ÉTAT DES CONNAISSANCES

Risques en montagne et changement climatique

Effets du changement climatique sur les risques mouvement de terrain et avalanches de neige en territoires de montagne

ORECC Auvergne-Rhône-Alpes (juillet-août 2017)

Préambule

Par l'apport de connaissances, le suivi d'indicateurs pertinents et l'organisation de travaux entre acteurs, l'Observatoire Régional des Effets du Changement Climatique (ORECC) d'Auvergne-Rhône-Alpes contribue à l'analyse et au suivi de la vulnérabilité des territoires et des acteurs économiques face au changement climatique. Les acteurs pourront alors s'emparer de ces éléments pour réduire cette vulnérabilité, se saisir des opportunités positives et mettre en place des stratégies d'adaptation des activités impactées, des dispositifs de sécurité, des aménagements et des infrastructures, des modalités de gestion des ressources.

Cette note s'intéresse aux effets du changement climatique sur les risques en montagne de la région Auvergne-Rhône-Alpes, et plus particulièrement les risques liés aux mouvements de terrains et aux avalanches de neige. Pour cela, elle s'appuie sur des productions existantes, notamment des études climatiques, des rapports, publications scientifiques réalisées soit pour les travaux de préparation du projet de Schémas Régionaux Climat Air Énergie (SRCAE), soit dans le cadre de réflexions sur les effets du changement climatique sur les risques en montagne.

La note synthétise ces documents ou même en rassemble des extraits, dont les références sont notées en bas de page. Non exhaustive, la présente note ne cherche ni à donner un avis ou affirmer un positionnement, ni à émettre des idées nouvelles, mais elle propose de refléter un état d'avancement des recherches et des savoirs, ainsi que de donner les premiers éléments de discussion pour la suite des travaux de l'ORECC.

Table des matières

Introduction....4
1. État des risques naturels dans la région Auvergne-Rhône-Alpes....6
1.1. Mouvements de terrains....6
1.1.1. L'aléa....6
1.1.2. La vulnérabilité....11
1.1.3. Les impacts actuels....12
1.2. Avalanches de neige....13
1.2.1. L'aléa....13
1.2.2. La vulnérabilité....13
2.3. Les impacts actuels....15
2. Tendances climatiques et prévisions en Auvergne-Rhône-Alpes....15
2. Tendances climatiques et prévisions en Auvergne-Rhône-Alpes....15
2.1. Augmentation de la température moyenne....15
2.2. Diminution de l'enneigement moyen....16
2.3. Evolution peu marquée de la pluviométrie....17
2.4. Prévisions climatiques futures....18
3. Exposition du secteur au changement climatique....19
3.1. Impact sur les mouvements de terrains....19
3.2. Impact sur les avalanches....21
5. Capacité d'adaptation des risques en montagne face au CC....22
5.1. Approche globale....22
5.2. Approche technique....27
5.1.1. La connaissance des phénomènes....27
5.1.2. Phase de surveillance des phénomènes....28
5.1.3. Information préventive et éducation....28
5.1.4. Mesures de protection et réduction du risque....28
5.1.5.Planification et organisation des secours en cas de crise....29
5.1.6. Le retour d'expérience....29
5.3. Pistes d'évolution : vers un mise en réseau de la gestion des risques ?....30
Conclusion....30
Références....31
Bibliographie....31
Sites internet....31
Glossaire....33
Sigles....34
Annexes....35

Introduction

Les régions de montagne sont particulièrement sujettes aux aléas naturels de type mouvements de terrain et avalanches de neige, du fait de leur particularité topo-climatique. En effet, le déclenchement de ces aléas est directement lié aux paramètres météorologiques. Cependant, les scénarios climatiques sont encore très incertains pour ces milieux.

D'après le Ministère de la transition écologique et solidaire, le **risque naturel** est « un événement dommageable, doté d'une certaine probabilité, conséquence d'un aléa survenant dans un milieu vulnérable. ».
L'**aléa** est la « manifestation d'un phénomène naturel (mouvement de terrain, avalanche) ou anthropique d'occurrence et d'intensité données. ».
La **vulnérabilité** « exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les **enjeux** » (population, infrastructures, patrimoine pouvant être affectés par un phénomène).

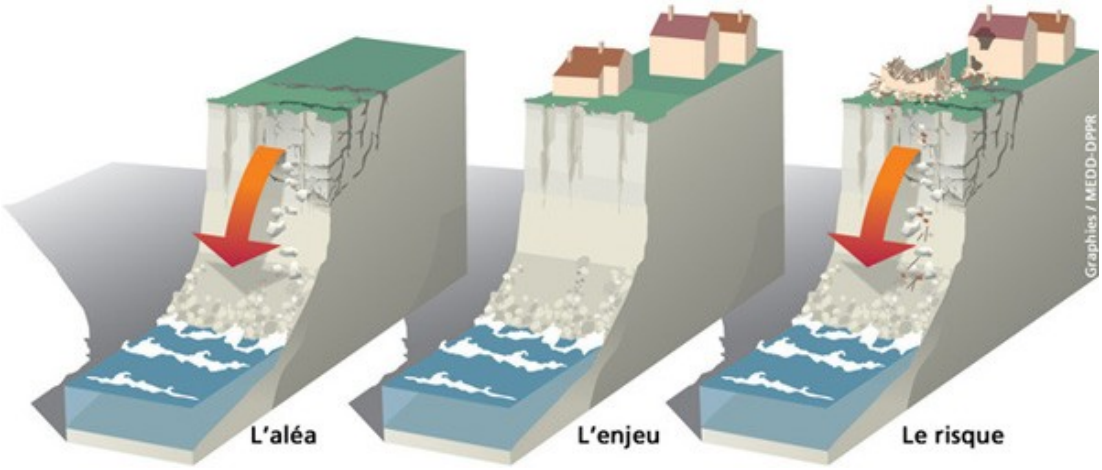


Fig.1 – Source : http://www.var.gouv.fr/le-risque-mouvements-de-terrain-les-pprmvt-dans-le-a1992.html

D'après les analyses géographiques des vulnérabilités de Frédéric LEONE et Freddy VINET, on distingue différents types de vulnérabilités selon la nature de l'enjeu (Fig.2) :

1- structurale : dégradation/destruction d'infrastructures
2- corporelle : victimes physiques (blessés, décès)
3- sociale : victimes psychologiques
4- institutionnelle : gouvernement, ministère, collectivités...
5- environnementale : milieux naturels (végétation, cultures, sols, faune...)
6- fonctionnelle : notamment d'ordre économique (réseaux de communication, hôpitaux…)

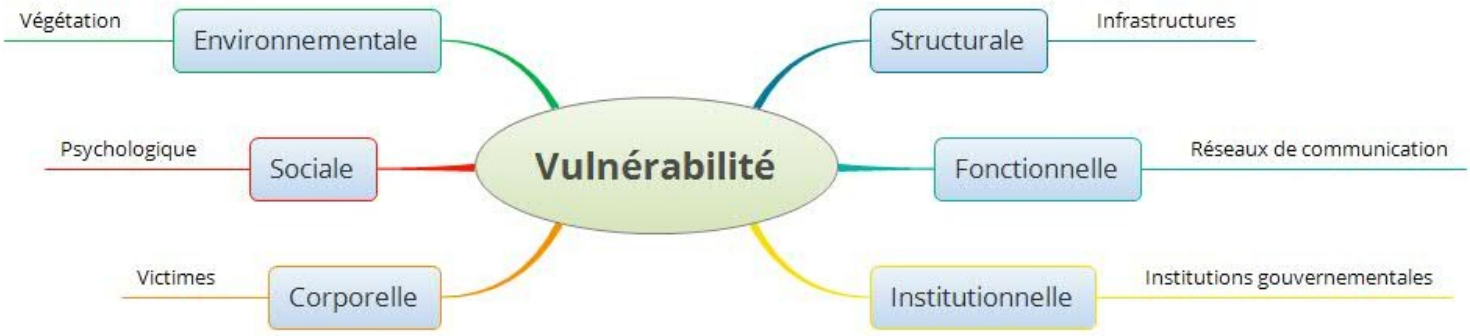


Fig.2 – Synthèse des vulnérabilités face aux risques naturels

D'après la synthèse du séminaire international d'experts[1], les acteurs s'accordent sur le fait que les vulnérabilités sont de plus en plus importantes en montagne avec un aléa constant. Cela est dû à des enjeux de plus grande ampleur dans les villes (forte fréquentation touristique par exemple).

La région Auvergne-Rhône-Alpes est une région particulière qui présente de nombreuses compétences au sein de son territoire. En effet, elle accueille de nombreuses structures scientifiques comme l'Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA) en coopération avec des partenaires européens et mondiaux.

Cette région est touchée par les risques en montagne comme le prouve les nombreuses catastrophes qui ont eu lieu. Par exemple, l'écroulement meurtrier du mont Granier (Savoie) en 1248 faisant plusieurs milliers de victimes[2]. Cette falaise est toujours active de nos jours (Fig.3), avec de nombreux éboulements étudiés par le laboratoire ISTerre (Institut des Sciences de la Terre, Université de Grenoble Alpes). Ces phénomènes pourraient être amplifiés par le changement climatique. En effet, l'augmentation de la température et la probable intensification des épisodes pluvieux auraient un impact sur le déclenchement de mouvements de terrain et d'avalanches.

