

Master 2 – Mention Géographie, aménagement, environnement, développement (GAED)

Parcours Géographie, Information, Interface, Durabilité, Environnements (GEOÏDES)

Année 2018-2019

**MISE EN PLACE D'UN DISPOSITIF DE SIGNALLEMENT DES PHENOMENES GEOMORPHOLOGIQUES A
PARTIR DES REFUGES DU PARC NATIONAL DES ECRINS**

Romaric GEFROY



Crédit photo : Refuges Sentinelles

Co-Maître et Maîtresse de stage : Dr. Philippe Bourdeau et Mélanie Marcuzzi

Tuteur universitaire : Dr. Philippe Schoeneich

Mémoire soutenu à Grenoble le 28 juin 2019 par :

Romarc GEFROY

Devant un jury composé de :

- Madame Sarah DUCHE, Maîtresse de conférence en Géographie à l'université Grenoble Alpes.
- Monsieur Philippe SCHOENEICH, Professeur des Universités en Géographie à l'Université Grenoble Alpes, tuteur universitaire.
- Madame Mélanie MARCUZZI, Ingénieure d'étude chargée de l'animation du dispositif RefLab, co-maîtresse de stage.

REMERCIEMENTS

J'aimerais tout d'abord remercier Mélanie Marcuzzi, ma maîtresse de stage par délégation pour sa sympathie, son entrain et sa grande disponibilité malgré l'énorme charge de travail à laquelle elle fait face chaque jour.

Un grand merci à mon co-maître de stage Philippe Bourdeau qui n'était jamais bien loin pour quelques éclaircissements ou corrections et pour son enthousiasme communicatif.

A Philippe Schoeneich, mon tuteur universitaire, qui m'a fait confiance et dont l'aide a été précieuse.

A mes co-stagiaires et voisins du bureau d'à côté, Aubin, Paupau et Popo, Lola, Bastien qui ont su égayer nos journées "bureau", quel plaisir de travailler avec des personnes aussi motivées !

Merci également aux géomorphologues du laboratoire EDYTEM de s'être rendus disponibles pour aider à l'avancement de mon stage. A Ludovic Ravanel pour m'avoir confié OBS-ALP et à Jacques Mourey pour ses nombreux conseils toujours pertinents.

A mes correcteurs orthographiques préférés, Valérian et Silvia.

Et je ne remercierai jamais assez mes parents pour leur soutien.

Table des matières

REMERCIEMENTS	3
1. Introduction.....	6
1.1. Le programme Refuges Sentinelles	8
1.2. Le stage.....	11
2. Développement.....	13
2.1. Géomorphologie, haute montagne et changement climatique	13
2.2. Sciences participatives et géomorphologie.....	16
2.2.1. Introduction aux sciences participatives.....	16
2.2.2. Quelle place pour la démarche participative en géomorphologie ?.....	17
2.2.3. Un contexte favorable	18
2.2.4. Les formes de participation dans le programme Refuges Sentinelles	19
2.3. Contexte spatial et territorial : le Parc National des Écrins.....	23
2.3.1. Le massif des Écrins, observatoire du changement climatique	23
2.3.2. Acteurs du territoire et partenaires du programme	25
2.4. Méthodologie	29
2.4.1. Mise à niveau et promotion de l'application OBS-ALP.....	29
Utilisateurs	30
2.4.2. La co-construction des outils pédagogiques et d'animation avec les gardien.ne.s.	32
2.4.3. Les outils	35
3. Conclusion	44

3.1. Préfiguration des résultats, limites et perspectives	44
3.3. Conclusion générale	45
TABLE DES FIGURES	47
REFERENCES	48

1. Introduction

En haute-altitude comme dans les hautes latitudes, la cryosphère : l'ensemble des sols et eaux gelées à la surface de la Terre - a une action stabilisatrice en agissant comme un carcan de glace. Dans cet ensemble, on distingue le pergélisol (ou *permafrost* : sol ou roche gelée qui se maintient en-dessous de 0°C pendant au moins deux années consécutives ; CNRC, s.d.) et les glaciers. Ces surfaces auparavant perpétuellement englacées des Alpes « ont diminué de moitié entre 1900 et 2012 avec une forte accélération de la fonte depuis les années 1980 » (Huss, 2012, cité dans Mourey et Ravanel, 2017). Cela se traduit par un important retrait glaciaire : « A l'échelle régionale [Alpes françaises], les glaciers ont perdu 25 % de leur superficie depuis la fin des années 1960 et 50 % de leur superficie depuis la fin du PAG » (Gardent, 2014) et une fonte, plus difficilement calculable, du pergélisol. Une des conséquences de ce réchauffement rapide est qu'à la dynamique géomorphologique saisonnière provoquée par le dégel printanier s'ajoute une déstabilisation en profondeur des sols et roches en haute montagne par la fonte progressive du *permafrost* sur le temps long. Cela se traduit notamment par des phénomènes dangereux et souvent spectaculaires qui se font plus fréquents et plus intenses, comme les écroulements des Drus (Ravanel et Deline, 2008). Mais ce processus n'est qu'un des changements systémiques parmi d'autres que connaît la haute montagne ; avec le changement climatique, c'est tout l'étagement morpho-climatique (Chardon, 1984) qui remonte, entraînant notamment un déplacement vers l'amont et une transformation des dynamiques géomorphologiques.

Devant ce constat de modification profonde des environnements de haute montagne, chercheurs et acteurs de ces territoires souhaitent comprendre ces changements pour anticiper les enjeux que cela représente. Cela passe entre autres par une collecte de données sur les phénomènes géomorphologiques l'augmentation de leur fréquence et de leur intensité, leur saisonnalité, leur localisation... dans l'objectif de mieux prévenir et gérer les risques associés et dans le même de temps de produire des indicateurs de l'évolution du changement climatique.

Pour mener à bien cette collecte de données, il s'agit de recenser le plus grand nombre possible de phénomènes géomorphologiques en haute montagne, cela demande de s'appuyer sur un réseau d'observateurs. C'est dans cette perspective que l'on cherche à tester un dispositif, au sein du programme Refuges Sentinelles, s'inscrivant résolument dans le champ des sciences participatives. L'objectif serait d'encourager les personnes fréquentant la haute montagne (touristes sportifs, guides, gardiens, accompagnateurs en moyenne montagne (AMM), secouristes) à signaler les phénomènes géomorphologiques observés en mettant à leur disposition un outil consacré - l'application smartphone OBS-ALP - et en stimulant leur curiosité vis-à-vis de la géomorphologie, avec les refuges comme points d'animation du dispositif.

Le refuge polarise les professionnels et amateurs de la haute montagne, il constitue ainsi un point nodal dans ce territoire et un laboratoire privilégié pour une étude de son environnement par le biais des sciences participatives. Quels outils et méthodes y adopter pour exploiter ce potentiel et former les parties prenantes de la haute montagne à l'observation et au signalement des phénomènes géomorphologiques dans une double démarche de « science participative » et de « science citoyenne » ? Cela dans le but de produire de la connaissance scientifique conceptualisable mais aussi exploitable sur le terrain par les acteurs impliqués, tout en développant une culture de l'attention au milieu parmi les usagers de la montagne.

1.1. Le programme Refuges Sentinelles

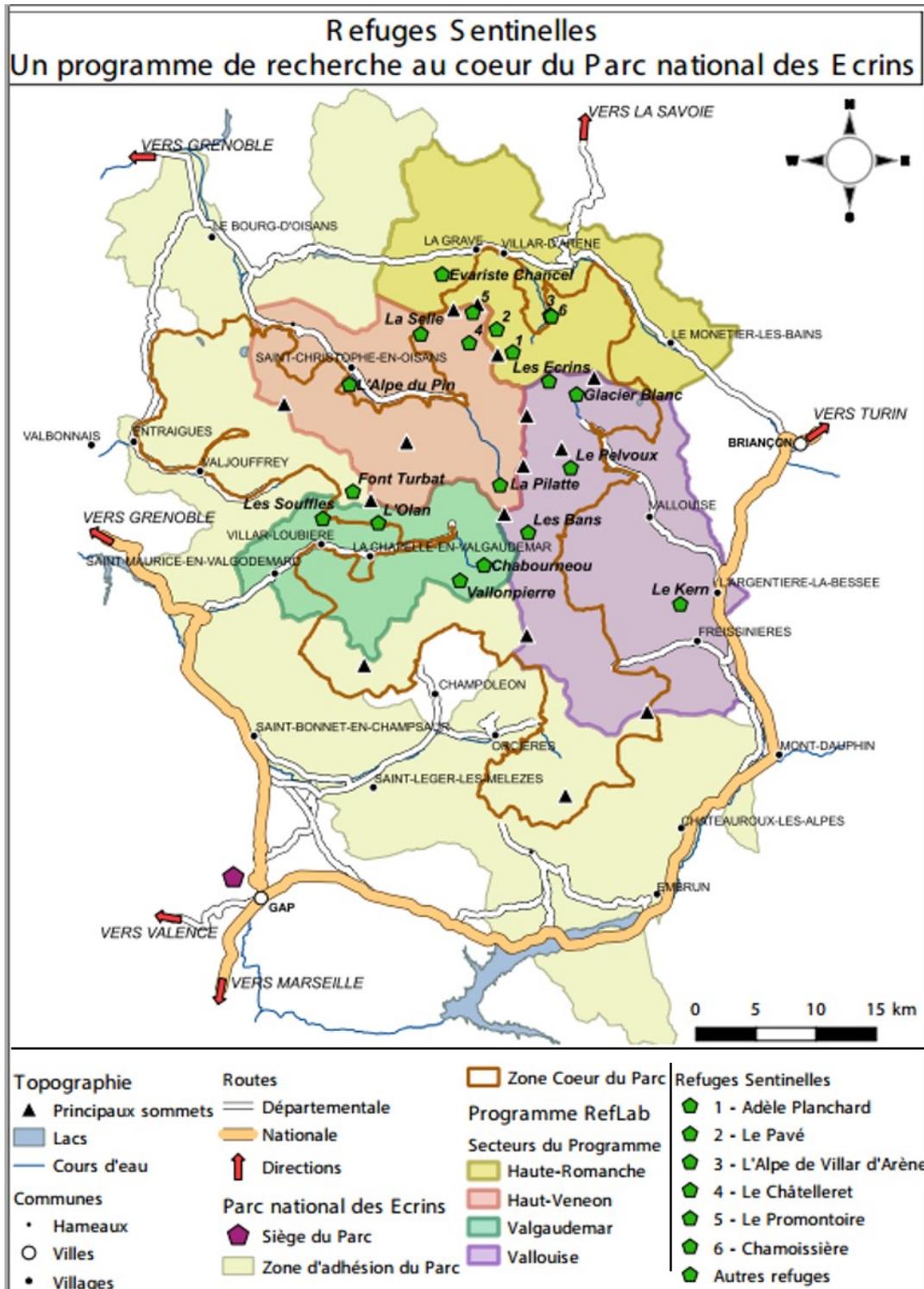


Figure 1 : Les refuges partenaires du programme Refuges Sentinelles en 2017. Réalisation : RefLab 2017

Refuges Sentinelles est un programme de recherche et “un dispositif d’observation et d’animation pluridisciplinaire, partenarial et participatif de la haute montagne” (Reflab, 2018) né au sein du conseil scientifique du Parc National (PN) des Écrins à l’initiative de Philippe Bourdeau, chercheur en géographie culturelle sur le tourisme de montagne et les sports de nature et Richard Bonet, chef du service scientifique du PN des Écrins. Il a été conçu sur le modèle du programme préexistant « Alpagnes Sentinelles » dédié à l’observation scientifique collaborative de la haute montagne à travers le monitoring des alpages et s’appuie sur certains des refuges du Parc National des Écrins (cf. figure 1). Ces programmes font aujourd’hui partie du projet Sentinelles des Alpes, « une action partenariale relative à cinq dispositifs d’observations des relations Climat-Biodiversité-Homme » (cf. figure 2), porté par la Zone Atelier Alpes (ZAA), « un dispositif d’observations et de recherches pluri-disciplinaires sur les trajectoires et le fonctionnement des socio-écosystèmes des Alpes dans un contexte de changements climatiques globaux et de mutations socio-économiques des territoires de montagne ». La ZAA a pour objectif d’appuyer les programmes scientifiques étudiant les socio-écosystèmes alpins en relation avec les acteurs des territoires. Le dispositif RefLab s’inscrit parfaitement dans ce contexte et particulièrement dans les axes thématiques « Trajectoires des territoires de montagne » et « Biodiversité et fonctionnement des socio-écosystèmes et bassins versants » (ZAA, s.d.).

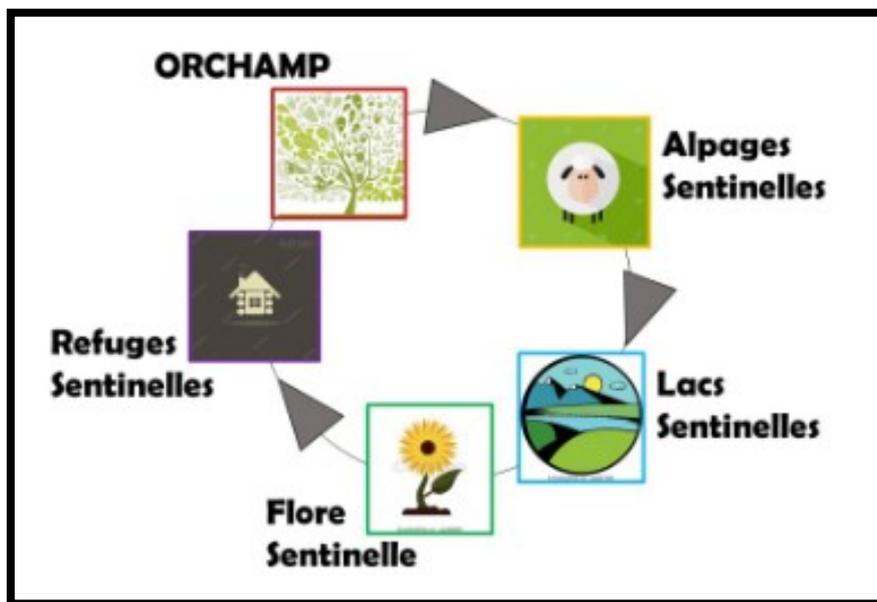


Figure 1 : Organisation du dispositif Sentinelles des Alpes. Réalisation ZAA, s.d.

Si des chercheurs ont ressenti le besoin de mettre en place un programme comme Refuges Sentinelles, c’est parce que les milieux de haute montagne (>2500m), pourtant à fort enjeu, étaient jusqu’ici peu investigués et les refuges présentaient un intérêt heuristique

particulier (com. orale, Philippe Bourdeau, mars 2019). Les moyens utilisés pour mener à bien ce projet d'approfondissement de la connaissance de la haute montagne ont été énoncés pendant le premier séminaire technique de Refuges Sentinelles en juin 2016 : le programme « vise à construire une convergence, une mutualisation et une valorisation d'observations et de données partagées qui impliquent les sciences de la nature [...], les sciences sociales [...] et l'ensemble des parties prenantes concernées par la fréquentation de la montagne : gardiens, fédérations sportives, espaces protégés, guides, AMM, usagers. »

Ainsi, l'objectif est d'édifier un observatoire de la haute montagne à partir des refuges, en croisant sciences sociales et naturelles, et en s'appuyant notamment sur les méthodes et outils qu'offrent les sciences participatives. Mais pourquoi faire reposer un programme de recherche consacré à la haute montagne sur les refuges ? Quelle est l'intérêt spécifique du refuge pour la recherche ?

