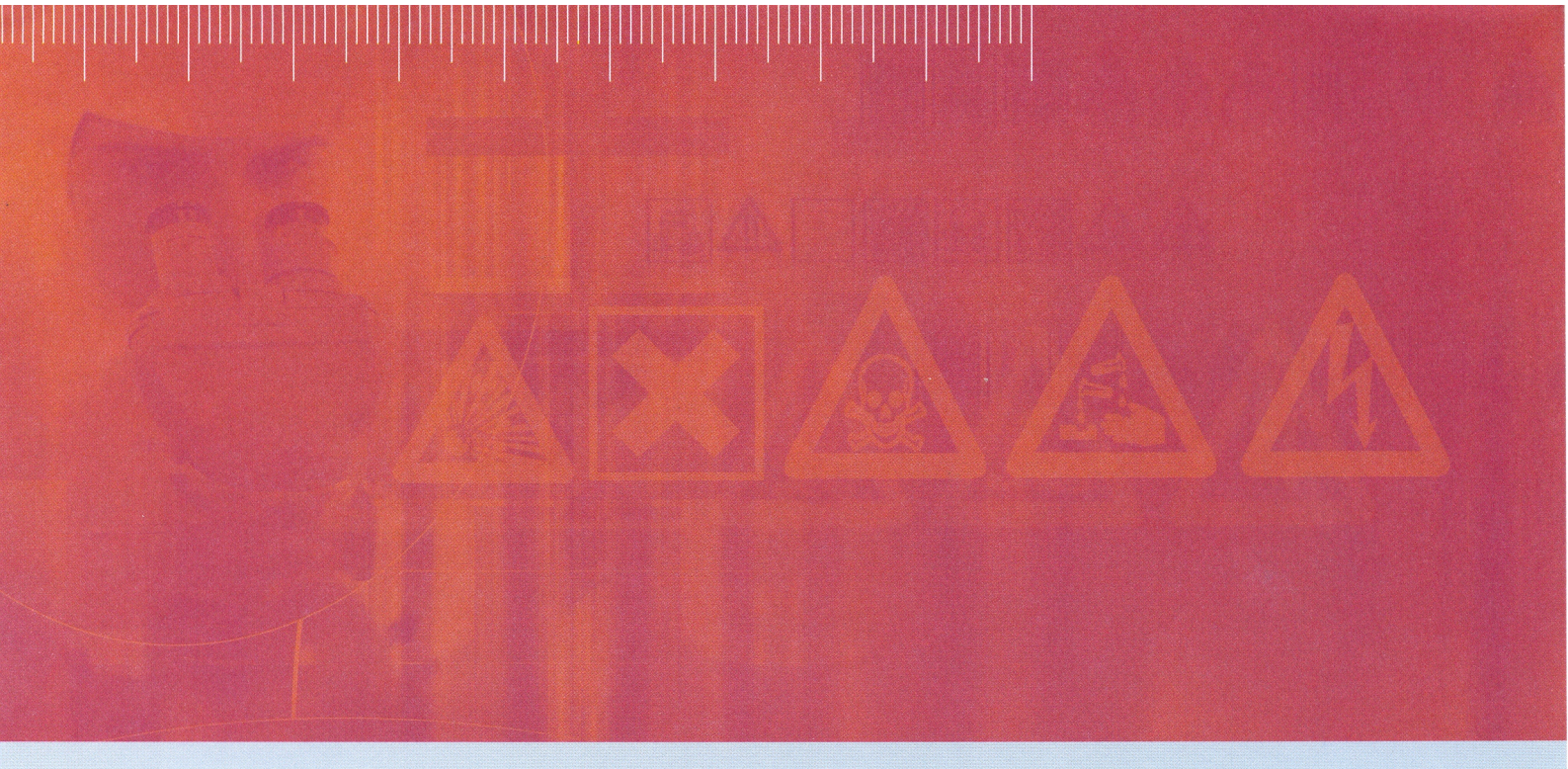

RAPPORT D'ÉTUDE 01/07/2014

INERIS DRS-14-136000-11804B

Influence du changement climatique sur la stabilité des pentes en milieu montagneux : état des connaissances, programmes de recherche et réseaux d'observations.

INERIS

maîtriser le risque
pour un développement durable

Influence du changement climatique sur la stabilité des pentes en milieu montagneux : état des connaissances, programmes de recherche et réseaux d'observations.

Direction des Risques du Sol et du Sous-Sol

PREAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	C. BOUFFIER E. KLEIN	P. GOMBERT	P. BIGARRE
Qualité	Ingénieurs à la Direction des Risques du sol et du sous-sol	Responsable d'Unité à la Direction des Risques du sol et du sous-sol	Directeur Délégué des Risques du sol et du sous-sol
Visa			

Résumé

L'effet du changement climatique sur l'évolution des risques naturels de mouvements de terrain, glissements de terrain et éboulements rocheux, en milieu montagneux est complexe et difficile à établir car ses conséquences sont très dépendantes des territoires considérés.

Par conséquent, ce sujet a d'ores et déjà motivé plusieurs projets de recherche nationaux et européens dont un tour d'horizon est présenté dans ce rapport. Cet état des lieux porte sur une sélection des projets les plus récents qui mettent à profit des réseaux d'observations des effets du changement climatique sur l'aléa mouvement de terrain.

Cet inventaire permet d'évaluer le développement de l'observation et de la mise à disposition de données relatives au suivi à long terme de l'évolution des risques naturels en montagne, qui sont deux objectifs du Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (2011-2015).

Il met en évidence de fortes disparités selon les territoires puisque les Alpes font l'objet de la majorité des projets, peu d'études étant réalisées dans les autres massifs européens. Par ailleurs, le libre partage et l'accès aux données et métadonnées sont encore très peu développés. Les chroniques de mesures sont souvent limitées à la durée de vie des projets ce qui est insuffisant à l'échelle des phénomènes en jeu.

Enfin cette étude fait la synthèse des principaux acteurs sur la scène européenne et souligne la nécessité de favoriser leur coopération au sein d'un observatoire. Le développement d'une infrastructure de recherche publique capable de centraliser et de distribuer l'ensemble des données pertinentes sur le long terme faciliterait l'observation et l'étude de l'effet du changement climatique.

Abstract

The impacts of climate change on the evolution of landslide and rock fall geohazards in alpine environments are complicated and difficult to assess, due to the specificities of each territory. For this reason, multiple national and European research projects were founded over the past decade. This report gives an overview of the most recent projects and results on land instability hazards induced by climate change.

This inventory allows to appreciate the development and availability of data related to extensive monitoring of the evolution of natural risks in alpine settings, which are the two main goals set up by the National Adaptation Plan of Climate Changes, between 2011 and 2015.

This report highlights the substantial disparities and biasness in the observations collected for different territories, since the majority of the studied areas focuses on the Alps, and only a few others are realized in other European formations. It also outlines the poor development in the free sharing and accessibility of data and metadata, which are furthermore published and available over the limited time span of the project period, which is very often insufficient to evaluate the climate change long-term impacts.

This report concludes by listing the main European actors involved in these projects and underlining the necessity to optimize their cooperation towards a unique monitoring infrastructure, in order to develop public research capabilities for centralizing and distributing the complete and long-term database. This is a prominent prerequisite to study, quantify and model the climate change impacts on topographic regions in the future.

TABLE DES MATIERES

1. OBJET ET CONTEXTE DE L'ETUDE 7

2. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET MOUVEMENTS DE TERRAIN 9

2.1 Le changement climatique 9

2.2 Impact du changement climatique sur les mouvements de terrain 10

3. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET MOUVEMENTS DE TERRAINS : SYNTHESE DES ETUDES RECENTES 15

3.1 Données d'entrée 15

3.2 Observation du permafrost 15

3.3 Surveillance de l'évolution du retrait des glaciers 19

3.4 Surveillance des conditions hydrologiques et hydro-meteorologiques 24

3.5 Adaptation des écosystèmes et influence sur les stabilités de pentes 25

3.6 Projets relatifs à la cartographie et a la reconnaissance des aléas chute de blocs et glissement de terrain 26

3.7 Projets majeurs à visée globale 27

3.8 Synthèse 31

4. MOUVEMENTS DE TERRAINS : BASE DE DONNEES ET OBSERVATOIRES 35

4.1 Base de données des événements de mouvements de terrain en France 35

4.2 Observatoire Pyrénéens du Changement Climatique (OPCC) 36

4.3 Observatoire Rhône-Alpes sur les effets du changement climatique (ORECC) 36

4.4 OMIV : Observatoire Multidisciplinaire des Instabilités de Versant 36

4.5 RENAG : REseau NAtional GPS permanent 37

4.6 Autres Acteurs européens 38

5. CONCLUSIONS 41

6. BIBLIOGRAPHIE 45

7. LISTE DES ANNEXES 49

1. OBJET ET CONTEXTE DE L'ETUDE

Depuis sa création en 1988, le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) a produit plusieurs études de référence sur le phénomène actuel de réchauffement du système climatique mondial, notamment ses effets observés et potentiels à court et moyen termes (Rapport de synthèse du GIEC, 2007). Plus récemment, le GIEC a émis des recommandations pour limiter l'ampleur de ce changement, atténuer ses effets et s'y adapter pour réduire la vulnérabilité et accroître la résilience de nos sociétés.

L'adaptation au changement climatique est reconnue comme une priorité à l'échelle mondiale. La France a ainsi été l'un des pays européens à se doter d'un Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC). Il a été élaboré pour une période de 5 ans (2011-2015) par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE).

Ce plan couvre vingt domaines dont celui des risques naturels pour lesquels des « fiches action » ont été élaborées. Le milieu montagneux, qui réunit sur un territoire limité des environnements très contrastés, est considéré comme particulièrement sensible (Beniston et al, 1996) car l'incertitude sur l'évolution des températures et des précipitations y est forte et les conséquences significatives. L'une des actions du PNACC vise ainsi à développer l'observation et prévoir la mise à disposition de données relatives au suivi à long terme de l'évolution des risques naturels en montagne. En particulier il est proposé d'évaluer la faisabilité, de mutualiser, valoriser, voire harmoniser les réseaux instrumentaux existants et les données de mesure produites.

La contribution de l'INERIS à cette action concerne l'aléa mouvement de terrain en milieu montagneux. Elle est menée dans le cadre du programme d'expertise et appui technique au MEDDE EAT-DRS06 intitulé Centre National de Surveillance des Risques du Sol et du Sous-sol

L'objectif premier de cette contribution est de faire un tour d'horizon des études techniques et scientifiques récentes, et des réseaux opérationnels ayant trait à l'observation des effets du changement climatique sur l'aléa mouvement de terrain. Ce tour d'horizon est synthétisé dans la première partie de ce rapport. Il est complété, dans sa seconde partie, par une présentation des principaux acteurs, structures ou infrastructures française et européenne.

En fin de rapport, un bilan des actions réalisées et des données rendues accessibles au travers des différents projets identifiés est dressé pour proposer quelques pistes de travail en adéquation avec les objectifs fixés par le PNACC.

2. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET MOUVEMENTS DE TERRAIN

2.1 LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

La notion de changement climatique est définie différemment selon les auteurs. Pour le GIEC il correspond à « tout phénomène modifiant de manière durable le climat de la Terre, qu'il soit naturel ou provoqué par l'activité humaine » (Rapport de synthèse du GIEC, 2007).

La paléoclimatologie montre que la planète a connu des fluctuations climatiques naturelles, avec plusieurs cycles climatiques rapides (à l'échelle des temps géologiques), et de grande ampleur, marqués notamment au Quaternaire par quatre périodes de glaciation entrecoupées de périodes interglaciaires (Beniston et al, 1996). Depuis le début du XXème siècle, la tendance est au réchauffement rapide sur une échelle de temps très courte par rapport aux changements climatiques historiques.

La cause de ce réchauffement climatique a été aujourd'hui bien étudiée et, même si l'on manque de mesures sur une échelle de temps satisfaisante, la plupart des experts s'accordent pour dire que cette cause est liée aux émissions de gaz à effet de serre initiées lors de la révolution industrielle du XIXème siècle (Prudent et al, 2008). La proportion de ces gaz (dioxyde de carbone, méthane, butane, etc.), qui sont pour certains naturellement présents dans la composition chimique de l'atmosphère, ne cesse d'augmenter. Ils ont pour conséquence d'accentuer l'effet de serre en piégeant une partie du rayonnement infrarouge normalement renvoyé par la Terre vers l'espace, ce qui se traduit par une augmentation de la température à la surface du globe et un accroissement des événements climatiques extrêmes.

Si le réchauffement climatique est planétaire, il ne touche pas toutes les régions du monde de la même manière. Les températures moyennes restent en effet presque inchangées au niveau de l'équateur, mais les zones polaires et montagneuses sont les plus touchées (Beniston et al, 1996).

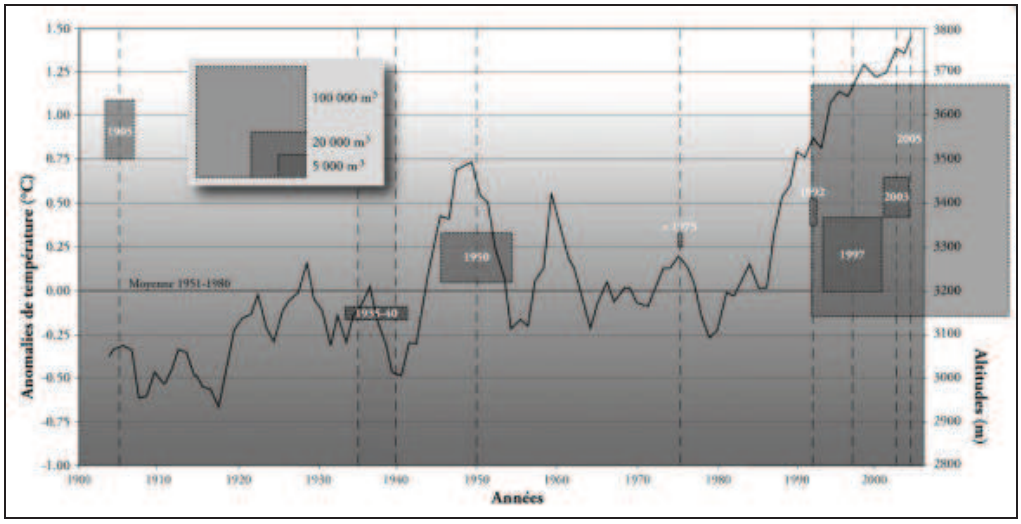

Figure 1 : Courbe de la température moyenne annuelle de l'air dans les Alpes et liens (quadrilatères grisés) avec le volume et la fréquence des écroulements rocheux dans la face ouest des Drus entre 1905 et 2005 (Ravanel et al, 2008).

La Figure 1 montre ainsi qu'en un siècle, la température moyenne de la haute montagne a progressé de 2 °C dans les Alpes (Ravanel et al, 2008). Elle montre également que le réchauffement semble s'accélérer à partir de 1985, avec une hausse de l'ordre de 1,5 °C au cours des dernières décennies. Sur la même période et au même endroit, on observe (Figure 1) que la majeure partie des écroulements rocheux ont eu lieu pour des périodes de réchauffement important, comme de 1945 à 1955 (1,25 °C d'augmentation en 10 ans, 20 000 m^3 d'effondrement) et de 1985 à 2005 (1,5 °C en 20 ans, plus de 100 000 m^3 d'effondrement). Les projections établies en 2007 par le GIEC sur la base d'hypothèses sur les politiques énergétiques des principales puissances économiques prévoient d'ici 2100 (Figure 2) :

- selon le scénario optimiste, une augmentation des températures de l'ordre de 0,4 °C en moyenne sur la planète ;

- selon le scénario le plus pessimiste, une augmentation des températures de 3 à 4 °C en moyenne sur la planète.

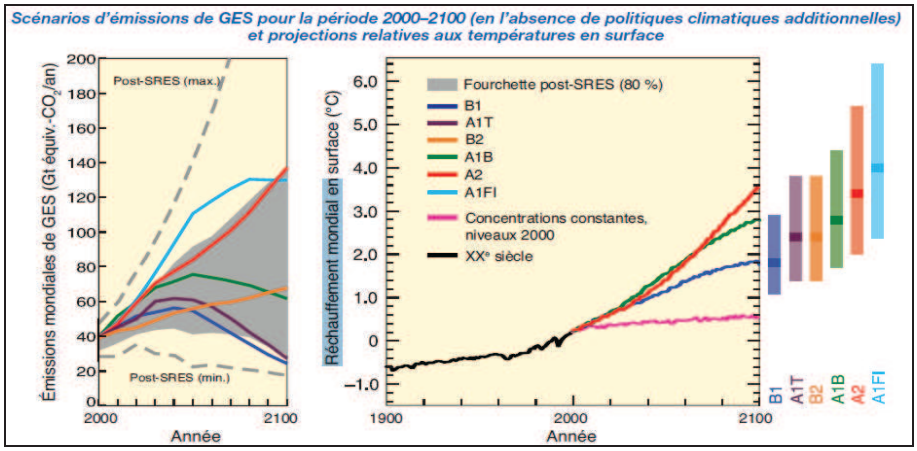

Figure 2 : à gauche scénarios d'émission de gaz à effet de serre (GES) ; à droite scénarios de changement climatique correspondants (Rapport de synthèse du GIEC, 2007).

Le GIEC a confirmé ces projections par voie de presse en septembre 2013 (un nouveau rapport devrait sortir courant 2014). Les scénarios A1, A2, B1 et B2 sont dorénavant abandonnés au profit de scénarios dits RCP (Representative Concentration Pathways). Le scénario RCP médian prévoirait des hausses de températures en Europe de 1 à 4,5 °C (scénario RCP4.5) et le scénario extrême des hausses de 2,5 à 5,5 °C (Jacob et al, 2013). Comme évoqué précédemment, la hausse des températures en montagne se situe dans la fourchette haute dans la mesure où ce milieu réunit, sur un territoire limité, des environnements très contrastés en termes d'altitude, d'exposition ou encore d'influence des courants atmosphériques.

2.2 IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES MOUVEMENTS DE TERRAIN

Les conséquences du changement climatique en milieu montagneux sont multiples. Elles se manifestent par une modification des propriétés et caractéristiques des sols et des roches, avec un effet stabilisateur ou déstabilisateur selon les conditions du site considéré. Dans un contexte de

réchauffement climatique, il est primordial d'identifier les paramètres susceptibles d'être modifiés dans les années à venir et d'analyser leur lien avec les stabilités de pente (Prudent et al, 2008).

Un état de l'art des recherches sur ce sujet a été mené par l'INERIS en 2013 dans le cadre d'une action du programme d'expertise et appui technique EAT-DRS02. Il est restitué dans le rapport intitulé « Impact du changement climatique sur les versants instables » (Cherkaoui, 2013). Ce document identifie les paramètres climatiques ayant une influence sur les stabilités de pente et analyse les mécanismes d'action. Le présent document est complémentaire à cette étude puisqu'il recense les projets liés à ces recherches en mettant l'accent sur les sites instrumentés, l'utilisation et la mise à disposition des données acquises.