Fig.3 – Éboulement du 7 mai 2016, face Nord, secteur du Ravin du Diable. Source :http://les-chemins-des-vignes.webnode.fr/news/samedi-7-mai-2016-nouvel-et-impressionnant-eboulement-du-granier/

1 Séminaire « Adaptation de la gestion des risques naturels face au changement climatique », 26 janvier 2011 à Domancy (Haute-Savoie)
2 Écroulements qui a entraîné une coulée de boue après un épisode de fortes précipitations

1. État des risques naturels dans la région Auvergne-Rhône-Alpes

1.1. Mouvements de terrains

1.1.1. L'aléa

> *"Un mouvement de terrain est un mouvement gravitaire plus ou moins brutal du sol, qui dépend notamment de la nature des terrains, de la structure géologique et des pressions hydrauliques souterraines."* ONERC, 2008.

On distingue deux types de mouvements selon le Service d'information du gouvernement [3] :

Les mouvements **lents :** "entraînent une déformation progressive des terrains, pas toujours perceptible par l'humain. Ils regroupent principalement les **affaissements**, les **tassements**, les **glissements**, le **retrait-gonflement**. Ils peuvent être précurseurs d'un mouvement rapide ".

Les mouvements **rapides :** "se propagent de manière brutale et soudaine. Ils regroupent les **effondrements**, les **chutes de blocs**, les **éboulements** et les **coulées boueuses**".

Plusieurs types de phénomènes plus ou moins complexes et bien différents définissent les mouvements de terrain (selon une typologie simplifiée) :

1- tassements/affaissements (Fig.4): « certains sols compressibles peuvent se tasser sous l'effet de surcharges (constructions, remblais) ou en cas d'assèchement (drainage, pompage) », Service d'information du gouvernement.

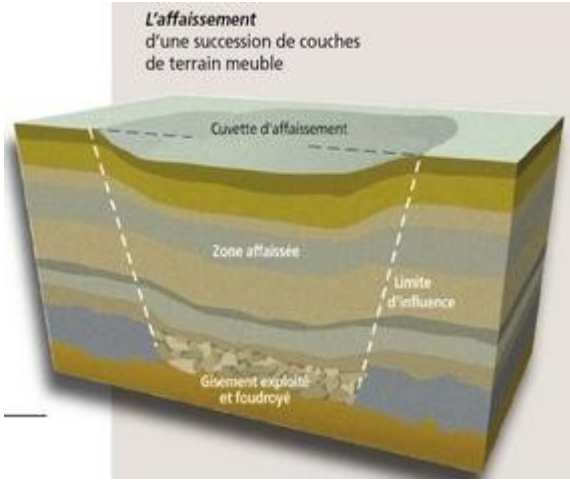


Fig.4 – Illustration du phénomène d'affaissement, Services de l'État dans le département du Rhône

2- glissements de terrain (Fig.5) : traduisent un « déplacement de terrains meubles ou rocheux le long d'une surface de rupture », Ministère de la Transition écologique et solidaire

3 http://www.gouvernement.fr/risques/mouvement-de-terrain

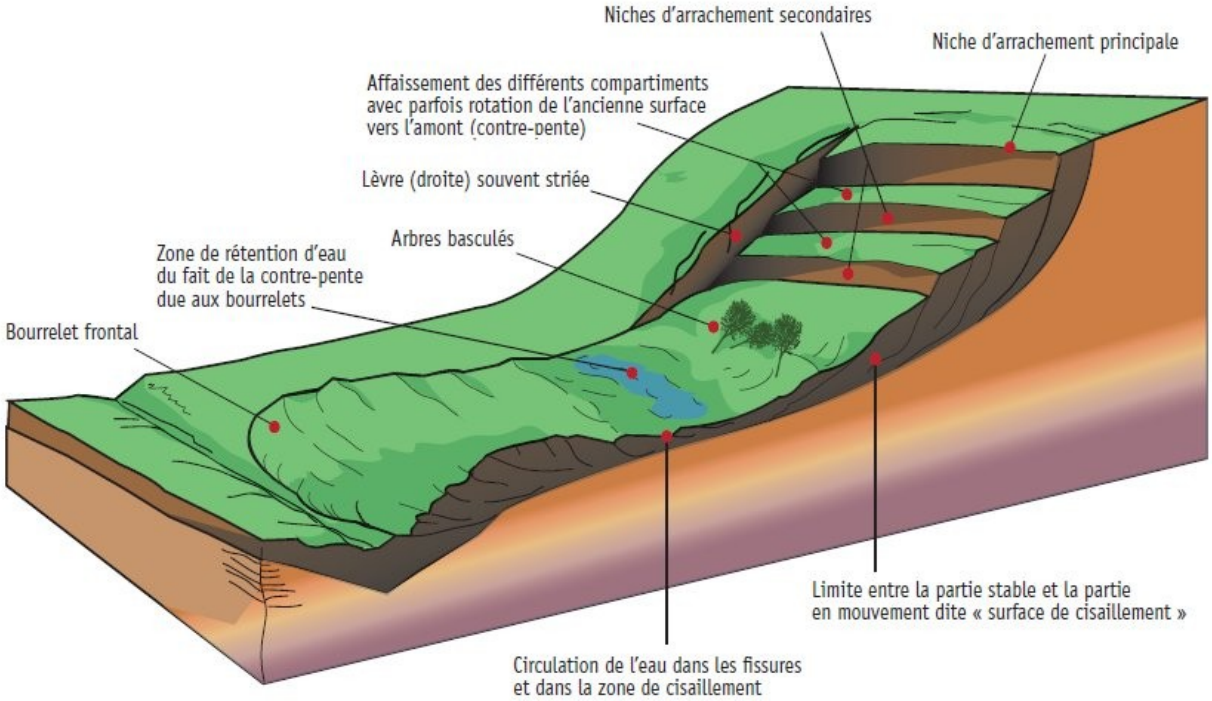


Fig.5 – Schéma en coupe d'un glissement de terrain © A. Fric

Exemple : Le glissement du Chambon, actif depuis 2015 sur plusieurs hectares, a endommagé le tunnel qu'il traverse ainsi que la départementale 1091 (Fig.6)

Fig.6 – Vue sur le glissement du Chambon. Source : *https://www.lemedia05.com/2015/25055/glissement-de-terrain-du-chambon-le-seuil-dalerte-geologique-atteint*

3- retrait-gonflement des sols argileux (Fig.7) : « variations de la quantité d'eau dans certains terrains argileux produisent des gonflements (période humide) et des tassements (périodes sèches). », Ministère de la transition écologique et solidaire.

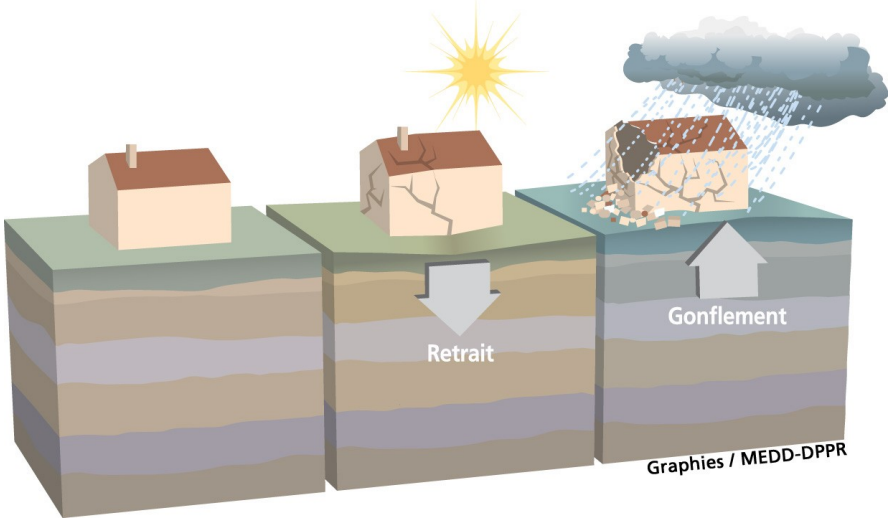


Fig.7 – Illustration du phénomène retrait/gonflement des argiles

Exemple : Département du Puy-de-Dôme fortement touché par la sécheresse avec un taux de sinistralité de 20,4 %[4] en 2010 (BRGM).

4- effondrements (Fig.8) : dépression créée pas « la rupture du toit d'une cavité souterraine (dissolution, mine,…) », Service d'information du gouvernement.

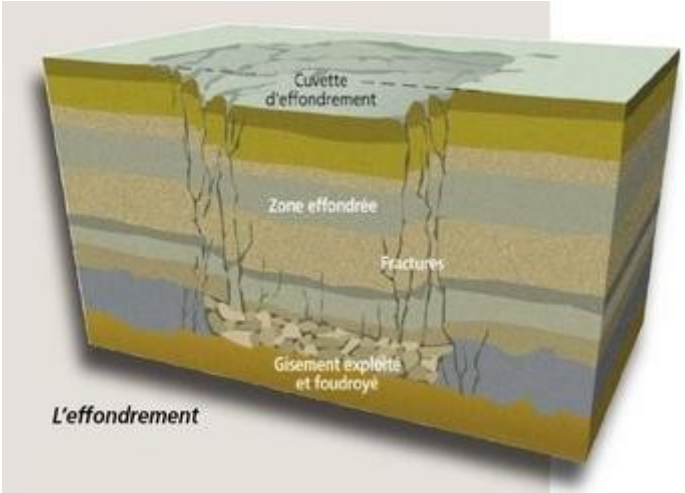


Fig.8 – Schéma du processus d'effondrement, Services de l'État dans le département du Rhône

4 96 communes sur les 470 du Puy de Dôme ont été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle au 23 novembre 2010

5- mouvements rocheux de versants : « Les chutes de blocs sont des phénomènes d'instabilité qui impliquent le détachement de rochers ou de blocs d'une paroi rocheuse ou d'une pente instable et les mouvements qui s'ensuivent (chute libre, rebond, roulement, glissement) le long de la pente jusqu'à ce qu'un équilibre soit atteint », (Ineris[5], 2013). Ces mouvements, résultant de l'évolution d'une falaise, représentent une grande variété (Ravanel, 2010). On distingue les chutes de pierres/roches, de blocs, les éboulements, les écroulements et les écroulements en (grande) masse (avalanches rocheuses) suivant les volumes de roches mobilisés (Tableau 1), les termes variant selon les auteurs (Ravanel, 2010).