Si le refuge de haute montagne est aussi central dans ce programme c'est parce qu'en analysant son emplacement, ses fonctions et son réseau d'acteurs, on prend conscience du potentiel heuristique que ce lieu présente. Dans une perspective terre-à-terre d'abord, c'est la seule infrastructure fixe d'habitat humain en haute montagne dans les Alpes, ce qui en fait l'unique avant-poste « matériel » pour une observation *in situ* de cet environnement. Pour la même raison, c'est un point de passage quasi-obligatoire pour toutes les personnes se rendant en haute montagne sur plusieurs jours, même ceux qui choisissent le bivouac vont souvent y prendre des informations. On peut donc y observer les flux de pratiquants, de professionnels, d'acteurs du territoire et la fréquentation de la haute montagne en général. Cela en fait un point nodal, où ces différentes catégories et individus se croisent, interagissent, échangent, selon différentes temporalités : certains habitent ces lieux à la saison (gardiennes et gardiens), d'autres sont des habitués sillonnant un ou plusieurs massifs (guides, AMM, secouristes, gardes de Parc...), la plupart sont là pour quelques jours (alpinistes, randonneurs, grimpeurs...). Ce sont autant de visions, d'expériences, de pratiques différentes de la haute montagne et de sources d'informations sur de nombreux domaines que les chercheurs peuvent étudier en interrogeant ou en observant ces individus au sein et autour des refuges.

Dans un deuxième temps, en termes d'offre d'hébergement touristique, le refuge est hors-catégories, il est soumis aux contraintes inhérentes à la haute montagne qui déterminent largement son fonctionnement, son niveau de confort et d'équipement. Pour autant, ces établissements n'échappent pas à la loi de la demande, mais celle-ci est façonnée par une clientèle très spécifique dont les attentes sont bien éloignées de celles du marché « classique » (AFIT, 2001). En effet, le refuge - en tant qu'offre touristique - est hérité de l'histoire de l'alpinisme, d'abord simple abri rudimentaire contre les intempéries pour les ascensionnistes, de véritables bâtisses sont ensuite construites pour répondre au développement rapide de la pratique, dans le même temps, les gardiens entrent en fonction (Marcuzzi, 2017). Mais la clientèle a changé au cours du temps, la démocratisation de l'alpinisme s'est traduite par une période de « surfréquentation » des refuges au début de la deuxième moitié du XX^e siècle, la clientèle y était presque exclusivement composée d'alpinistes. La fréquentation a ensuite beaucoup baissé à partir de 1985 (Berthet, 2014), mais elle semble repartir à la hausse depuis

2010 à la faveur d'une diversification des activités pratiquées en haute montagne (Randonnée, randonnée à ski, escalade) et donc de la clientèle ainsi que d'un intérêt renouvelé pour l'expérience refuge. Même si ce processus s'accompagne d'une recherche d'amélioration du confort, cela reste cantonné aux besoins de base (repas, lits, parfois douches). Gardiens et usagers sont attachés à ce lieu unique, à cette expérience particulière que cette histoire a produite ; une expérience vue comme plus authentique comparée aux artifices du tourisme moderne ou de « l'hyper-tourisme » (Bourdeau, 2018) et au quotidien urbain de beaucoup. La majorité des usagers veut donc conserver la formule qui garantit « l'esprit refuge » (AFIT, 2001) : c'est-à-dire des interactions sociales fortes favorisées par la promiscuité et aujourd'hui la « déconnexion », ainsi qu'une forme de cohérence avec l'environnement extérieur contraignant et avec des pratiques qui se veulent souvent contemplatives, éloignées des considérations matérielles.

Cette offre particulière est la cause comme la conséquence d'une dynamique trans-touristique (Bourdeau, 2018) autour des refuges, les gardiens comme les usagers sont pour beaucoup des pionniers de pratiques touristiques nouvelles où l'on est soucieux d'internaliser les problématiques liées à l'environnement de montagne, d'en apprendre plus au sujet de celui-ci (tourisme pédagogique/scientifique). C'est là une autre dimension de l'intérêt heuristique des refuges, on y trouve des acteurs très demandeurs de transmission en lien avec l'environnement dans lequel ils sont immergés et qu'ils affectionnent, ce qui en fait un terreau particulièrement fertile pour les sciences participatives.

1.2. Le stage

Ce stage de Master 2, qui s'étale du 7 mars au 5 septembre 2019, se déroule au sein du laboratoire de sciences sociales PACTE (site de l'IUGA), une unité mixte de recherche (UMR) qui dépend à la fois de l'UGA, du CNRS (financier du stage) et de Sciences Po Grenoble.

Le programme Refuges Sentinelles, pour lequel je travaille, est hébergé dans ce laboratoire. Le stage se construit en lien étroit avec Mélanie Marcuzzi qui est l'animatrice principale du dispositif, Philippe Bourdeau, qui en est le coordinateur scientifique et mon tuteur de stage, ainsi que Philippe Schoeneich, mon référent pédagogique. Je bénéficie aussi de l'aide et du cadrage apporté par les chercheurs géomorphologues de l'UMR EDYTEM (Université Savoie Mont-Blanc), qui sont de proches collaborateurs du programme et que les résultats de mon stage concernant la collecte participative de données peuvent potentiellement intéresser.

Aussi appelé dispositif ReFlab, Refuges Sentinelles est un programme pluridisciplinaire comme évoqué plus haut, il mobilise plusieurs domaines des sciences de la nature et des sciences sociales. Le stage, intitulé « *Mise en place, test et valorisation d'outils participatifs de signalement de phénomènes géomorphologiques dans des refuges du Parc National des* »

Écrins », vise à développer le volet géomorphologie, préfiguré par une première campagne pendant l'été 2018 (nous évoquerons l'utilité de cette campagne ultérieurement).

Il s'agit donc de développer des outils à mettre à disposition des acteurs gravitant autour des refuges du parc National des Écrins (gardiens, clients, guides, AMM...), d'intéresser ces contributeurs au signalement de phénomènes géomorphologiques et d'animer le dispositif pour créer, à terme, une dynamique d'observation participative durable dans ce domaine, qui alimenterait une base de données exploitable par les géomorphologues pour produire de la connaissance sur cet environnement. Mais pour ancrer cette démarche dans le territoire et la mettre en adéquation avec les principes des sciences participatives, ces connaissances/résultats issus de la sphère académique doivent être valorisables sur le terrain, que ce soit par leur transmission auprès des acteurs principaux (gardiens, guides, AMM) ou pour la prévention des risques par exemple.

Pour réaliser cela, le réseau d'acteurs entretenu par Reflab est un appui précieux et plus particulièrement les gardiennes et gardiens de refuges qui sont les interlocuteurs privilégiés pour co-construire ces outils en les adaptant à leurs préférences, leurs demandes, en phase avec celles de leurs clients et au refuge - en tant que lieu et que nœud d'acteurs - dont ils sont les plus fins connaisseurs.

Ainsi, ce stage, dont les méthodes relèvent de la science participative, mobilise dans un premier temps des compétences relationnelles et de travail en équipe, il s'agit de travailler de concert avec chercheurs et professionnels de la haute montagne et de connecter ces deux sphères pour mutualiser leurs aptitudes. Ensuite, le choix des outils à développer dans chaque refuge se fait en accord avec les gardiens parmi un panel de propositions modulables. Leur co-construction fait intervenir d'autres compétences selon le type d'outil choisi, pour l'essentiel, une bonne connaissance de la géomorphologie dynamique glaciaire et périglaciaire, une habilité à la vulgarisation pour les contenus pédagogiques et à la communication pour faire connaître et animer ce dispositif d'observation. Nous reviendrons concrètement sur la teneur de ces outils plus loin dans ce mémoire.

2. Développement

2.1. Géomorphologie, haute montagne et changement climatique

La haute montagne se définit comme les altitudes au-delà de la limite de la forêt subalpine (Chardon, 1984), elle est donc caractérisée par de fortes pentes, la quasi-absence de végétation et l'emprise du froid. C'est un terrain d'étude pléthorique et fascinant pour la géomorphologie dynamique, par la quantité, la diversité et l'aspect souvent spectaculaire des phénomènes géomorphologiques que l'on peut y observer. Comme on l'a évoqué en introduction, l'évolution de la dynamique de ces phénomènes en haute montagne est aujourd'hui étroitement liée aux changements climatiques, à l'origine de la remontée de l'étagement morpho-climatique (Chardon, 1984) et de la fonte des glaces. Or, ce réchauffement est bien plus accusé dans les Alpes qu'à l'échelle globale, avec « une hausse d'environ 2°C entre la fin du 19e et le début du 21e siècle, soit deux fois le taux de réchauffement mesuré à l'échelle nord-hémisphérique » (Auer et al., 2007, cité dans Bigot et Rome, 2010). C'est d'autant plus problématique que la cryosphère y est encore très étendue (Haeberli et Beniston, 1998, cité par Duvillard *et al*, 2015). En 2012 la surface du permafrost a été estimée à 700 km² pour les Alpes françaises, ou environ 3% de la surface totale du massif français (Boeckli *et al*, 2012, Marcer et al. 2017), elle a été cartographiée et pris la forme de l'Alpine Permafrost Index Map (cf. figure 3) son évolution est étudiée par l'observatoire PermaFRANCE. Pour exemple, des forages sur le site de l'Aiguille du Midi permettent de suivre le permafrost de paroi, un profil vertical de température est établi sur le domaine skiable des Deux Alpes grâce à un forage de 100m (PermaFRANCE, s.d.). Le retrait glaciaire, lui, est d'environ 25 % depuis la fin des années 1960 (Gardent, 2014), il fait aussi l'objet d'une surveillance sur plusieurs glaciers (Saint-Sorlin, Argentière...) par l'observatoire français GLACIOCLIM, y sont mesurés des bilans de masse, la topographie, la météorologie (GLACIOCLIM, s.d.). En effet, les régions de montagne sous l'emprise des glaces réagissent très brutalement aux changements de température dans l'atmosphère étant donné leur proximité avec les conditions de fonte (Haeberli et Beniston, 1998). Cette hausse moyenne des températures renforce l'action déstabilisante du gel-dégel, à celle-ci s'ajoute l'influence du facteur des fortes pentes inévitablement lié au milieu de haute montagne : "Pour des pentes supérieures à 25-30°, des problèmes de stabilité peuvent se développer dans des sédiments non-consolidés, car récemment exposés ou sujets à une fonte. Des coulées de débris de différentes magnitudes peuvent alors se déclencher, particulièrement lors d'événements de fortes précipitations." (Haeberli et Beniston, 1998, traduction personnelle).

Concernant les phénomènes géomorphologiques, l'influence du dégel est un élément déclencheur parmi de nombreux autres, des facteurs passifs (géologie, topographie, utilisation du sol, végétation...) et des facteurs actifs (agents climatiques, surpressions dues à l'eau, modifications géométriques... SSGm, 2009). Mais la fonte des glaces étant le facteur

déclencheur le plus rapidement affecté par le changement climatique, on peut supposer qu'il est largement à l'origine de l'intensification de la dynamique géomorphologique observée en haute montagne aujourd'hui. L. Ravanel indique que « Le rôle du climat est [...] démontré par l'analyse des 42 écroulements documentés sur le versant nord des Aiguilles de Chamonix [de la fin du Petit Âge Glaciaire à 2009] : il existe une très bonne corrélation entre les écroulements et les périodes les plus chaudes de la période d'étude. 70 % des écroulements ont eu lieu au cours des deux dernières décennies, caractérisées par une accélération du réchauffement climatique » (Ravanel, 2010). Il est aussi à l'origine de phénomènes moins connus comme les thermokarsts, qui présentent un danger lorsqu'ils produisent des phénomènes géomorphologiques associés (lave torrentielle, déstabilisation d'une moraine...). Ce sont des formes d'affaissement dues à la fonte d'un volume de glace en profondeur, maintenu grâce à des conditions de *permafrost*. Un exemple est celui du lac du Plan de Chauvet (Haute Ubaye), « qui se forme puis se vide à travers la glace en provoquant des crues torrentielles » (Bodin *et al.*, 2015).

Ce sont autant de phénomènes provoqués par le dégel. Mais pour expliquer plus précisément l'action du couple gel-dégel sur cet environnement, il faut différencier les sols et roches connaissant un gel-dégel intermittent (journalier et/ou saisonnier), c'est la couche active, de ceux où le gel est permanent et date du Petit Âge Glaciaire (PAG), c'est le permafrost, ou pergélisol. Le dégel y agit selon des pas de temps différents et produit des effets différents.

Les successions de gel-dégel caractéristiques du climat de haute montagne affectent donc la tranche supérieure des sols et des roches (de quelques centimètres à 3 ou 4 m). Lorsque l'eau liquide se transforme en glace il y a libération d'une grande quantité d'énergie et « l'augmentation du volume de l'eau interstitielle lors du gel (+9%) entraîne une augmentation de la pression d'environ 15 kg/cm² » (SSGm, 2009). Cette action mécanique affecte les sols en introduisant un mouvement de respiration qui les fait se déplacer vers l'aval : il y a exhaussement avec le gel et affaissement avec le dégel ; elle affecte aussi les roches par la gélifraction, le débitage de la roche résultant de la contrainte exercée par la succession du gel et du dégel dans les pores et fissures de la roche, procédé qui accélère grandement l'érosion et crée de l'instabilité en rendant la roche moins cohésive. Mais cela ne déclenche généralement que des phénomènes géomorphologiques de relativement faible magnitude comme des chutes de pierre, seule la surface des roches est affectée, l'instabilité est donc superficielle.

A la différence, la fonte du pergélisol est à l'origine de déstabilisations profondes puisque c'est un phénomène de subsurface (mètres à centaines de mètres). La hausse moyenne des températures étend l'action du dégel qui atteint de plus hautes altitudes et approfondit la couche active des terrains perpétuellement gelés. Cela crée une augmentation significative de la dynamique géomorphologique puisque le ciment de glace qui stabilisait ces zones depuis la dernière glaciation fond, déclenchant des écroulements par exemple.