Les zones de haute montagne, particulièrement concernées par le changement climatique sont exposées au retrait glaciaire et à la dégradation du permafrost qui provoquent une hausse des instabilités gravitaires. En Europe, le permafrost est principalement localisé dans les Alpes et en Scandinavie. En Suisse, il recouvre environ 5% du territoire (Ramelli et al, 2009), en France, 1300 km² seraient concernés (Schoeneich, 2008). Cependant le retrait des glaciers peut également entrainer la formation de lacs glaciaires susceptibles de se vidanger brutalement et mettre en danger des populations et infrastructures avoisinantes. La formation de poches d'eau sous-glaciaires est aussi une source d'inquiétude (voir l'exemple de la poche sous-glaciaire de Tête-Rousse, à St-Gervais, pompée en 2010).

A basse et moyenne altitude, la modification des conditions hydrologiques apparait comme un élément moteur des instabilités. Le risque d'occurrence de glissement de terrain est par ailleurs augmenté lors des périodes de précipitations ; or, les événements dits extrêmes (pluies torrentielles, sécheresses prolongées) sont en hausse depuis les dernières décennies. Ils impactent de manière parfois brutale les conditions hydrologiques des terrains. A titre d'exemple, en novembre 2000, 400 glissements de terrains superficiels se sont déclenchés sur le territoire de la commune de Menton (06) suite à de fortes précipitations, engendrant de nombreux dégâts matériels.

Parallèlement, les conditions d'implantation de la végétation se modifient. On observe ainsi une augmentation des forêts de montagne en altitude. Les conséquences sur la stabilité sont complexes : la végétation affecte de manière significative les conditions hydrologiques, fournit une force de renfort pour les sols superficiels par le biais des racines, et délivre une force importante de déstabilisation par l'intermédiaire de son poids propre.

A ce jour, le lien entre le réchauffement climatique et l'occurrence accrue de mouvements de terrain n'est pas clairement mis en évidence. Si l'on tient compte de tous les changements climatiques historiques et de leur influence sur la stabilité des terrains, aucune relation simple ne peut être établie.

Par exemple, l'influence des précipitations sur les eaux souterraines, ou sur les eaux superficielles par l'entrainement des sédiments et leur dépôt sont des facteurs qui agissent de manière non linéaire sur la magnitude et la fréquence des glissements de terrain (Phillips, 2003). Ainsi la Suisse, qui dispose pourtant d'une base de données relativement complète sur les mouvements de terrain, n'a pu établir aucune tendance statistiquement significative pour les événements en eux-mêmes ou les dégâts qu'ils peuvent causer (Hilker, 2009).

S'agissant des chutes et écroulements rocheux importants (> 100 000 m^3), on constate dans les Alpes suisses et les zones voisines (Huggel et al, 2011) que leur fréquence est plus élevée lors des deux dernières décennies qu'au début du XXème siècle. La même tendance a été trouvée pour des petites à moyennes chutes de pierres dans la zone du Mont Blanc (Ravanel et al, 2008).

Une augmentation des mouvements de terrain majeurs est aussi observée dans les Alpes. Ce phénomène a été illustré par Huggel et al. en 2011 par une liste des événements importants récents (volumes en jeu de l'ordre du million de m^3, occurrence de l'événement postérieur à 1987), imputés au changement climatique, y compris aux événements climatiques extrêmes. Ce bilan est repris dans ce rapport et est complété de quelques événements additionnels ; il est donné dans le Tableau 1.

Parmi les vingt événements cités, onze sont situés sur le continent européen dont un en France et huit à proximité immédiate du territoire français (Alpes suisses et italiennes). Les altitudes de déclenchement de ces événements se situent entre 2200 m et 3725 m, dans des zones où les effets du changement climatique sont particulièrement ressentis et où le permafrost recule. Dans l'hémisphère Nord, les événements brutaux se sont tous déroulés d'avril à octobre, durant des périodes chaudes (à l'exception du glissement de terrain superficiel de la Brenva, en Italie, qui a eu lieu en janvier 1997 mais reste dû, selon les experts (Bottino et al, 2002), à la fonte du permafrost dans la zone de fragilisation). La plupart de ces événements ont eu des conséquences graves en termes de dommages matériels et en pertes humaines. L'événement du Kolka dans le Caucase russe (Huggel et al, 2011) par exemple a provoqué la mort de 125 personnes et le glissement de la Brenva a provoqué la mort de deux skieurs.

En fait, les études scientifiques souffrent d'un manque de recul sur les informations enregistrées. Les données météorologiques ne sont collectées de manière assidue que depuis peu. De même, les bases de données relatives à l'occurrence de mouvements de terrains sont souvent incomplètes voire hétérogènes. Pour toutes ces raisons, les résultats d'études menées sur des données récentes sont bien souvent biaisés par l'amélioration des méthodes d'observation. Le recul n'est donc pas suffisant pour tirer des conclusions sur les changements observés sur les dernières dizaines d'années.

Certaines études de paléo-mouvements de terrain (Borgatti et al, Trauth et al, Matthews et al) fournissent des résultats intéressants. Par exemple une étude menée dans la chaîne des Dolomites italiennes (Borgatti et al, 2009) a permis d'établir un lien entre les fréquences et intensités des événements de type glissement de terrain et les changements climatiques historiques. Quatre périodes distinctes favorables aux glissements de terrain, sur la zone étudiée, ont pu être identifiées et confrontées à différentes données paléo-climatiques : les périodes d'occurrence accrue de glissement de terrain étaient en correspondance avec les périodes d'humidité reconnues à différentes échelles spatiales. Les auteurs en avaient alors conclu que les processus d'instabilité de pente peuvent être un indicateur géologique de changements climatiques et, dans une certaine mesure, un indicateur de l'évolution climatique. Une approche similaire menée dans les Andes argentines (Trauth et al, 2003) n'a quant à elle pas abouti : aucun lien n'a pu être établi entre des périodes de mouvements de terrains majeurs et des périodes géologiques particulièrement humides durant le Quaternaire.

Localisation	Date de l'événement	Volume en jeu (10^6 m^3)	Altitude (mètres au dessus du niveau des océans)	Liens avec le climat ou le changement climatique
Mont Miller (Alaska)	06/08/2010	22	2200	Probable réchauffement du permafrost et réchauffement du glacier escarpé. Températures élevées les jours/semaines précédant l'événement.
Mont Meager (Canada)	06/08/2010	48	2400	Lent retrait du glacier, déstabilisation des moraines.
Ritzlihorn (Suisse)	2009-2010	>0,3 (total)	3260	Réchauffement du permafrost et température élevées précédant la rupture et les coulées de débris.
Glacier du Bas Grindelwald (Suisse)	2006-2010	Zone à risque	3000	Lent retrait du glacier, formation d'un lac, déstabilisation des moraines et rupture du substratum rocheux.
Mont Steele (Canada)	24/07/2007	27-80	4640	Phénomène lié au permafrost, températures élevées les jours (voir semaines) précédant l'événement.
Mont Munday (Canada)	06/2007	3	3100	Probable réchauffement du permafrost, températures très chaudes quelques jours/semaines avant la rupture.
Monte Rosa (Italie)	21/04/2007	0,3	4000	Pertes massives de glace et rupture du substratum rocheux ; dégradation du permafrost ; températures très élevées les jours-semaines précédant la rupture.
Dents du midi/ dents blanches (Suisse)	30/10/2006	1	3200	Dégel des roches favorisé par les étés chauds des années précédentes.
Mont Steller (Alaska)	14/09/2005	50	3100	Probable réchauffement du permafrost et réchauffement du glacier escarpé. Températures élevées atteintes les jours/semaines précédant l'événement, situation en toit de crête.
Rotlaui (Suisse)	22/08/2005	0.5	2400	Sédiments glaciaires abondants dans la zone source suite au retrait du glacier ; présence du permafrost dans les corps sédimentaires ; précipitations (pluies) extrêmement intenses.
Thurwieser (Italie)	18/09/2004	2,5	3725	Probable réchauffement du permafrost à plusieurs mètres de profondeur dans le substratum rocheux, situation de toit de crête.
Kolka (Russie)	22/09/2002	130	4300	Probable réchauffement du permafrost et réchauffement du glacier escarpé.

Localisation	Date de l'événement	Volume en jeu (10^6 m^3)	Altitude (mètres au dessus du niveau des océans)	Liens avec le climat ou le changement climatique
Mont Harold Price (Canada)	22-24/06/2002	1	1720	Réchauffement de la pente rocheuse abrupte, l'éboulement s'est transformé en coulée de débris.
Rivière Gerkhozhansu (Russie)	18/07/2000	10	3500	Sédiments glaciaires abondants dans la zone source due à une retraite récente du glacier ; présence probable de permafrost fragilisé dans les corps de sédiment et de débris de glace morte.
Salcantay (Pérou)	27/02/1998	25	4200	Lent retrait du glacier, fortes précipitations neigeuses suivies de températures élevées : fonte des neiges entrainant des débits d'eau importants.
La Brenva (Italie)	18/01/1997	2-7	3560	Zone de permafrost fragilisée par des températures moyennes toujours plus élevées (Matthews et al, 1997).
Tambo de Viso (Pérou)	16/01/1998	0-4	2500-5600	Abondants sédiments déconsolidés, chutes de pluies intenses durant l'événement El Nino de 1997/1998.
Mont Cook (Nouvelle Zélande)	14/12/1991	60	3755	Probable réchauffement du permafrost et réchauffement du glacier escarpé. Températures élevées atteintes les jours/semaines précédant l'événement, situation en toit de crête.
Randa (Suisse)	18/04/1991 09/05/1991	15 puis 20	2400	La rupture coïncide avec une période de fonte importante des neiges ; périodes de gel/dégel.
Val Pola (France)	28/07/1987	35-45	2200	Très fortes précipitations, fonte du glacier (isotherme 0 à haute altitude), érosion de la zone de débris d'accumulation des glissements postglaciaires (Crosta et al, 2003).

Tableau 1 : Mouvements de terrain majeurs récents imputés au changement climatique. Les événements survenus sur le continent européen sont sur fond bleuté d'après un inventaire de (Huggel et al, 2011).

3. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET MOUVEMENTS DE TERRAINS : SYNTHESE DES ETUDES RECENTES

3.1 DONNEES D'ENTREE

L'impact du changement climatique sur les risques naturels et notamment sur l'instabilité de pentes et versants à basse, moyenne et haute altitude a motivé plusieurs projets de recherche nationaux et internationaux durant ces dix dernières années.

La suite de ce rapport établit un bilan des projets récents (terminés après 2008), menés en France et en Europe, qui ont conduit à la production de données et observations relatives à l'impact du changement climatique sur l'aléa mouvement de terrain.

Ce bilan non exhaustif est réalisé à partir de publications techniques et scientifiques, de rapports européens, de produits de sortie desdits projets, et de nombreux liens web. Les références utilisées sont toutes publiques et le lecteur intéressé pourra se référer à la bibliographie détaillée en fin de rapport.

Dans la suite, le choix est fait de restituer d'abord les projets portant sur les mouvements de terrain en (très) haute montagne qui sont plus directement liés à une hausse ressentie des températures. Ensuite, sont présentés les projets qui traitent des influences des phénomènes hydrologiques, conséquences indirectes du changement climatique, sur les mouvements de terrains en milieu montagneux. D'autres projets sont relatifs à la méthodologie de la cartographie et de la reconnaissance des aléas « chutes de blocs » et « glissement de terrain ». Enfin, certains projets d'envergure traitent de toutes ces thématiques et ont par conséquent été nommés « projets à visée globale ».

Ce bilan est complété en annexe par des fiches descriptives synthétiques établies pour les principaux projets évoqués. Ces fiches comprennent notamment les dates, les budgets, la liste des partenaires, les principaux objectifs et rendus, les dispositifs de mesure déployés et la disponibilité des données recueillies.

3.2 OBSERVATION DU PERMAFROST

La dégradation du permafrost est une conséquence directe de la hausse des températures ; selon les observations du GIEC, elle devrait se poursuivre et pourrait conduire à une occurrence accrue d'instabilités de terrains tel que semble le montrer le Tableau 1.

Dans ce contexte, plusieurs projets d'observation ont été mis en place à partir des années 2000. Le projet européen **PACE** (programme FP4) est le premier projet d'ampleur qui a permis dès 2001 la réalisation de mesures de température, y compris en forage profonds, sur une ligne partant de Svalbard (Norvège), traversant les Alpes et se terminant au sud de l'Espagne. Par la suite, ce réseau d'observation est monté en puissance dans le cadre de deux projets européens successifs (**PermadataROC** - programme Interreg IIIA - Alcotra et **PermaNET -** Interreg IV B) qui ont permis de définir les fondements d'un réseau de surveillance à l'échelle européenne (Mair et al, 2012).

En particulier, le projet PermaNET (achevé en 2011) a eu pour vocation d'une part de réunir l'ensemble des données acquises dans les Alpes et d'autre part de compléter l'instrumentation de manière à couvrir des zones qui ne l'étaient pas suffisamment et à homogénéiser techniquement le parc de stations de mesure.

Le réseau européen d'observation du permafrost comprend aujourd'hui 47 sites instrumentés répartis comme suit : 5 en Autriche, 5 en France, 1 en Allemagne, 2 en Suisse et 34 en Italie. Ce réseau repose principalement sur le suivi des profils de température des sols et sous-sols de manière à pouvoir appréhender la variabilité spatiale et temporelle du permafrost.

Les données ainsi collectées permettent l'élaboration d'une carte de la répartition du permafrost dans les Alpes, réactualisée chaque année pendant la période d'activité du projet. Un exemple de carte produite est donné en Figure 3. Elle met en évidence, en jaune, les zones les plus concernées par le changement climatique. Le permafrost y est présent seulement dans des conditions climatiques correspondant à des années très froides ; un gel/dégel des sols y est donc fréquent. Avec le réchauffement climatique, cette zone devrait évoluer vers les secteurs qui présentent un permafrost principalement en conditions froides, puis éventuellement vers les zones où le permafrost est présent dans presque toutes les conditions climatiques.

Le résultat des mesures est resitué sous forme de cartes accessibles sous Google Earth®, telles que celle donnée en Figure 3 (cf. annexe A pour les détails).

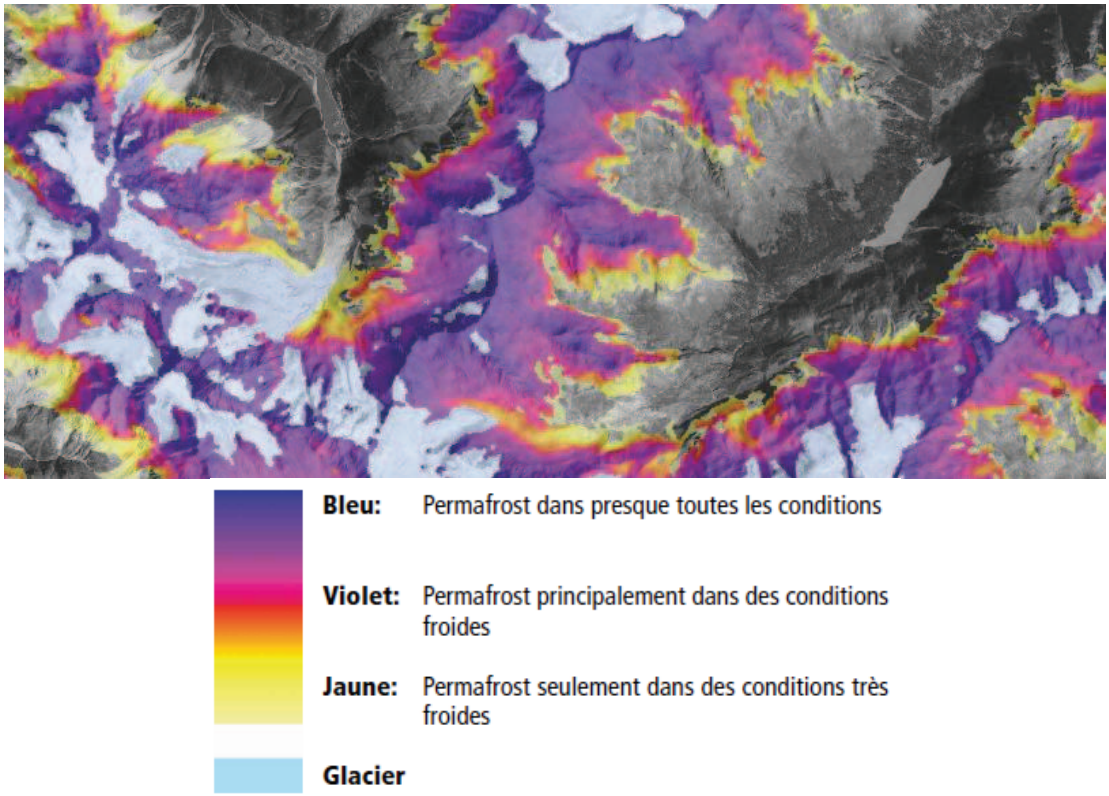

Figure 3 : Extrait de la carte annuelle du permafrost alpin 2012 (Mair et al, 2012).

Parallèlement à l'activité de surveillance mise en œuvre dans ces projets européens, on note l'existence d'autres réseaux de suivi du permafrost dans les Alpes, comme celui de l'organisme suisse ***PERMOS***, un laboratoire supporté par l'Université de Zurich (cf. Annexe B). C'est le réseau de surveillance le plus ancien

des Alpes, qui dispose donc de la plus longue série de données historiques (Mair et al, 2012). Les premiers sites instrumentés sont surveillés depuis les années 1990. Le réseau définitif est opérationnel depuis 2007. Cet observatoire gère 16 sites instrumentés, comprenant au total 26 dispositifs de mesure de profil de température (au moyen de forages) et 100 capteurs enregistrant les températures au sol toutes les deux heures dans 5 zones d'études. 4 sites de PERMOS sont équipés en mesures de résistivité électrique et cet organisme réalise également la surveillance et l'état des lieux des glaciers suisses. Les activités de PERMOS sont décrites plus précisément sur le site http://www.permos.ch disponible en anglais.

En France, le réseau ***PermaFRANCE*** (cf. Annexe B) a été mis en place en 2004 et réalise des mesures depuis lors. Ce réseau est géré par le gipsa-lab ; il comprend 29 sites instrumentés, tous situés dans les Alpes (Figure 4). Cette surveillance, largement inspirée de PERMOS, permet le suivi des zones de permafrost françaises. Le massif du Mont Blanc est particulièrement bien suivi avec 11 sites instrumentés sur le territoire français, ainsi que le massif des Cercles et la région de la Haute Ubaye (respectivement 5 et 3 réseaux de surveillance de permafrost). On notera l'absence de surveillance du permafrost dans les Pyrénées, pourtant également en situation de fragilisation. En Italie et en Autriche, des réseaux de suivi nationaux sont en préparation (Mair et al, 2012).