Éléments	**Volume (V)**
Pierres	V < 1 dm³
Blocs	1 dm³ < V < 1 m³
Gros blocs	V > 1 m³
Phénomènes	
Chute de pierres/blocs	V < 100 m3
Éboulement en masse	100 m³ < V < 100 000 m³
Écroulement/Éboulement en grande masse	V > 1 000 000 m³

Tableau 1 – Différents types de mouvements rocheux selon le Ministère de la transition écologique et solidaire

Exemple : Écroulement des Drues (Pilier Bonatti en 2003, face Sud-Ouest) dans le Massif du Mont Blanc (Ravanel, 2010)

Fig.9 – Un éboulement observé sur la paroi des Drus en 2011 (ph. Luc MOREAU)

5 Institut National de l'EnviRonnement Industriel et des RisqueS

6- coulées boueuses (Fig.10) : glissement de terrain à forte teneur en eau provoqué par des pluies torrentielles (Ministère de la Transition écologique et solidaire).

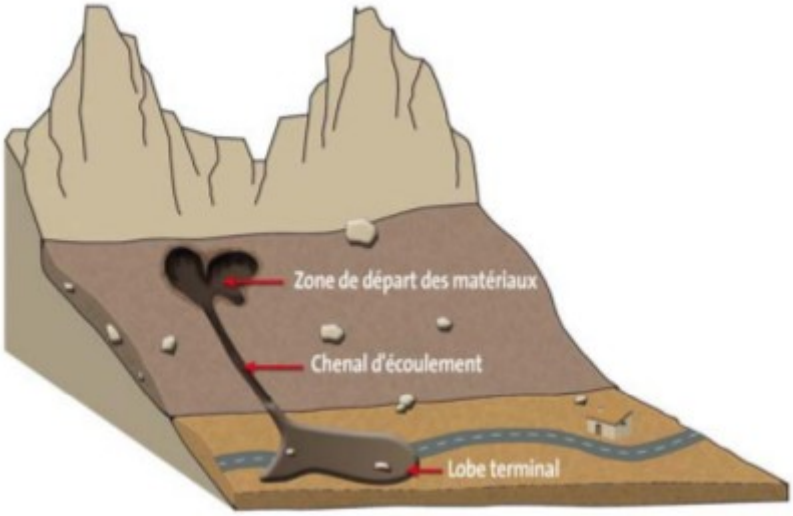


Fig.10 – Illustration d'une coulée de boues, Observatoire Régional des Risques Majeurs

Exemple : Catastrophe du Plateau d'Assy en 1970 provoquée par des coulées de boues et de neige faisant 71 victimes dont 56 enfants (UDSP 74[6])

On peut également signaler l'érosion des berges, « phénomène régressif d'ablation de matériaux, dû à l'action d'un écoulement d'eau turbulent » (Ministère de la transition écologique et solidaire).

Les phénomènes de déclenchement de ces aléas dépendent de plusieurs paramètres : les fortes précipitations, l'alternance gel/dégel, les températures très élevées ou l'effet d'activités humaines (déboisement, exploitation de matériaux ou travaux de terrassement)[7].

Une combinaison des phénomènes peut avoir lieu comme un glissement de terrain donnant lieu à des mouvements en masse de type éboulements ou écroulements (Ravanel, 2010). Par exemple, le risque d'éboulement des ruines de Séchilienne en Isère (2 à 3 millions de m³ de roches actives depuis 1976) pourrait barrer la vallée de la Romanche en créant un lac en amont de Grenoble. En cas de rupture de ce barrage naturel, une importante étendue du territoire serait inondée (Ville de Grenoble[8]).

6 Union Départementale des Sapeurs-Pompiers de la Haute-Savoie
7 Ancien Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie
8 http://www.grenoble.fr/421-les-risques-naturels.htm

1.1.2. La vulnérabilité

En Auvergne-Rhône-Alpes, 2/3 des communes sont exposées au risque mouvement de terrain (Fig.11[9]) et 20 % de ces communes sont dotées d'un PPR relatif à ce risque, particulièrement présent dans les zones de montagne (Alpes du Nord, Massif Central et les principaux reliefs de la région tels que le Forez[10] et les Monts d'Ardèche), Ministère de la Transition écologique et solidaire.

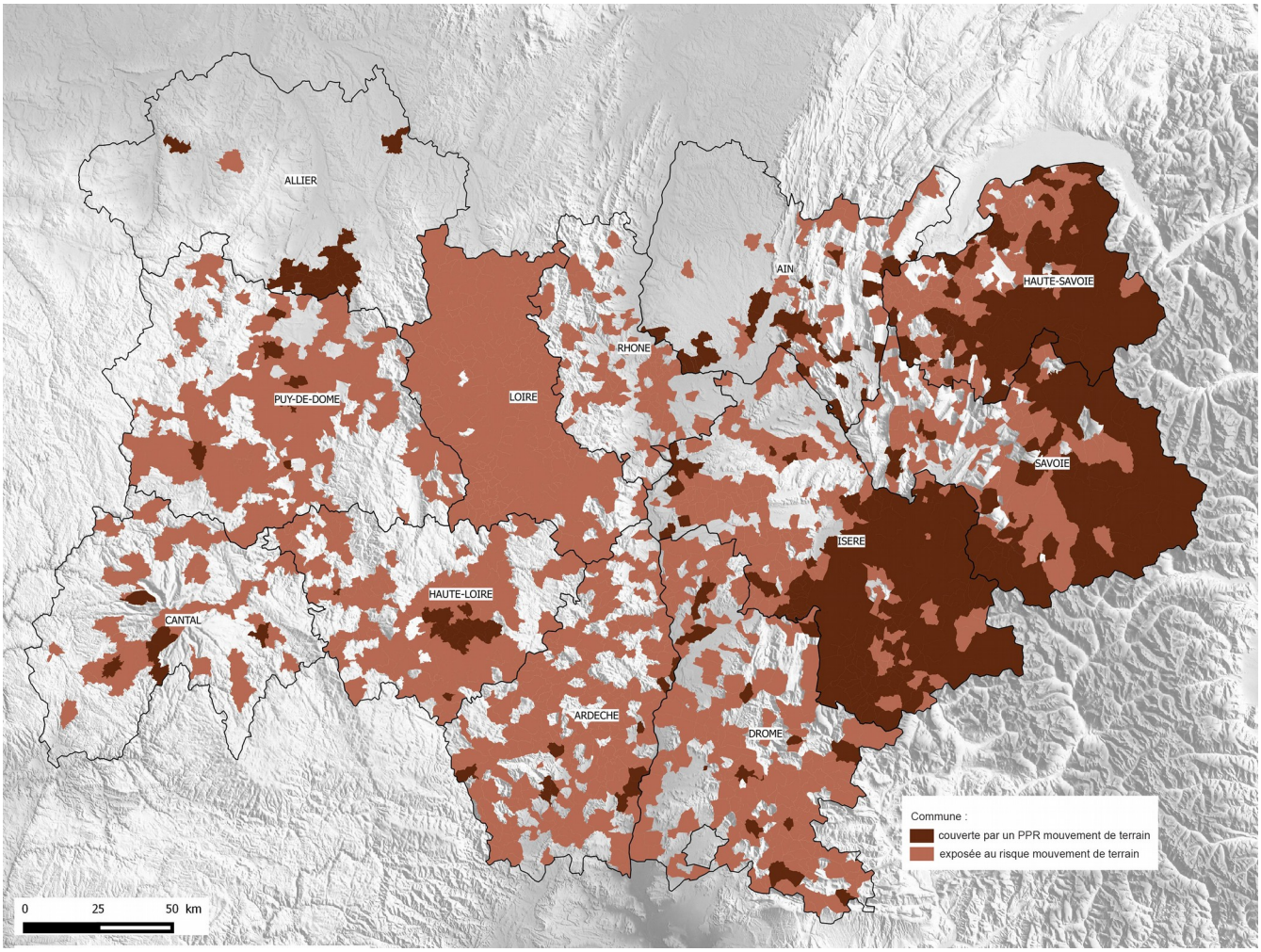


Fig.11 – Communes exposées au risque mouvement de terrain en Auvergne-Rhône-Alpes (DREAL)

Le SRCAE a recensé 192 arrêtés de catastrophe naturelle pour les communes sinistrées par les mouvements de terrain (hors sécheresse) entre 1989 et 2008 (hors tempête 1999). De plus, 154 arrêtés ont été effectués pour des communes victimes de mouvements de terrain dus à la sécheresse.

Une liste non-exhaustive des principales vulnérabilités face aux mouvements de terrain est présentée par la Figure 12 (Ministère de la transition écologique et solidaire).

9 Données également disponibles sur le site de l'IRMa : http://www.irma-grenoble.com/04risques_rhone_alpes/portail.php
10 Département de la Loire

Vulnérabilités

Mouvements de terrain	
Tassements/Affaissements	Fissuration à destruction d'ouvrages
Glissements	Fissuration à dégradation d'ouvrages + enjeu humain
Retrait/gonflement des argiles	Fissures bâtiments --> enjeu économique très important
Erosion des berges	Enjeu environnemental (faune/flore, paysage...)
Effondrements	Destruction d'ouvrages + enjeu humain
Mouvements rocheux de versant	Dégradation à destruction d'ouvrages + enjeu humain et environnemental
Coulées boueuses	Degradation à destruction d'ouvrages + enjeu humain important

Fig.12 – Principales vulnérabilités observées pour les différents types de mouvements de terrain

1.1.3. Les impacts actuels

Selon la BDMvt du BRGM, 42 259 mouvements de terrain ont eu lieu **en France** entre 1900 et 2010, majoritairement des effondrements de cavités et des glissements de terrain (Tableau 2).