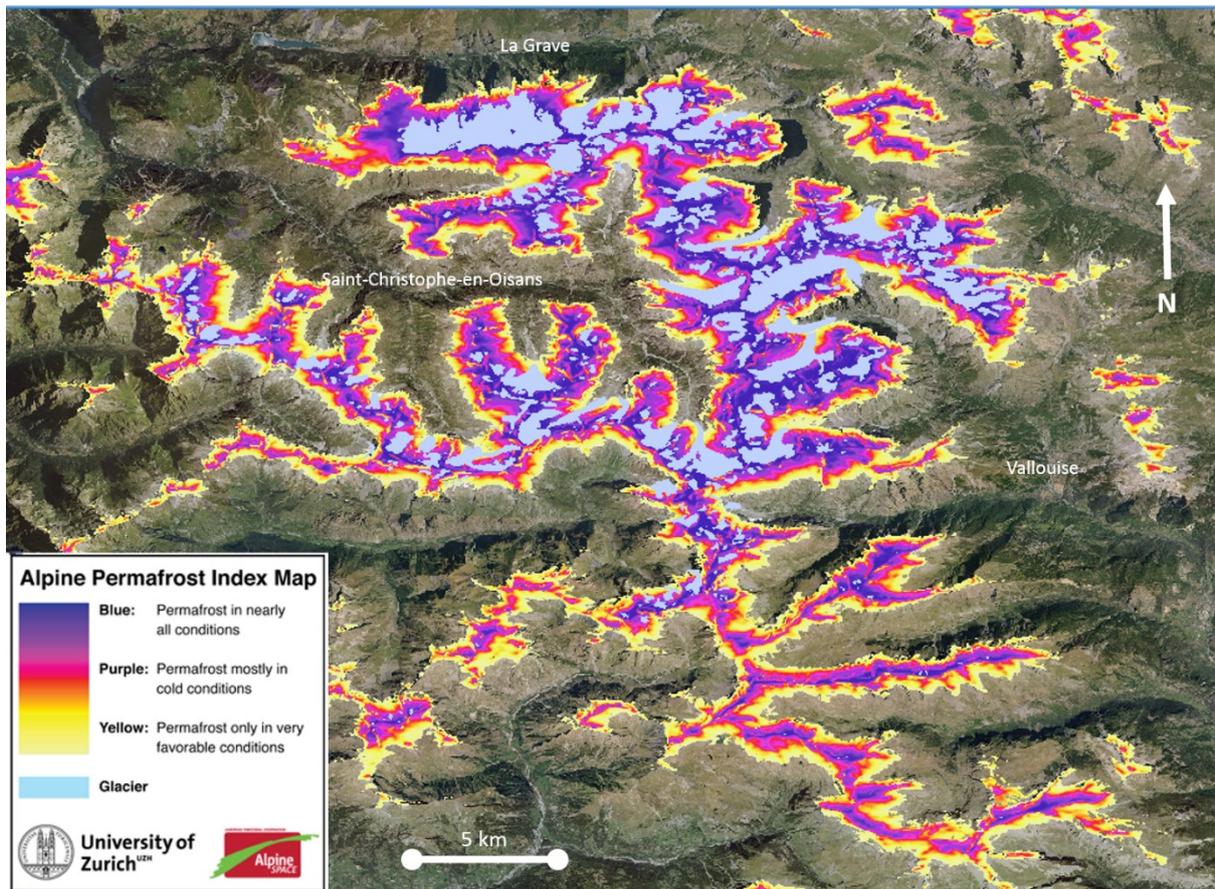


Figure 2 : Alpine Permafrost Index Map (APIM), zoom sur le massif des Écrins. (Université de Zurich, s.d.)

Mais si la fonte du pergélisol introduit généralement une phase de déstabilisation des sols et roches, suivie d'une nouvelle stabilisation lorsque le processus est finalisé, l'action du retrait glaciaire n'est pas aussi unilatérale. La dynamique géomorphologique issue du retrait glaciaire à un moment donné dépend largement de la topologie sous-jacente et des conditions thermiques de la base du glacier. En effet, si le glacier, en se retirant, voit sa langue se placer sur un escarpement, une rupture de pente, une phase marquée par des chutes de séracs ou de portions entières du glacier va débuter, entraînant des avalanches de glace et phénomènes associés. Au contraire, si un glacier connaissant cette phase se retire sur une portion de versant moins pentue, la dynamique géomorphologique en est fortement réduite. Le degré d'activité de ces masses glaciaires est aussi fortement corrélé à la température de leur base. Un glacier « tempéré » à l'interface avec le substratum rocheux n'est plus soudé à celui-ci par le froid. En conséquence, sa vitesse de déplacement à la saison chaude augmente fortement, les ruptures de portions du glacier se font plus fréquentes, notamment à cause d'écoulements d'eau sous-jacents réduisant l'adhérence au substratum (Alean, 1985). Enfin, le retrait glaciaire est aussi à l'origine d'une déstabilisation des versants temporaires par relâchement de la pression exercée sur les zones découvertes.

La fonte de la cryosphère retient l'attention, c'est le processus résultant des changements climatiques le plus tangible et le plus « spectaculaire ». Mais, c'est la totalité de l'étagement morpho-climatique qui est affecté, pas seulement l'étage glacio-nival. Au-dessous des limites de la cryosphère, d'autres dynamiques sont à l'œuvre. Il est notamment difficile de prévoir le changement de régime avalancheux selon l'altitude et les périodes, la répartition entre avalanches « lourdes » et avalanches de poudreuses. A l'étage nival, les dépôts morainiques issus du retrait glaciaire sont autant de matériaux facilement mobilisables par les phénomènes torrentiels. De grandes surfaces de ces formations vont donc être mises à nues, la quantité de matériaux charriés par les hydrosystèmes de montagne va donc probablement augmenter. Mais, plus bas en altitude, la limite de la forêt subalpine remonte elle aussi, celle-ci aura au contraire une action stabilisatrice sur le terrain gagné, mais sa progression n'est vraisemblablement pas suffisamment rapide pour compenser le volume de matériaux déstabilisé par l'emballement du retrait glaciaire et la fonte du *permafrost*.

Tous ces changements se traduisent par l'obsolescence des connaissances, théoriques ou empiriques, que les chercheurs ou les acteurs du terrain ont sur la localisation classique et la temporalité des différents phénomènes géomorphologiques. Pour toujours mieux connaître et anticiper les risques qui sont associés à ces événements, il s'agit d'approfondir leur compréhension et d'étudier la réponse de la dynamique géomorphologique aux changements climatiques. Le dispositif Refuges Sentinelles propose, dans ce contexte, de faciliter les échanges entre chercheurs et acteurs de terrain et de collecter les données nécessaires grâce à une démarche participative.

2.2. Sciences participatives et géomorphologie

2.2.1. Introduction aux sciences participatives

Les sciences participatives peuvent être définies comme « les formes de production de connaissances scientifiques auxquelles des acteurs non-scientifiques-professionnels, qu'il s'agisse d'individus ou de groupes, participent de façon active et délibérée. » (Houllier *et al.*, 2016). Le programme Refuges Sentinelles s'inscrit résolument dans une démarche de science participative. Son volet géomorphologie ne déroge pas puisque le travail en cours vise à s'appuyer sur un réseau d'acteurs non-professionnels de la recherche pour signaler les phénomènes géomorphologiques en haute montagne. Il est donc important de s'interroger sur les enjeux inhérents aux sciences participatives et sur la façon dont on les utilise.

Pour cela, il est nécessaire de se plonger dans la production scientifique qui tâche de définir les sciences participatives, leurs différentes formes et leurs enjeux. C'est une démarche que B. Charonnat a déjà menée dans son mémoire de 2018 sur le signalement participatif des thermokarsts, sujet dont on assure ici la continuité en élargissant la base des phénomènes

géomorphologiques ciblés et des méthodes utilisées. Ce travail a donné lieu, entre autres, à un état de l'art sur « Les sciences participatives et leur application en environnement » dont la lecture est recommandée, seuls les points d'intérêt pour ce mémoire seront résumés ici. Il s'agira ensuite de prolonger cette réflexion en tâchant d'apprécier la singularité de l'approche participative en géomorphologie, ainsi que celle du dispositif RefLab.

L'état de l'art de B. Charonnat, en substance, part du constat de l'intérêt nouveau pour les sciences participatives, tout en rappelant que ce type de science a un ancrage solide dans l'histoire. Ce renouveau est largement imputable au développement du numérique et d'internet mais procède aussi, en ce qui concerne les sciences de la nature, d'une prise de conscience environnementale des citoyens qui souhaitent ainsi s'engager, ou plus largement d'une volonté politique d'avoir un droit de regard sur la science. La question de la typologie des sciences participatives est ensuite abordée, avant de faire le point sur les avantages qu'elles offrent (bas coût, diversification des compétences et des distributions spatiales et temporelles, amélioration des rapports science-société), au regard de leurs limites (qualité des données questionnable, logistique complexe). La conclusion se fait autour d'exemples d'applications existantes de la démarche participative en environnement comme Vigie-Nature, un réseau d'observation de la nature ordinaire par des amateurs suivant un protocole ou Alp-Risk, l'application smartphone de signalement des écroulements rocheux qui préfigurait OBS-ALP.

Dans le cas de la recherche en géomorphologie dynamique en haute montagne, quel est l'intérêt de « cette demande forte de tisser de nouvelles relations entre la science et la société » (Le Crosnier *et al.*, 2013) ? Comment peut-on l'utiliser pour faire progresser plus rapidement ce champ d'études et potentiellement renouveler ses méthodes ?

2.2.2. Quelle place pour la démarche participative en géomorphologie ?

De premier abord, la géomorphologie n'apparaît pas comme une science à laquelle on peut facilement intégrer une contribution citoyenne. C'est un champ d'étude très précis pour lequel le grand public n'a de curiosité particulière et dont on voit difficilement comment il nous concerne au quotidien, contrairement à d'autres sciences de l'environnement comme la météorologie, la climatologie ou encore l'écologie faunistique et floristique qui préoccupent plus directement les citoyens, poussés par leur conscience environnementale. On remarque d'ailleurs que la production scientifique y prend surtout la forme d'études de cas, les études quantitatives, basées sur l'observation de nombreux phénomènes, sont plus rares, car la collecte de données est très laborieuse. Difficile d'être au bon endroit au bon moment pour observer un phénomène dont les critères de déclenchement sont souvent mal connus, difficile aussi d'équiper une multitude de sites pour faire cette collecte à distance. C'est pour pallier ce

manque que la démarche participative peut être d'une grande utilité. En complément des études de cas, une approche quantitative de l'étude des phénomènes géomorphologiques est indispensable pour mieux comprendre la répartition de ces derniers dans l'espace et dans le temps notamment. Or, produire suffisamment d'observations pour obtenir un échantillon exploitable requiert un travail de terrain titanesque pour un ou plusieurs chercheurs. C'est dans ce contexte, quand il s'agit d'études reposant sur le traitement de nombreux phénomènes de distribution spatiale et temporelle variée, que la démarche participative, en multipliant les observateurs et les points d'observation, prend tout son sens. C'est d'autant plus vrai depuis l'avènement d'internet et la systématisation des smartphones qui permettent de produire de la donnée scientifique. Cette forme « d'ubiquité » (Le Crosnier *et al.*, 2013) est un des avantages principaux qui vient avec l'adoption d'une méthodologie participative.

2.2.3. Un contexte favorable

Pour faire produire cette donnée selon cette méthodologie, il faut construire un réseau d'observateurs. Dans le cas du dispositif RefLab, les refuges procurent le « réseau préexistant d'amateurs et l'ancrage territorial » qui est, dans d'autres contextes, assuré par les associations selon Daniel Mathieu, fondateur de Tela Botanica, portail français des botanistes (cité dans Le Crosnier *et al.*, 2013). Le refuge est en effet le lieu privilégié de sociabilisation, d'échanges, de passage en haute montagne et offre donc cet ancrage territorial ; on y trouve les professionnels de cet environnement (gardiens, guides, AMM) ainsi que des amateurs de montagne, de toute évidence. Au sein de ces deux groupes - qui n'auront pas le même rôle, leur expérience du terrain étant très différente – il ressort de la campagne d'enquêtes menée par Refuges Sentinelles que nombre d'individus témoignent d'une grande curiosité pour la géomorphologie ; celle-ci semble procéder d'une envie de compréhension plus intime de cet environnement - théâtre singulier de leur pratique ou profession. Cela s'accompagne d'une sensibilité particulière à la question du changement climatique dont les effets modifient déjà profondément leurs activités. Si cette relation à la haute montagne est en partie intéressée, elle est surtout passionnelle, il est évident que ces choix de carrière ou de pratique témoignent d'une telle relation, ou du moins la développent dans le cas de certains amateurs. Cette population forme donc en quelque sorte le « réseau préexistant d'amateurs » grâce auquel il est envisageable de mettre en place un dispositif participatif de signalement des phénomènes géomorphologiques en haute montagne. Au sein de ce réseau, la construction de la relation avec les gardiens et l'échange autour d'envies et de besoins a largement été l'objet du travail mené les saisons précédentes dans le programme Refuges Sentinelles. C'était une étape indispensable avant de pouvoir mettre concrètement en place des études scientifiques à partir de leur refuge.

Ce réseau a pour point de convergence le refuge, comme évoqué auparavant. Mais ce n'est pas l'unique intérêt du lieu pour une démarche participative. L'expérience refuge offre aussi une sociabilité et une disponibilité favorisant grandement la participation des observateurs potentiels.

En effet, ce lieu géographiquement reculé et exempt de réseau téléphonique et internet (du moins pour le Parc des Écrins) évacue nombre de distractions liées à la modernité. Pour les usagers, les temps morts sont nombreux au refuge entre les sorties, notamment en cas de mauvaise météo. De plus, on y vit constamment en collectivité, la proximité est de mise. Les échanges y sont facilités, c'est un lieu de discussion autour des centres d'intérêt communs, de prise d'information et de transmission. Si l'on parle de disponibilité c'est donc autant dans le sens le plus évident d'une augmentation du temps libre, ce qui permet d'en dédier à en apprendre plus sur les phénomènes géomorphologiques, que dans le sens d'une plus grande disponibilité intellectuelle, en se libérant d'une charge mentale liée à un quotidien souvent stressant : c'est la déconnexion. Elle peut être définie comme « Un processus discontinu qui bouscule les repères spatio-temporels et extrait la personne de son quotidien. [...] Confronté au rythme de la nature et de l'environnement qui l'entoure, l'individu voit sa perception de la vie modifiée. Distancié de ses repères, l'individu physiquement déconnecté se reconnecte à autre chose ? » (Muller, 2019). Via l'effort physique, la perception de l'immensité du paysage ou encore la sensation d'isolement, on est amené à se reconnecter à la nature, à l'environnement dans lequel on évolue et à soi-même. En cela, ces amateurs de montagne deviennent davantage attentifs à ce même environnement, ce qui nous ramène à l'envie de mieux le comprendre, notamment à travers la géomorphologie.

2.2.4. Les formes de participation dans le programme Refuges Sentinelles

Le programme Refuges Sentinelles bénéficie donc d'un contexte très favorable pour mettre en place une méthodologie participative concernant les phénomènes géomorphologiques. Mais la notion de science participative au sens large peut désigner des réalités bien différentes, il convient de clarifier le parti pris du programme au regard des typologies distinguant les différentes formes de participation à une étude scientifique. Les figures 4 et 5 présentent deux typologies assez proches, leurs points structurants sont : le rôle des participants dans le projet pour celle de Marjolaine Giroux et « les différences d'objectifs » finaux pour Houllier *et al.*, (2016).