Il existe enfin une organisation de surveillance de l'évolution du permafrost à l'échelle mondiale mise en service dans les années 1990 : il s'agit du ***GTN-P*** (Global Terrestrial Network for Permafrost) qui a été créé par l'International Permafrost Association (IPA). Les réseaux de surveillance sont principalement implantés en Alaska, dans le nord Canadien et dans le nord Sibérien. Ces réseaux sont constitués de forages équipés de capteurs thermiques permettant de tracer le profil de température des couches ; ils sont positionnés sur la Figure 5. On peut distinguer les forages surfaciques (de profondeur inférieure à 10 m), les forages peu profonds (de 10 à 25 m de profondeur), les forages intermédiaires (de 25 à 125 m de profondeur), et les forages profonds (de profondeur supérieure à 125 m).

Au total, le site de GTN-P http://www.gtnp.org/index_f.html dispose d'un réseau de 1037 forages répartis dans 18 pays, avec notamment 399 forages en Russie, 184 forages au Canada et 179 forages aux Etats-Unis.

En conclusion, il est important de noter que la surveillance de l'évolution du permafrost est très récente et que la plupart des réseaux européens sont implantés depuis moins de 10 ans. Si les projets européens ont contribué à combler le manque d'observations, le partage des données à l'échelle européenne et mondiale semble à ce jour encore peu développé : les réseaux français n'apparaissent pas sur le site du GTN-P bien qu'ils soient cités comme étant une contribution à ce réseau mondial dans le premier rapport du projet PermaFRANCE (Schoeneich et al, 2010), tandis que seulement 9 sondages italiens sont répertoriés (à comparer aux 34 sites instrumentés dans les Alpes italiennes depuis le projet PermaNET).

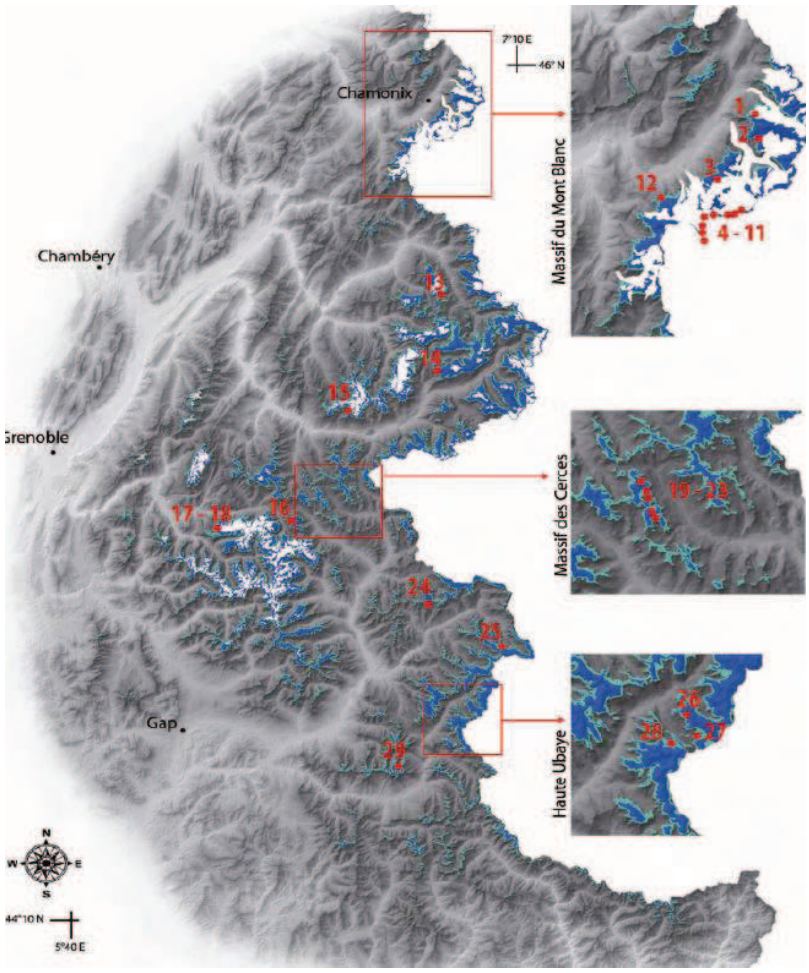

Figure 4 : Réseau de surveillance du permafrost français. En bleu : les zones de permafrost. En blanc : les glaciers. (Schoeneich, 2008)

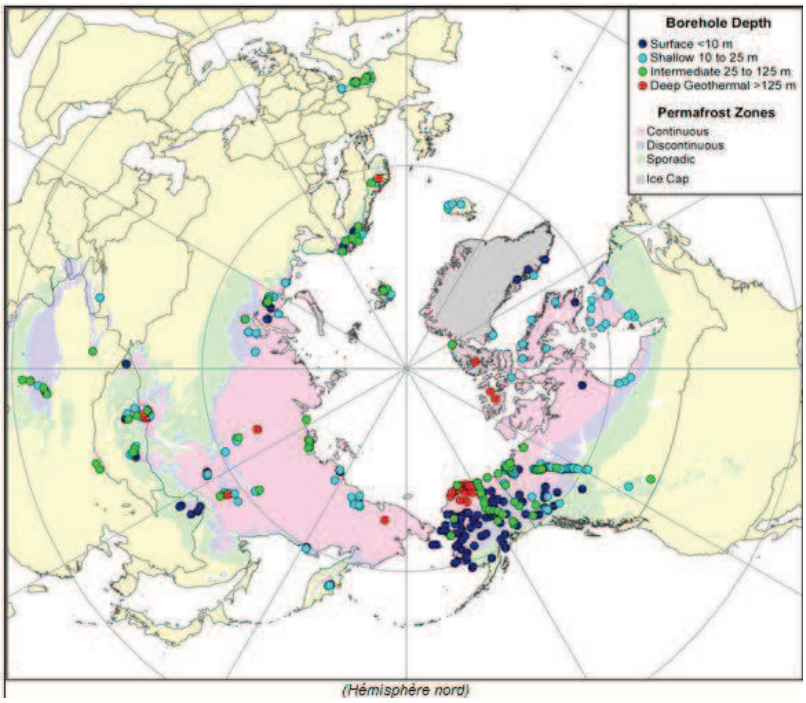

Figure 5 : Localisation des sites potentiels de surveillance terrestre du permafrost (hémisphère nord) (Smith et al, 2003)

3.3 SURVEILLANCE DE L'EVOLUTION DU RETRAIT DES GLACIERS

La hausse des températures se traduit directement en haute montagne par un retrait des glaciers. Certains événements catastrophiques listés dans le Tableau 1 (notamment l'exemple dramatique du glacier de Kolka dans le Caucase Russe, avec plus de 120 victimes) permettent de rendre compte de l'importance de la surveillance de ce phénomène dans le contexte de la gestion des risques naturels. En Europe, et donc en France, les enjeux touristiques et environnementaux sont considérables. Ils induisent depuis peu un investissement de la part des territoires et collectivités.

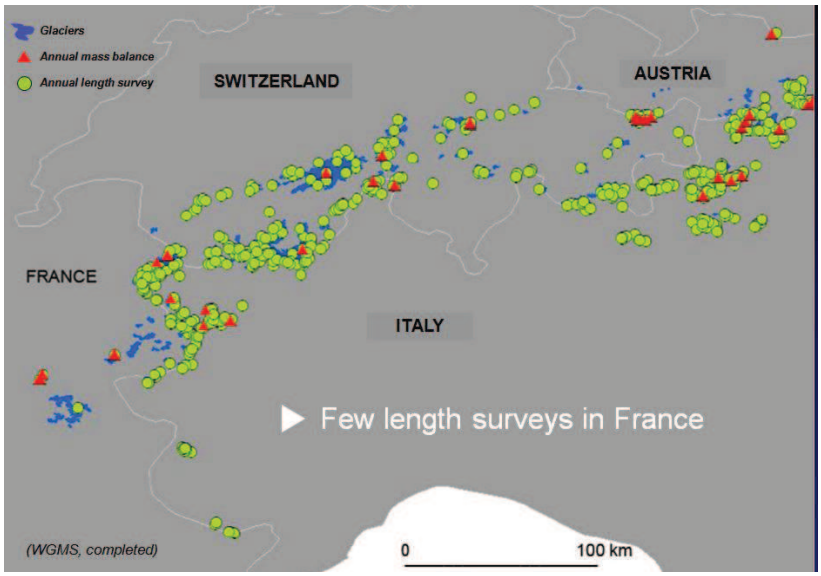

Figure 6 : Points de surveillance des glaciers dans les Alpes en 2005 : glaciers (fond bleu), suivi du bilan massique (triangles rouges) et suivi de la longueur des glaciers (ronds verts) (Bolon et al, 2010)

Les sites de surveillance dans les Alpes sont irrégulièrement répartis, comme l'illustre bien la Figure 6, datée de 2005. Les glaciers situés sur le territoire français étaient à ce moment peu suivis, alors que certains glaciers (notamment à la frontière helvético-italienne) semblent particulièrement bien surveillés.

Plusieurs projets européens ont traité cet aspect, dont le projet franco-italien **GlariskAlp** (projet Interreg IV - Alcotra), mené dans le but de définir et d'évaluer les risques causés par la réduction du volume et de la surface des glaciers dans les Alpes occidentales, ou encore le projet **Euras-Climpact** (projet du FP7).

Le premier projet, GlariskAlp, dirigé par la fondation italienne Montagne Sûre, organisme italien réalisant la surveillance de glaciers dans les Alpes (cf. Annexe B), s'articule autour de trois volets complémentaires :

- un inventaire des extensions actuelles et anciennes des glaciers, réalisé à partir d'orthophotographies, qui constitue l'outil de base pour quantifier le retrait des glaciers dans le secteur d'étude ;
- la reconnaissance des types d'aléas provoqués par le retrait glaciaire, des secteurs récemment dégelés, ainsi que des aléas actuels et potentiels caractérisant ce retrait ;

- des études détaillées sur huit sites pilotes (en majorité dans le massif du Mont Blanc) pour une meilleure compréhension du processus et de ses mécanismes en vue de proposer des solutions.

Ce projet a permis de rattraper le retard de surveillance de la France et de l'Italie : il porte sur le suivi de 820 glaciers actuels, soit 418 km² de superficie (275 km² en France, 143 km² en Italie). L'un des enseignements de ce projet est que depuis le Petit Age Glaciaire (années 1850), les glaciers des Alpes Occidentales ont perdu en moyenne 50% de leur superficie, avec de fortes variations selon les glaciers (Bosson et al, 2013. La région de la vallée d'Aoste notamment, en Italie, a perdu 30 km² de glacier de 1975 à 1999 et 18 km² de 1999 à 2005 (Melzner et al, 2011).

La Figure 7 présente l'exemple des glaciers des Dômes de la Vanoise, en France. On peut observer sur cette carte que le retrait glaciaire s'est accéléré au cours des dernières décennies : entre 1971 et 2006, ces glaciers ont perdu près de 13% de leur superficie.

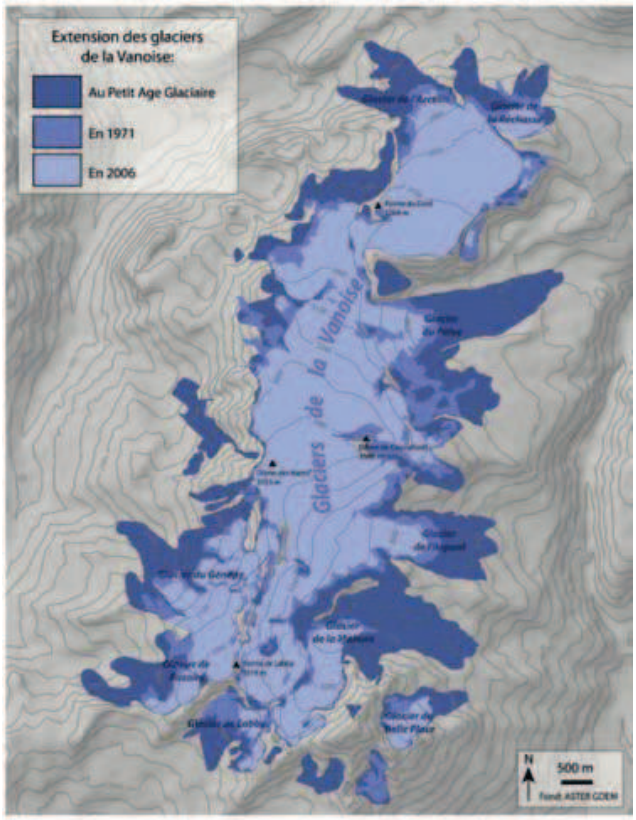

Figure 7 : Évolution des glaciers des Dômes de la Vanoise (France) depuis le Petit Age Glaciaire (Bolon et al, 2010): la superficie de ces glaciers est passée de 40 km² à 20 km²

Le second projet, Euras-climpact, concerne l'impact du changement climatique et des dangers liés aux glaciers sur les stratégies de réduction des risques dans les Alpes européennes, la Laponie suédoise et le massif du Tian Shan (Asie centrale).

Il porte sur les aspects météorologiques et climatologiques des glaciers et du permafrost au cours des cinquante dernières années. Les changements sont observés sur 4 glaciers en Europe, (glacier de Pasterzen et de Sonnblick en Autriche, de Storglaciaren et de Karsa en Suède), par analyse des modèles du

changement climatique en réduisant l'échelle d'étude à ces régions. La Figure 8 permet de localiser visuellement ces glaciers (Bax et al, 2012).

Sur la base de ces expériences, l'impact du changement climatique sur deux glaciers en Asie centrale (glaciers de Inylshek et Karabatak dans le Tian Shan central) est évalué. L'observatoire du changement climatique "Gottfried Merzbacher" situé au Kirghizstan (du nom de l'alpiniste allemand qui a découvert le lac glaciaire surveillé par cet observatoire) est utilisé comme plateforme pour des études internationales.

Des caméras en lumière visible ou infrarouge permettent de suivre l'évolution des glaciers et la montée des risques géologiques liés au changement climatique. La modélisation de l'équilibre des masses des quatre glaciers européens et des deux glaciers du Tian Shan est comparée aux analyses de séries temporelles relevées par télédétection aéroportée. Etant donné que les Alpes Européennes sont surveillées depuis des décennies, une vérification supplémentaire au sol par données de télédétection est planifiée principalement pour analyser le retrait des glaciers mais aussi leur avancée comme dans le Tian Shan.

Le résultat probablement le plus important du projet Euras-climpact sera la diffusion propre des données aux collectivités concernées et l'apport de la structure au niveau national et régional.

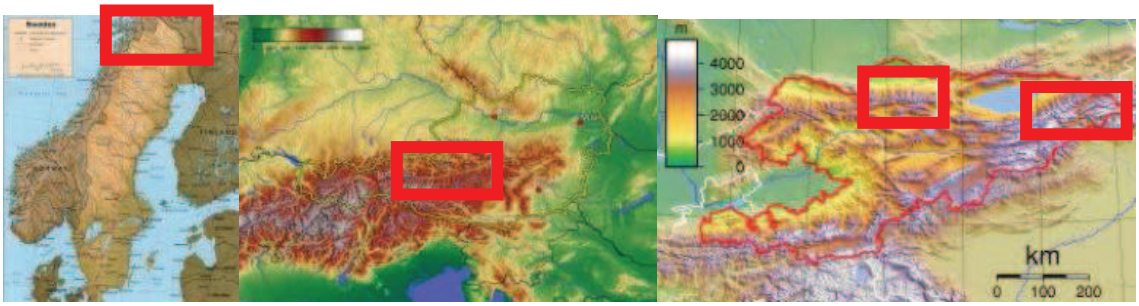

Figure 8 : Localisation des sites étudiés (de gauche à droite : Glaciers de Laponie Storglaciaren et Karsa, glaciers autrichiens Pasterzen et Sonnblick, glaciers asiatiques d'Inylshek et de Karabatak) (Bax et al, 2013)

Historiquement, l'enregistrement d'informations sur les fluctuations des glaciers a été initié en 1894 avec la fondation de la commission internationale des glaciers lors du 6ème congrès international de géologie à Zurich (Suisse) (http://www.geo.uzh.ch/microsite/wgms/about.html). Le but était de réunir à long terme des informations tirées de l'observation des glaciers pour mieux comprendre les processus de changement climatique comme la formation des « âges glaciaires ». Les objectifs de la surveillance internationale des glaciers ont évolué et se sont multipliés au cours des années.

Depuis le début de la coordination systématique des observations sur les fluctuations des glaciers, une base de données importante a été construite. En 1986, l'organisme intergouvernemental "World Glacier Monitoring Service" (**WGMS**, basé à Zurich, cf. Annexe B) a pris en main la conservation de ces informations et la continuité de la collecte d'observations par la fusion des deux organismes **PSFG** (« Permanent Service on Fluctuations of Glaciers ») et de **TTS/WGI** (Temporal Technical Secretariat/World Glacier Inventory).

WGMS réalise à la fois l'analyse des fluctuations des glaciers par la collecte des observations de leurs changements de masse, de volume, de superficie et de longueur en fonction du temps, mais aussi l'inventaire des glaciers par l'analyse statistique d'informations sur la distribution de la glace dans l'espace. Il apparait que les régions du monde disposant de la plus grande densité d'informations sont les Alpes et la Scandinavie.

Une carte interactive est disponible et permet de visualiser toutes ces données en suivant le lien http://www.wgms.ch/metadatabrowser.html. L'organisme y a répertorié le suivi de 2665 glaciers sur les 5 continents (847 en Europe centrale, 462 en Asie Centrale, 429 en Amérique du Nord, voir Figure 9). Il est possible d'agrandir la zone d'étude afin de cibler une région ou un glacier particulier. Les sites sont plus ou moins détaillés en fonction de la taille de l'affichage ; on peut avoir accès à chacun des glaciers de manière individuelle.

Figure 9 : Inventaire des glaciers surveillés à l'échelle mondiale selon WGMS (http://www.geo.uzh.ch/microsite/wgms/about.html)

Pour chaque glacier inscrit dans la base de données, un certain nombre d'informations est disponible. La Figure 10 nous présente à titre d'exemple le glacier de Sarennes, en France. On peut noter le pays administrateur du glacier, le nom du glacier, le type de mesures enregistrées (évolution de l'épaisseur, bilan massique et évolution du front du glacier), le nombre d'observations (4 seulement pour l'évolution de l'épaisseur mais 62 bilans de masse historiques apparaissent dans la fiche complète associée au glacier), l'année de la première observation (ici 1981) et l'année de la dernière observation (ici 2003). Il est également possible de télécharger un fichier Excel® donnant le détail des mesures.