Glissements de terrain	30%
Chute de blocs	19%
Coulée de boue	6%
Effondrements de cavités	37%
Erosion de berges	8%

Tableau 2 – Pourcentage des différents mouvements de terrain en France

Un inventaire du nombre de mouvement de terrain par commune pour chaque département est réalisé par le BRGM au sein de la BDMvt[11], développée depuis 1981. Les résultats suivants comprennent les effondrements, glissements, chutes de blocs/éboulements, coulées de boues et l'érosion des berges (Annexe 1). Le nombre de cas de retrait/gonflement des argiles est également renseigné par le BRGM sous forme de carte (base de données ARGILES[12]).

11 http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/mouvements-de-terrain/donnees#/
12 http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/argiles/donnees#/

1.2. Avalanches de neige

1.2.1. L'aléa

> "*Mouvement gravitaire rapide du manteau neigeux sur une pente, causé par une perte d'équilibre*." ONERC, 2008.

On distingue trois phénomènes de déclenchement des avalanches selon l'IRMA[13]:
– les facteurs fixes tels que la pente et son exposition par rapport au soleil et au vent,
– les facteurs météorologiques (chutes de neige, température, vent…)
– les facteurs humains (comportement des skieurs par exemples)

Le Service d'information du gouvernement distingue trois types d'avalanches (Fig.13) :

– l'avalanche de **plaque** : « générée par la rupture et le glissement d'une plaque, souvent formée par le vent, sur une couche faible du manteau neigeux ».

– l'avalanche en **aérosol** : « forte accumulation de neige récente, légère et sèche (poudreuse) (…) de très grandes dimensions avec un épais nuage de neige (aérosol), progressant à grande vitesse (100 à 400 km/h). »

– l'avalanche **humide** : « lorsque la neige se densifie et s'humidifie sous l'action de la fonte, au printemps ou après une pluie ».

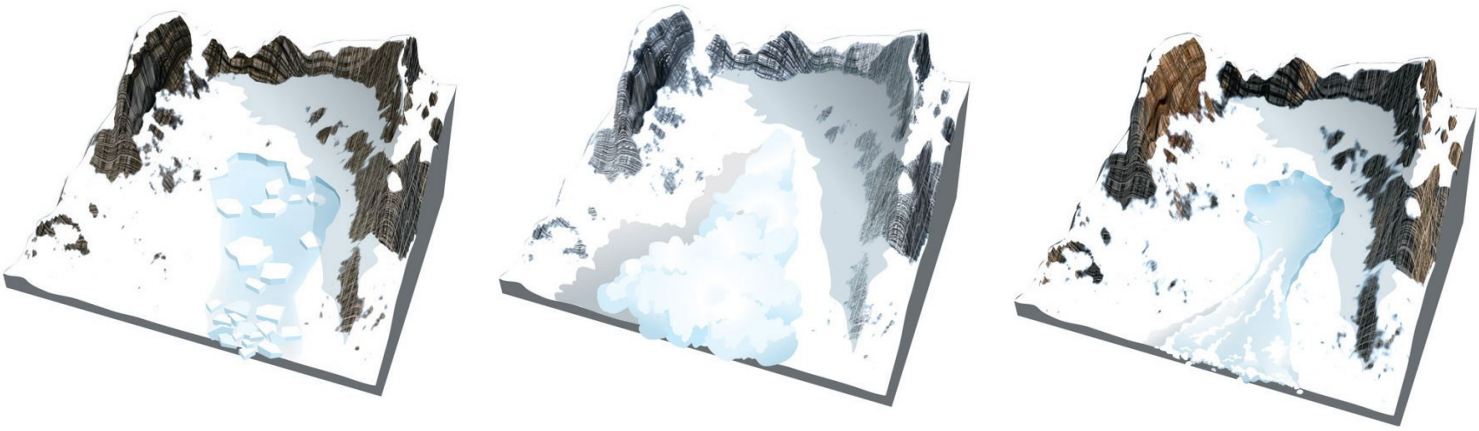


Fig.13 – Typologie des avalanches de neige (de gauche à droite : plaque, aérosol, humide).
Source :http://www.georisques.gouv.fr/le-risque-avalanche

Exemple : Avalanche de Val d'Isère (Savoie) en 1970 ravageant le Centre UCPA et faisant 39 victimes (Document d'information de l'ancien Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, 2005).

13 Institut des Risques MAjeurs de Grenoble

1.2.2. La vulnérabilité

Le risque d'avalanches « concerne 5 % des communes de la région et se concentre sur les hauts reliefs des Alpes et du Massif Central. (…) Ainsi, les communes de l'Isère, de la Savoie et de la Haute-Savoie présentant les plus forts enjeux sont dotées d'un PPR avalanche. », selon le Ministère de la Transition écologique et solidaire (Fig.14[14]).

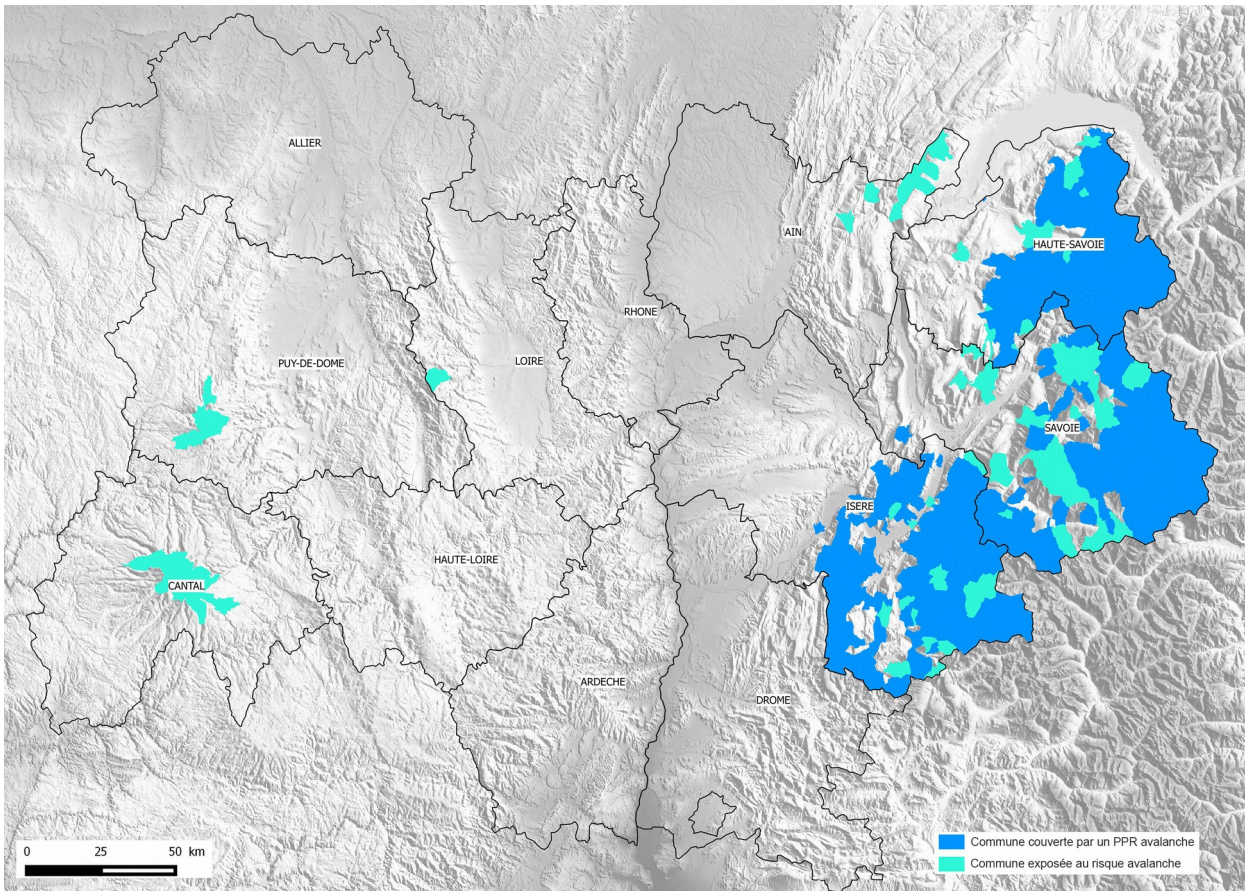


Fig.14 – Communes exposées au risque avalanche en Auvergne-Rhône-Alpes (DREAL)

Selon le SRCAE[15], 27 communes de Rhône-Alpes ont été recensées pour avoir reçu un arrêté de catastrophe naturelle pour la période 1989-2008 (hors tempêtes 1999).

« Les dégâts causés par les avalanches concernent principalement les hommes, leurs biens, et l'environnement. L'urbanisation des zones de montagne, principalement dans les Alpes du Nord, a conduit à augmenter sensiblement leur exposition. De plus, la croissance démographique attendue dans les départements alpins d'ici 2020 peut concourir à aggraver l'exposition des populations.