Bénévolat scientifique	Science communautaire	Science citoyenne	Science participative
Bénévole supervisé par équipe de recherche, voyage	Projet initié et mené dans la communauté par le citoyen	Le citoyen collecte les données scientifiques de base	Collabore à toutes les étapes du projet, actions, réactions
Planétaire, projets urgents	Échelle locale, besoins locaux	Grande échelle, projets de recherche	Petite échelle, besoins locaux
Priorité RS élevée	Priorité RS moyenne	Priorité RS élevée	Priorité RS moyenne
Priorité éducation moyenne	Priorité éducation moyenne	Priorité éducation élevée	Priorité éducation élevée
Earthwatch.org	Atlas des odonates du Québec	nestwatch.org	usawaterquality.org

Figure 3 : Typologie des sciences participatives en environnement de Marjolaine Giroux 2011 (Houllier *et al.*, 2016)

	Les sciences citoyennes	La <i>community based research</i>	Les recherches participatives
Objet	Contribution des citoyens-amateurs à la collecte et à l'analyse de données (scientifiques, amateurs)	Collaboration entre chercheurs et groupes concernés pour diagnostiquer et résoudre des problèmes qui les affectent (communautés, minorités, familles, chercheurs)	Collaboration entre chercheurs et groupes de citoyens ou de professionnels pour résoudre des problèmes (professionnels, utilisateurs, associations, coopératives, chercheurs, médiateurs)
Histoire	Très longue tradition de la participation des amateurs à la production des sciences naturalistes et aujourd'hui développement d'une forme de « curiosité équipée »	Tradition longue aux États-Unis, en santé publique, au Canada, en relation avec les communautés indigènes	Tradition longue dans le domaine de la recherche pour le développement. Différentes approches influencées par des traditions intellectuelles différentes (Kurt Lewin, Paolo Freire, Chambers, etc.)
Moteur	Curiosité et volonté d'impact aujourd'hui amplifiées par les TIC et le <i>crowdsourcing</i>	Amélioration des conditions d'existence ou d'exercice particulières de la communauté	Contribution à relever des défis sociaux ou scientifiques , soutenus parfois par de grandes organisations internationales (ex. Banque Mondiale)
Objectifs	Produire des connaissances et indicateurs , éduquer les citoyens aux méthodes scientifiques	Produire des connaissances actionnables , favoriser l'empowerment (capacitation)	Produire des connaissances actionnables dans une perspective d' innovation et de transformation sociale
Domaines principaux	Environnement, astrophysique, biodiversité	Santé publique, éducation, travail social	Agriculture, gestion des ressources naturelles, questions urbaines
Exemples français	Vigie Nature (biodiversité) ⁽¹⁸⁾ L'observatoire des saisons ⁽¹⁹⁾ (environnement) Observations solaires ⁽²⁰⁾ (astronomie)	Le Groupe de réflexion avec les Associations de malades de l'Inserm - GRAM ⁽²¹⁾ Les projets de l'ANRS en collaboration avec les associations de patients (santé)	Sélection participative ⁽²²⁾ (agriculture) COMEPOS ⁽²³⁾ (énergie)

Figure 4 : Typologie des sciences participatives de Houllier et al. (2016)

Mais toutes deux s'accordent sur l'existence de 3 grandes familles de recherche participative :

- La recherche citoyenne : le citoyen est un amateur qui collecte des données (et parfois les analyse) à destination des scientifiques, il offre sa participation pour un projet large qui lui tient à cœur et la production de connaissances, en retour il s'éduque aux méthodes scientifiques. Cela s'inscrit dans une longue tradition de participation dans les sciences naturalistes.
- La *community based research* ou recherche communautaire : le projet émane d'une communauté de citoyens qui tente de résoudre une problématique en son sein en collaboration avec des chercheurs. L'objectif est de produire une solution concrète pour « améliorer des conditions d'existence », cela concerne par exemple la santé publique.
- La science participative au sens fort ou recherches participatives : le participant, souvent approché car son expérience professionnelle correspond à la problématique, y est co-chercheur à part entière. Il participe à toutes les étapes du projet de recherche et apporte un précieux regard non-académique. L'étude menée permet aussi de répondre à des problèmes auxquels il est confronté dans sa profession.

Pour l'observation des phénomènes géomorphologiques dans le cadre de notre programme, la méthodologie intègre à la fois une forme de recherche citoyenne et de science participative. La relation avec les gardiennes et gardiens relève de la collaboration, de la science participative, ils sont co-chercheurs. A la différence, la relation avec les usagers des refuges relève de la participation au sens faible, de la science citoyenne, où le contributeur collecte simplement la donnée. On soulève ici une faiblesse du terme « science participative », la notion de participation peut désigner un engagement relativement passif, *a minima*, dans le langage commun. Si l'on proposait une alternative le terme de « science collaborative » semblerait mieux convenir à une forme d'engagement à égalité avec les chercheurs professionnels dans une étude scientifique. Pour autant, la terminologie classique sera conservée pour la suite.

La démarche participative construite dans ce mémoire s'inspire en partie du dispositif Alp-Risk qui formait un réseau de professionnels de la montagne (gardiens, guides, secouristes) en charge de signaler les écroulements rocheux dans le massif du Mont-Blanc, les données étaient ensuite analysées par le laboratoire EDYTEM (Deline & Ravanel, 2014). Ce dispositif a permis un recensement quasi exhaustif des écroulements dans ce massif à partir de 2007. L'objectif est de mieux comprendre ces phénomènes pour potentiellement mieux les prévoir. Les professionnels ont donc un intérêt à cette collaboration, puisque la connaissance produite pourrait mener à une meilleure prévention des risques dans le milieu dans lequel ils travaillent. Si le dispositif RefLab cherche toujours à s'appuyer le plus possible sur les professionnels de la montagne comme facilitateurs pour ses recherches, la démarche participative prend tout de même une autre dimension. Elle se base sur le principe que la relation avec les gardiens et gardiennes, voire les guides et AMM, est une relation qui s'inscrit résolument dans la science participative : ils participent au développement de la méthodologie visant à former les usagers des refuges à l'observation géomorphologique. Cet effort de co-construction permet de valoriser leur connaissance du terrain et leurs connaissances empiriques - dont les professionnels de la recherche peuvent parfois manquer, et de confronter ainsi des manières de penser différentes. On espère ainsi « révéler des connaissances tacites, des connaissances directement issues de ces interactions » (Bernard *et al.*, 2013) pour produire des outils pertinents pour les acteurs du terrain, comme pour les scientifiques et éviter l'écueil de ne répondre qu'à des problématiques purement heuristiques. L'autre évolution est la volonté de faire de la recherche citoyenne en élargissant à tous les amateurs de montagne la possibilité de signaler des phénomènes géomorphologiques grâce à l'application smartphone OBS-ALP.

Le choix d'une démarche participative offre des bénéfices indéniables (Sauermann & Franzoni, 2015) :

- une réduction des coûts
- l'accès à des compétences très spécialisées, notamment de terrain
- les projets demandant de la créativité bénéficient grandement d'un apport de compétences diverses

- la distribution aléatoire d'un grand nombre de contributeurs permet une large couverture spatio-temporelle et une démultiplication du travail de terrain

Ces différents points sont autant d'avantages pour notre dispositif d'observation géomorphologique. Pour autant, cette méthodologie apporte aussi des inconvénients et n'est pas dénuée d'écueils.

Le problème principal que rencontrent les études participatives réside dans la qualité des données recueillies par les participants, elles sont souvent hétérogènes étant donné qu'elles viennent de sources différentes, cela rend difficile leur interprétation et leur analyse. Selon Houllier *et al.* (2016), garantir la qualité scientifique d'une telle démarche repose notamment sur la transparence et la qualité du protocole, l'accompagnement des participants ou encore l'adaptation d'outils numériques pour la gestion des données. De plus la logistique de gestion d'un réseau d'acteurs nombreux et divers est lourde. Dans le cas du dispositif RefLab, la collaboration avec les gardiens et les autres acteurs du territoire implique une importante charge de travail sur le terrain pendant la saison estivale. La responsabilité revient aussi au coordinateur du dispositif de l'animer, de renouveler l'intérêt des contributeurs. Il peut être difficile d'inscrire le projet dans la durée car si la tâche est monotone, les participants peuvent se lasser rapidement, il est donc important de faire des efforts d'animation et d'offrir à chacun des perspectives d'évolution dans leur travail, par exemple des « possibilités de variations d'une année sur l'autre, qui incitent à comprendre ce qui s'est passé » (Gosselin *et al.*, 2010), cela implique une dimension de compréhension théorique de l'étude au-delà de la simple observation, ce qui est tout aussi important pour fidéliser les contributeurs.

S'engager dans une démarche de science participative demande aussi de respecter ses principes de base. Certains projets « utilisent les citoyens intéressés comme main-d'œuvre pour obtenir des données, sans les associer aux hypothèses, concepts et méthodes qui président à ces travaux. » (Le Crosnier *et al.*, 2013). Il est impératif de ne pas instrumentaliser les participants. Dans le cas d'une méthodologie participative au sens fort, le contributeur doit être intégré à toutes les étapes du projet (protocole, décisions, résultats...), à la différence, la « rétribution » pour un participant engagé dans une démarche de science citoyenne (où il collecte simplement des données) réside au minimum dans un retour sur les résultats de la part des scientifiques ainsi que des garanties sur l'utilisation des données.

2.3. Contexte spatial et territorial : le Parc National des Écrins

2.3.1. Le massif des Écrins, observatoire du changement climatique



Figure 5 : Carte de situation du Parc National des Écrins. Réalisation : Parc National des Écrins, s.d.

Le programme Refuges Sentinelles officie aujourd'hui exclusivement dans le Parc National des Écrins et en partenariat avec celui-ci, c'est donc aussi le cas du projet d'observation participative des phénomènes géomorphologiques. Le Parc est une institution dépendante de l'état et un territoire voué à la protection d'un patrimoine naturel exceptionnel. Il est constitué d'une zone cœur (trait violet cf. figure 6) où la réglementation liée à la réduction de l'impact anthropique est forte et d'une zone d'adhésion qui correspond aux communes ayant choisi de signer la charte. La charte est un projet de territoire révisé tous les 15 ans qui « assure une « solidarité écologique » entre ces deux zones de statut distinct » (PN Écrins, s.d.), cela implique des contraintes mais c'est un outil de développement durable et de « valorisation économique du patrimoine » qui a fait ses preuves. Tous les refuges partenaires de RefLab sont situés dans la zone cœur, sauf ceux de l'Alpe de Villar d'Arène et de Chamoissière.

Le Parc National des Écrins correspond grossièrement au massif du même nom. Le massif des Écrins est un espace de haute montagne exceptionnel, avec plusieurs sommets avoisinant les 4000 mètres d'altitude et un point culminant, la barre des Écrins, à 4102 mètres. La faune et la flore y sont très bien préservées grâce à la réglementation du Parc, qui limite les activités humaines à la contemplation et à la pratique de sports de nature à faible impact environnemental. Il y subsiste aussi des glaciers, élément majeur de l'identité paysagère du massif. Ces attributs font du massif un espace très attractif pour des touristes souhaitant profiter de cet environnement de haute montagne impressionnant et de sa nature préservée ou des pratiquants de sports de haute montagne qui recherchent essentiellement la même chose à travers leur pratique.

La particularité de cet espace réside aussi dans sa situation paysagère et géomorphologique par rapport aux changements climatiques. C'est le massif de haute montagne le plus méridional des Alpes, il est géographiquement proche de la frontière relative entre influence climatique méditerranéenne et continentale, l'augmentation des extrêmes climatiques et le réchauffement moyen y sont vraisemblablement encore plus accusés que dans la partie plus continentale du massif alpin. De plus, les glaciers se situent à une altitude critique où l'accumulation est bien inférieure à l'ablation et où le pergélisol est lui aussi en train de fondre. La masse glaciaire n'est pas suffisamment importante pour créer une forme d'inertie, comme dans les hautes-altitudes du massif du Mont-Blanc par exemple, la fonte des glaciers des Écrins va donc être relativement rapide. La disparition à court terme des glaciers représente un changement majeur pour le territoire des Écrins. C'est d'abord une perte paysagère et donc une perte d'attractivité touristique, la vue d'un glacier est une source d'émerveillement inexplicable pour tous et les montagnards et amateurs de montagne y sont extrêmement attachés. Historiquement, les alpinistes y ont été les premiers visiteurs, c'est autour d'eux que ce sont établis les refuges et ils ont grandement participé à l'effort de protection de cet environnement. La pratique de l'alpinisme dans les Écrins a déjà été largement transformée par le changement climatique, elle est vouée à y disparaître en même temps que les derniers glaciers, et avec eux une partie de l'identité du massif. Le territoire des Écrins fait donc face à une transition forcée, qu'il a déjà débutée. Pour l'instant, la pratique de l'alpinisme doit s'adapter au changement climatique qui modifie les conditions des itinéraires, déplace les zones de danger et rend la pratique globalement plus dangereuse en intensifiant les phénomènes

géomorphologiques (Haeblerli & Beniston, 1998). Cela à cause de la fonte du *permafrost* aux altitudes où il subsiste ou du rebond post-glaciaire, la fonte libère une pression sur les versants, les risques de chutes de masses augmentent. En parallèle, le tourisme doit se réinventer dans le Parc, en lien avec l'offre des refuges, qui doit se porter sur d'autres pratiques comme la randonnée pédestre ou à ski, le tourisme scientifique etc...

2.3.2. Acteurs du territoire et partenaires du programme

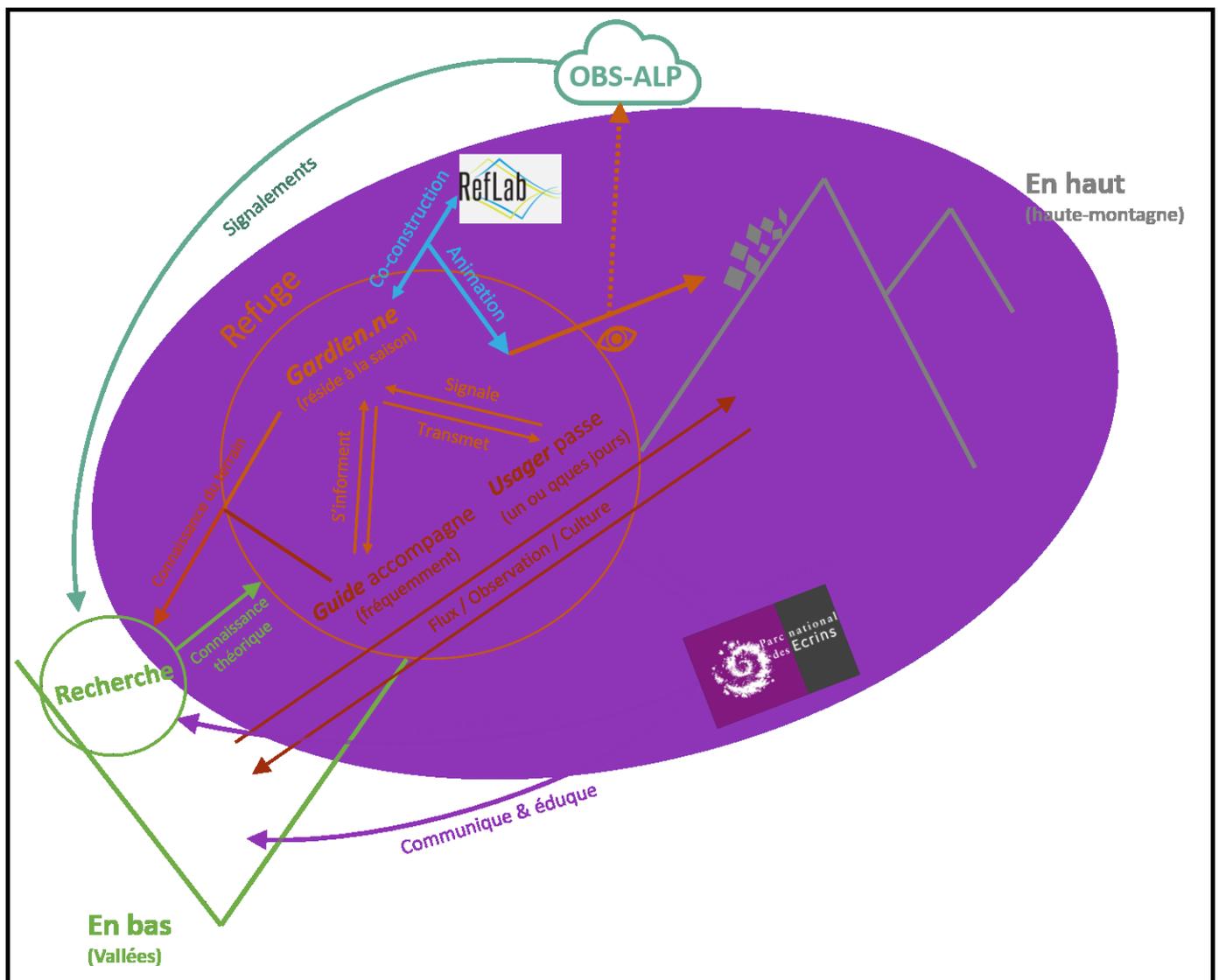


Figure 6 : Le refuge à l'interface entre vallées et haute montagne, entre "en haut" et "en bas". Schéma d'acteurs et de leurs interactions autour du refuge de haute montagne en lien avec l'observation participative des phénomènes géomorphologiques. Réalisation : R. Geffroy