La collaboration avec les organismes régionaux est bien en place étant donné la richesse de cette base de données en matière de bilans massiques et la précision dans les dates des mesures.

L'inventaire des glaciers du monde, qui comprend des sites non instrumentés et non suivis, est géré par l'organisme National Snow & Ice Data Center (**NSIDC**). Une base de données contenant près de 130 000 glaciers est mise à disposition sur leur site. On y trouve notamment la localisation géographique, la superficie, la longueur, l'orientation, l'altitude et la classification des glaciers. Ces données sont principalement issues de photographies aériennes et de cartes ; la majorité des glaciers ne dispose que de la donnée d'entrée de localisation géographique (http://nsidc.org/data/glacier_inventory).

Enfin, de la même manière que pour la surveillance du permafrost, l'organisme **GTN-G** (Global Terrestrial Network for Glaciers) s'est associé au **WGMS** pour la surveillance et l'inventaire des glaciers. Leur site dispose d'une carte interactive ressemblant fortement à l'une de celles présentées ci-avant. La surveillance est réalisée essentiellement par télédétection et par visites sur site ; cela se fait de manière très globale et ne permet pas de rendre compte des risques à l'échelle locale, même si cette surveillance est importante pour suivre l'évolution du changement climatique.

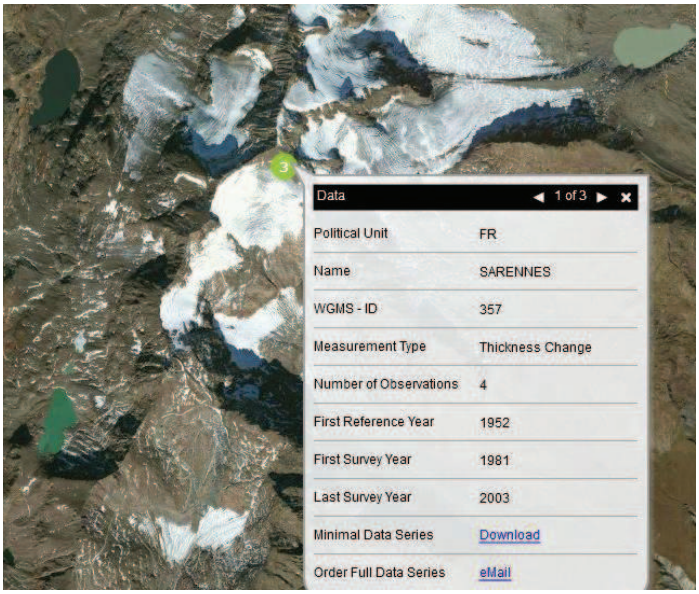

Figure 10 : Glacier de Sarennes : localisation et informations historiques (source : WGMS) (http://www.geo.uzh.ch/microsite/wgms/about.html)

En conclusion, l'évolution de l'état des glaciers de par le monde est suivie depuis longtemps (1894) et a connu des progrès constants. Les collectivités locales, surtout dans les Alpes, s'investissent dans ce travail pour des questions d'enjeux touristiques et environnementaux plutôt que pour l'évolution des risques naturels. Le partage d'informations semble bien en place avec de nombreux sites web décrivant l'évolution des glaciers (comme par exemple la fondation italienne Montagne Sûre, responsable du projet **GlariskAlp**). Les organismes internationaux ont développé et mis à disposition des outils pratiques. Nous avons souhaité détailler la gestion des données relative à l'évolution des glaciers. Ces outils peuvent être une source d'inspiration pour la gestion des bases de données relatives aux mouvements de terrains.

3.4 SURVEILLANCE DES CONDITIONS HYDROLOGIQUES ET HYDRO-METEOROLOGIQUES

Outre la hausse des températures, les experts projettent aussi une modification de la répartition spatio-temporelle des précipitations avec des contrastes plus ou moins marqués sur les régions et territoires ainsi qu'une fréquence accrue d'événements climatiques extrêmes.

Le projet européen Interreg IV B **AdaptAlp** se place en partie dans ce contexte puisque l'un des volets importants de ce projet vise à améliorer l'information sur l'impact potentiel du changement climatique en montagne par des méthodes innovantes. Par exemple, il comprend un volet relatif à la surveillance des cours d'eau, l'étude des tendances dans les rivières alpines et les risques liés.

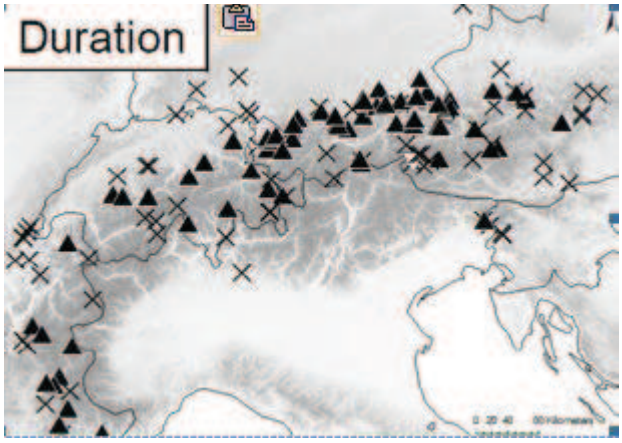

Figure 11 : 177 stations de surveillance (fonte des neiges, précipitations, surveillance de fonte de glacier). Durant les flux liés à la fonte des neiges, 49% des stations ont enregistré une forte augmentation des flux hydrologiques (représentées par des triangles) (Korck et al, 2011)

La Figure 11 montre les 177 stations utilisées pour les mesures de précipitations, de fonte des neiges et des glaciers à travers les Alpes, et qui ont contribué aux observations suivantes (Korck et al, 2011) durant le projet :

- le minimum annuel de précipitations augmente globalement (25% des sites surveillés présentent d'importantes augmentations) tandis que le déficit annuel d'eau et les périodes de sécheresse régressent (respectivement 25% et 26% des sites présentent d'importantes tendances à la baisse),
- la fonte des neiges au printemps démarre de plus en plus tôt dans l'année, s'étend sur une période plus longue et se termine généralement plus tard (pour 49% des stations de mesure).

Le projet Etat-Région **RHyTMME** (Risques Hydrométéorologiques en Territoires de Montagnes et MEditerranéens), porté notamment par Météo France et l'IRSTEA, prévoit quant à lui la mise en œuvre d'une plateforme de prévision des aléas naturels liés aux précipitations. Il repose sur l'installation de trois radars de nouvelle génération adaptés à la mesure des précipitations intenses, positionnés de sorte à couvrir au mieux le relief alpin et ainsi à fournir des éléments supplémentaires d'anticipation en cas de risque de crue éclair (1ères rencontres régionales de prévention des risques naturels majeurs : projet RHYTTME). La Figure 12 présente la position de ces radars ainsi que leur rayon d'action.

Parallèlement à l'installation de ces nouveaux radars, des équipes de l'IRSTEA et du CETE Méditerranée mènent, dans le cadre de ce projet, des investigations sur l'aléa « mouvements de terrain ». Ces équipes étudient, sur le territoire concerné, les facteurs influençant l'occurrence des aléas « chute de blocs » (Batista et al, 2013) et « glissements de terrain » (Batista et al, 2013). En particulier, elles se basent sur le recensement des événements et sur une analyse des phénomènes météorologiques précédant l'occurrence de ces événements pour proposer des paramètres à intégrer dans la plateforme de prévision des aléas naturels liés aux précipitations.

A ce stade, ces études ont permis de tirer des conclusions sur l'influence du pendage des terrains les événements de chutes de bloc dans les calcaires et marno-calcaires, sur l'influence de l'exposition des versants (les versants exposés au Sud sont les plus impactés), sur l'influence des failles (au-delà de 700 m, la présence de failles n'influe plus sur l'aléa) et des cours d'eau (limitée à 100 m de part et d'autres des rives) (Batista et al, 2013). Des analyses similaires sont en cours pour l'aléa correspondant au risque de glissement de terrain. (Batista et al, 2013)

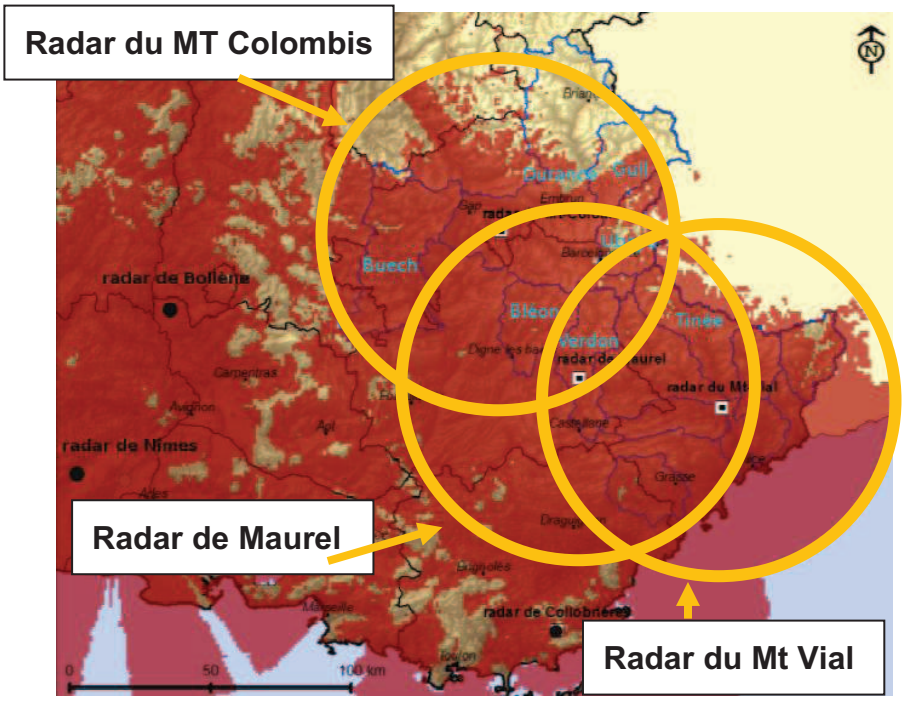

Figure 12 : Réseau de radar du projet RHYTMME et zone surveillée (1ères rencontres régionales de prévention des risques naturels majeurs)

3.5 ADAPTATION DES ECOSYSTEMES ET INFLUENCE SUR LES STABILITES DE PENTES

De nombreux programmes européens traitent de la problématique d'adaptation des écosystèmes, comme par exemple les projets **ENSEMBLE**, **EVOLTREE**, **CLIMATOR** et **MANFRED**, que nous ne développerons pas ici car ils ne sont pas liés à la problématique de mouvements de terrain.

En revanche, le projet ANR **SAMCO** vise à l'adaptation de la société aux risques en montagne dans un contexte de changement global. L'un des objectifs est de définir les impacts potentiels des changements globaux en tenant compte de

l'évolution des écosystèmes et de l'occupation des sols sur les aléas gravitaires. Ce projet prévoit également une analyse des conséquences en termes de vulnérabilité (changements de localisation ou de caractéristiques des zones à risques, niveau de perturbations). Les résultats seront intégrés dans une plateforme SIG servant de démonstrateur.

Les trois zones pilotes du projet sont caractérisées par une grande variété de situations en termes d'exposition, d'occupation du sol (déforestation, abandon de l'agriculture, développement touristique ou industriel) ou de risques. Ces situations ont évolué durant le dernier siècle.

3.6 PROJETS RELATIFS A LA CARTOGRAPHIE ET A LA RECONNAISSANCE DES ALEAS CHUTE DE BLOCS ET GLISSEMENT DE TERRAIN

Plusieurs projets récents ont porté sur les outils et méthodologies de cartographie du risque de « chute de blocs ». On peut citer notamment le projet de collaboration transnationale Italie-Autriche **MASSMOVE** (projet Interreg IV A) dont les objectifs étaient de proposer des règles pour la création de cartes d'aléas de glissement de terrain et de chutes de pierres, ainsi que des seuils normalisés pour la description des dangers en mettant à profit notamment des données collectées par de nouvelles technologies (balayage laser, analyses de photographies aériennes et télédétection) (Posch-Trözmüller et al, 2009). Ce projet a permis d'identifier les zones potentiellement dangereuses de la région étudiée (Moelltal en Autriche), puis la spécification de la susceptibilité de l'aléa « chute de blocs » à échelle locale. Enfin, le projet a permis d'identifier les sites pouvant être l'objet de futures investigations (Melzner et al, 2011).

Le projet **ChangingRISKS** se place dans le contexte des changements globaux (liés aux évolutions climatiques mais également à celles de l'occupation du sol) sur l'aléa « mouvement de terrain » et les risques associés. Il a été appliqué à l'échelle de deux territoires alpins et aborde la compréhension, la gestion, la modélisation et la communication aux décideurs à travers une approche cartographique orientée SIG. Ce projet, encore en cours à la date de rédaction du présent rapport, prévoit la mise au point de méthodes pratiques et quantitatives pour cartographier la susceptibilité, l'aléa, la vulnérabilité et le risque à travers le développement et la mise en place d'une plateforme cartographique SIG.

On peut également mentionner le projet Interreg Alcotra **MASSA** dont l'un des objectifs principaux était de comparer les méthodes d'évaluation expéditive de l'aléa gravitaire « chute de blocs et éboulements » mises en œuvre en France, en Suisse et en Italie. Le but était d'évaluer la possibilité d'harmoniser les pratiques au travers d'une méthode d'évaluation commune. Les deux autres actions concernaient l'instrumentation de sites pilotes et l'étude de la propagation des débris rocheux le long des versants (http://massa.geoazur.eu/home/fr_home.php). Après comparaison des méthodes d'évaluation de l'aléa gravitaire « chute de blocs », aucune pratique n'a semblé faire l'unanimité, chacune ayant des avantages et des défauts d'une importance similaire. Une recommandation sur la méthode à appliquer a été donnée en fonction du contexte environnemental. Ce projet a également conduit à développer des modèles de modélisation numériques pour l'étude de la propagation. La modélisation physique et la modélisation numérique (Lebourg et al, 2013).

En ce qui concerne l'aléa « glissement de terrain », **ARNICA** est un projet européen du FP7 qui traite de l'évaluation des risques liés aux laves torrentielles et aux glissements de terrain. Il traite notamment de leurs impacts sur les réseaux de transport dans un contexte de changement climatique dans les Alpes. Dans ce contexte, l'instabilité actuelle des versants alpins a été évaluée ainsi que son évolution suivant divers scénarios climatiques. Les sites d'études servant de base au projet sont répartis entre la France, la Suisse et l'Italie ; les rapports ne font pas mention d'une véritable surveillance au sein de ce projet mais plutôt d'études historiques sur les instabilités. La communication des résultats, qui doivent être rendus publics, n'est pas encore réalisée (http://www.lgp.cnrs-bellevue.fr/arnica/index.htm).

Enfin, on peut évoquer le montage en cours (dépôt visé en 2014) du projet national français **C2R2OP** (Changements Climatiques : Risques Rocheux et Ouvrages de Protection) financé par l'IREX (Institut pour la Recherche appliquée et l'EXpérimentation en génie civil). Ce projet vise à rassembler les acteurs (gestionnaires, scientifiques, etc.) pour proposer des indicateurs permettant de prévoir les phénomènes gravitaires rapides et estimer leur dangerosité, afin d'améliorer le parc, la gestion et la durée de vie des solutions de protection passive ou active, notamment des voies de communication (Hantz et al, 2013).

3.7 PROJETS MAJEURS A VISEE GLOBALE

De nombreux projets abordent la problématique de l'observation et de l'adaptation du changement climatique en zone montagneuse sous une approche plus globale.

SafeLand (projet du FP7) et **RiskNAT** (projet Interreg Alcotra) sont d'importants projets comportant de larges volets prenant en compte la plupart des problématiques abordées jusqu'ici.

Le projet **SafeLand** est en la matière un projet de référence car il aborde cette problématique dans sa quasi-globalité. Il s'agit par ailleurs d'un projet qui repose sur un réseau de partenaires reconnus dans le domaine et qui ont veillé à développer les échanges avec des acteurs internationaux, issus notamment de Chine, d'Inde, des USA, du Japon et de Hong-Kong. Il s'adresse à 26 organismes utilisateurs finaux répartis dans 10 pays européens ainsi qu'au Canada.

Le projet **SafeLand** s'est décliné en 5 modules dont les objectifs étaient les suivants :

- améliorer les connaissances dans les mécanismes, les processus et les seuils de déclenchement des mouvements de terrain, y compris par la prise en compte de facteurs anthropogéniques ;

- harmoniser les procédures d'évaluation des risques et dangers de glissement de terrain à échelle locale, régionale et européenne, afin d'identifier les « points chauds » d'Europe nécessitant une étude et/ou une surveillance particulière. Dans ce cadre, un inventaire et un examen des pratiques mises en œuvre dans chaque pays met en évidence de fortes disparités à l'échelle européenne comme le montre la Figure 13. Cet inventaire recense 636 000 glissements de terrains en Europe depuis plus d'un siècle, dont les deux tiers en Italie *;*

- utiliser une technologie de surveillance multi-échelle et multi-fréquence : systèmes d'alarmes préventives, technologies de télédétection et applications

comprenant l'évaluation des technologies existantes et les développements de nouvelles technologies applicables aux échelles locales et régionales ;

- évaluer l'impact des scénarios de changements climatiques et anthropogéniques sur les points chauds identifiés aux horizons 2010, 2050 et 2100 selon la stratégie schématisée en Figure 15 de manière à proposer une nouvelle carte des risques. Les études ont porté sur différents sites en Norvège, en Italie et en France (Barcelonnette – cf. Figure 16) ;

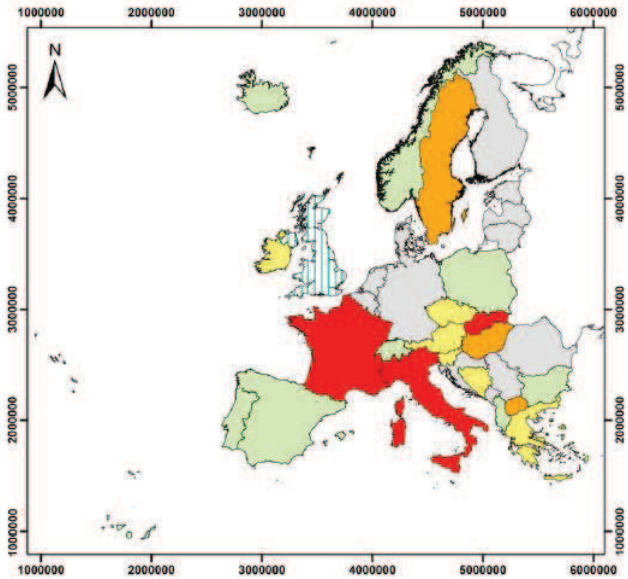

Figure 13 : Bases de données de glissement de terrain disponibles en Europe : en rouge les pays européens dont la base nationale est complète, en orange les pays dont la base est insuffisamment complète, en vert les pays dont la base de données est incomplète ; en gris, les pays qui ne disposent d'aucune base de données ou qui n'ont pas donné de réponse à l'enquête (Van Den Eeckaut et al, 2011).