– Les atteintes aux hommes et aux biens : Le risque d'avalanche est omniprésent en montagne

14 Données également disponibles sur le site de l'IRMa : http://www.irma-grenoble.com/04risques_rhone_alpes/portail.php

15 http://orecc.auvergnerhonealpes.fr/fileadmin/user_upload/mediatheque/orecc/Documents/Bibliotheque/RhoneAlpes/fiche-4-risques.pdf

durant la période hivernale. Son intensité est variable dans le temps comme dans l'espace. Trois domaines présentent une forte vulnérabilité humaine vis-à-vis des avalanches. Il s'agit des terrains où sont pratiqués les sports de montagne, des zones habitées et des voies de communication.

– Les atteintes à l'environnement : S'agissant d'un phénomène naturel, les avalanches participent à l'évolution du milieu. Elles peuvent cependant endommager des zones d'exploitation forestière, ce qui peut avoir pour conséquences de favoriser les avalanches futures ou les glissements de terrains en période non hivernale. Lorsqu'il s'agit d'avalanche lourde, les sols peuvent également être emportés sur des épaisseurs importantes. », Association ORÉE[16].

2.3. Les impacts actuels

L'Association Nationale pour l'Etude de la Neige et des Avalanches (ANENA) effectue chaque année un bilan des accidents d'avalanches en France. Pour la période 1971-2011, la moyenne globale est de 21 accidents mortels, et de 30 décès par an. L'ANENA observe une relative stabilité du nombre d'accidents liés aux avalanches. En effet, si le nombre de pratiquants hors-piste augmente, l'organisation des secours et la prévention des skieurs (équipement DVA[17], formation au secours...) s'est grandement améliorée ces dernières années.

L'analyse des données EPA[18] par l'IRSTEA depuis le début du XXème siècle, a permis de montrer un pic d'activité avalancheuses vers 1980 suivis d'une baisse de cette activité. Aucune tendance significative n'a été prouvée pour le moment.

Dans le cadre du projet ECANA[19], une étude de la modélisation du lien avalanche-climat à l'échelle annuelle dans les Alpes a été réalisée. Le but étant de mettre en évidence les principales fluctuations interannuelles de l'activité avalancheuse (Castebrunnet et al., 2012). Les résultats montrent l'occurrence d'hivers « anormaux » d'un point de vue nivométéorologique ainsi que des tendances d'origine climatique.

16 http://risquesenvironnementaux-collectivites.oree.org/le-guide/risques-mon-territoire/risques-majeurs/avalanche.html
17 Détecteur de Victime(s) d'Avalanche
18 Enquête Permanente sur les Avalanches réalisée par le service RTM de l'ONF, données publiques sur le site www.avalanches.fr

19 Etude Climatologique de l'Activité Avalancheuse Naturelle (collaboration IRSTEA- Météo France)

2. Tendances climatiques et prévisions en Auvergne-Rhône-Alpes

La spécificité des zones de montagne en fait des milieux fragiles face au changement climatique. En effet, l'augmentation de la température moyenne y est deux fois plus importante par rapport au niveau national (UICN, 2015).

2.1. Augmentation de la température moyenne

Dans les Alpes, la température annuelle moyenne s'est élevée de +2 °C depuis 1890 (Korck et al., 2011). Cette augmentation étant plus intense en haute altitude et pour les saisons printemps-été.

En Auvergne, la température moyenne est également en forte augmentation, et particulièrement en été, comme l'illustre la figure 15.

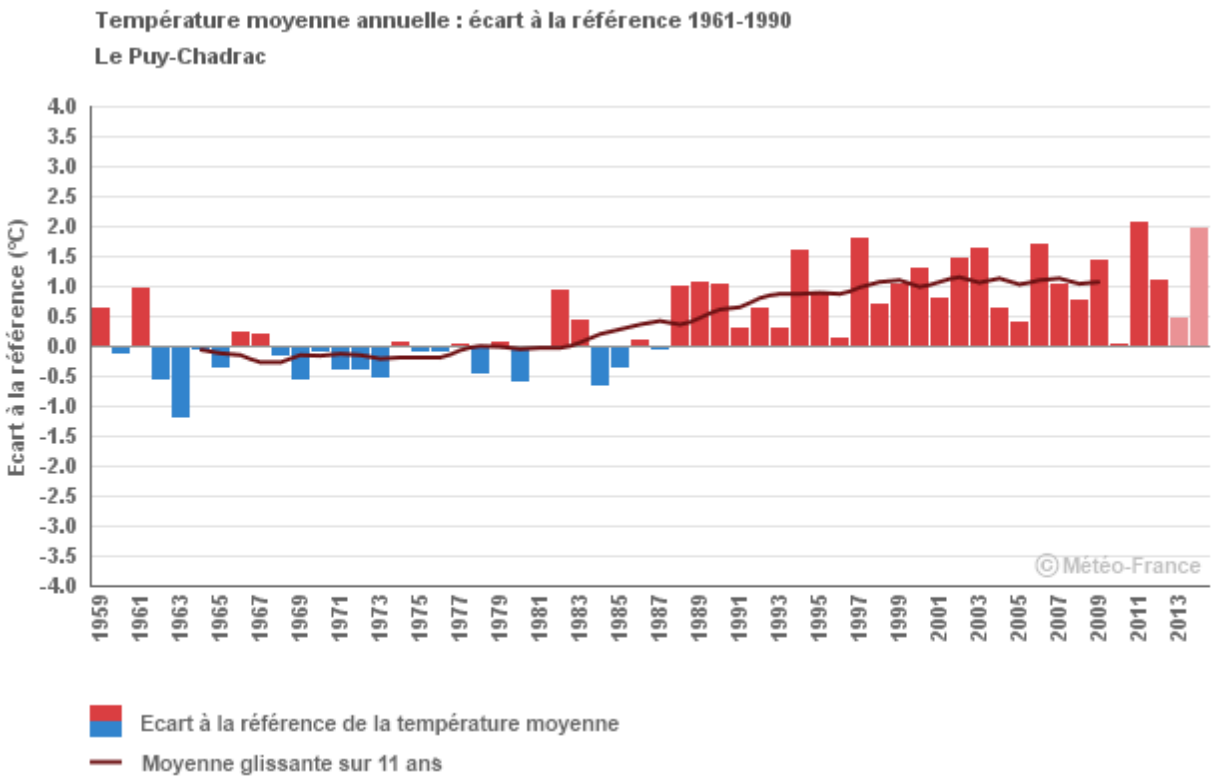


Fig.15 – Relevés de la température moyenne annuelle pour la période 1959-2013 à la station de Le Puy-Chadrac

Ces régions montagneuses sensibles sont ainsi confrontées à une hausse des températures entraînant des changements au niveau de l'enneigement.

2.2. Diminution de l'enneigement moyen

Une diminution de l'enneigement moyen aux altitudes moyennes (en termes de durée et de hauteur) a été constaté dans la région Rhône-Alpes (Figure 16). La neige tombe plus tard mais fond plus tôt, ce qui impact les petites, moyennes et grandes stations. Les stations de haute altitude ne présentent pas de variation de l'enneigement.

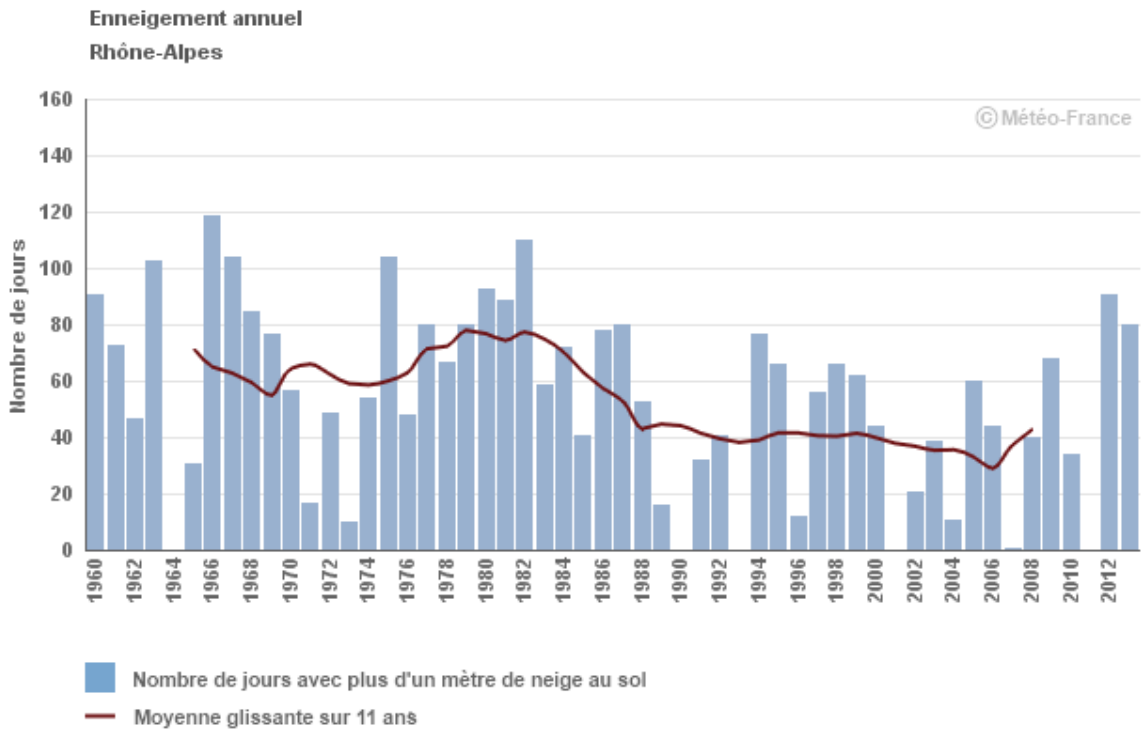


Fig.16 – Représentation graphique de l'enneigement annuel pour la région Rhône-Alpes

2.3. Evolution peu marquée de la pluviométrie

Les variations de pluviométrie sont moins claires par rapport à l'évolution des températures. En effet, la tendance pluvieuse est peu marquée, car le régime est trop variable.