Pour anticiper les questions et trouver des solutions aux problématiques évoquées dans la partie précédente, le Parc National encourage la recherche scientifique et l'appuie, notamment via son conseil scientifique ou l'installation de capteurs et appareils de mesure, la mise à disposition des données récoltées et le soutien technique par les agents de terrains. Le programme Refuges Sentinelles bénéficie ainsi largement de l'aide de l'institution en échange de son engagement dans ces études. Mais nombreux sont les acteurs de ce territoire partenaires du programme :

- **Le Parc National des Écrins** : en violet (cf. figure 7), contient la grande majorité des refuges du massif, réglemente cet espace et communique auprès du grand public et le sensibilise au respect de l'environnement. Il appuie aussi les scientifiques en les informant et en les mettant en réseau, les gardiens et les refuges en leur apportant un soutien technique et logistique. Cette institution est soucieuse de limiter le plus possible l'impact anthropique sur les Écrins, pour autant, elle n'a pas pour objectif de réduire le flux touristique, mais plutôt de réussir la transition à laquelle elle fait face en accédant à la demande de l'humain d'être intégré à cet environnement, pour le contempler ou y pratiquer des activités respectueuses de celui-ci. Le Parc tente notamment d'encourager à la fréquentation des refuges.
- **La Fédération Française des Clubs Alpins de Montagne (FFCAM)** : l'ex-Club Alpin Français (CAF) a construit et financé la majorité des refuges des Alpes avant la Deuxième Guerre mondiale, par la suite, l'Etat participe largement leur financement, tout en laissant la charge de leur exploitation à la fédération (FFCAM, s.d.). Cette dernière capte les recettes des nuitées et est chargée de la maintenance des bâtiments sur le long terme. Elle soutient Refuges Sentinelles en offrant la gratuité en refuge à l'équipe du programme.
- **La Société des Touristes du Dauphiné (STD)** : à l'instar de la FFCAM, la STD a construit les refuges de la Selle, du Soreiller et d'Adèle Planchard dans les Écrins et les exploite encore.
- **La recherche** : en vert (cf. figure 7). Les scientifiques utilisent le territoire de haute montagne pour l'étudier, en se rendant sur le terrain, ou à distance en utilisant des intermédiaires qui collectent la donnée pour eux, les informent. Le dispositif RefLab collabore de près avec le laboratoire PACTE qui coordonne notamment le projet PermaRisk, étudiant le *permafrost* et les phénomènes associés, l'équipe « morphodynamique des versants » du laboratoire EDYTEM, les observatoires PermaFRANCE et GLACIOCLIM. Il a pour fonction, entre autres, d'amplifier la dynamique de la recherche en haute montagne en facilitant les échanges d'informations entre les différents partenaires mis en réseau via le dispositif. Le flux de données provient d'abord des gardiens, par l'intermédiaire d'une récolte de leurs connaissances de terrain par l'équipe du dispositif, cette relation pourrait aussi être cultivée avec les guides et les accompagnateurs en moyenne montagne (AMM). Il proviendra aussi, dans notre cas, des acteurs des refuges en général, renvoyés vers l'application OBS-ALP (nuage turquoise sur la figure) pour signaler des phénomènes géomorphologiques observés.

Cette donnée sera donc directement accessible via la base de données de l'application. En rétribution de cette collecte de données, dans le contexte d'une démarche participative, la recherche doit produire des connaissances pertinentes sur le terrain, voire intégrer certains acteurs à la construction des protocoles de recherche.

- **Usagers et usagères des refuges** : ce sont des alpinistes des randonneurs, des grimpeurs, des amateurs de montagne en général, mais peuvent aussi être novice cherchant à découvrir ce nouvel environnement. Ils dorment en refuge pour pouvoir s'aventurer plus avant dans le massif et entreprendre une course qu'ils ne pourraient pas faire à la journée. Beaucoup fréquentent régulièrement les refuges et sont attachés à l'esprit qu'on y trouve, certains sont accompagnés de guides. Ils apportent une curiosité qui se mue en capacité d'observation et une culture de la montagne (cf. figure 7). Passer une nuit en refuge est, pour la plupart, une expérience de déconnexion où ils bénéficient de beaucoup de temps libre. L'ambiance y est à la contemplation et à l'échange, les gardiens, guides et AMM y font souvent figure d'autorité et de pédagogues, c'est donc un contexte idéal pour développer la culture de l'attention au milieu de ces usagers - souvent sensibles à cela - et de les encourager, par une transmission orale ou par la mise à disposition de documents pédagogiques, à participer à des projets scientifiques. En l'occurrence à l'observation des phénomènes géomorphologiques et à leur signalement sur l'application dédiée. Ces usagers sont la masse des visiteurs en haute montagne, il est donc intéressant de les mobiliser pour avoir le plus de données possibles, réparties sur une échelle spatio-temporelle plus grande (au-delà des bornes de saison, et couvrant l'ensemble du territoire et pas seulement les itinéraires phares), mais ils y sont présents sur de courts laps de temps (quelques jours généralement) et plus ou moins régulièrement. En cela, ils ne sont pas observateurs selon les mêmes modalités que les guides ou les gardien.ne.s, car ayant moins tendance à revenir sur un lieu qu'ils ont déjà visité, ils n'ont pas la possibilité d'y apprécier des changements latents et pour la plupart leur expérience est bien inférieure.
- **Gardiennes et gardiens** : ils gardent les refuges de haute montagne pendant toute la saison touristique, ce rôle leur est donné par la FFCAM ou les autres associations propriétaires dans les refuges affiliés, leur rétribution se fait par le chiffre d'affaire issu de la restauration et des consommations. Ce sont les seules parties prenantes du territoire à habiter en haute montagne à la saison. Les gardiennes et gardiens ont donc une relation particulière à cet environnement qui est leur « chez eux ». Leur sédentarité leur permet d'observer au quotidien les changements que connaît la haute montagne, un comportement habituel qui vient de leur volonté d'assurer au mieux la sécurité des personnes évoluant autour de leur refuge en surveillant les conditions et l'évolution des cordées dans leurs ascensions. Mais cette propension à être exceptionnellement attentifs à l'environnement visible depuis le refuge peut aussi provenir d'une forme de reconnexion à la nature issue de leur vocation, d'une existence frugale et d'une proximité directe avec la nature sauvage. Ils sont donc les meilleurs connaisseurs du terrain, des « sentinelles » - eux aussi - de l'environnement qui entoure leur refuge, et sont extrêmement précieux à la recherche car ils pallient le manque de connaissances

empiriques des scientifiques professionnels, les informent. C'est un métier qui demande une grande versatilité, puisqu'ils sont hôtes, restaurateurs, pratiquants de la montagne, bricoleurs par la force des choses quand le refuge rencontre un dysfonctionnement, parfois météorologues, anges-gardiens aux jumelles, relais des secours et malgré eux, se voient forcés de conseiller les usagers sur les conditions, la prise de risque. Cela en fait des co-chercheurs de choix et participe à renforcer leur statut de figure d'autorité et de personne référente sur à peu près tout au sein et autour du refuge qui peut être utilisé comme vecteur de transmission auprès du public présent (cf. figure 7). Dans ce contexte, l'objectif est de co-construire avec eux les outils d'animation à mettre en place au sein du refuge pour encourager les usagers du refuge à observer et signaler les phénomènes géomorphologiques en haute montagne.

- **Guides de haute montagne** : leur connaissance du terrain de haute montagne est différente de celle des gardiens et gardiennes. A la différence de ces derniers, ils n'habitent pas la montagne à long terme et sont très nomades, en cela ils sont moins spécialistes d'une zone mais couvrent un territoire plus grand, ce qui en fait des observateurs précieux selon des modalités différentes. Ils sont parfois au plus près de phénomènes géomorphologiques, parfois même les subissent (chutes de pierres, de séracs, avalanches...), ils peuvent donc les dater et localiser précisément et ont un intérêt tout particulier à en avoir une compréhension extensive. Ce sont en effet des professionnels de l'observation de l'environnement de haute montagne et sont donc parfaitement qualifiés pour documenter l'évolution des conditions et les phénomènes géomorphologiques. Ils pratiquent directement les courses en haute montagne, ce que les gardiens et gardiennes n'ont pas le temps (et pour certains les compétences) de faire, et ont tendance à les faire régulièrement. Cela les rend plus compétents pour témoigner de l'évolution des courses, de leurs conditions, itinéraires, dangerosité etc... même s'ils partagent largement ces informations avec les gardien.ne.s. A l'instar de ces derniers, ils font figure d'autorité et de référence pédagogique auprès de leurs clients et peuvent être un relais très efficace de la diffusion de cette culture d'attention au milieu et de l'application OBS-ALP.
- **Les accompagnateurs en moyenne montagne (AMM)** : Comme leur titre ne l'indique pas, ce sont des encadrants qui peuvent emmener des clients en haute-montagne, mais qui contrairement aux guides, ne sont pas formés à s'aventurer sur des terrains requérant du matériel de protection (glaciers, falaises *etc*). Leur formation insiste particulièrement sur l'observation du milieu naturel de montagne, ce qui en fait des acteurs privilégiés de la diffusion de la culture de l'observation.

Le schéma proposé tente d'exposer les interactions des parties prenantes autour des refuges, les flux d'individus et d'information ainsi que les temporalités de ces flux. On y modélise aussi le mode de fonctionnement de l'application OBS-ALP en lien avec le refuge, la méthodologie pour former son réseau d'observateurs, en proposant de l'animation autour de cette question au sein des refuges. C'est une présentation de cette organisation qui pourrait être améliorée par quelqu'un maîtrisant mieux ces interrelations, notamment en en détaillant mieux les interactions du dispositif RefLab avec chaque acteur du territoire évoqués.

2.4. Méthodologie

Dans cette sous-partie est exposée la méthodologie développée pour construire une communauté d'observateurs des phénomènes géomorphologiques, dans le contexte d'une démarche de science participative. L'objectif étant de collecter de la donnée à destination des scientifiques sur ces événements afin de produire des « connaissances pertinentes sur le terrain » pour les acteurs du terrain, mais « suffisamment heuristiques pour pouvoir s'adapter à d'autres situations » (Hubert *et al.*, 2013). Un des vecteurs de cette collecte est OBS-ALP.

2.4.1. Mise à niveau et promotion de l'application OBS-ALP

L'application OBS-ALP est une application de signalement des phénomènes géomorphologiques en haute montagne. Elle succède à l'application Alp-Risk développée par Ludovic Ravel qui documentait les écroulements dans le massif du Mont-Blanc grâce à un réseau de professionnels de la haute montagne (gardien.ne.s, guides, secouristes) qui avaient adopté l'application.

OBS-ALP est déjà fonctionnelle et a été élargie à un plus grand nombre de phénomènes : Avalanche de neige, avalanche de glace, déstabilisation d'une moraine, éboulement/écroulement, glissement de terrain, rupture d'une poche d'eau glaciaire, crue d'un torrent. Mais, par manque de temps, elle n'a pu être ni améliorée, ni animée, sans quoi elle ne peut être diffusée autant que voulu. Cet outil étant indispensable à la construction d'une communauté d'observateurs large, ne s'adressant pas qu'aux professionnels, j'ai proposé de m'occuper de relancer l'application, en lien avec Bastien Charonnat, stagiaire dans le programme PermaRisk, également intéressé par l'outil. En conséquence, nous avons été mis en lien avec Titeya, le prestataire auquel La Chamoniarde, propriétaire de l'application, a sous-traité le développement technique d'OBS-ALP. S'en est suivi la rédaction d'un cahier des charges de modification de l'application à destination de ce prestataire, où sont exposés les améliorations à lui apporter.

Voici un extrait de ce document qui présente les enjeux de cette mise à jour.

Aujourd'hui, dans le contexte du programme Refuges Sentinelles, qui fait de l'observation participative (notamment en géomorphologie) dans le massif des Écrins et de l'observation des phénomènes thermokarstiques par le laboratoire PACTE à l'échelle des Alpes françaises, de nouvelles attentes émergent concernant l'application OBS-ALP. De plus, les stages de Bastien Charonnat et Romaric Geffroy sont l'occasion de relancer une dynamique autour de cette application en faisant sa promotion et en l'animant, dans le but d'élargir grandement la communauté des utilisateurs.

Les axes principaux de cette mise à jour sont les suivants :

- L'élargissement du public visé par l'application à des utilisateurs novices en géomorphologie. Pour cela, on souhaite intégrer du contenu pédagogique à l'application pour la rendre plus ludique et guider l'observation et la compréhension.
- La modification de la classification des phénomènes géomorphologiques proposés et des moyens de les caractériser pour la rendre plus claire quand il y a lieu.
- La modification de quelques fonctionnalités qui ne nous paraissent pas optimisées.

Utilisateurs

Cette application cherche à créer une communauté d'utilisateurs réguliers ou ponctuels qui se partagerait en deux catégories principales :

- **Les professionnels de la montagne** (guides, secouristes, gardiens de refuge...). Ceux-ci sont les observateurs susceptibles d'être les plus "fidèles". Ils passent beaucoup de temps en haute montagne et l'observation de cet environnement fait partie de leur métier, pour eux c'est un réflexe et bien souvent un plaisir. Ils sont aussi, dans une certaine mesure, intéressés à l'avancement de la recherche dans ce domaine, qui pourrait, entre autres, permettre de mieux anticiper les risques associés.

C'est un public de connaisseurs et s'ils ne sont le plus souvent pas formés académiquement à la géomorphologie, ils ont une connaissance empirique importante de ces phénomènes et beaucoup d'entre eux ont une démarche autodidacte dans ce domaine. Du contenu pédagogique dans l'application pourrait tout de même leur être très utile pour :

- associer leurs connaissances empiriques à des explications théoriques et les préciser à l'aide du vocabulaire scientifique
- s'en servir comme modèle pédagogique pour transmettre ces connaissances à leurs clients.

- confirmer, infirmer ou renforcer une observation en cas de doute.

Cette catégorie d'utilisateurs forme la base des observateurs pour l'application. Même si leur nombre est réduit par rapport à celui des pratiquants en général, ils sont susceptibles de faire des observations beaucoup plus fréquentes et donc de largement participer à l'enrichissement de la base de données. Le fait qu'ils fréquentent de manière récurrente les mêmes lieux en haute montagne offre une dimension d'observation supplémentaire, ils sont à même d'observer des phénomènes latents, un changement sur le long terme, ce que ne peut pas faire un "passant". Ils sont aussi les plus concernés en raison leurs activités professionnelles et donc les premiers intéressés, ce qui les rend plus prompts à participer.

- **Les pratiquants réguliers** (alpinistes, randonneurs, grimpeurs...). Les plus chevronnés d'entre eux ont des caractéristiques qui les apparentent à la catégorie des professionnels. Ce groupe représente la masse des observateurs potentiels. Réussir à capter leur participation permettrait de créer un flux d'observations vraiment important et d'augmenter les chances de recevoir des observations d'événements vraiment inhabituels et exceptionnels.