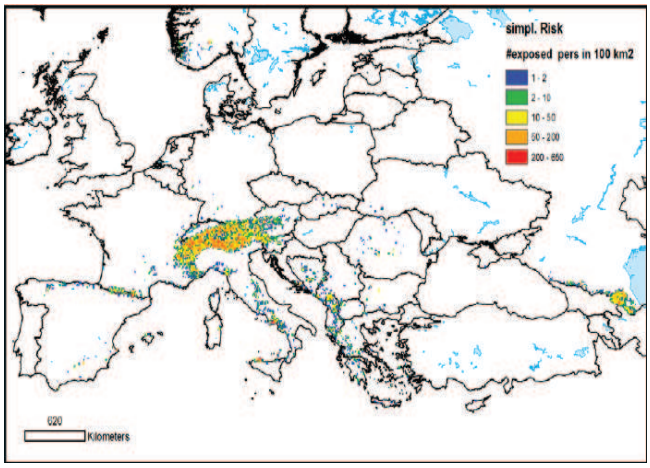

Figure 14 : Carte de risque simplifiée en Europe. Nombre de personnes potentiellement exposées aux chutes de bloc dans 100 km². L'Italie et la Suisse sont les pays présentant le plus de personnes potentiellement affectées par ce risque. La France apparait en troisième position selon cette étude avec environ 16500 personnes concernées (Jaedicke et al, 2011).

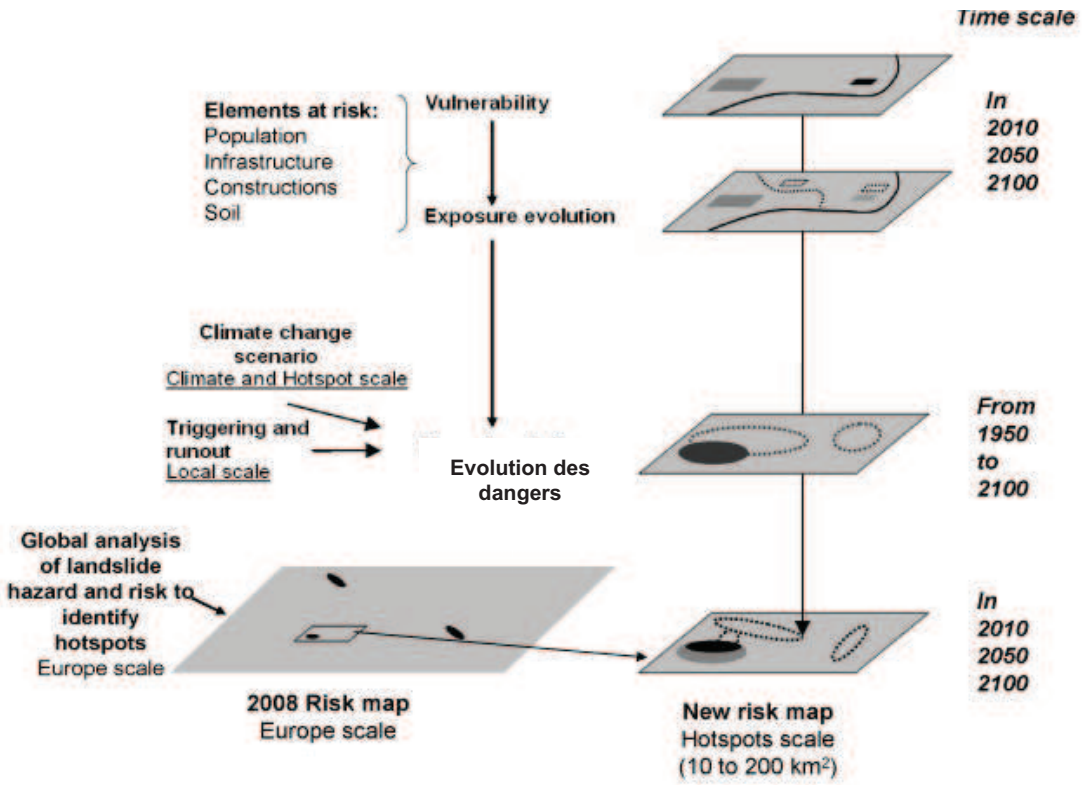

Figure 15 : Schématisation de la stratégie adoptée pour identifier des points chauds sur la base d'éléments à risque (population, infrastructure, constructions), de la vulnérabilité et des scénarios climatiques (http://www.safeland-fp7.eu).

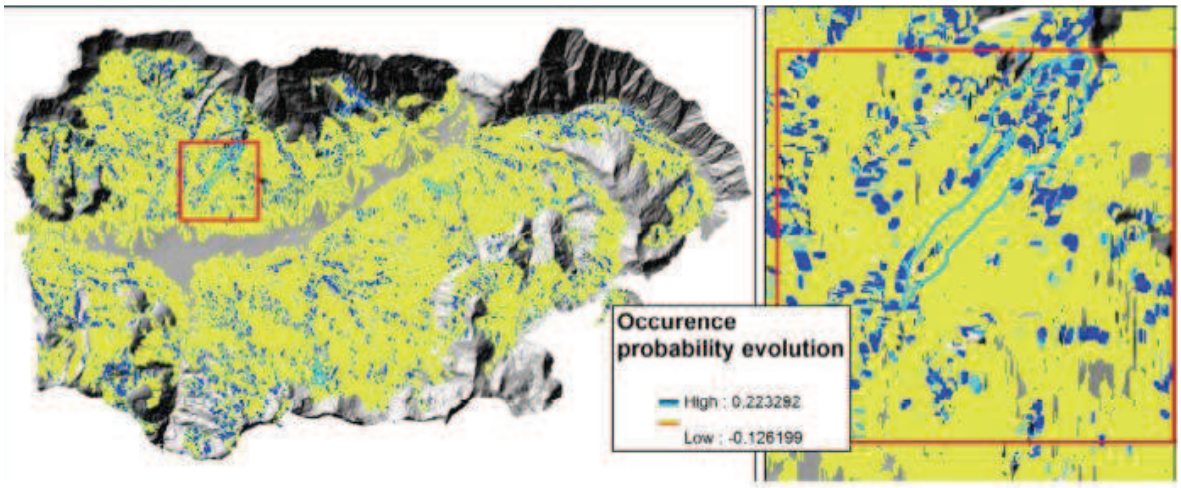

Figure 16 : Evolution de la probabilité d'occurrence de glissement de terrain entre les périodes 1983-2013 et 2020-2050, périodes modélisées avec le logiciel ALICE (BRGM) basé sur des données d'évolution climatique. On voit que le glissement de Barcelonnette présente des zones localisées (en bleu) dont l'aléa glissement de terrain connaitrait une forte augmentation (Vandromme et al, 2012).

- élaborer une boite à outils et des plans de mesures appropriées de réduction des dangers et des risques. Un processus est mis en place pour impliquer les parties prenantes par le développement d'un système de base web et une communication ciblée.

Le projet européen interreg IIIB **Monitor II** qui regroupe les pays d'Europe du Sud-est mériterait, par exemple, d'être associé à ce volet technique puisqu'il vise à harmoniser les systèmes d'alarme liés aux risques naturels et la communication avec les populations sur un grand territoire (Monitor II, WP 3.1, 2010), (Peisser et al, 2012).

Le projet SafeLand a une thématique proche du projet Interreg III B **ClimChAlp** terminé en mars 2008 (ClimChAlp, Common Strategic Paper, 2008), dont l'objectif principal a été de développer des stratégies transnationales dans l'espace alpin, et qui a notamment permis de sélectionner dans les Alpes européennes des zones à risques.

Dans le même registre que SafeLand, **RiskNAT** est un projet stratégique d'envergure destiné à approfondir les problématiques d'intérêt commun liées aux risques et à valoriser les possibilités de développement de secteurs économiques. Il fait partie du programme européen Interreg France-Italie ALCOTRA.

Ce projet prévoit notamment la création d'une plateforme interrégionale d'échange d'expériences liées aux risques, et la création de méthodes et d'outils opérationnels à destination de la gestion du territoire. Dans ce cadre, l'étude des « risques générés par l'évolution des milieux de haute montagne » et « risques gravitaires » (mouvements de terrain) a mobilisé 50% du budget total (RiskNat, Document Stratégique final, 2011). Le but final est de fournir aux collectivités locales et à tous les gestionnaires des risques naturels des outils de gestion des risques par la mise au point de systèmes de prévision et de mitigation à haut contenu technologique. Les produits de sortie fournis par le projet RiskNAT sont répertoriés sur le site web du projet.

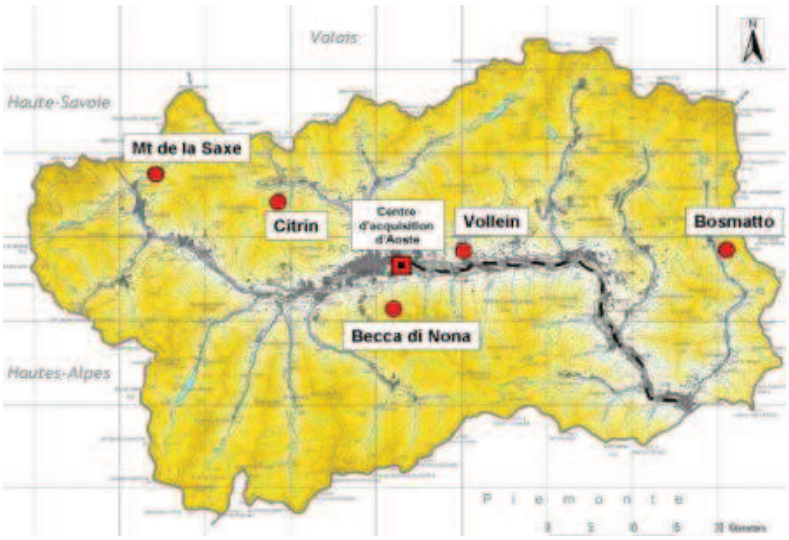

Figure 17 : Sites instrumentés pour la surveillance de mouvements de terrain en Italie dans le cadre du projet RiskNat (RiskYdroGéo, guide pratique).

RiskNAT comprend dans ce contexte des actions d'observations sur plusieurs sites (Figure 17, Tableau 2) intéressés par la dégradation du permafrost, à lier aux autres projets cités au paragraphe 3.2. Le projet **PERMAFROST** (interreg IV) qui vise à étudier une zone inscrite dans le permafrost au niveau du glacier Bonnard (état de Valais, Suisse) fini en 2011 a été financé par Risknat. A cette occasion, des mesures GPS sur 150 points avaient été effectuées chaque année entre 2006 et 2009. Des tests de laboratoire ont été parallèlement réalisés pour une meilleure

compréhension des mécanismes de déclenchement de l'instabilité créée par la dégradation du permafrost.

Organisme pilote	Site	Instrumentation
CETE Lyon	1 – **Sallèdes** (Massif central, France)	2 piézomètres ; 1 pluviomètre ; 1 débitmètre ; 1 centrale d'acquisition
RAVA	2 – **Becca di Nona** (Commune de Charvensod, Vallée d'Aoste)	7 repères GPS manuels + 3 automatiques ; 4 extensomètres ; 1 station météo ; 1 centrale d'acquisition
	3 – **Bosmatto** (Commune de Gressoney St.Jean, Vallée d'Aoste)	6 repères GPS manuels + 4 automatiques ; 4 extensomètres à fil ; 1 station météo ; 2 centrales d'acquisition
	4 – **Citrin** (Commune de St.Rhémy-en-Bosses, Vallée d'Aoste)	8 repères GPS manuels ; 3 extensomètres ; 1 station météo ; 1 centrale d'acquisition ; Interférométrie radar terrestre
	5 – **Vollein** (Commune de Quart, Vallée d'Aoste)	1 station totale + 15 prismes ; 8 repères GPS ; manuels ; 1 station météo ; 1 hydromètre ; 1 centrale d'acquisition ; Interférométrie radar satellitaire ; Laser Scan
	6 – **Mont de la Saxe** (Commune de Courmayeur, Vallée d'Aoste)	5 forages avec inclinomètres et piézomètres

Tableau 2 : Informations sur les sites instrumentés dans le cadre du projet RiskNAT

Tout comme SafeLand, le champ d'étude couvert par RiskNat permet de faire la liaison avec de nombreux projets. On renvoie au tableau 3 de la partie 3.8 qui permet de faire la synthèse de ces interactions.

3.8 SYNTHESE

Il est délicat de classer ces treize différents projets européens et nationaux par thématiques de travail car bien souvent le champ d'étude dépasse un simple critère. Le Tableau 3 présenté ci-dessous permet de comprendre de manière synthétique quel projet est lié à quelle thématique et nous renseigne quant à la classification choisie.

Environ 80% des projets listés ont servi à l'instrumentation de sites pilotes et ont été liés à la cartographie et à la reconnaissance d'aléas de risques naturels. La surveillance des conditions hydrologiques et la modélisation de scénarios climatiques concernent la moitié des projets.

L'influence des écosystèmes et des activités humaines sur les aléas « glissement de terrain » ou « chute de blocs » est relativement peu apparue dans cette étude. La plupart des projets traitant des évolutions des écosystèmes ne sont pas liés à cette étude de risque.

En revanche, l'observation de la dégradation du permafrost et la caractérisation des risques ont fait l'objet d'importants progrès ces dernières années. Les risques liés au retrait des glaciers sont également plutôt bien gérés. On constate également un intérêt croissant de la part des collectivités pour ce sujet. Le partage des données à l'échelle internationale semble également bien fonctionner.

Trois projets européens ne présentent pas de partenaires français car les sites d'études ne concernent pas le territoire français.

Pour plus d'information sur les mesures effectuées et l'accès aux données et métadonnées, nous renvoyons aux fiches projets de l'Annexe A. D'une manière générale, nous constatons que l'accès aux données et métadonnées est très rarement libre. Seul le site internet du projet AdaptAlp renvoie vers un site collectant les métadonnées qui ont alimenté l'étude.

S'agissant du partage des données directement par les partenaires des projets, les pratiques sont variables. L'observatoire OMIV (formé de plusieurs laboratoire universitaires (cf. section 4.) impliqué dans certains des projets cités donne accès à certaines données. Les données brutes ne sont cependant pas toutes accessibles, de même les informations spécifiques à leur acquisition (type de capteurs, résolution etc.) sont souvent également incomplètes ce qui peut limiter la prise en main par un organisme ou chercheur tiers.

S'agissant de la documentation, de nombreux rapports en anglais sont en libre accès pour les différents projets. Il existe également de nombreuses publications scientifiques et techniques.

Projet	Suivi du permafrost	Suivi des glaciers	Suivi des conditions hydrologiques	Scénarios climatiques	Acquisition de données Sites pilotes	Cartographie & caractérisation de l'aléa	Influence des écosystèmes et influences humaines	Partenaires français	Disponibilité et accès aux données et rapports[1]
PERMANET	X				X	X		Université Joseph Fourier	Oui, mais incomplet
GLARISK ALP		X	X		X	X		GIPSA-lab	Non
EURAS-CLIMPACT	X	X		X	X			-	Non
ADAPTALP			X		X			PARN	Oui (accès aux données via un site annexe)
RHYTMME			X		X	X		MétéoFrance IRSTEA, CETE	Non
SAMCO					X	X	X	BRGM, LIVE, IPGS	Non
MASS MOVE					X	X		-	Uniquement les rapports
CHANGING RISKS				X		X		CNRS, IPGS	Non
MASSA					X	X		Université Joseph Fourier	Uniquement les rapports
ARNICA				X		X		LGP, CNRS, Paris 1	Non
SAFELAND	X	X	X	X	X	X	X	BRGM	Uniquement les rapports
RISKNAT	X		X	X	X	X		Université Joseph Fourier	Uniquement les rapports
MONITOR II					X	X		-	Uniquement les rapports

Tableau 3 : Synthèse des champs d'études des projets européens présentés dans ce rapport.

[1] A la date du présent rapport

4. MOUVEMENTS DE TERRAINS : BASE DE DONNEES ET OBSERVATOIRES

4.1 BASE DE DONNEES DES EVENEMENTS DE MOUVEMENTS DE TERRAIN EN FRANCE

La construction d'une base de données complète regroupant les événements de mouvements de terrain est la condition *sine qua none* de toute recherche scientifique sur le sujet. Le projet **SafeLand**, comme détaillé section 3.7, a permis de réaliser un tour d'horizon des organismes européens et des pratiques sur ce sujet.

En France, c'est la base de données **BDMVT** (www.bdmvt.net) gérée et hébergée par le BRGM qui recense les mouvements de terrain. Selon les critères du projet Safeland, elle est l'une des plus complètes d'Europe. La liste des événements est recensée par commune ; chaque événement fait l'objet d'une fiche contenant notamment des informations sur :

- le type de mouvement ;
- la date et les coordonnées de l'événement ;
- le degré de fiabilité des informations (type et date de l'événement) ;
- l'organisme de saisie ;
- les dommages ou dégâts éventuels ;
- l'origine du mouvement (très souvent qualifiée comme inconnue).

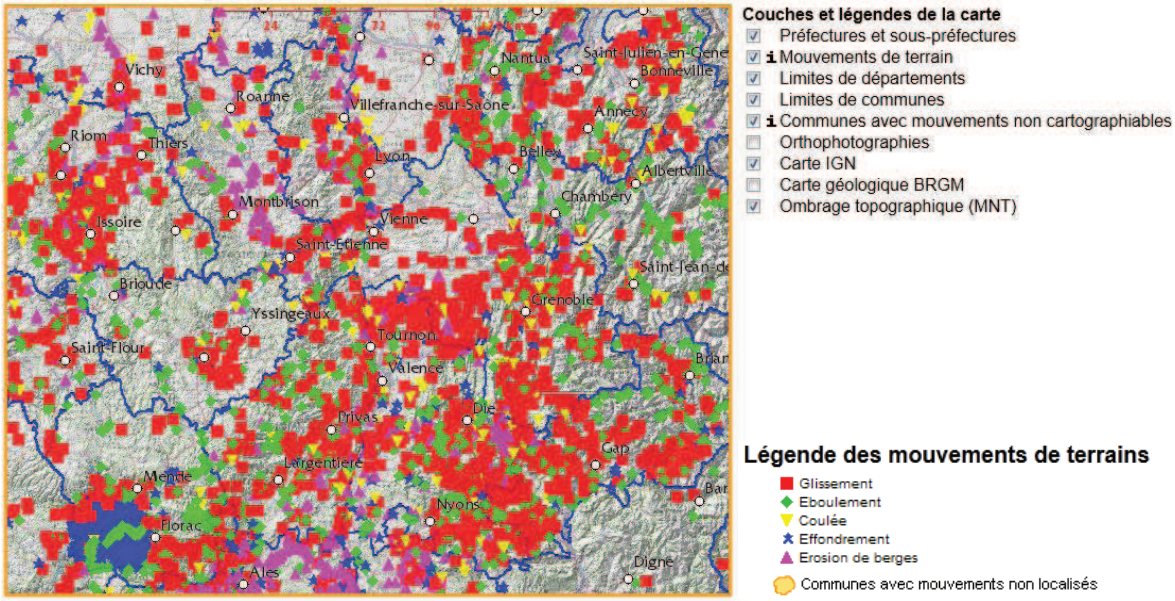

Figure 18 : Carte interactive présentant les mouvements de terrain en France (BDMVT, gérée par le BRGM)

La base de données est couplée à une carte interactive (Figure 18) où tous les départements français sont représentés. Une recherche par département permet d'accéder à une carte de localisation des événements et de zoomer sur des zones d'intérêt.