Une probable évolution est tout de même à noter. Les précipitations augmenteraient en hiver avec des phénomènes pluvieux plus intenses. Cependant, une diminution de la pluviométrie en été est à prévoir d'ici la fin du XXIème siècle. Les précipitations moyennes en Auvergne seraient en effet en diminution.

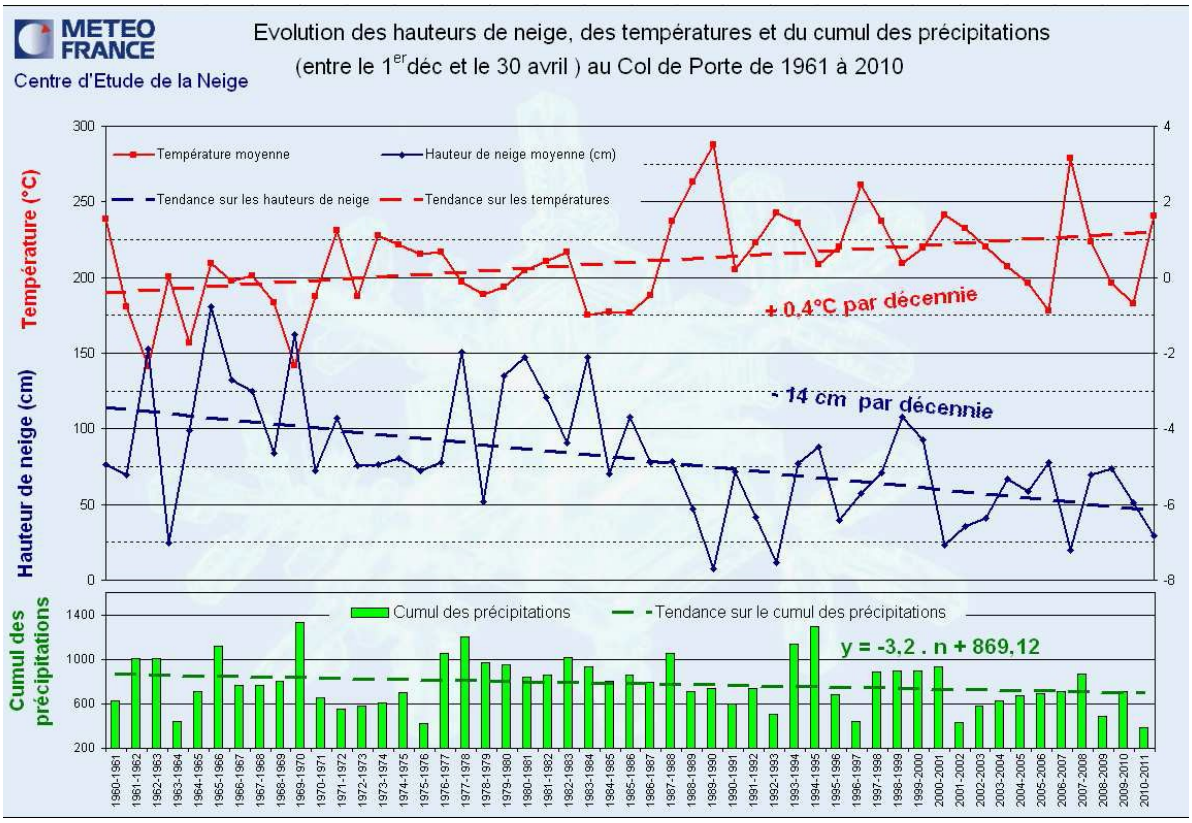


Fig.17 – Bilan des tendances climatiques pour la station du Col de la Porte (Chartreuse)

2.4. Prévisions climatiques futures

Le portail « DRIAS Les futurs du climat » met à disposition des projections climatiques pour différents horizons. Par exemple, le nombre de jours de vagues de chaleur (Fig.18) indique une forte augmentation de ce paramètre pour la région Auvergne-Rhône-Alpes (de 30 jusqu'à 90 jours en plus). De même, le pourcentage de précipitations quotidiennes intenses montre une augmentation d'environ 10 % pour l'horizon lointain (2071-2100) dans la région (Fig.19).

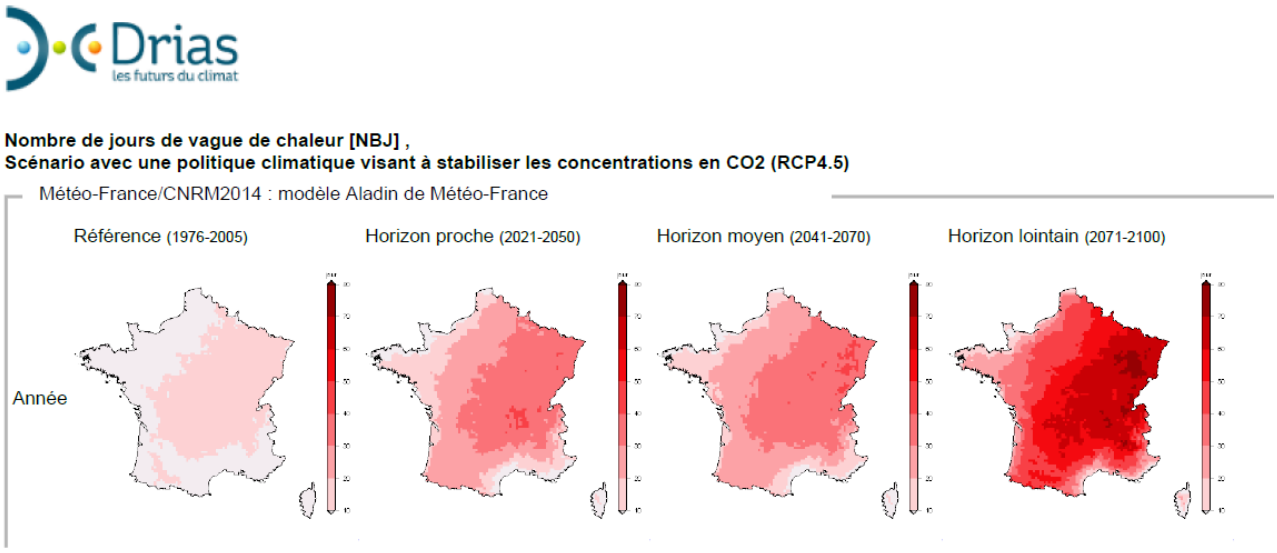


Fig.18 – Projection climatique du nombre de jours de vague de chaleur

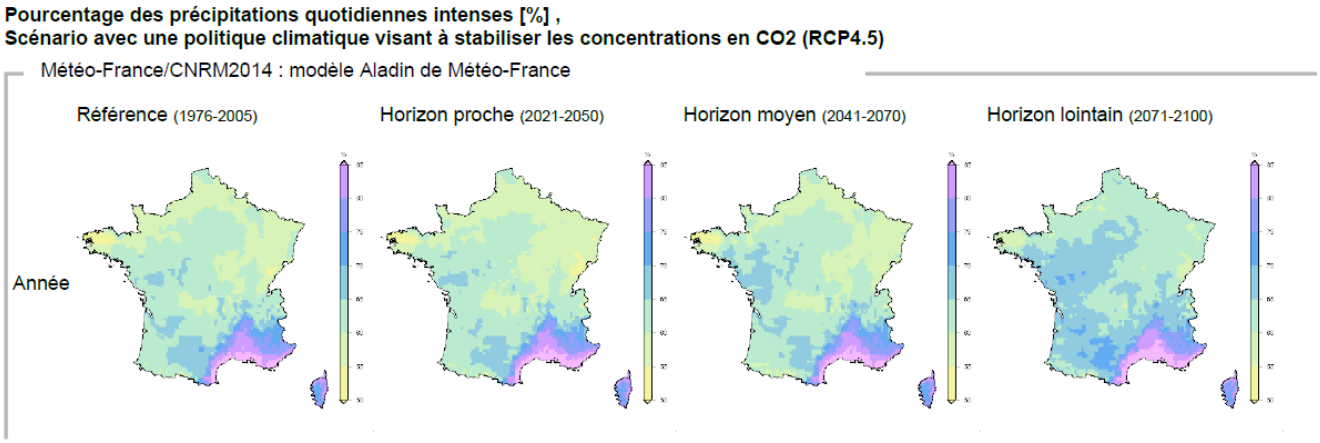


Fig.19 – Projection climatique du pourcentage des précipitations quotidiennes intenses

Pour plus d'informations, consulter le Profil climat « Montagne-Alpes du Nord » de l'ORECC[20] ou la thématique climat pour la région Auvergne-Rhône-Alpes[21].

20 http://orecc.auvergnerhonealpes.fr/fr/donnees-territoriales/profils-climat.html
21 http://orecc.auvergnerhonealpes.fr/fr/thematiques/climat.html

3. Exposition du secteur au changement climatique

Les aléas naturels sont sensibles face aux paramètres climatiques (ONERC, 2008).

3.1. Impact sur les mouvements de terrains

Peu d'impacts du changement climatique sont clairs sur les mouvements de terrain (UICN, 2015). L'augmentation de la fréquence des zones soumises au cycle gel/dégel et des sécheresses/canicules durant la période estivale entraînerait une plus forte probabilité du risque incendie. La couverture végétale étant moins présente, les phénomènes de retrait/gonflement des argiles et les mouvements rocheux de faibles volumes seront plus fréquents. Selon la DREAL, « le changement climatique présentera probablement un effet aggravant pour les phénomènes retrait-gonflement des argiles auxquels la région est actuellement exposée à un niveau non négligeable. À titre d'exemple, 20 % des communes du Puy de Dôme ont fait l'objet d'un arrêté CATNAT entre 1989 et 2006. ».