Le volet pédagogique de l'application est indispensable pour intéresser cette catégorie d'utilisateurs et pour les former à l'observation. En effet, pour amener un public novice à prendre goût à l'observation participative, il est nécessaire qu'il comprenne ce à quoi il travaille, qu'il trouve une satisfaction dans l'apprentissage, pour que sa participation fasse sens pour lui. Une fois que le participant a adhéré au principe, le contenu pédagogique est aussi là pour le guider dans ses observations et ainsi réduire la proportion d'erreurs dans l'interprétation des phénomènes observés et donc dans les signalements.

Cette catégorie a plutôt un profil d'amateurs, ses membres n'ont pas d'intérêt particulier à participer à la recherche, mais ils prennent plaisir à observer leur environnement, à mieux le connaître et à aider à la compréhension d'un milieu qui leur est cher.

La suite du cahier des charges est une notice technique des modifications concrètes à apporter à l'application.

En résumé, la modification de l'application vise à optimiser l'interface, à intégrer des fiches pédagogiques descriptives pour chaque phénomène pour rendre l'application plus ludique, plus facile d'utilisation et donc accessible à un plus large public. C'est une forme d'animation autour de l'application : pour des amateurs de haute montagne, la perspective d'en apprendre plus sur la géomorphologie, sur des phénomènes qui les entourent mais qu'ils ne comprennent pas encore peut les encourager à télécharger l'application et à devenir des observateurs compétents et à signaler des phénomènes dont ils seraient témoins. La mise à jour

d'OBS-ALP intégrant ces améliorations est actuellement en cours. Les premières fiches descriptives sont à l'état de maquettes. Elles sont présentées dans la sous-partie dédiée aux outils à développer dans les refuges, puisqu'elles seront adaptées en format papier.

Bien entendu, ajouter du contenu pédagogique ne permet pas de diffuser l'application, cela permet seulement de la rendre plus attractive pour quelqu'un qui prend connaissance de son contenu. La promotion d'OBS-ALP se fera en plusieurs phases. La première sera celle de la diffusion sur le terrain, c'est-à-dire dans les refuges et via les acteurs des refuges. Elle mobilisera les outils d'animation (fiches pédagogiques, posters, panorama géomorphologiques...), décrits dans le 2.4.2. qui seront mis en place dans les refuges cet été et qui visent à éveiller ou à renforcer l'intérêt des usagers du lieu pour l'observation des phénomènes géomorphologiques et où il y a une mention proposant d'utiliser l'application. Mais aussi avec l'aide des gardiennes et gardiens, voire des guides et AMM, à qui l'on demandera de promouvoir l'application auprès de leurs clients, essentiellement en redirigeant les individus montrant une curiosité pour la géomorphologie - par exemple en posant des questions à ce sujet - vers l'application. Par la suite, quand l'afflux d'observations sera suffisant, il est prévu d'animer l'application en créant des pages sur les réseaux sociaux (Instagram et Facebook) où pourront être relayés les signalements les plus intéressants. C'est un moyen de donner un premier retour sur la contribution des observateurs et de maintenir leur intérêt pour l'outil. Bien que cette fonctionnalité soit déjà plus ou moins intégrée à l'application (il est possible d'y consulter tous les signalements bruts), de telles pages sur les réseaux sociaux offrent plus de visibilité et de possibilités d'interactions. Elles donnent la possibilité d'ajouter des informations sur les signalements publiés (comme une interprétation des causes du déclenchement du phénomène), ou d'échanger dans les commentaires entre individus abonnés au compte. Idéalement, une forme de communauté naît et existe autour de ces pages, comme celle de l'Observatoire français des tornades et orages violents Keraunos (Observatoire Keraunos, s.d.). De telles formes d'animation permettent de fidéliser les utilisateurs et, en l'occurrence, de faire connaître l'application plus largement au sein de la communauté des pratiquants de la haute montagne qui sont susceptibles de découvrir le compte Facebook ou Instagram via leurs "amis" sur ces réseaux.

2.4.2. La co-construction des outils pédagogiques et d'animation avec les gardien.ne.s.

a. Sondage sur la motivation et les compétences en géomorphologie dynamique des gardien.ne.s

Un travail a été mené pendant l'été 2018 consistant en une collecte de données géomorphologiques via la pose de photo-constats, des entretiens avec les gardiennes et gardiens et un diagnostic des pratiques et connaissances de ces derniers en géomorphologie. Cette

enquête auprès des gardiens et gardiennes de refuges visait à évaluer d'une part l'intérêt qu'elles portent à la géomorphologie en tant que vecteur d'une meilleure connaissance de leur environnement, et d'autre part l'étendue de leur culture autodidacte. Cela afin d'adapter la construction de leur rôle potentiel de collecteur de données et d'animateur de la collecte de données auprès des usagers des refuges. Il en ressort que les gardien.ne.s montrent un intérêt particulier pour la géomorphologie malgré un degré de compétence très hétérogène. Nombre d'entre eux ont une connaissance empirique approfondie des phénomènes géomorphologiques mais ne disposent pas du bagage théorique et du jargon nécessaire à un dialogue « fluide » avec le monde de la recherche. Mais, selon P. Bourdeau (2018), la capacité de certains acteurs de terrains à « [passer] de la pure empirie à la conceptualisation peut paradoxalement s'avérer très fluide » ; il semble que ce soit le cas des gardiennes et gardiens de refuge concernant la géomorphologie. Pour les plus expérimentés, il suffit de mettre des mots sur leur connaissance du terrain pour en faire des co-chercheurs capables de faire des observations de qualité et même de guider les autres dans leurs signalements. Il peut être utile qu'ils fassent référence au sein du refuge dans ce domaine. Pour cela, il leur sera proposé un « cours » personnel de mise à niveau ainsi que des documents pédagogiques et scientifiques à conserver pour se former sur les notions les plus importantes en géomorphologie de haute montagne.

Mais leur rôle dans la démarche participative entreprise consiste surtout à co-construire les outils pédagogiques et d'animation autour de l'observation des phénomènes géomorphologiques. Leur connaissance exhaustive du fonctionnement du refuge et de ses usagers est utilisée par RefLab pour mieux comprendre le public cible, optimiser le choix des modalités des outils, leur placement dans le refuge etc. C'est aussi un moyen de s'assurer de proposer des outils qui correspondent aux envies et aux besoins des propriétaires des lieux et qui s'adaptent à leurs contraintes, cette démarche de co-construction devant nécessairement représenter un intérêt pour les acteurs du terrain contributeurs. Les outils peuvent donc être personnalisés pour chaque refuge, la co-construction étant à chaque fois différente pour répondre à ces mêmes critères.

b) Le choix des refuges à équiper pendant la saison 2019

Cette démarche de co-construction ne pourra pas être menée dans tous les refuges partenaires du programme Refuges Sentinelles. La charge de travail que cela demanderait dépasse très largement le temps imparti dans ce stage, j'ai donc décidé de ne pas la proposer dans plus de 6 refuges. Pour autant, cela ne signifie pas qu'il n'y aura aucune intervention dans les autres refuges, l'équipe RefLab réfléchit encore à l'éventualité d'y collecter des données auprès des gardien.ne.s et guides et d'y promouvoir l'application OBS-ALP plus simplement, par la mise à disposition de flyers par exemple. De plus, il n'est pas forcément souhaitable de systématiser ce protocole. Tout d'abord, toutes les gardiennes et gardiens ne souhaitent pas s'engager proactivement sur le volet géomorphologique du programme. Ensuite, on fait l'hypothèse que l'animation autour de l'observation des phénomènes géomorphologiques sera

plus efficace dans un environnement perçu comme plus dangereux, hostile et surtout dans des refuges autour desquels le panorama observable offre de grandes parois, des glaciers, des torrents à forte pente... Cela se traduit, pour la saison 2019, par une sélection plutôt axée sur les refuges les plus hauts en altitude ou offrant une vue découverte sur ces hautes altitudes et gardés par une personne ayant montré un intérêt particulier pour le volet géomorphologie. Mais c'est un parti pris qui ne reflète pas vraiment une réalité géomorphologique ou géographique précise. On pourrait par exemple sélectionner un refuge d'alpage, davantage fréquenté par les randonneurs à ski et à pied pour mettre en place des outils portant sur les avalanches de neige ou les phénomènes torrentiels. De plus, les usagers des refuges se déplacent dans le massif, leur capacité d'observation ne se limite donc pas aux alentours d'un refuge.

Au vu de ces critères, les refuges suivants ont été retenus : Adèle Planchard, Châtelleret, Écrins, Pavé, Pilatte, Promontoire, Sélé. Tous ne verront pas la mise en place du même type d'outil, selon les souhaits et la disponibilité de la gardienne ou du gardien, le niveau d'implication, pour eux, comme pour l'équipe RefLab, sera plus ou moins important. En effet, même si c'est bien le refuge qui est « Sentinelle » car l'outillage y demeure à la différence des gardien.ne.s qui changent, la mise en place nécessite presque toujours l'assistance de l'hôte ou l'hôtesse du moment. Ces différents niveaux d'implication sont proposés pour tous les volets du dispositif Refuges Sentinelles, ils visent à adapter la charge de travail à la motivation des gardien.ne.s, ainsi qu'à leur temps libre cette saison et ainsi pouvoir intégrer progressivement de nouveaux partenaires et éviter de devoir écarter ceux qui ont une année chargée. Pour le volet géomorphologie, ils se présentent ainsi (cf figure 8) :

Potentiel = manifestation de l'intérêt des gardien.ne.s	0 = aucune installation RS
1 = peu d'intérêt des gardien.ne.s	1 = Incitation à l'usage de l'application Obs'Alp et mise à disposition d'une fiche descriptive
2 = participent avec modération	2 = accueil d'un panorama géomorphologique interactif + 1
3 = gardien.ne.s très impliqué.e.s	3 = Mise à disposition d'une fiche descriptive et formation pédagogique sur le phénomène concerné

Figure 7 : Niveaux d'implication possibles des gardien.ne.s de refuge. Réalisation : Mélanie Marcuzzi et Romaric Geffroy

2.4.3. Les outils

Pour la saison 2019, le travail de terrain consistera à mettre au point des outils tests en collaboration avec les gardiens et gardiennes de chaque refuge sélectionné. Par la suite, il sera intéressant de voir quels sont ceux qui auront été les plus fonctionnels et qui auront capté le plus l'attention, pour potentiellement les proposer dans davantage de refuges.

Concernant les concepts d'outils, nous espérons que les partenaires de la co-construction apporteront des idées originales. Mais des prototypes d'outils ont déjà été partiellement développés pour débiter ce travail de terrain avec des propositions concrètes qui peuvent rapidement donner lieu à un outil fini, même s'ils restent modulables.

Pour les éventuels outils de transmission de connaissances théoriques, la question du ton adopté se pose. Quel est le public auquel on s'adresse ? Quel est son niveau de

compétence en géomorphologie dynamique ? Quelle quantité d'information peut-on lui soumettre avant de perdre son attention ? À quel niveau de vulgarisation se place-t-on ? Ces outils ciblent principalement un public d'amateurs de montagne fréquentant les refuges et faisant déjà preuve d'une certaine curiosité pour la géomorphologie. Il ne s'agit pas d'essayer d'amener tous les usagers des refuges à l'utilisation d'OBS-ALP, on évite ainsi d'impliquer des personnes peu concernées qui risqueraient de produire des signalements de moindre qualité, inexploitable par les chercheurs, ou demandant un important travail de correction. Ainsi, on pense s'adresser à des personnes ayant pu glaner des informations sur le sujet, mais n'ayant pas un bagage « académique » important. On compte sur une envie importante d'en apprendre plus, permettant de rentrer rapidement dans des aspects techniques et de proposer un niveau de vulgarisation intermédiaire. Il est tout de même important de proposer une première approche visuelle et simple de l'outil pour ne décourager personne. Ce format a été utilisé pour :

- **Les fiches descriptives.** Ce sont des fiches pédagogiques traitant chacune d'un phénomène géomorphologique observable en haute montagne. Y sont décrits : avalanche de neige, avalanche de glace, déstabilisation d'une moraine, éboulement/écroulement, glissement de terrain, rupture d'une poche d'eau glaciaire, crue d'un torrent, thermokarst ; les notions connexes indispensables à la compréhension de la géomorphologie dynamique de haute montagne (gélifraction, fonte du permafrost, étagement morpho-climatique...) font l'objet d'une fiche introductive. Elles ont été construites dans le double objectif d'être intégrées à l'application OBS-ALP pour y faire office de contenu pédagogique et d'être mises à disposition en format papier dans les refuges afin d'y développer une culture de l'attention aux phénomènes géomorphologiques et ainsi promouvoir l'application. Concernant les modalités en refuge, il a été décidé d'affecter une seule fiche à chaque refuge sélectionné, traitant de préférence d'un phénomène particulièrement présent dans l'environnement proche du refuge, dont on peut observer les traces et vers lesquelles les gardien.ne.s peuvent envoyer leurs clients. C'est un parti pris visant à ne pas noyer l'information : mettre à disposition la totalité des fiches créerait une masse de documents qui pourrait être décourageante et qui exclurait la possibilité d'un affichage sur les murs du refuge. En termes de communication, mettre l'accent sur un seul phénomène semble plus « accrocheur ». De plus, avec l'affectation d'une fiche descriptive à un refuge, il est proposé à la gardienne ou au gardien (selon leur niveau d'implication) de bénéficier d'une formation théorique autour de ce phénomène spécifique, accompagnée de documentation scientifique, ce qui leur permettrait d'animer le dispositif en répondant à d'éventuelles questions de la part de leurs clients et de faire référence sur ce sujet.

Pour ce qui est de la réalisation « technique » des fiches, elles ont été conçues en A4, leur format numérique sera différent pour s'adapter aux contraintes de l'application. Dans leur format d'origine, elles sont séparées en deux parties, un recto (cf. figure 9) le plus visuel possible, avec seulement les informations les plus importantes : une définition du phénomène, sa temporalité et sa localisation classique, les critères principaux pour le reconnaître, des illustrations et une explication de l'utilité des données pour les chercheurs. Cette partie est faite pour capter l'attention, car c'est le premier contact du lecteur avec cet outil. Pour ceux qui

souhaiteraient aller plus loin dans la compréhension du phénomène, le verso (cf figure 10) se veut moins visuel pour pouvoir exposer plus d'informations et un contenu plus complexe. On y trouve un complément d'informations sur le mécanisme associé au phénomène, puis une étude d'un cas emblématique, en l'occurrence celui du Monte-Rosa pour la fiche « avalanche de glace ». En ouverture, on trouve un encart « Pour aller plus loin » qui contient quelques articles scientifiques pour les personnes souhaitant donner suite à cet avant-goût. On a privilégié des articles synthétiques et mettant l'accent sur la théorie plutôt que sur des questions méthodologiques, pour qu'ils n'agissent pas comme repoussoirs, et secondairement, ceux perçus comme les plus emblématiques sur le sujet.

Les fiches renvoient toutes vers OBS-ALP grâce à une mention, le logo et un QR code. Le réseau internet étant inexistant dans le cœur du massif des Écrins, les individus intéressés ne pourront pas télécharger directement l'application, il leur faudra photographier la fiche pour le faire une fois la connexion retrouvée. Des cartes de visite seront aussi mises à disposition en guise de rappel.