4.2 OBSERVATOIRE PYRENEENS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE (OPCC)

Mis en place en janvier 2010 par la Communauté de Travail des Pyrénées, l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique est soutenu par trois régions françaises, quatre communautés autonomes espagnoles et la communauté d'Andorre. Il bénéficie également d'un cofinancement européen via le Programme Opérationnel de Coopération Territoriale Espagne-France-Andorre (POCTEFA).

Cet observatoire engage des études et des réflexions afin d'identifier les actions nécessaires à l'échelle des Pyrénées pour en limiter les impacts et s'adapter à ses effets. Ces missions s'articulent autour de plusieurs actions phares. Elles visent en particulier à développer une base de données climatiques pour le massif des Pyrénées en intégrant les données météorologiques produites par les trois services nationaux (de France, d'Andorre et d'Espagne), y compris sur des périodes anciennes afin de disposer de longues séries climatiques.

S'agissant des risques naturels, l'OPCC ambitionne de proposer et de mettre en place des indicateurs pour mieux comprendre leur évolution dans les Pyrénées (risque torrentiel, d'avalanches, de glissements de terrains et de chutes de blocs), notamment du fait des modifications climatiques, d'analyser le rôle de la forêt sur ces aléas naturels et d'aborder concrètement la manière dont ces modifications vont impacter le rôle de protection joué par ces forêts de montagne.

4.3 OBSERVATOIRE RHONE-ALPES SUR LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE (ORECC)

En novembre 2013, l'Etat, la Région Rhône-Alpes et l'ADEME ont mis en place un observatoire pour mesurer les effets du changement climatique en Rhône-Alpes et faciliter les démarches d'adaptation des collectivités.

Les missions de l'ORECC s'articulent autour de plusieurs actions phares. L'observatoire est mis en place notamment dans le but de définir des indicateurs de suivi des effets du changement climatique et des mesures de l'évolution possible en Rhône-Alpes, d'apporter des données pour l'analyse de vulnérabilité des territoires et de déterminer les enjeux régionaux et infrarégionaux.

S'agissant des risques naturels, l'ORECC ambitionne de conduire une réévaluation des aléas naturels liés aux changements climatiques, de définir des mesures de prévention et de gestion des risques hydrologiques (sécheresse, disponibilité de la ressource en eau) et de définir des indicateurs d'alerte pour le territoire couvert.

4.4 OMIV : OBSERVATOIRE MULTIDISCIPLINAIRE DES INSTABILITES DE VERSANT

Cet observatoire est un rassemblement de laboratoires universitaires français (cf. Annexe B) qui réalisent des études scientifiques sur des mouvements de terrain représentatifs des mécanismes impliqués dans les Alpes françaises. OMIV étudie notamment la cinétique, la réponse sismique ainsi que les caractéristiques hydrogéochimiques de trois sites majeurs (Avignonet, Séchilienne et La Clapière) (http://omiv.osug.fr/). L'observatoire mène également des projets scientifiques de durée variable sur quelques glissements de terrains (la Salle en Beaumont, Monestier du Percy, Saint Guillaume, Chamousset).

Les sites majeurs sont instrumentés de la manière suivante :

- Avignonet (38) : il fait l'objet d'une surveillance sismologique depuis septembre 2006 et de mesures GPS depuis début 2008. Des mesures complémentaires sont réalisées régulièrement, par exemple des mesures de polarisation spontanée d'octobre 2008 à avril 2009 et une campagne d'acquisition Lidar en 2006 ;

- Séchilienne (38) : OMIV assure le suivi sismologique depuis 2007, complété en 2009 par un suivi hydrogéochimique. Ces mesures sont complémentaires à celles réalisées par le CETE de Lyon qui réalise depuis la fin des années 1980 des mesures de déplacement de surface par différentes techniques dans le cadre de la gestion opérationnelle du risque. Notons que l'INERIS opère en lien avec le CETE un réseau d'observations multi-paramètres en bordure Ouest de la zone active depuis 2009 ;

- La Clapière (06) : OMIV réalise sur ce site des mesures sismiques depuis 2010 et de déplacement depuis 2011.

Cet observatoire n'a pas de mission en lien avec le changement climatique. Les instruments sont déployés à d'autres fins, cependant certaines données acquises pourraient être mises en perspective avec des paramètres climatiques. Comme évoqué dans la section précédente, certaines données sont accessibles en ligne via le site web de l'OMIV.

4.5 RENAG : REseau NAtional GPS permanent

Il s'agit d'un réseau de laboratoires de recherche et d'organismes d'Etat (cf. Annexe B) qui met en œuvre et utilise les mesures GPS continues à des fins scientifiques. L'étude des mouvements de terrain (glissement de terrain et déstabilisation des versants) est l'une des quatre thématiques de travail du RENAG.

Ce réseau existe depuis 1997 et s'est depuis développé en particulier dans les Alpes françaises mais aussi dans toute l'Europe. La Figure 19 présente les sites surveillés par GPS par le RENAG. Un nombre important de sites se concentre dans les Alpes, les autres sites étant plus disséminés (4 sites sur la côte atlantique, 2 sites dans les Pyrénées, etc.). Le réseau a une dimension européenne avec des surveillances réalisées en Espagne, en Italie, en Suisse, en Allemagne et dans d'autres pays d'Europe (Site web du RENAG).

On notera que RENAG n'a été cité de manière visible par aucun des projets européens, recourant pourtant régulièrement à l'instrumentation par mesures GPS.

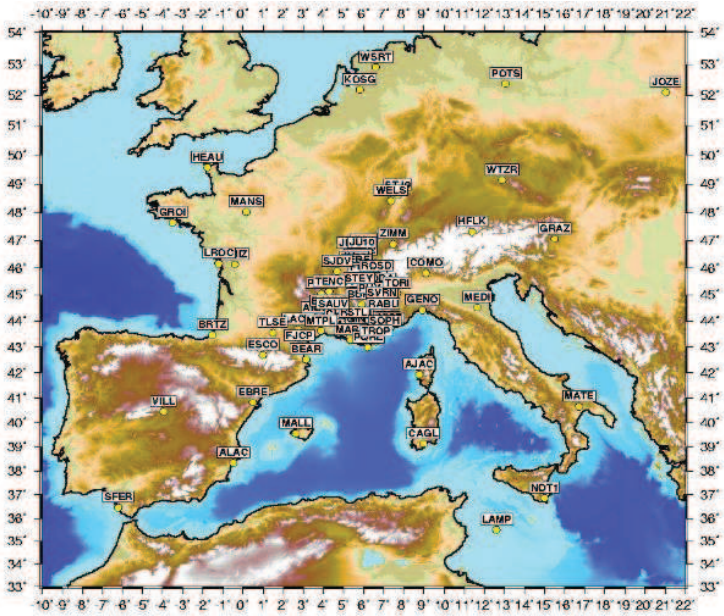

Figure 19 : Carte des données calculées et suivies par RENAG (Site du RENAG)

4.6 AUTRES ACTEURS EUROPEENS

Le **Crealp** (centre de recherche sur l'environnement alpin) est un organisme suisse (cf. Annexe B) qui réalise des études de dangers sur les sites de sa zone d'action : une étude des risques liée à la fonte du permafrost est notamment menée dans le cadre du projet européen RiskNAT. Ce centre de recherche développe et met en œuvre le système de télésurveillance GUARDAVAL pour la surveillance à distance de sites jugés à risque. Fin 2009, le réseau cantonal de télésurveillance comptait 33 stations de mesure (Rouiller et al, 2004 et Site du crealp).

Le laboratoire interdisciplinaire **EDYTEM** (Environnement, DYnamique et TErritoires de la Montagne), sous tutelle du CNRS, vise à constituer une communauté de recherche sur les problématiques médiales et territoriales de montagne. Son champ d'action inclut les vulnérabilités territoriales liées aux effets du changement global. Ce laboratoire dispose de trois plateformes technologiques qui sont mises à profit pour instrumenter des sites, acquérir, suivre et traiter des données environnementales en lien avec les objectifs de recherche. Ce laboratoire acquiert ainsi des données sur quelques sites dans les Alpes (par exemple pour suivre l'évolution du permafrost de paroi rocheuse sur l'Aiguille du midi depuis 2005 ; étudier le fonctionnement du système hydrothermal de Salins-les- Thermes) ((Site edytem de l'université de Savoie).

Par ailleurs, on observe une implication croissante des régions concernées par la problématique des risques naturels et de leur lien avec le changement climatique, notamment les régions Rhône-Alpes et Provence-Alpes-Côte d'Azur en France, la Vallée d'Aoste et le Piémont en Italie, le canton du Valais en Suisse. Le partenariat avec les universités locales semble bien en place. L'ARPA Piemonte (Agence Régionale pour la Protection de l'environnement dans le Piémont italien) assurerait ainsi la surveillance de 300 sites instrumentés de glissements de terrain et éboulement (RiskNat, Rapport d'avancement n°4, 2011).

La Figure 20 montre les acteurs principaux de la recherche dans les Alpes. Tous les projets référencés dans ce rapport disposent d'un partenariat avec au moins l'un de ces organismes

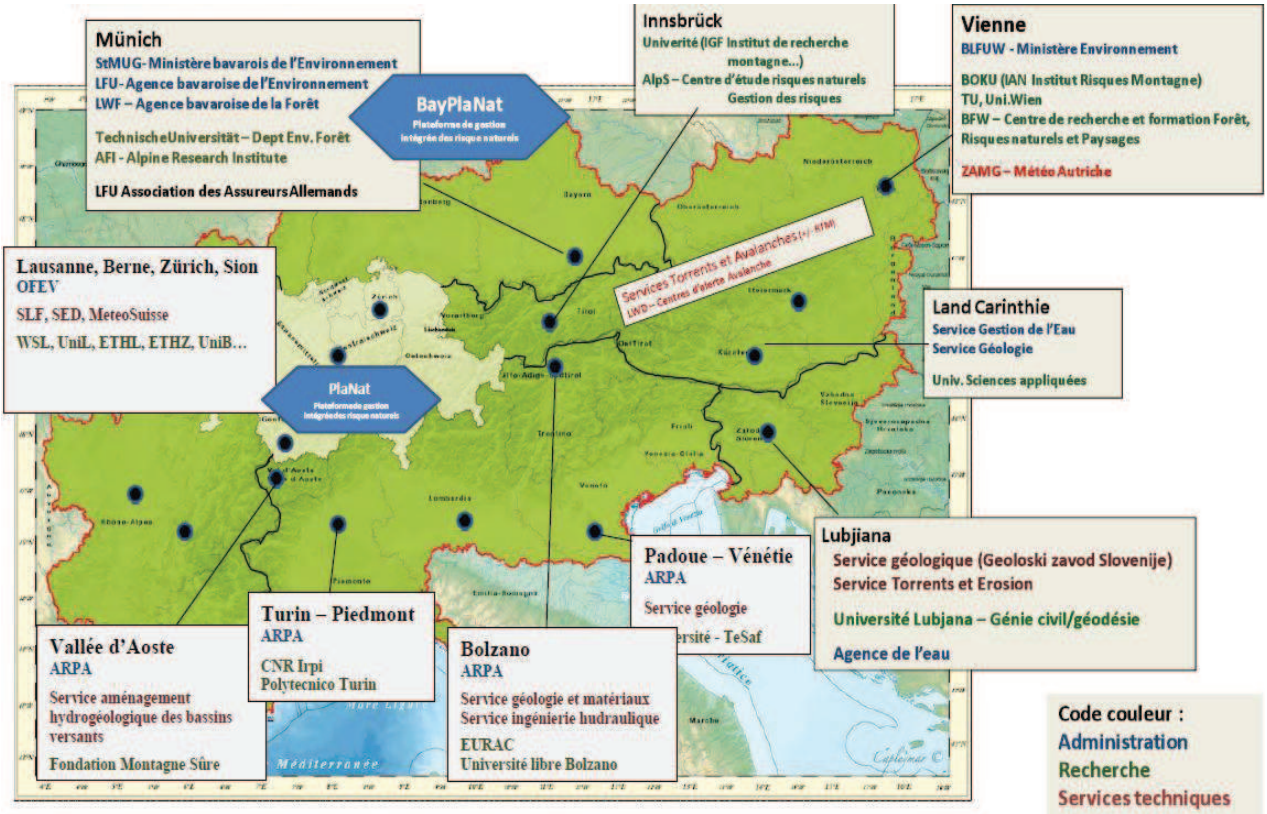

Figure 20 : Panorama des partenaires les plus fréquemment engagés dans des projets européens sur les risques naturels en montagne dans l'espace alpin pour la programmation 2007-2013 (Peisser et al, 2012).

5. CONCLUSIONS

Nous avons recensé treize projets de recherche récents (engagés entre 2006 et 2013) sur la thématique de l'influence du changement climatique sur les mouvements de terrain en milieu montagneux.

Le budget total consacré à ces projets est de l'ordre de 50 millions d'euros ; les fonds proviennent principalement des budgets européens, des ministères de l'Écologie des différents pays, des Régions ou communes et des universités ou instituts de recherche scientifique.

Il s'agit pour la plupart de projets européens qui couvrent les enjeux principaux, à savoir l'évaluation et le suivi du changement climatique en milieu montagneux, mais aussi l'adaptation et la gestion face aux risques induits par ces évolutions. L'implication et la communication avec les collectivités locales se développent en France et en Europe et semblent bien fonctionner, notamment avec des régions et départements qui s'investissent concrètement dans les projets. L'exemple le plus récent en la matière est la constitution en novembre 2013 de l'Observatoire Rhône-Alpes sur les Effets du Changement Climatique (ORECC).

L'observation et la collecte de données sont présentes dans la majorité des projets (onze sur treize). Des nouvelles technologies comme les méthodes de télédétection, les mesures GPS ou l'interférométrie laser sont de plus en plus utilisées pour les actions de surveillance et les diagnostics d'évolution.

Les conditions hydrologiques en milieu montagneux sont bien étudiées. De même des progrès importants ont été réalisés ces dernières années dans le suivi de l'évolution du permafrost et du retrait des glaciers, notamment en France où les stations de mesure étaient rares il y encore une dizaine d'années. Cependant, l'évolution du permafrost et le retrait des glaciers ne touchent qu'une faible part du territoire montagneux (les glaciers ne couvrant que 275 km² en France).

On relève par ailleurs de fortes disparités selon les territoires. Les Alpes sont au centre de la majorité des projets alors que peu d'études sont réalisées dans les autres massifs français (Jura, Massif Central, Vosges, Pyrénées) où l'on recense pourtant une vraie problématique liée aux mouvements de terrain (Tableau 4, Figure 21*).*

Massif	Nombre de mouvements de terrain	Rapport glissement de terrain sur superficie (nb de glissement / 100 km²)
Alpes Françaises	6405	12,6
Massif central	5842	8,7
Pyrénées Françaises	2803	8,4
Jura	1154	7,2
Vosges	421	7,2

Tableau 4 : Nombre de glissements de terrains enregistrés rapportés à la superficie d'occurrence dans les territoires montagneux français (source : BDMVT)

Il est en revanche impossible, à l'heure actuelle, de faire le lien entre la répartition spatio-temporelle de ces événements et les sollicitations climatiques. En effet, les événements sont recensés indépendamment de tout recoupement avec des données météorologiques, comme par exemple la température moyenne de l'air le jour de l'événement ou la pluviométrie.

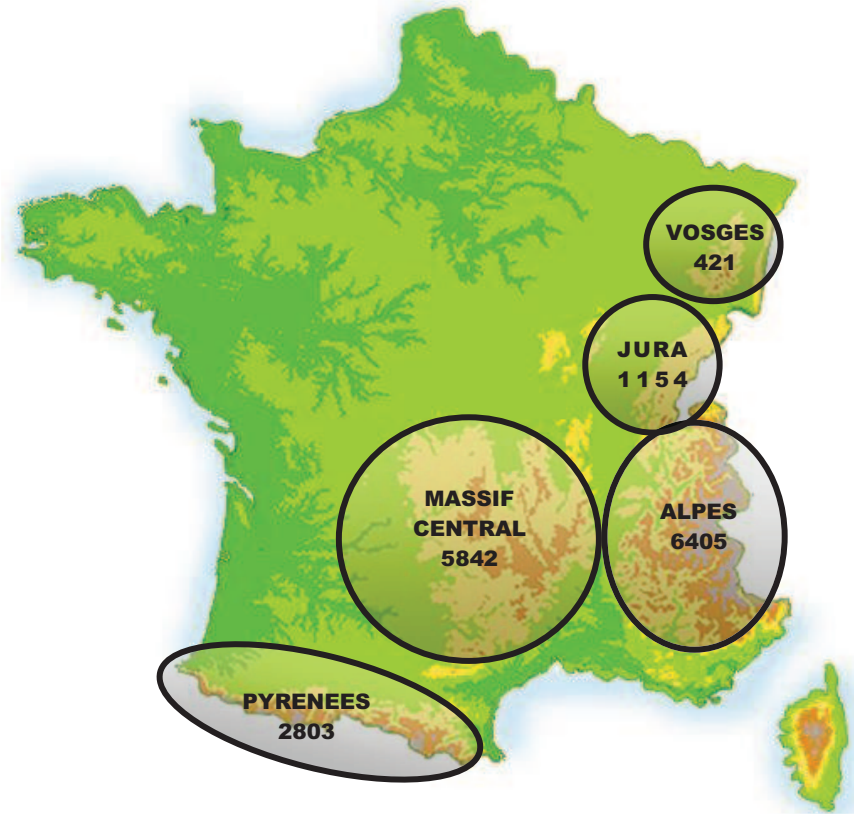

Figure 21 : Nombre de mouvements de terrain en milieu montagneux répertoriés sur le territoire français métropolitain dans la BDMVT (Octobre 2013).

