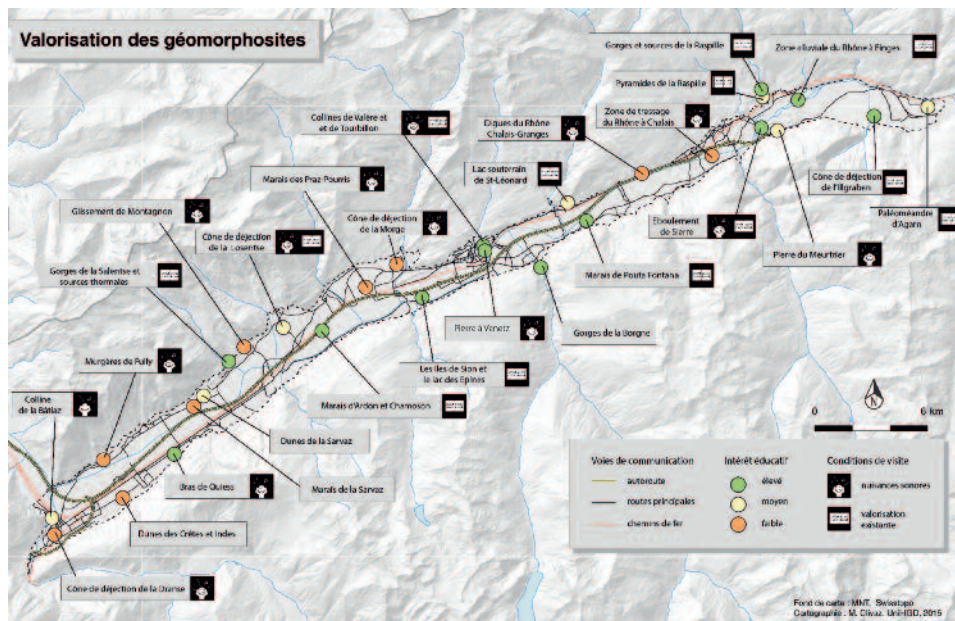


Fig. 6. Conditions de visite et potentiel éducatif des géomorphosites de la plaine du Rhône (CLIVAZ, *Inventaire des géomorphosites de la plaine du Rhône*).

- 56 Heidi MEGERLE, *Geotourismus: innovative Ansätze zur touristischen Inwertsetzung und nachhaltigen Regionalentwicklung*, Nürnberg, Kersting, 2008.
- 57 Peter BITSCHENE, Andreas SCHÜLLER, « Geo-education and geopark implementation in the Vulkaneifel European Geopark », dans Sara CARENA, Anke M. FRIEDRICH, Bernd LAMMERER (éd.), *Geological field trips in Central Western Europe: Fragile Earth International Conference, Munich, September 2011*, p. 29-34 (Geological Society of America Field Guide, 22); Norzaini AZMAN *et al.*, « Public education in heritage conservation for geopark community », dans *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 7(C), (2011), p. 504-511; Anna WIERCZ, Ewelina SMORZEWSKA, « Selected examples of interactive teaching methods in the Centre of Geoeducation in the city of Kielce (Poland) », dans *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 174 (2015), p. 680-686; Thomas A. HOSE, « 3G's for modern geotourism », dans *Geoheritage*, 4 (2012), p. 7-24; Ross K. DOWLING, David NEWSOME (éd.), *Geotourism*, Oxford, 2006.
- 58 DOWLING, NEWSOME, *Geotourism*.
- 59 MARTIN, « Valoriser le géopatrimoine ».

L'accessibilité des sites dans la plaine du Rhône étant bonne, leur valorisation géotouristique ou éducative serait intéressante et permettrait de toucher un large public. Cette région étant marquée par de nombreux changements des formes du relief induits par l'activité humaine, les produits éducatifs et géotouristiques ne devraient pas se concentrer uniquement sur la compréhension de l'histoire de la Terre ou sur les qualités biologiques du site, mais également sur les interactions complexes entre la société et le patrimoine géomorphologique et géologique. La question de la destruction de formes remarquables par les infrastructures et les activités humaines devrait être abordée, ainsi que celle des besoins en matière de protection et de conservation. Le défi est de savoir comment rendre visibles des formes du relief aujourd'hui absentes du paysage. Avec les technologies actuelles, il est possible de recomposer en trois dimensions des formes disparues. Cette méthode a par exemple été utilisée pour reconstituer les sites karstiques et préhistoriques de Lascaux ou de Chauvet en France⁶⁰. Dans notre région d'étude, quatre propositions de produits éducatifs / géotouristiques sont suggérées :

Un itinéraire cyclable pourrait permettre aux habitants et aux touristes de découvrir à bicyclette les géomorphosites de la vallée. Une proposition similaire avait déjà été faite dans le Chablais pour découvrir le patrimoine glaciaire⁶¹. Cette proposition s'intégrerait bien dans le projet de Troisième Correction du Rhône, qui prévoit notamment de faire du fleuve une artère de mobilité douce. De plus, la pratique du vélo est actuellement en plein essor et les acteurs touristiques du canton entendent bien placer le Valais comme destination cyclotouristique⁶². L'idée serait de créer plusieurs itinéraires, longs d'une dizaine de kilomètres, qui conduiraient les cyclo-touristes d'un géomorphosite à l'autre.