Une avalanche de glace est un volume de glace qui dévale rapidement un versant par l'action de la gravité. Elle est la conséquence de la chute de portions de la langue d'un glacier suffisamment pentu pour que ces morceaux se détachent sous leur propre poids et continuent leur course. Ce phénomène est particulièrement dangereux s'il est à l'origine d'une chaîne de processus impliquant d'autres matériaux (avalanche de neige, inondation, lave torrentielle).



Les avalanches de glace étant le résultat des mouvements des glaciers, elles sont un indicateur de leurs dynamiques et par extension, du changement climatique.



Si vous êtes témoin d'un phénomène géomorphologique, signalez-le sur l'application OBS-ALP !

Figure 8 : Recto de la fiche descriptive « Avalanche de glace ». Réalisation : R. Geffroy et B. Charonnat



Pour aller plus loin :

Fischer *et al.*, 2006. Geology, glacier retreat and permafrost degradation as controlling factors of slope instabilities in a high-mountain rock wall: the Monte Rosa east face.

Faillettaz *et al.*, 2015, Avalanching glacier instabilities : Review on processes and early warning perspectives.

L. A. Lliboutry, 1975. La catastrophe de Yungay (Pérou).



Si vous êtes témoin d'un phénomène géomorphologique, signalez-le sur l'application OBS-ALP !

Figure 9 : Verso de la fiche descriptive « Avalanche de glace ». Réalisation : R. Geffroy & B. Charonnat

- **Les cartographies.** Deux outils cartographiques ont été imaginés mais n'ont pas encore fait l'objet de maquettes. En effet, tant que les entretiens avec les gardiens et gardiennes n'ont pas eu lieu, nous ne pouvons pas savoir quelle zone il s'agirait de cartographier. De plus, les formes qu'elles peuvent prendre sont très différentes. Les propositions initiales sont les suivantes.

(1) **Un poster d'itinéraire géomorphologique**, inspiré des posters « d'écologie verticale » de Cédric Dentant qui consistent à identifier des points d'intérêts sur un itinéraire en haute montagne, à faire figurer la flore que l'on peut y observer et offrir des informations sur celle-ci. Ces affiches, dont une (cf. figure 11), retraçant la traversée des arêtes de la Sialouze, ont fait l'objet de beaucoup d'éloges, notamment de la part des gardien.ne.s., en tant qu'outils très efficaces pour développer l'attention au milieu des usagers des refuges et leur intérêt pour l'étude de la flore. On peut l'emporter très facilement avec soi en le photographiant ! En géomorphologie, un outil semblable a été mis au point par Yola Corbin et Camille l'Hutereau sous la forme d'une carte au trésor (cf figure 12), les étapes étant des éléments du paysage géomorphologique auxquels sont associés des questions. C'est un jeu qui prend place aux alentours des refuges de l'Alpe de Villar d'Arène et de Chamoissière et qui connaît aussi un franc succès en guidant de manière très efficace l'observation de l'environnement proche et en proposant une activité ludique. Il plaît beaucoup à un public familial (mais pas seulement) qui s'invite de plus en plus dans les refuges et qui est demandeur de ce genre d'activités. Notre projet de poster d'itinéraire géomorphologique s'inscrit dans la lignée de ces outils ludiques. Etant donné qu'il serait mis en place dans des refuges fréquentés majoritairement par des alpinistes, il concernerait plutôt des courses d'alpinisme. On croquera très probablement la construction de cet outil avec la collecte de données pour l'actualisation des 100 plus belles des Écrins de Gaston Rébuffat (1974), un projet de Mélanie Marcuzzi et Jacques Mourey, qui donnera lieu à une nouvelle campagne d'entretiens avec guides et gardien.ne.s cet été 2019, autour des changements de conditions des courses depuis leur description par Rébuffat. Les informations géomorphologiques sur des courses classiques collectées à cette occasion pourront être utilisées pour ces posters d'itinéraires géomorphologiques. Il s'agirait, à l'image du poster de C. Dentant, de choisir des étapes reconnaissables de l'itinéraire comme points de vues sur une curiosité géomorphologique, une trace d'un événement, ou encore des changements frappants dans les conditions de la course (section autrefois en glace, écroulement d'une arête...), ce qui en fait aussi un moyen d'observation du changement climatique.



Parc national des Écrins

L'Aiguille de Sialouze (3 576 m)

L'Aiguille de Sialouze tranche remarquablement avec le reste du massif par la qualité de son rocher. Il n'y a guère que l'Aiguille Dibona pour tenir la comparaison ! Sialouze – que Frenodo baptisa « le Grépon de l'Oisans » – est constituée d'un granite compact, à grains relativement grossiers, offrant une très bonne adhérence aux semelles. Il tranche nettement avec le gneiss défilés des sommets environnants comme le Pic sans nom et le Pelvoux.

La conquête des arêtes de Sialouze ne s'est pas faite en une fois. La première partie, de la brèche sud jusqu'au sommet (appelée aussi « arête sud ») a été gravie pour la première fois en 1934 par Jean Charignon et Pierre Salmon. Il faudra attendre encore quelques années pour qu'en pleine guerre (1942) une belle équipée, emmenée par Jean et Jeanne Franco, fasse la première de l'arête nord (qui se parcourt à présent dans l'autre sens !). Et ce n'est que 2 ans plus tard, en bravant la milice, que l'inoxydable couple Franco signera une de ses plus belles ouvertures dans le massif : le pilier sud de la Barre des Écrins.

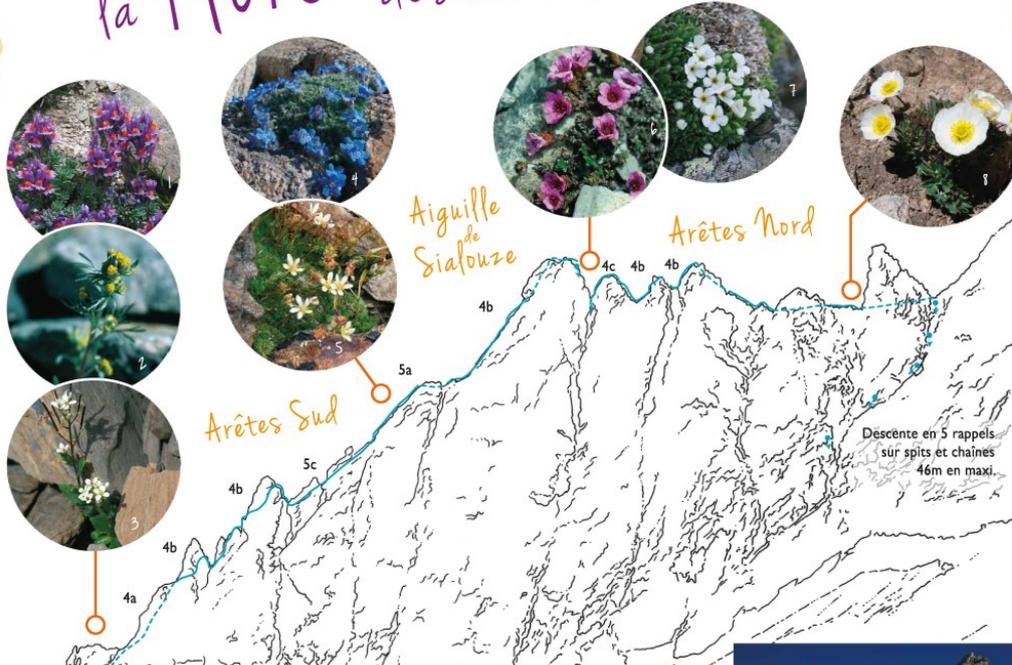
les Refuges



Sentinelles

Écologie Verticale

la flore des arêtes



Traversée Sud/Nord (D / 5/5+ max.)

La première longueur, qui mène sur l'arête proprement dite, offre déjà un large panel des plantes observables le long de la traversée.

- 1 La linnaire alpine (Linaria alpina)**
La forme en gaine de loup et les couleurs orangées de sa fleur (orange et bleu) la rendent inimitable. Ce côté éblouissant, comme toujours dans le massif, à se faire remarquer... Et ce dans l'inéluctable optique de se reproduire ! Précisément, les pigments servent à séduire les insectes, qui se chargeront de transporter bien malgré eux le pollen de cette belle.
- 2 Le géranium jaune (Geranium umbelliformis)**
On ne présente plus cette plante d'été, dégageant une forte odeur épice. Lointaine descendante de plantes originaires des steppes asiatiques, le géranium est une armoise, comme l'absinthe. Et comme cette dernière, elle porte en elle une substance neurotoxique : la thuyone. Cette molécule rendait fuir les consommateurs investis de la « fièvre verte ». La concentration est moindre dans le géranium, mais vos neurones vous remercieront d'une consommation modérée.
- 3 L'androsace des Alpes (Androsace alpina)**
Voilà une petite plante de la famille des chou et mousteras très répandue en altitude. Son nom présente toutefois une certaine singularité : il renvoie au mot « arabe », en lien avec l'époque des croisades. L'origine de ce nom se perd ainsi dans des temps assez lointains. On sait juste qu'il est lié à une petite plante grasse de celle-ci, perdue parmi les innombrables récoltes ramassées par les croisés.

Le long de la partie sud de la traversée, celles et ceux qui se donneront la peine de regarder autour d'eux verront quelques beaux spécimens de la flore de haute altitude.

- 4 L'ortriche main (Eriochloa nutans)**
Plante aux délicates fleurs bleues, l'ortriche est aussi appelée « roi des Alpes ». Sa tige et ses feuilles sont densément velues, comme pour former un manteau protecteur contre le froid ou l'extrême sécheresse.
 - 5 La saxifrage fausse-mousse (Saxifraga bryoides)**
Les tapis denses que forme cette saxifrage feraient assurément penser à de la mousse s'il n'était la beauté de ses fleurs. Contrairement aux mousses – et comme toutes les plantes vasculaires – la saxifrage fausse-mousse puise l'eau par ses racines. Ces dernières, pour échapper au gel, vont à la fois épaissies et profondément ancrées dans la roche.
- Autour du sommet** Il n'y a pas de plante au sommet lui-même, mais en descendant légèrement côté nord, avant d'attaquer le premier rappel de la seconde partie de la traversée, deux plantes présentes se font discrètes...
- 6 La saxifrage à feuilles opposées (Saxifraga oppositifolia)**
Cette saxifrage se distingue par ses fleurs d'un beau rose et ses feuilles vert sombre. Elle possède le record d'altitude pour les Alpes françaises (à 4070 m, dans la face sud de la Barre des Écrins - 4102 m), et plus largement pour l'ensemble des Alpes (à 4504 m, face sud du Dorn des Mischabel - 4545 m, dans les Alpes suisses).
 - 7 L'androsace pubescente (Androsace pubescens)**
Cette plante forme un petit coussin constitué de délicates fleurs blanches. C'est une des espèces qui se sont spécialisées aux conditions de la haute montagne lors de la formation des Alpes.

Avant de contourner le dernier gardien et d'attaquer les rappels de descente, une des plus belles plantes des sommets se fera coquette pour votre dernier coup d'œil...

- 8 La renouée des glaciers (Ranunculus glacialis)**
Cette magnifique plante possède les plus grosses fleurs qu'on puisse voir en haute montagne. Autre forme de stratégie pour se faire bien voir des pollinisateurs ! C'est-à-dire, ces derniers se font bien rares. Elle combine ainsi une seconde adaptation étonnante : elle forme des bourgeons très en avance (jusqu'à 4 ans avant l'écllosion !) afin d'être toujours prêts à fleurir. C'est ainsi que plus on monte en altitude, plus la renouée fleurit longtemps... Ce qui est relativement peu intuitif.

Tous : Cédric Dentant et Christophe Albani - Programme de recherche scientifique - Cédric Dentant et Olivier Lavigne

Crédits photo : Photothèque Parc national des Écrins / Bernard Nicollet, Cédric Dentant, Marc Corani, Pierre Emmanuel Briaud

Figure 10 : Poster d'écologie verticale de l'aiguille de Sialouze. Réalisation Cédric Dentant



<p>En mémoire de Spartacus</p>  <p>En te plaçant à côté du monument de Spartacus observe les blocs de rochers au loin dans la vallée</p> <p>À ton avis, pourquoi ces gros rochers sont-ils au fond de la vallée ?</p>  <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Ils sont tombés du ciel <input type="checkbox"/> Quelqu'un les a déposés là <input type="checkbox"/> Ils sont tombés des montagnes 	<p>Le Rocher Brisé</p>  <p>Une fois le rocher brisé trouvé, cherche autour de toi le paysage de la photo ci-dessous....</p> <p>À ton avis, d'où vient l'eau de ces cascades ?</p>  <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> De la pluie <input type="checkbox"/> De la neige <input type="checkbox"/> De la mer
--	--

Figure 11 : La carte au trésor et les deux premières étapes de son quizz. Y. Corbin et C. L'Hutereau

(2) **Un panorama géomorphologique.** Il s'agit de cartographier la géomorphologie du paysage observable depuis un refuge. On cherche ainsi à offrir aux usagers des refuges un outil très simple de visualisation de la réalité géomorphologique. Une carte géomorphologique classique n'étant pas forcément facile à lire et à faire correspondre avec le paysage, on souhaite simplifier son utilisation en superposant l'information géomorphologique au paysage. Cela peut se traduire par différents supports. Une table d'orientation classique composée de

photographies du panorama où les figurés cartographiques superposés sont suffisamment “discrets” pour ne pas obstruer le fond ou imprimés sur un transparent qu’il faut lui faire correspondre. Mais ce support demande de construire cette table et il serait probablement rapidement détérioré par les aléas météorologiques. Autrement, il est possible de ne mettre à disposition que des transparents avec les informations géomorphologiques imprimées dessus à faire correspondre “à la main” avec le panorama, c’est-à-dire en se tenant à un endroit précis puis en plaçant le transparent entre son regard et le paysage. Dans les deux cas, c’est un outil qui offre une compréhension directe des phénomènes géomorphologiques de surface grâce à interaction directe avec le paysage. Pour cela, il faudra bien évidemment y associer une légende fournissant toutes les informations nécessaires à la compréhension par des individus n’ayant jamais vu une carte géomorphologique.



Figure 12 : La terrasse panoramique du refuge de la Pilatte. Crédits photo : Refuges Sentinelles

3. Conclusion

3.1. Préfiguration des résultats, limites et perspectives

En mettant ces différents outils en place dès cette saison, l'objectif est de créer une forme d'engouement pour l'observation géomorphologique qui procéderait à la fois de cet effort d'animation et d'une envie de la part des amateurs de montagne de s'engager auprès des scientifiques pour une meilleure connaissance de l'environnement de haute montagne. On attend donc une affluence de signalements en fin de saison estivale sur l'application OBS-ALP, qui aura été mise à jour. Avec l'aide des gardiennes et gardiens, on pourra ensuite évaluer l'efficacité des outils proposés grâce aux retours de leurs clients et lancer en même temps les pages sur les réseaux sociaux dédiées à OBS-ALP pour publier les signalements existants et relayer la communication. Une des clés de la pérennisation de ce dispositif réside dans cette relation avec les gardiens, si on parvient à les mobiliser suffisamment pour qu'ils assurent une partie de l'animation dans les refuges, l'apport de données devrait être satisfaisant. Mais cette campagne représentant les premiers efforts de communication sur l'observation géomorphologique auprès des usagers des refuges du massif des Écrins, il faut s'attendre à rencontrer une certaine inertie avant que l'application ne se diffuse réellement et que le réflexe du signalement s'impose. Il s'agira de continuer ces efforts en 2020, notamment en élargissant le dispositif à d'autres refuges, pour parvenir à créer une réelle communauté de signalement des phénomènes géomorphologiques.