Par ailleurs, l'accès aux données et métadonnées constituées dans le cadre des projets est très peu développé (pas de distribution libre des données). Certaines bases de données sont certes mises en ligne, mais leur exploitation par des tiers pour des besoins nouveaux semble difficile. Les questions relatives à l'interopérabilité des systèmes, aux pratiques d'acquisition des données ou de gestion standardisée des formats de données et métadonnées ne sont pas encore résolues. Enfin, les chroniques ne sont souvent disponibles que sur la durée de vie des projets, c'est-à-dire au mieux quelques années ce qui est largement insuffisant à l'échelle de temps du changement climatique.

Ce constat amène à conclure sur la nécessité du développement et de la mise en œuvre d'une stratégie d'observations cohérente et concertée et qui doit s'inspirer des bonnes pratiques et des stratégies internationales. De même, la coopération des acteurs à l'échelle nationale doit être soutenue et systématiquement encouragée pour donner lieu, à terme, à la création d'un observatoire national.

Enfin, l'idée de développer une infrastructure de recherche publique capable de centraliser, gérer et distribuer l'ensemble des données pertinentes à l'observation et à l'étude de l'effet du changement du climatique mérite d'être examinée. En

effet, sa mise en œuvre permettrait de valoriser des données à long terme et de faire évoluer les études scientifiques liées au changement climatique sur une base toujours plus riche. En ce qui concerne la thématique des risques naturels, ce développement devrait s'accompagner en particulier d'une évolution des outils et méthodes de recensement des mouvements de terrain. Le but serait de compléter les bases de données afin qu'elles ne reposent plus sur le seul « porté à connaissance » (les technologies satellitaires présentent en un sens un intérêt évident) et qu'elles intègrent systématiquement les données climatiques associées pertinentes.

6. BIBLIOGRAPHIE

Baron I., Supper R., Ottowitz D. et al (2012) – Report on evaluation of mass movement indicators; *Safeland, deliverable D4.6.*

Batista D., Azémard P., Rougé A. C., Dumalin M., Rault C. (2013) – Prévision de l'aléa chute de blocs, analyse statistique des facteurs de prédisposition et des critères de déclenchement sur la région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Batista D., Azémard P., Rougé A. C., Dumalin M., Rault C. (2013) – Prévision de l'aléa glissement de terrain et analyse statistique des facteurs de prédisposition par l'outil SIG, sur la région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Bax G., Häusler H., Leber D., Kopecny A. et al (2012) – Euras-climpact : impact of climate change and related glacier Hazards & Mitigation strategies in the European Alps, Swedish Lapland & Tien Shan mountains (Central Asia) ; *Mid-term meeting, Innsbruck, 29 march 2012*

Beniston M, Douglas GF (1996) Impacts of climate change on mountain regions. In: Watson RT, Zinyowera MC, Moss RH, Dokken DJ (eds) Climate change 1995. impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analysis. *Cambridge University Press,* p. 191–213

Bolon P., Chiarle M. et al (2010) – GlaRiskAlp, a French-Italian project on glacial hazards in the western Alps in relation with the glacier retreat ; *14th AGM* : p.9-10

Borgatti L., Soldati M. (2009) – Landslide as a geomorphological proxy for climate change: a record from the Dolomites (northern Italy) ; *Geomorphology 120:* p. 56-64

Bosson J.B. et al (2013) - GlaRiskAlp : Risques glaciaires dans les Alpes Occidentales : Document final du projet ; Results of geoelectrical tomography in Les Rognes sector (Mont-Blanc, France). *8th IAG Conference*

Bottino G., Chiarle M, Joly A, Mortara G. (2002) – modelling rock avalanches and their relation to permafrost degradation in glacial environments ; *Permafrost Periglacial Process* 13 : p. 283–288

Cherkaoui A. (2013) – Impacts du changement climatique sur les versants instables ; *INERIS DRS-13-135683-09371A*

Crosta G. B., Chen H., Lee C. F. (2003) – Replay of the 1987 Val Pola Landslide, Italian alps; *Geomorphology 60* : p.127–146

Gruber S., Haeberli W. (2007) - Permafrost in steep bedrock slopes and its temperature-related destabilization following climate change. *Journal of Geophysical Research*, vol 112.

Hantz D., Jongmans D., Baillet L. (2013) – Projet C2R2OP Changement Climatique : Risque Rocheux et Ouvrages de Protection ; Propositions pour le développement d'une méthodologie d'évaluation quantitative de l'aléa rocheux.

Hilker N, Badoux A, Hegg C. (2009) - The Swiss flood and landslide damage database 1972–2007; *Natural Hazards and Earth System Sciences 9*: p. 913–925

Huggel C., Clague J. J., Korup O. (2011) – Is climate change responsible for landslide activity in high mountains; *Earth Surface Process Landforms* 37:p. 77–91

Jacob D. et al (2013) – EURO-CODEX: New high-resolution climate change projections for European impact research; *Springerlink.com*

Jaedicke C., Sverdrup-Thygeson K., Smebye H. (2011) – Identification of landslide hazard and risk “hotspots” in Europe ; *Safeland, deliverable 2.10*

Korck J., Mayer B., Rudolf-Miklau F., Greminger P. (2011) – Climate adaptation and natural hazard management in the alpine space : Final Report.

Lebourg T., Pierini M. et al (2013) – Rapport global du projet MASSA

Mair V., Zischg A., Lang K et al (2012) ; Rapport de synthèse PermaNET : Réseau d’observation sur le long terme, p.4

Matthews J.A., Brunsden, D., Frenzel, B., Gläser, (1997) - Rapid Mass Movement as a Source of Climatic Evidence for Holocene; *Paläoklimaforschung — Palaeoclimate Research, vol. 19*

Melzner S., Dorren L., Kociu A., Baek R. (2011) – The interreg IV project MassMove – Rockfall susceptibility assessment in the Upper Moelltal (Carinthia, Austria) ; *www.geologie.ac.at*

Peisser C., Zanolini F. (2012) – Programmes Européens : les dynamiques européennes alpines scientifiques et techniques dans le domaine des risques naturels en montagne.

Phillips J. D. (2003) - Sources of nonlinearity and complexity in geomorphic systems; *Progress in Physical Geography 27*: p. 1–23.

Posch-Trözmüller G., Bäk R., Dini M., Goldschmidt F., Kranitz F., Lotter M., Mariani R. (2009) – Minimal standards for compilation of danger map like landslides and rock fall as a toll for a disaster prevention ; *First scientific report*.

Prudent G., Jongmans D., Vengeon J-M, Einhorn B. (2008) – Impacts observés et potentiels du changement climatique sur les aléas naturels, p.3-7

Rapport de synthèse du GIEC, 2007

Ramelli G., Scapozza S., Mari S., Lambiel C. (2009) – Structure interne et dynamique des glaciers rocheux du massif de la Cima di Gana Bianca, Val Blenio (Tessin)

Ravane.L.,Deline P. (2008) – géomorphologie paraglaciaire : renouveau conceptuel et méthodologique, p.261-272 ; Haeberli W., Beniston M. (1998) – Climate change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps. *Ambio* 27, p. 258-265.

Rouiller J.-D., Ornstein P., Délèze J.-Y. (2004) – Guardaval : la télésurveillance appliquée à la gestion des risques naturels en milieu alpin.

Schoeneich P. (2008) – permafrost, distribution et monitoring

Schoeneich P., Bodin X. et al (2010) – Permafrost in France, Report N°1

Smith S., Burgess M. (2003) – The Global Terrestrial Network for Permafrost (GTN-P): Status Report – Thermal monitoring component

Trauth M.H., Bookhagen B., Marwan N., Strecker M. R. (2003) – multiple landslide clusters record quaterny climate changes in the northwestern Argentine Andes ; *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 194 :* p.109-121

Van Den Eeckhaut M., Hervas J. (2011) – Overview of European landslide database and recommendations for interoperability nad harmonization of landslide databases ; *Safeland, deliverable 2.3.*

Vandromme R., Hohmann A., Desramaut N. (2012) – Changing pattern in climate-driven hazard at selected sites in Europe (focus on Southern Italy, the Alps and Southern Norway) in the next 50 years ; *Safeland, deliverable 3.8*

Sites internet :

(2011) WGMS : Base de données des réseaux de surveillance des glaciers dans le monde http://www.geo.uzh.ch/microsite/wgms/about.html et http://www.wgms.ch/metadatabrowser.html

(2013) National Snow and Ice Data Center (2013) : *Advancing knowledge of Earth's frozen regions* – http://nsidc.org/data/glacier_inventory/

(2013) GTN-G : http://www.gtn-g.org/index.html - Carte interactive : http://www.gtn-g.org/data_exploration_with_glims_iframe.html

(2012) – projet RHYTTME : http://rhytmme.cemagref.fr/contenu-du-projet)

(2013) – projet MASSA : http://massa.geoazur.eu/home/fr_home.php

(2013) – projet ARNICA : http://www.lgp.cnrs-bellevue.fr/arnica/index.htm

(2012) – projet SafeLand : http://www.safeland-fp7.eu

(2010) – projet Monitor II : WP3.1 Metadatabase on information sources with availability, accessibility and quality information attached - http://www.monitor2.org/downloads/MONITORII_WP3.1_Metadatabase%20on%20information%20sources.pdf

(2013) – OMIV : http://omiv.osug.fr/

(2013) – RENAG : http://webrenag.unice.fr/maps.php?ID=7

(2013) – CREALP : http://www.crealp.ch/fr/accueil/thematiques/dangers-naturels.html

(2013) – EDYTEM : http://edytem.univ-savoie.fr/plateformes-technologiques/Presentation,167/

Documentation des projets (sans auteur reference) :

Projet Interreg ALCOTRA RiskNat (2011) : Document stratégique final

ClimChALp (2008) : Changement climatique, impacts et stratégies d'adaptation dans l'espace alpin – Common Strategic Paper

RiskYdroGéo – « risques hydrologiques en montagne : parade et surveillance » ; Guide pratique : Investigations, Instrumentation et parades en matière de risques hydrogéologiques : état de connaissance dans l'Arc alpin

2011 – Objectif Coopération territoriale européenne France-Italie (Alpes)

2007-2013 - Projet stratégique 1 RiskNat, Gestion en sécurité des territoires de montagne transfrontaliers : Rapport d'avancement n°4 janvier 2011-juin 2011.

7. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe A	Fiches descriptives des projets européens relatifs au changement climatique en milieu montagneux	**14 A4**
Annexe B	Eléments d'informations complémentaires sur les acteurs et organismes	**5 A4**

ANNEXE A

Fiches descriptives des projets européens relatifs au changement climatique en milieu montagneux

PermaNET	Date de validité	Cadre	Budget (en €)
	07/2008-09/2011	Interreg IVB	3 500 000
Coordinateur	Service géologique de la province autonome de Bolzano (Italie)		
Partenaires	13 partenaires et 23 observateurs dans les Alpes. Partenaires français : Université Joseph Fourier, laboratoire EDYTEM (CNRS), GIPSA-lab (Institut de Technologie de Grenoble)		
Site Web	http://www.permanet-alpinespace.eu/		
Objectifs	Compiler toutes les données et toutes les observations sur la répartition du permafrost et son évolution dans un climat changeant. Créer une base de connaissances commune.		
Surveillance	Le projet a permis l'établissement de 50 stations de suivi de permafrost à travers les Alpes dans 5 pays. En annexe B, la localisation et la description de ces stations de suivi est disponible. Les mesures produites ont pour objectif de mieux connaitre la variabilité spatiale et temporelle du permafrost, ainsi que son déplacement. Elles sont menées aussi bien en surface qu'en profondeur. Elles comprennent notamment : - des mesures de températures à différentes profondeur, - des mesures GPS, - des profils georadar,		
Disponibilité / accessibilité des mesures	Les mesures produites par les différents pays sont centralisées par l'Université de Zurich et rendues accessibles à la communauté scientifique. L'inventaire contient les données : températures de forages, température du sol en surface, mouvements de terrains, prospections géophysiques, glaciers rocheux et autres. Le lien suivant permet de visualiser la répartition du permafrost dans les Alpes sous Google Earth : www.geo.uzh.ch/microsite/cryodata/AlpinePermafrostMap.kmz		

GlariskAlp	Date de validité	Nature du projet	Budget (en €)
	01/2010-01/2013	ALCOTRA	1 500 000
Coordinateur	Fondazione Montagna Sicura (Italie)		
Partenaires	7 organismes venant de : Italie (ARPA, CNR de Turin), France (CNRS (EDYTEM), Université de Savoie)		
Site web	http://www.glariskalp.eu/		
Objectifs	Réponses pratiques et théoriques aux risques causés par la réduction du volume et de la surface des glaciers dans les Alpes occidentales : mise à jour des évolutions sur des sites cibles, reconnaissance de l'aléa lié au retrait glaciaire.		
Surveillance	Le projet a permis l'établissement d'appareils de surveillance sur 8 sites répartis dans les Alpes françaises et italiennes. Les mesures produites ont pour objectif de mieux connaitre l'évolution des principaux glaciers du massif du Mont Blanc et d'évaluer l'aléa lié au retrait glacière dans ces zones stratégiques. Elles comprennent notamment : - des mesures GPS permanentes - des études d'images satellites depuis 1995 - des images radars (LiDAR) - des mesures de températures (en forage ou de surface) - des levés photogrammétriques et des analyses de terrain - des mesures géophysiques (microsismiques, résonnance magnétique, sonar, pression, piézomètres)		
Disponibilité / accessibilité des mesures	Les données sont centralisées par la fondation Montagne Sure. Le site est écrit en italien et partiellement en français. Les résultats sont indiqués sur le site mais la page correspondante est vide.		

Euras-Climpact	**Date de validité**	**Nature du projet**	**Budget (en €)**
	2010-2012	FP7	
Coordinateur	Université de Vienne (H. Häusler) (Autriche)		
Partenaires	8 organisations partenaires provenant de : Suède, Autriche, Kirghizstan, Ouzbékistan, République Chèque		
Site web	http://www.bth.se/dsn/eurasclimpact.nsf/pages/home		
Objectifs	Analyses météorologiques et climatologiques de 4 glaciers européens et deux glaciers d'Asie Centrale en réduisant l'échelle d'étude afin de réduire les risques en milieu montagneux et prévoir l'évolution des risques dans un futur proche.		
Surveillance	Le projet a permis l'établissement du suivi et du partage de données de 4 glaciers répartis dans 3 pays. Les mesures produites ont pour objectif de mieux connaitre l'évolution des glaciers et des risques associés. Elles comprennent notamment : - des suivis par photographie aérienne, - des mesures par télédétection - des tomographies de résistivités électriques. Des bilan de masses de glace ont été calculés et réactualisés sur les sites étudiés.		
Disponibilité / accessibilité des mesures	Les mesures produites par les différents pays sont centralisées par l'Université de Vienne. Le site référant au projet est présenté en allemand. Les résultats sont présentés sous forme de publications et de présentations mises à la disponibilité du publique mais aucune donnée brute n'est accessible de manière visible.		

AdaptAlp	Date de validité	Nature du projet	Budget (en €)
	07/2008-07/2011	Interreg IVB	3 000 000
Coordinateur	Ministère bavarois de l'environnement (Allemagne)		
Partenaires	16 organisations partenaires provenant de : Allemagne, Autriche, Italie, France (PARN, Université Joseph Fourier (PGRN), Cemagref), Slovénie, Suisse.		
Site web	http://www.adaptalp.org/		
Objectifs	Améliorer l'information sur l'impact potentiel du changement climatique (approches modernes) sur les conditions hydraulogiques; évaluer et harmoniser différentes méthodes d'évaluation du risque, de cartographie de l'aléa et de gestion du risque dans un contexte alpin ;		
Surveillance	177 stations de surveillances disséminées dans l'arc alpin (indépendantes du projet) ont accepté de fournir les données nécessaires à l'étude. Elles ont permis notamment de mesurer les niveaux des rivières de montagnes sur de longues périodes.		
Disponibilité / accessibilité des mesures	Les mesures évoquées sont disponibles sur le site du GRDC, le référent mondial des débits de rivières et des métadonnées associées http://www.bafg.de/GRDC. Les résultats du projet sont disponibles sous forme de rapport des différents WP et d'un rapport final sur le site indiqué.		

RHYTMME	Date de validité	Nature du projet	Budget (en €)
	2007-2013	Projet Etat-Région	10 400 000
Coordinateurs	Météo France (3 224 k€) et IRSTEA (1 768 k€)		
Partenaires	CETE Méditerranée, RTM, conseils généraux, syndicats de rivière et industriels, Région PACA (1 976 k€), MEDDE (1 456 k€) et FEDER (1 976 k€)		
Site web	http://rhytmme.cemagref.fr/		
Objectifs	Tester un nouveau radar fournissant des mesures de précipitations plus précises en territoire montagneux, améliorer sur cette base la compréhension de la dynamique des phénomènes dangereux.		
Surveillance	Le projet a permis l'établissement de 3 radars dans les Alpes françaises du sud. Les mesures produites ont pour objectif de mieux connaitre les données météorologiques à échelle locale afin de prévenir les catastrophes de types mouvement de terrain. Ces radars fonctionnent bien mieux en territoire montagneux que les radars plus classiques. Elles comprennent notamment : - des mesures de pluviométrie - des mesures de vitesse et de direction des vents.		
Disponibilité / accessibilité des mesures	MétéoFrance développe et déploie les appareils de mesure ; il conçoit également la plateforme qui centralise les données et met à disposition les services. Cette plate-forme n'est pas disponible sur le site. A ce jour, les données et produits de sortie ne sont pas disponibles.		

SAMCO	Date de validité	Nature du projet	Budget (en €)
	12/2012-12/2015	ANR	2 500 000
Coordinateur	BRGM		
Partenaires	IRSTEA, LIVE (Laboratoire Image, Ville, Environnement), GEODE (laboratoire Géographie de l'Environnement), PRODIG (Pole de Recherche pour l'Organisation et la Diffusion de l'Information Géographique), IPGS (Institut de Physique du Globe de Strasbourg), société Géo-Hyd.		
Site web	www.anr-samco.com/node		
Objectifs	Evaluer les impacts potentiels des changements environnementaux mondiaux sur les risques naturels et analyser les conséquences en ternes de vulnérabilité. Propositions de stratégies visant à améliorer la résilience des sociétés.		
Surveillance	Ce projet se base sur des bases de données déjà existantes et limite au minimum l'acquisition des données. des données topographiques, géomorphologiques, géologiques, climatiques et hydrologiques, la plupart de ces informations étant déjà disponibles sous format numérique		
Disponibilités / accessibilité des mesures	A ce jour, les données et produits de sortie ne sont pas disponibles.		