Une exposition itinérante pourrait mettre en lumière les anciens paysages de la plaine du Rhône. Elle aurait pour objectif principal de rendre visibles ceux qui ont disparu. Feraient l'objet de cette exposition non seulement les paysages du XIX^e siècle et du début du XX^e siècle, mais également ceux qui sont encore plus anciens, comme ceux de l'Ere glaciaire, ainsi que l'a réalisé Amandine Perret dans son exposition itinérante sur le patrimoine glaciaire dans le Chablais, laquelle a rencontré un très bon succès⁶³. Cette exposition serait l'occasion de sensibiliser le grand public à l'évolution des paysages et à la nécessité de protéger les formes remarquables en tant que témoins de ces paysages anciens.

La création d'itinéraires didactiques sous la forme d'une application mobile permettrait de diffuser des connaissances scientifiques – acquises aux cours de projets de recherche menés à l'Université – auprès d'un large public par le biais de technologies mobiles. La Faculté des géosciences et de l'environnement de l'Université de Lausanne a développé l'application *Géoguide* à l'occasion de son dixième

60 CAYLA *et al.*, « De l'invisibilité des géomorphosites à la révélation géopatrimoniale ».

61 Vadim SCHNEIDER, *Valorisation du patrimoine glaciaire de la cluse du Rhône et du Chablais*, mémoire de master, Université de Lausanne, 2009, p. 217 (non publié).

62 En 2016, Valais/Wallis Promotion a lancé le projet « Valais Vélo Tour », un itinéraire de 740 kilomètres à travers le Valais et centré sur la route du Rhône.

63 PERRET, *Géopatrimoines des trois Chablais*.

anniversaire (2013)⁶⁴. Cette application propose une série d'itinéraires didactiques permettant de découvrir les richesses de plusieurs environnements de montagne et de zones urbaines en Suisse et dans les pays voisins. A ce jour, le *Géoguide* compte cinq itinéraires à Lausanne, au Vallon de Nant, au Val d'Hérens, à Thonon-les-Bains en France voisine et à Rome. L'utilisation de cet outil interactif dans la plaine du Rhône permettrait de représenter la dynamique des changements de paysages.

Par le recours à la technologie de réalité augmentée, le public pourrait se plonger dans les paysages anciens et observer les formes qui ne sont plus visibles aujourd'hui. Cette technique nécessiterait toutefois un important travail de recherche dans les archives afin de reconstituer avec la plus grande exactitude le paysage d'autrefois. Le matériel nécessaire devrait être disponible sur le terrain pour que tout un chacun puisse profiter de cette expérience, ce qui implique des questions de coût et de sécurité (déprédations, vols, etc.). Cet outil de valorisation se combinerait parfaitement avec l'exposition et l'itinéraire.

Conclusion

Depuis le milieu du XIX^e siècle, la pression anthropique sur le paysage et la géomorphologie de la vallée du Rhône n'a cessé de croître. Quatre facteurs permettent d'expliquer cette tendance : (I) les travaux de correction systématique du fleuve, entrepris à partir des années 1860, visant à réduire les risques d'inondation ; (II) l'industrialisation de la vallée depuis la fin du XIX^e siècle ; (III) le développement de cultures agricoles intensives, associées au drainage à grande échelle de la plaine depuis les années 1870 et connaissant une accélération depuis les années 1920 ; (IV) l'étalement urbain depuis les années 1960, s'intensifiant depuis les années 1990. Des chenaux comblés ont remplacé les secteurs tressés du Rhône, sauf dans la région de Finges ; les zones humides et les marais ont été drainés et asséchés, et les dunes de sable ont été complètement détruites pour assainir les zones humides. Ainsi, trois grandes formes caractéristiques du relief de la plaine au XIX^e siècle ont presque entièrement disparu des paysages actuels. Dans ce type d'environnements, fortement modifiés par les sociétés humaines, les inventaires de géomorphosites ne devraient pas se contenter de sélectionner et d'évaluer les formes du relief visibles, mais ils devraient aussi prendre en compte les formes présentes autrefois mais complètement masquées ou détruites aujourd'hui par les infrastructures et les

⁶⁴ [En ligne:] <http://igd.unil.ch/geoguide> (consulté le 30 mai 2020) ; Emmanuel REYNARD *et al.*, « An application for Geosciences communication by smartphones and tablets », dans Giorgio LOLLINO *et al.* (éd.), *Engineering geology for society and territory*, vol. 8, Heidelberg, 2015, p. 265-268 ; Alessia PICA *et al.*, « GeoGuides, Urban geotourism offer powered by mobile application technology », dans *Geoheritage*, 10 (2018), p. 311-326 ; Lucien GRANGIER, *Le Géoguide Lausanne : un outil de valorisation du patrimoine. Communication, motivations, expérience*, thèse de doctorat, Université de Lausanne, 2019.