L'eau est le facteur déterminant dans leur processus de déclenchement. Une possible augmentation des précipitations extrêmes pourrait impacter le niveau des nappes d'eau souterraines et donc possiblement augmenter l'occurrence des tassements/affaissements et des effondrements. De plus, la hauteur de neige plus importante en altitude provoquerait une augmentation de la fréquence des glissements et coulées de boue. Par ailleurs, l'augmentation des températures serait responsable de la dégradation du permafrost de paroi aux hautes altitudes. Cette fonte du « ciment » des montagnes serait à l'origine de la plus forte occurrence des éboulements/écroulements. Une remontée en altitude des phénomènes de ces mouvements rocheux est également à prévoir. En effet, le premier écroulement rocheux au-dessus de 4000 mètres a été observé en 2015 (PARN). L'intensification du phénomène d'érosion des berges est également à prévoir.

Mouvements de terrain		Impact	Lien avec le changement climatique
Lents	TASSEMENTS/AFFAISSEMENTS	Potentiel	Précipitations plus intenses -> influence battement des nappes
	GLISSEMENTS	Potentiel	Précipitations plus intenses, hauteur de neige importante en haute altitude
	RETRAIT/GONFLEMENT DES ARGILES	Observé	Augmentation de la fréquence des sécheresses et canicules
Rapides	EROSION DES BERGES	Potentiel	Précipitations plus intenses accélèrent le phénomène
	EFFONDREMENTS	Potentiel	Précipitations plus intenses -> influence battement des nappes
	CHUTE DE PIERRES/BLOCS	Observé	Augmentation après le passage d'un incendie de forêt (sécheresse/canicule) et dans les zones soumises au gel/dégèl
	EBOULEMENTS	Observé	Augmentation après le passage d'un incendie de forêt (sécheresse/canicule) et dans les zones soumises au gel/dégèl
	ECROULEMENTS	Potentiel	Dégradation du permafrost augmenterai leur fréquence
	COULÉES BOUEUSES	Potentiel	Précipitations plus intenses, montée en altitude de la limite de chute de neige

Fig.20 – Impact du changement climatique sur l'aléa mouvement de terrain (UICN, 2015)

3.2. Impact sur les avalanches

De même que pour les mouvements de terrain, les effets du changement climatique sur les avalanches est très incertain. Aucun impact du changement climatique n'a été observé sur les avalanches en termes de fréquence et de localisation. En effet, « les situations avalancheuses (…) sont plutôt conditionnées par des facteurs météorologiques à très court terme (quelques jours), alors que les études climatiques se font plutôt sur des tendances à long terme et sur des moyennes. », (ONERC, 2008). Les études étant limitées, l'absence de données directes ne permet pas de donner une tendance significative selon l'IRSTEA.

L'UICN note tout de même qu'un manque de neige aux moyennes et basses altitudes entraîne l'élévation de l'attitude d'arrêt des avalanches (excepté pour les phénomènes extrêmes). De plus, les redoux hivernaux induisent la fonte du manteau neigeux durant l'hiver. De plus, Les avalanches de neige seraient moins nombreuses à basses et moyennes altitudes, mais des phénomènes extrêmes sont toujours possibles lors d'hiver froids et enneigés. Les avalanches humides pourraient être de plus en plus nombreuses à cause des redoux hivernaux. Ce type de déstabilisation du manteau neigeux assez puissant se propage bas en altitude vers des vulnérabilités plus élevées. Cependant, selon certains auteurs, la stabilité du manteau serait accrue aux moyennes-basses altitudes puisque l'enneigement serait faible voir nul.

Avalanches de neige - lien avec le changement climatique	
IMPACTS OBSERVÉS	IMPACTS POTENTIELS
Altitude d'arrêt plus élevée ces 30 dernières années Pas de modification de l'altitude d'arrêt pour les avalanches extrêmes Redoux hivernaux : épisodes de fonte en plein hiver	Augmentation de la proportion d'avalanches de neige humide par rapport aux avalanches de neige sèche Augmentation de la stabilité du manteau neigeux avec le réchauffement Déclenchement d'avalanches à basse altitude et d'avalanches de forte intensité toujours envisageable lors d'épisodes froids associés à de fortes précipitations neigeuses
Pas de relation claire entre l'activité avalancheuse et le changement climatique au cours du XXème siècle	Diminution de l'activité avalancheuse à basse et moyenne altitude

Fig.21 – Impact du changement climatique sur l'aléa avalanches neigeuses (UICN, 2015)

<u>Synthèse</u>

L'impact du changement climatiques sur les risques n'est pas toujours clair. En effet, l'évolution des paramètres météorologiques telles que la pluviométrie n'est pas prévisible sur le long terme. Le manque de données, notamment sur les mouvements rocheux, ne permet pas la bonne compréhension des phénomènes. Concernant les avalanches, ces dernières présentent une variabilité interannuelle et un facteur de contrôle météorologique à court terme, qui complique leur prévision (UICN, 2015).

À l'occasion du séminaire international d'expert et dans le cadre du projet ADAPTALP, le CD73 a recensé les différents impacts des aléas naturels dans un contexte de changement climatique. Plusieurs constatations témoignent d'une saisonnalité plus ou moins marquée de ces phénomènes dans le département de la Savoie :

– le déclenchement des glissements de terrain est plus favorable en printemps et en été, mais de plus en plus d'évènements sont observés durant la saison hivernale

– les coulées de neige, qui se produisaient plutôt vers mars-avril, se déclenchent maintenant à toute période lors d'un phénomène de gel/dégel

5. Capacité d'adaptation des risques en montagne face au CC

Une gestion intégrée est nécessaire face au changement climatique est un enjeu fondamental d'après l'UICN. Cette politique de gestion « consiste à prendre dans leur ensemble les problèmes de prévention, de protection, d'alerte, de gestion de crise et de gestion post-crise par des retours d'expérience, et à faire mieux travailler ensemble les différents acteurs », (Einhorn, Peissier, 2011[22]).

5.1. Approche globale

Une vision globale de la gestion des risques en termes d'aménagement du territoire serait une des sources d'adaptation face au changement climatique. Les aléas naturels pourraient être plus intenses si le changement climatique se poursuit. Leur étude et leur prise en compte dans la gestion du territoire peut se faire dans le cadre d'une réflexion globale (plaquette ClimChAlp). L'ancienne région Rhône-Alpes, l'ONERC et le PARN indiquent qu'il « convient, plus que jamais, d'adopter des solutions souples et évolutives pour « se préparer à l'inattendu ». ». En effet, les échanges de données et d'expérience entre les acteurs locaux et jusqu'à une échelle internationale permettraient une gestion intégrée des risques naturels.

Selon le Schéma Interrégional du massif des Alpes (SIMA), une prise en compte spécifique des risques naturels dans les documents d'urbanisme (PLU, SCoT) en tant que paramètre de l'aménagement du territoire permettrait une politique de **gestion intégrée**. Limiter l'implantation de populations et infrastructures dans les zones à risque diminuerait ainsi les dommages (Rapport DIAC[23]).

5.2. Approche technique

Les phénomènes de risque en montagne étant difficiles à prédire, il est nécessaire de développer différentes mesures visant à réduire voire éliminer le risque. L'adaptation de la prévention de ces aléas est indispensable dans un contexte de changement climatique. Il faut également prendre en compte l'évolution de l'économie de la montagne au regard des vulnérabilités humaines.

Différentes étapes sont réalisées pour l'adaptation aux phénomènes de mouvements de terrain et d'avalanches (Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables[24]) :

- ✔ Une première phase d'identification du risque par la connaissance des aléas ;
- ✔ Une étape de surveillance nécessaire pour la prévision des phénomènes ;
- ✔ L'information préventive et l'éducation des différents acteurs ;
- ✔ La protection et la réduction du risque ;
- ✔ La mitigation ;
- ✔ La planification et l'organisation des secours en cas de crise ;
- ✔ Une dernière phase de prise en compte du retour d'expérience après un évènement.

22 Séminaire international d'experts « Adaptation de la gestion des risques naturels face au changement climatique », 26 janvier 2011 à Domancy (Haute-Savoie)
23 Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires
24 Aujourd'hui Ministère de la transition écologique et solidaire

5.1.1. La connaissance des phénomènes

Acteurs

Maire : connaissance des aléas
État : services de l'État (RTM, BRGM, IRSTEA, CEREMA, Universités…) → BD aléas
Autres : SNCF (base de données)

Objectifs

Regrouper et traiter les données afin d'identifier les enjeux et la vulnérabilité face aux aléas.
→ sous forme de bases de données (RTM, BRGM, SNCF, OMIV[25], RENAG[26]…) et de cartographie (CLPA par l'IRSTEA)

Exemple

Base de données du Laboratoire EDYTEM (Université Savoie Mont Blanc) : projet PERMAdataROC avec le recensement d'éboulements et écroulements dans le massif du Mont Blanc

5.1.2. Phase de surveillance des phénomènes

Acteurs

Collectivités territoriales : dispositifs de surveillance des phénomènes naturels par les communes (capteurs, détecteurs…)
État : surveillance des phénomènes météorologiques (Météo-France), des mouvements de terrain (CEREMA)
Autres : Bureaux d'étude, gestionnaires d'ouvrages…

Objectifs

Anticiper les aléas afin d'alerter la population

Exemple

Surveillance de phénomènes de grande ampleur par l'Etat : cas de Séchilienne par le CEREMA.