MASSMOVE	Date de validité	Nature du projet	Budget (en €)
	2009-2011	Interreg IVA	Non disponible
Coordinateur	Service de protection de l'environnement, de l'eau et de la nature du gouvernement de Carinthie (Italie)		
Partenaires	Service de gestion du territoire rural de Friuli Venezia Giulia (Italie), région de Veneto (Italie)		
Site web	Le site http://www.massmove.at/ n'est plus disponible		
Objectifs	Evaluation des risques dans des régions sensibles d'Autriche et d'Italie, développement et harmonisation de seuils d'évaluation.		
Surveillance	Le projet s'est basé sur des données tirées d'archives sur des événements passés, sur des données de travaux de terrains, de télédétection et de simulation numérique de glissements de terrains ou de chute de bloc.		
Disponibilité / accessibilité des mesures	La destruction du site gêne la recherche de données. Des rapports sont disponible sur le site www.geologie.ac.at et www.ktn.gv.at mais ils ne présentent que des résultats et les métadonnées semblent inaccessibles.		

Changing RISKS	**Date de validité**	**Nature du projet**	**Budget (en €)**
	2011-2013	FP7	Non disponible
Coordinateurs	CNRS (France), Institut de physique du Globe de Strasbourg		
	2 organismes partenaires provenant de : Espagne (Consejo Superioirde Investigaciones Cientificas, Autriche (Université de Vienne)		
Site web	http://eost.u-strasbg.fr/omiv/ChangingRisks_WP.html		
Objectifs	Développer une méthode pour évaluer quantitativement l'aléa, la vulnérabilité, les enjeux et les risques associés aux mouvements de terrain à travers le développement et la mise en place d'une plateforme cartographique SIG.		
Surveillance	Le Bassin de Barcelonnette (Alpes de Haute Provence) instrumenté par OMIV présente la majeure partie des résultats de surveillance des partenaires français District de Waidhoffen/Ybbs en Autriche a partagé ses archives et participé à la mise au point de scénarios climatiques.		
Disponibilité / Accessibilité des données	Les résultats du projet ne sont pour l'instant pas publiés sur le site		

MASSA	Date de validité	Nature du projet	Budget (en €)
	01/2010-01/2013	ALCOTRA	2 000 000
Coordinateurs	ARPA piemonte (action 1), ISterre et 3SR de l'université Joseph Fourier (action 2), Laboratoire de mécanique des roches de l'École Polytechnique de Lausanne (action 3)		
Partenaires	Geoazur, Laboratoire, Politecnico di Turino, (cofinancés par les régions Rhône-Alpes et PACA), CNRS, Région de la vallée d'Aoste.		
Site web	http://massa.geoazur.eu/home/fr_home.php		
Objectifs	Évaluation de l'aléa chutes de blocs et éboulements de volumes intermédiaires : harmonisation des méthodes, écoute géophysique, étude de la propagation		
Surveillance	Le projet a permis l'établissement de monitoring sur 7 sites répartis entre la Suisse, la France et l'Italie. Les mesures produites ont pour but une meilleure compréhension et détection des événements de chutes de bloc. Elles comprennent notamment : - des mesures sismiques, - des mesures météorologiques, - des mesures GPS		
Disponibilité / accessibilité des données	Les métadonnées ne sont pas disponibles sur le site et aucun renvoi n'a été repéré. Les rapports finaux présentant les résultats des expérimentations sont disponibles en français et en italien.		

ARNICA	Date de validité	Nature du projet	Budget (en €)
	2011-2014	FP7	Non disponible
Coordinateur	Laboratoire de géographie physique de Meudon (CNRS)		
Partenaires	4 organisations partenaires provenant de : Suisse (DENDROLAB), Espagne (Université de Padoue), Espagne (WEGCENTER : université de Graz). Les pays suivants sont cités comme pays fondateurs : Espagne, Espagne, Grèce, Hongrie, Espagne, Suède, Turquie.		
Site web	http://www.lgp.cnrs-bellevue.fr/arnica/index.htm		
Objectifs	Etude de l'instabilité actuelle des versants et son impact sur les réseaux de transport, en tenant compte des scénarios climatiques afin de définir des scénarios futurs socio-économiques et anticiper une évolution de l'évaluation des risques.		
Surveillance	Le projet se base sur les bases de données de mouvements de terrains des différents pays.		
Disponibilité / accessibilité des mesures	Il n'y a pas de bases de données référant à des mesures réalisées dans le cadre de ce rapport. Le site cite les 11 rapports qui doivent être rédigés ainsi que leur échéance. Pour l'instant, aucun de ces rapports n'est disponible en libre accès.		

SafeLand	Date de validité	Nature du projet	Budget (en €)
	05/2009-03/2012	FP7	9 000 000
Coordinateur	Norwegian Geotechnical Institute (NGI)		
Partenaires	27 organisations partenaires provenant de 12 pays : Allemagne, Autriche, Italie, France (BRGM, CNRS, Risques et Développement), Suisse, Norvège, Espagne, Grèce, Pays-Bas, Grande-Bretagne, Roumanie, Slovénie.		
Site web	http://www.safeland-fp7.eu		
Objectifs	Le projet SafeLand s'articule autour de 5 groupes de travail visant à l'amélioration des connaissances dans les mécanismes des mouvements de terrain, l'harmonisation et le développement des procédures d'évaluation des risques, l'évaluation de l'impact des changements climatiques et le développement d'une technologie de surveillance.		
Surveillance	Le projet a permis l'instrumentation de plus de 15 sites pilotes répartis entre l'Autriche, la France, la Norvège, l'Italie et l'Espagne. Les mesures produites ont pour objectif de mieux connaitre les mécanismes et les déclencheurs (notamment climatiques) des mouvements de terrain. Elles comprennent notamment : - des mesures météorologiques (pluviométriques, températures, …) - des mesures hydrologiques (tensiomètres, piézomètres), - des mesures géotechniques (inclinomètres, extensomètres) - des mesures GPS, lasers et radar. Note : en annexe : tableau des sites instrumentés pour les objectifs de la zone 4.		
Disponibilité / accessibilités des mesures	Le site ne présente pas de données brutes de surveillance. Il renvoie aux mesures OMIV pour la surveillance d'un site en France mais présente les résultats plutôt que les métadonnées. Chaque groupe de travail a rédigé un certain nombre de rapports (44 au total) présentant les résultats des recherches sous forme synthétique.		

RiskNAT	Date de validité	Nature du projet	Budget (en €)
	04/2009-04/2012	ALCOTRA	12 000 000
Coordinateurs	Selon activité (principalement Fondation Montagne Sûre et ARPA piemonte)		
Partenaires	15 organisations partenaires : 8 français (DREAL Rhône-Alpes, DREAL PACA, Conseil général des Alpes Maritimes, de Savoie et de Haute-Savoie, région Provence-Alpes-Côte d'Azur, BRGM), 6 italiens (Fondation Montagne Sûre, ARPA Piemonte, Région Autonome Vallée d'Aoste, Povincia di Imperia, Regione Liguria, Provincia di Cuneo), 1 suisse (Canton du Valais).		
Site web	http://www.risknat-alcotra.org/fr/		
Objectifs	Fournir aux collectivités locales et à tous les gestionnaires des risques naturels des outils supplémentaires de gestion des risques en milieu montagneux par la mise au point d'outils innovants de prévision et de mitigation à haut contenu technologique. Une partie est dédiée aux risques générés par l'évolution des milieux de haute montagne.		
Surveillance	Le projet a permis l'instrumentation de plus de 20 sites pilotes répartis en France et en Italie. Les mesures produites ont principalement pour but la mise en place d'un dispositif de surveillance efficace visant à prévenir tout danger de mouvement de terrain. Elles comprennent notamment : - des relevés photogrammétriques et des visites de sites, - des mesures de températures en forage (surveillance de l'évolution du permafrost), - des mesures géotechniques (extensomètres, inclinomètres, fissuromètres, capteurs de déplacements), - des mesures GPS, - des mesures météorologiques.		
Disponibilité / accessibilité des mesures	Le site ne présente pas de données brutes de surveillance. Il renvoie à divers projets auxquels il participe financièrement mais présente les résultats plutôt que les métadonnées. Les produits de sortie sont en ligne avec la mise à disponibilité d'un outil de cartographie et les rapports des différentes études (en français et en italien). Le programme propose également des formations et des programmes de sensibilisation.		

Monitor II	**Date de validité**	**Nature du projet**	**Budget (en €)**
	06/2009-06/2012	Interreg IIIB	2 500 000
Coordinateur	Ministère de l'agriculture, de la forêt, de l'environnement, et de gestion de l'eau de Vienne (Autriche)		
Partenaires	11 organismes provenant de 7 pays d'Europe du Sud-Est: Autriche (Gouvernement régional de Basse-Autriche, chemins de fer fédéraux autrichiens), Slovénie (Service de Contrôle de l'érosion et des torrents, Université de Ljubljana), Italie (Province autonome de Bolzano, Université de Modène), Serbie (Université de Belgrade), Roumanie (Administration nationale des forêts), Bulgarie (Agence forestière d'état, municipalité de Gotse Delchev), Grèce (Préfecture d'Evros).		
Site web	http://www.monitor2.org		
Objectifs	Harmonisation transnationale des cartes d'aléa et développement d'un système d'information continue pour gérer les phases de catastrophes naturelles dans la zone Europe du Sud-Est		
Surveillance	Le projet utilise les données de nombreux organismes de surveillance en Europe du Sud-Est. Les mesures étudiées sont principalement hydrologiques et des images satellites. Les études se basent sur les bases de données de glissement de terrain des différents pays participants.		
Disponibilité / accessibilité des données	Le présent projet n'a pas permis la mise en place de nouvelle station de surveillance. Il ne fournit pas de métadonnées. Les résultats des différents groupes de travail sont en libre accès et les rapports sont téléchargeables en langue anglaise.		

ANNEXE B

Eléments d'informations complémentaires sur les acteurs et organismes

Entité / Organisme	Présentation (Structure, Statut, Missions)	Financement
CREALP **(Centre de Recherche sur l'Environnement ALPin)**	Statut : Fondation mixte de l'État du Valais et de la commune de Sion (Suisse) Date de création : 1968 Mission : Recherche appliquée dans les domaines de la Terre et des dangers naturels Organisation : Structure relai entre le monde académique, le monde de la pratique et les structures institutionnelles cantonales et fédérales. Site web : http://www.crealp.ch/fr/	- État du Valais - Commune de Sion - Projets européens et nationaux.
EDYTEM **(Environnement, DYnamique et TErritoire de Montagne)**	Statut : Laboratoire rattaché à l'Institut Écologie et Environnement du CNRS Date de création : 2003 Missions : Création d'une communauté de recherche interdisciplinaire sur les problématiques territoriales de montagne Organisation et moyens : 3 équipes de recherche, 3 plateformes technologiques Site web : http://edytem.univ-savoie.fr/	- CNRS. - Ministère de la Culture et de la Communication.
Fondazione Montagna Sicura	Statut : Fondation sans but lucratif italienne Date de création : 2002 Missions : Réalisation du suivi des glaciers dans le massif du Mont Blanc Site web : http://www.fondazionemontagnasicura.org/fr/montagne-surete-condition-alpinisme-glacier.aspx	- Région de la Vallée d'Aoste, - Commune de Courmayeur, - l'Association des secours en haute montagne. - Projets européens (GlaRiskAlp)
GTN-P (Global Terrestrial Network for Permafrost)	Statut : Organisme international soutenu par l'UNESCO (conseil de 26 organisation/membres participants de 26 pays différents (le représentant français étant le département du CNRS Interactions et Dynamiques des Environnements de Surface)) supporté par l'Organisation Météorologique Mondiale Date de création : 1999 Missions : Évaluer l'évolution du permafrost à l'échelle mondiale Organisation et moyens : Le comité exécutif de l'association est composé d'un président et de deux vice-présidents et membres ordinaires (pour atteindre 6 à 7 membres décideurs). Plus de 1000 forages instrumentés pour des profils de température dans 18 pays différents (données du site) Site web : http://www.gtnp.org/index_f.html Disponibilité des données : Les métadonnées sont partiellement disponibles pour un certain nombre de relevés de températures en forages, mais tous les pays ne présentent pas leurs données.	- Ministère de la Défense américain - Organisation Météorologique Mondiale (et donc l'UNESCO) - Différents partenaires nationaux (comme Permafrance pour la France).

OMIV **(Observatoire Multidisciplinaire des Instabilités de Versant)**	Statut : Rassemblement de laboratoires universitaires français et du CNRS sous un même nom pour offrir une meilleure visibilité Missions : Surveillance de 4 glissements de terrains importants en France. Missions temporaires de surveillance dans le cadre de projets. Site web : http://omiv.unistra.fr/?lang=en Disponibilité des données : Les métadonnées sont accessibles sur le site internet.	- Université Joseph Fourier - Institut du Globe de Strasbourg - CNRS.
ONERC **Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique**	Statut : Réseau d'organismes scientifiques (CNRS, Météo France, IRD, INRA) rassemblés sous un même nom ; conseil d'orientation de 26 membres nommés par le premier ministre et rattaché à la Mission Interministérielle sur l'Effet de Serre (MIES) Date de création : 2001 Missions : Collecte et diffusion des informations, études, recherches, travaux prospectifs sur les risques liés aux changements climatiques ; production des recommandations pour la prévention et l'adaptation afin de limiter et mieux gérer les risques liés à ces changements ; coordination des actions d'adaptation en France, et préparation d'un cadre stratégique global dans le cadre du plan climat. Organisation et moyens : Ne dispose pas de budget propre ; les crédits prévues sont inscrits dans une enveloppe commune à la MIES et à l'ONERC (~1 million d'euros). Site web : http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Impacts-et-adaptation-ONERC-.html Disponibilité des données : Publication des rapports d'activités disponibles sur le site du ministère mais les métadonnées brutes ne sont pas disponibles.	- MEDDE - CNRS.
OPCC **Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique**	Statut : Projet du programme européen POCTEFA entre l'Espagne, la France et Andorre. Son fonctionnement s'articule autour d'un Conseil d'Orientation, d'un Conseil Scientifique, et d'une Animation technique Date de création : 2010 Missions : création d'un profil pyrénéen partagé afin de dresser un premier état des lieux transfrontalier des caractéristiques et enjeux majeurs du massif ; recensement des données et études existantes pour capitaliser les connaissances déjà existantes ; élaboration d'une première série d'indicateurs pour évaluer et suivre le phénomène du changement climatique. Site web : http://www.opcc-ctp.org/ Disponibilité des données : Les métadonnées relatives à ce projet sont disponibles sur le site.	- Communauté de travail des Pyrénées (3 régions françaises (Aquitaine, Midi-Pyrénées, Languedoc-Roussillon) et 4 Communautés Autonomes espagnoles et communauté d'Andorre. - FEDER - Projet européen POCTEFA.

PARN **Pôle Alpin d'études et de recherche pour la prévention des Risques Naturels**	Statut : Association loi 1901 regroupant 11 organismes travaillant sur la thématique des risques Date de création : 1988 Missions : rassemblement des organismes ayant une activité d'études et de recherche dans le domaine des risques naturels ; développement et mise à disposition d'outils scientifiques et techniques performants visant à améliorer la prévision et la prévention des risques naturels. Site web : http://www.risknat.org/ Disponibilité des données : Diffusion d'une bibliographie importante ; pas de métadonnées sur le site.	- Universités (Jospeh Fourier, Pierre mendès France, INPG) - IFSTTAR, IRSTEA, Météo-France
Permafrance	Statut : Groupement d'Intérêt Scientifique initialement supporté par le projet européen PACE, l'Institut de Géographie Alpine de l'université de Grenoble, le laboratoire EDYTEM de l'université de Savoie et le laboratoire PRODIG de l'université Paris 7 Date de création : 2008 Missions : Surveillance de l'évolution du permafrost sur le territoire français ; contribution française au réseau de surveillance mondiale GTN-P Organisation et moyens : 29 sites instrumentés (mesures de températures continues dans des forages) Site web : Pas de site web Disponibilité des données : Non disponible.	- Alliance Allenvi (BRGM, CEA, CPU, Cirad, CNRS, Ifremer, IFSTTAR, INRA, IRD, IRSTEA, Météo France, Muséum national d'histoire naturelle) - Projets européens et nationaux (PACE, PERMAdataROCK, PermaNET, Permafrost et changement climatique) Pour les financements futurs, le but est d'être reconnu comme service d'observation à long terme.
PERMOS	Statut : laboratoire sous tutelle de l'Université de Zurich Date de création : 2000 Missions : Suivi de l'évolution du permafrost dans les Alpes suisses Organisation et moyens : 14 sites instrumentés pour des mesures de températures et 14 sites surveillés par des visites et des analyses photogrammétriques. Site web : http://www.permos.ch Disponibilité des données : Non disponible sur le site ; mise à disposition de publications scientifiques.	- Global Climate Observing System Suisse, - Bureau fédéral pour l'environnement - Académie Suisse des sciences. - 6 Institutions partenaires : ETH (Université technique de Zurich), SLF (Institut de recherche neige&avalanches), Universités de Fribourg (UniFR), Lausanne (UniL), Southern Switzerland (SUPSI) et Zurich (UZH).
ORCC **Observatoire Rhône-Alpes sur les effets du Changement Climatique**	Date de création : A ce jour non opérationnel Missions : Amélioration et diffusion de la connaissance sur le climat, ses évolutions et les effets dans la région Rhône-Alpes Site web : http://www.rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/orecc-observatoire-regional-des-r954.html	- ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie, un EPIC) - Région Rhône-Alpes - Programme SCRAE (Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Énergie)

RENAG **(REseau NAtional GPS permanent)**	Statut : Ensemble de laboratoires de recherche et d'organismes d'Etats (principalement EPIC et universités) réunis sous un même nom Date de création : 1998 Missions : Mesure de la déformation crustale en France et régions frontalières, étude du contenu en vapeur d'eau de l'atmosphère, des mouvements verticaux et des mouvements gravitaires Organisation et moyens : 70 stations de mesures Site web : http://www.renag.fr/ Disponibilité des données : Données des mesures publiques et gratuites mais passent par un formulaire/questionnaire de demande	- Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche - Partenaires : CEA, CNRS, ENS Paris, CNES, IGN, IRSN, MétéoFrance.
WGMS **(World Glacier Monitoring Service)**	Statut : Réseau de coopération de correspondants nationaux et d'investigateurs en lien avec la surveillance du retrait des glaciers. Son siège est basé à Zurich Date de création : initié en 1894, sous le nom de WGMS depuis 1986 Missions : Collecte des observations standardisées sur les changements de volume, de surface et de longueur de glacier avec le temps, aussi bien que d'informations statistiques sur la distribution des surfaces de glace dans l'espace (inventaires de glaciers) Site web : http://www.wgms.ch/index.html Disponibilité des données : Accessible au public	- UNESCO - Département de Géographie de l'université de Zurich - Bureau suisse du Global Climate Oberving System au bureau fédéral de météorologie et de climatologie - MétéoSwiss