Mais la question des résultats est aussi celle des retours concrets sur le terrain. Les professionnels de l'environnement de haute montagne apportent leur contribution dans un démarche de science participative au sens fort. Le principal écueil à éviter est l'instrumentalisation de ces partenaires, une démarche malhonnête consisterait à capter la donnée qu'ils ont aidé à collecter et se borner à écrire des articles conceptuels à destination de la communauté scientifique. Le dispositif Refuges Sentinelles s'efforce de ne jamais être dans cette position surplombante par respect pour la contribution et les compétences irremplaçables des gardiennes et gardiens, des guides, des AMM et des autres acteurs de terrain. Mais aussi par conviction, la co-recherche est valorisée au sein du programme comme source de connaissances. Et enfin, parce que ce n'est pas une position viable ; des partenaires qui ne voient jamais de retour concret sur leur engagement ne restent pas longtemps partenaires. Il est donc important que - loin d'une simple forme de rétribution pour l'aide apportée - l'intérêt que

puissent trouver les partenaires à participer activement à la construction d'une étude scientifique lui soit inhérente. C'est-à-dire que la problématique qui motive cette étude soit une problématique partagée par la recherche et ce co-chercheur. Dans le cas du dispositif de signalement des phénomènes géomorphologiques, la problématique est celle des modifications des dynamiques géomorphologiques en haute montagne et des risques associés. Elle affecte évidemment les professionnels de l'environnement de haute montagne qui cherchent à assurer le mieux possible la sécurité de leurs clients, cela s'accompagne aussi souvent d'une curiosité personnelle, d'une envie de mieux comprendre un milieu familier. Ils sont donc directement intéressés par la production de connaissances scientifiques sur ce sujet. Il est par conséquent nécessaire de les leur communiquer via des documents de vulgarisation, ou du moins des articles scientifiques destinés à un public plus large que la seule communauté des chercheurs professionnels. Mais ce sont des retours qui viendront avec le temps de latence nécessaire à l'analyse des données et à la publication scientifique.

Cependant, un autre avantage, lui immédiat, est octroyé par leur engagement dans ce programme. La méthodologie mise en place pour répondre au besoin de collecte de données implique la construction d'outils d'animation autour de la géomorphologie dans les refuges. Or, on l'a déjà évoqué, le massif des Écrins et ses refuges font face à un changement de paradigme à cause des modifications des pratiques touristiques, mais aussi de la disparition proche de la cryosphère et de l'alpinisme, résultats du changement climatique. De plus, cela fait plusieurs décennies que le refuge n'est plus seulement une étape pour manger et dormir avant de faire une course d'alpinisme, son public s'est diversifié. Dans ce contexte, les nouvelles formes d'animation et les nouvelles activités, particulièrement celles axées sur l'attention à l'environnement et la reconnexion à la nature, sont les bienvenues, car elles donnent des raisons supplémentaires à ces nouveaux usagers de s'y rendre. En bref, ces nouveaux outils d'animation sont une composante parmi de nombreuses autres de la pérennisation de l'activité professionnelle des gardiennes et gardiens de refuges. On peut citer notamment le projet d'Olivier Bello, accompagnateur en montagne, qui innove dans les propositions de séjours touristiques. « Itinérance à travers les Refuges Sentinelles », estampillé « Esprit Parc National », propose deux séjours en août 2019 pour découvrir et participer aux recherches scientifiques ayant lieu dans les refuges du Parc des Écrins, en partenariat avec le programme Refuges Sentinelles.

3.3. Conclusion générale

Les sciences de la nature ont ça de particulier qu'elles concernent nécessairement tout le monde. Elles explorent les grands défis auxquels font face nos sociétés (changement climatique, alimentation...). Si cela a toujours été le cas, la nouveauté aujourd'hui réside dans le fait qu'une part croissante de la population en prend véritablement conscience, la nature revenant au centre des préoccupations. Dans ce contexte, les citoyens cherchent à s'engager auprès des chercheurs pour participer à l'avancement dans les domaines qu'ils jugent d'utilité publique (Houllier *et al.*, 2016) : c'est une époque faste pour les sciences participatives. La

géomorphologie dynamique, désormais très liée au changement climatique, n'y déroge pas en tant que discipline d'observation de la surface, du visible. Elle concerne plus directement les amateurs de montagne qui sont régulièrement témoins de ses manifestations. Les refuges de haute montagne, qui rassemblent ces individus sont donc les laboratoires privilégiés d'une démarche participative sur ce sujet. On peut compter sur cette communauté, demandeuse de clés d'observation de son environnement de pratique, pour collecter des données sur ce qu'ils y voient.

Mais pour s'assurer du bon fonctionnement de ce dispositif, de la bonne circulation des informations entre science et société, il est impératif de travailler à son animation *in situ* en étroite collaboration avec les figures de proue du territoire que sont les gardien.ne.s ou les guides. Ceux-ci se situent en effet à la charnière des préoccupations professionnelles et de la contribution à la connaissance. C'est une manière de « relocaliser » la recherche, de la rapprocher des considérations concrètes du terrain. Pour impliquer encore davantage ces professionnels, on pourrait également construire un réseau de Guides Sentinelles, les contributeurs seraient ainsi chargés du *monitoring* d'un sommet spécifique qu'ils communiqueraient directement aux chercheurs.

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Les refuges partenaires du programme Refuges Sentinelles en 2017.....	8
Figure 2 : Organisation du dispositif Sentinelle des Alpes.....	9
Figure 3 : Alpine Permafrost Index Map (APIM), zoom sur le massif des Écrins.....	15
Figure 4 : Typologie des sciences participatives en environnement de Marjolaine Giroux.....	19
Figure 5 : Typologie des sciences participatives de Houllier <i>et al.</i>	20
Figure 6 : Carte de situation du Parc National des Écrins.....	23
Figure 7 : Le refuge à l'interface entre vallées et haute montagne.....	25
Figure 8 : Niveaux d'implication possibles des gardien.ne.s de refuge.....	34
Figure 9 : Recto de la fiche descriptive « Avalanche de glace ».....	37
Figure 10 : Verso de la fiche descriptive « Avalanche de glace ».....	38
Figure 11 : Poster d'écologie verticale de l'aiguille de Sialouze.....	40
Figure 12 : La carte au trésor et les deux premières étapes de son quizz.....	41
Figure 13 : La terrasse panoramique du refuge de la Pilatte.....	42

REFERENCES

- Agence française de l'ingénierie touristique (AFIT), 2001. « Etudes qualitatives sur les attentes des clientèles actuelles et potentielles des refuges des Alpes Françaises ». p. 66.
Consulté à l'adresse : <https://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/024000347.pdf>
- Alean, J., 1985. « Ice Avalanches: Some Empirical Information about their Formation and Reach ». *Journal of Glaciology*, 31(109), pp. 324-333.
doi:10.3189/S0022143000006663.
Consulté à l'adresse : <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-glaciology/article/ice-avalanches-some-empirical-information-about-their-formation-and-reach/03B0702AAC62907CFA54300CF25D334C/core-reader>
- Auer I., Böhm R., Jurkovic A., Orklik A., Potzmann R., Schöner W., Ungersböck M., Brunetti M., Nanni T., Maugeri M., Briffa K., Jones P., Efthymiadis D., Mestre O., Moisselin J.-M., Begert M., Brazdil R., Bochnice O., Cegnar T., Gajic-Capka M., Zaninovic K., Majstorovic Z., Szalai S., Szentimrey T. et Mercalli L., 2005. « A new instrumental precipitation dataset for the greater alpine region for the period 1800-2002 ». *Int. J. Climatol.*, 25, pp. 139-166. DOI : <https://doi.org/10.1002/joc.1135>
Consulté à l'adresse : <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/joc.1135>
- Berthet, C., 2014. « Etude de faisabilité d'un dispositif "Refuges Sentinelles" dans le Parc National des Écrins ». Mémoire de Master 1, Université Grenoble-Alpes, Dir. S. Bigot, p. 58.
Consulté à l'adresse : http://cyan1.grenet.fr/podcastmedia/labex-ITEM/memoire_refuges_sentinelles_clement_berthet.pdf
- Boeckli, L., Brenning, A., Gruber, S., and Noetzli, J., 2012. « Permafrost distribution in the European Alps: calculation and evaluation of an index map and summary statistics ». *The Cryosphere*, 6, pp.807-820. DOI : <https://doi.org/10.5194/tc-6-807-2012>.
Consulté à l'adresse : <https://www.the-cryosphere.net/6/807/2012/>
- Chardon M., 1984. « Montagne et haute montagne alpine, critères et limites morphologiques remarquables en haute montagne ». *Revue de géographie alpine*, 72(2-4), pp. 213-224.
DOI : <https://doi.org/10.3406/rga.1984.2565>
- Charonnat, B., 2018. « Mise en place d'un dispositif participatif de signalement des phénomènes thermokarstiques ». Mémoire de Master 1, Université Grenoble-Alpes, p. 39.
- Conseil national de recherches du Canada, 1988. « *La terminologie du pergélisol et notions connexes* ». p. 151, ISBN 660-12540-4.
Consulté à l'adresse : <https://hydrologie.org/TER/00b49517e81af8f2d5000000.pdf>

- FFCAM, s.d. « L'Aménagement de la montagne et les refuges ». Consulté le 20 juin 2019 à l'adresse : <http://centrefederaldedocumentation.ffcarn.fr/lesrefuges.html>
- GLACIOCLIM, s.d. Consulté le 19 juin 2019 à l'adresse : <https://glacioclim.osug.fr/>
- Gosselin M., Gosselin F., Julliard R., 2010. « L'essor des sciences participatives pour le suivi de la biodiversité : intérêts et limites », Sciences Eaux & Territoires, 3, p. 76-83. Consulté à l'adresse : <https://www.cairn.info/revue-sciences-eaux-et-territoires-2010-3-page-76.htm>
- Haerberli W. & Beniston M., 1998. « Climate Change and its Impacts on Glaciers and Permafrost in the Alps ». *Ambio*, 27, 258-265. Consulté à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/279895071_Climate_Change_and_its_Impacts_on_Glaciers_and_Permafrost_in_the_Alps
- Houllier F., Merilhou-Goudard J.-B., 2016. « Les sciences participatives en France. Etat des lieux, bonnes pratiques & recommandations ». p. 63. Consulté à l'adresse : <https://inra-dam-front-resources-cdn.brainsonic.com/ressources/afile/320323-7bb62-resource-rapport-de-la-mission-sciences-participatives-fevrier-2016.html>
- Hubert B., Aubertin C., Billaud J.-P., 2013 « Recherches participatives, recherches citoyennes ... une clarification nécessaire », *Natures Sciences Sociétés*, 1(21), pp.1-2. DOI : 10.1051/nss/2013078. Consulté à l'adresse : <https://www.cairn.info/revue-natures-sciences-societes-2013-1-page-1.htm>
- Huss M., 2012. « Extrapolating glacier mass balance to the mountain range scale: the European Alps 1900-2100 », *The Cryosphere*, 6, pp. 713-727. DOI : [10.5194/tc-6-713-2012](https://doi.org/10.5194/tc-6-713-2012) Consulté à l'adresse : <https://www.the-cryosphere.net/6/713/2012/>
- Mourey J. et Ravel L., 2017 ; « Évolution des itinéraires d'accès aux refuges du bassin de la Mer de Glace (massif du Mont Blanc, France) ». *Revue de géographie alpine*, 105(4). DOI : 10.4000/rga.3780 ; Consulté à l'adresse : <http://journals.openedition.org/rga/3780>
- Fischer L., Käab A., Huggel C., Noetzi J., 2006. « Geology, glacier retreat and permafrost degradation as controlling factors of slope instabilities in a high-mountain rock wall: the Monte Rosa east face. » *Natural Hazards and Earth System Science*, Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union, 6(5), pp.761-772. Consulté à l'adresse : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00299363>
- Le Crosnier H., Neubauer C., Storup B., 2013. « Sciences participatives ou ingénierie sociale : quand amateurs et chercheurs co-produisent les savoirs », *Hermès, La Revue*, 67(3), pp. 68-74. Consulté à l'adresse : <https://www.cairn.info/revue-hermes-la-revue-2013-3-page-68.htm>

Ravanel L. et Philip D., 2008. « La face ouest des Drus (massif du Mont-Blanc) : évolution de l'instabilité d'une paroi rocheuse dans la haute montagne alpine depuis la fin du petit âge glaciaire ». *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 14(4) pp.261-272.
Consulté à l'adresse : <https://journals.openedition.org/geomorphologie/7444>

Marcet M., Bodin X., Brenning A., Schoeneich P., Charvet R. and Gottardi F., 2017.
« Permafrost Favorability Index: Spatial Modeling in the French Alps Using a Rock Glacier Inventory ». *Front. Earth Sci.* 105(5). DOI : 10.3389/feart.2017.00105.
Consulté à l'adresse : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2017.00105/full>

Marcuzzi M., 2017. « Etudes des mutations et des évolutions de la profession de gardien.ne de refuge dans le cadre du programme Refuges Sentinelles ». Mémoire de Master 2 Université Aix-Marseille, Dir. P. Bourdeau, p. 84.

PermaFRANCE, s.d. Consulté le 19 juin 2019 à l'adresse : <https://permafrance.osug.fr/>

Philippe Bourdeau, 2018. « L'après-tourisme revisité », *Via*, 13. DOI : 10.4000/viatourism.1936
Consulté à l'adresse : <http://journals.openedition.org/viatourism/1936>

Duvillard P.-A., Ravanel L. et Deline P., 2015. « Evaluation du risque de déstabilisation des infrastructures de haute montagne engendré par le réchauffement climatique dans les Alpes françaises ». *Revue de géographie alpine* 103(2). DOI : 10.4000/rga.2816.
Consulté à l'adresse : <http://journals.openedition.org/rga/2816> ;

Ravanel L., 2010. « Caractérisation, facteurs et dynamiques des écroulements rocheux dans les parois à permafrost du massif du Mont-Blanc ». Thèse de doctorat, Université de Savoie, Dir. Jean-Jacques Delannoy, p. 326.
Consulté à l'adresse : <http://edytem.univ-savoie.fr/theses/These-Ravanel-2010.pdf>

RefLab, 2018. « Plaquette de présentation Refuges Sentinelles ». p.2.
Consulté à l'adresse : http://www.za-alpes.org/wp-content/uploads/2018/11/Plaquette_RS.pdf

Société Suisse de Géomorphologie, s.d.. « Géomorphologie de la montagne ». Consulté à l'adresse : <http://www.unifr.ch/geoscience/geographie/ssgmfiches/intro/1101.php>

Bigot S. et Rome, S., 2010. « Contraintes climatiques dans les Préalpes françaises : évolution récente et conséquences potentielles futures », *EchoGéo*, 14. DOI : 10.4000/echogeo.12160.
Consulté à l'adresse : <http://journals.openedition.org/echogeo/12160> ;

Bodin X., Schoeneich P., Deline P., Ravanel L., Magnin F., Krysiecki J.-M. et Echelard T., 2015 ; « Le permafrost de montagne et les processus géomorphologiques associés : évolutions récentes dans les Alpes françaises ». *Revue de géographie alpine* 103(2). DOI : 10.4000/rga.2806
Consulté à l'adresse : <http://journals.openedition.org/rga/2806>

Zone Atelier Alpes (ZAA), s.d.
Consulté le 18 juin 2019 à l'adresse : <http://www.za-alpes.org/presentation/>