5.1.3. Information préventive et éducation

Acteurs

Maire : réaliser le DICRIM
Préfet : mise à jour du DDRM
Autres : Associations (ANENA), médias (RDS)

Objectifs

Informer la population sur les risques afin de réduire la vulnérabilité

Exemple

Formation sauvetage avalanche par l'ANENA

---

25 Observatoire Multidisciplinaire des Instabilités de Versant

26 Reseau National GPS permanent

5.1.4. Mesures de protection et réduction du risque

Acteurs

Collectivités territoriales : prise en compte des risques dans les documents d'urbanisme (PLU, SCoT…), application des différents documents mis à disposition (PPR…)

État : élaboration des PPR(N), amélioration de la sécurité des constructions

Autres : Entreprises privées (installations d'aménagements…), MOA

Objectifs

Réduire le risque et les dommages occasionnés par un phénomène par l'intermédiaire d'ouvrages de protection (actifs/passifs)

Exemple

Protection active permanente pour soutenir le manteau neigeux et empêcher le déclenchement d'avalanches (Fig.22)

Fig.22 – Râteliers et filets à Mâcot-la-Plagne, Savoie. Source : Toraval

5.1.5.Mitigation

Acteurs

Collectivités territoriales : application des documents, faire respecter la réglementation, entretenir la mémoire du risque, mise en œuvre des travaux de protection

Etat : financement et contrôle de la mise en œuvre des travaux de protection, réalisation de diagnostics de vulnérabilités

Autres : Bureaux d'études, MOA

Objectifs

Réduire les dommages en diminuant l'intensité de certains aléas mais également les vulnérabilités

Exemple

Diagnostics de vulnérabilité du territoire

5.1.6.Planification et organisation des secours en cas de crise

Acteurs

Maire : Transmission de l'alerte à la population (PCS)

État : Organisation des secours (plan ORSEC)

Objectifs

Prévoir l'organisation des secours et préciser le rôle de chacun en cas de crise

Exemple
Activation du PCS par le maire de Saint-Colomban-des-Villards face à de fortes chutes de neige et des rafales de vent. Le risque avalanche est élevé (4/5) et les chutes d'arbres nombreuses. Aucune victime ou destruction de biens n'a été dénombré[27].

5.1.6. Le retour d'expérience

Acteurs

État : REX par l'intermédiaire de la CAT NAT
Autres : FFSA, CCR (BD Athena), IRSTEA + ONF (EPA)

Objectifs
Améliorer la gestion des risques en faisant un bilan post-catastrophe

Exemple

Retour d'expérience de l'avalanche à Montroc (Commune de Chamonix) survenue début février 1999[28].

Retour d'expérience sur le glissement de la Clapière (voir biblio)

5.3. Pistes d'évolution : vers une mise en réseau de la gestion des risques ?

Lors de discussions avec différents acteurs, l'enjeu d'une mise en réseau des travaux est vivement souhaité. En effet, une multitude d'acteurs travaille plus ou moins de la même manière sur les risques en montagne (BD mouvements de terrain recensés par le RTM, le BRGM la SNCF, les CG…). L'organisation d'une base de données commune (par région par exemple) serait avantageux (PARN, CEREMA).
Cette meilleure structuration du réseau risques en France permettrait de mieux quantifier les vulnérabilités et les sites les plus « à risques ».

27 http://www.ledauphine.com/savoie/2017/03/07/intemperies-le-maire-de-saint-colomban-des-villards-active-le-plan-communal-de-sauvegarde
28 http://www.mementodumaire.net/dispositions-generales-2/la-post-catastrophe/dgp6-retour-dexperience/

Conclusion

- « *Le lien entre risques naturels et climat est réel mais difficile à appréhender* ", Plaquette ClimChAlp

- Pas de lien clair entre changement climatique et avalanches, seulement des observations

- Corrélation entre la hausse des températures et l'augmentation de la fréquence des mouvements rocheux et retrait/gonflement des argiles

- Pas de tendance nette pour les mouvements de terrain dû à une incertitude de l'évolution pluviométrique

- Manque de données sur le long terme

- Nombreuses études en cours dans le massif alpin (peu de données pour le Massif Central)

→ Enjeu de faciliter la centralisation des données par la mise en place d'un observatoire commun par région par exemple

→ Meilleure communication entre les différents acteurs

→ Développer une gestion intégrée des risques en montagne

Références

Bibliographie

BRGM (2010) – **Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans le département du Puy-de-Dôme**
Disponible en ligne http://georisques.gouv.fr/data-argiles/AleaRG63.pdf

Castebrunet H., Eckert N., and Giraud G., (2012) – **Snow and weather climatic control on snow avalanche occurrence fluctuations over 50 yr in the French Alps**, Clim. Past, 8, 855-875, https://doi.org/10.5194/cp-8-855-2012, 2012.
Disponible en ligne https://www.clim-past.net/8/855/2012/cp-8-855-2012.pdf

Einhorn B., Peisser C., PARN, (2011) – Séminaire international d'experts « **Adaptation de la gestion des risques naturels face au changement climatique** », 26 janvier 2011 à Domancy (Haute-Savoie)
Disponible en ligne
http://www.risknat.org/adaptalp/expert_hearing_wp6/expert_hearing_synthese.pdf

Ministère de l'Ecologie et du Développement durable, 2005 – Document d'information : **Les avalanches**

Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables[29], (2008) – **Programme Information, participation du public, concertation et association dans les plans de prévention des risques. Le rôle des acteurs de la prévention des risques naturels.**

Rapport technique n°1 de l'ONERC – **Changement climatiques dans les Alpes : impacts et risques naturels**. Octobre 2008, 100p.
Disponible en ligne http://www.risknat.org/docs/Rapport%20Technique%20N%C2%B01.pdf

Ravanel L., (2010) – **Caractérisation, facteurs et dynamiques des écroulements rocheux dans les aprois à permafrost du massif du Mont Blanc**. Thèse de Doctorat de Géographie, Université Savoie Mont Blanc, 326 p.

Séminaire international d'experts dans le cadre du projet AdaptAlp – **Adaptation de la gestion des risques naturels face au changement climatique**. Le 26 janvier 2011 à Domancy (Haute-Savoie). Rédigé par Benjamin Einhorn et Carine Pessier (PARN).
Disponible en ligne
http://www.risknat.org/adaptalp/expert_hearing_wp6/proceedings/Actes_seminaire_AdaptAlp_26jan2011.pdf

Schéma Interregional du Massif des Alpes, Comité de Massif – Proposition de mise à jour 2017

Rapport du DIACT[30], (2008) – Changement climatique dans le massif alpin français, Etat des lieux et

29 Aujourd'hui Ministère de la Transition Écologique et Solidaire

30 Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires

propositions. Établi pour le commissariat à l'aménagement au développement et à la protection du massif alpin

UICN France, (2015) – **Changement climatique et risques naturels dans les montagnes tempérées**. Paris, France.
Disponible en ligne http://uicn.fr/wp-content/uploads/2016/08/Brochure_CC_Montagnes-web.pdf

Sites internet

Canopé Île-de-France, Risques et Savoirs (schéma glissement de terrain)
http://www.reseau-canope.fr/risquesetsavoirs/mentions-legales.html

Information et carte sur l'exposition de la région aux risques mouvement de terrain et avalanche
http://www.auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/les-risques-naturels-dans-la-region-auvergne-rhone-a10318.html#sommaire_2

Schéma des risques naturels (introduction)
http://www.auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/risques-naturels-r3022.html

Information sur les dispositifs d'étude et de gestion du risque avalanche (CLPA, EPA, SSA)
www.avalanches.fr

Informations sur les mouvements de terrain (définitions, base de donnée)
http://www.georisques.gouv.fr/

Explication des mouvements de terrain
http://www.gouvernement.fr/risques/mouvement-de-terrain

Explication du risque d'éboulement des ruines de Séchilienne
http://www.grenoble.fr/421-les-risques-naturels.htm

Explications catastrophe du Granier
https://www.isterre.fr/sciences-pour-tous/mouvements-de-terrain/eboulements-rocheux/article/instabilite-gravitaire-les-catastrophes-du-granier

Figures affaissements/effondrements
http://www.rhone.gouv.fr/Politiques-publiques/Securite-et-protection-de-la-population/La-securite-civile/Les-risques-majeurs/Les-risques-majeurs-dans-le-Rhone/Risques-miniers-PPRM

Schéma coulée de boue
http://observatoire-regional-risques-paca.fr/article/coulees-boue

Fiche thématique Risques Naturels – Etat de la connaissance sur l'adaptation au changement climatique en Rhône-Alpes, Préparation du SRCAE (Asconit Consultants)
http://orecc.auvergnerhonealpes.fr/fileadmin/user_upload/mediatheque/orecc/Documents/Biblio

theque/RhoneAlpes/fiche-4-risques.pdf

Histoire de la catastrophe du Plateau d'Assy
http://udsp74.fr/pdf/histoire/catastrophe_plateau_assy.pdf

Complément pour le tableau de synthèse des acteurs
http://www.risknat.org/projets/prinat/Gestion/QuiFaitQuoiHtml/QFQRNIndex.html

Glossaire

Aléa : manifestation d'un phénomène naturel (mouvement de terrain, avalanche) ou anthropique d'occurrence et d'intensité données (Ministère de la transition écologique et solidaire).

Enjeu : population, infrastructures, patrimoine pouvant être affectés par un phénomène (Ministère de la transition écologique et solidaire).

Nappe phréatique/nappe d'eau souterraine : masse d'eau contenue dans les fissures du sous-sol (Futura-Sciences)

Permafrost : tout matériel de subsurface dont la température reste négative pendant au moins deux années consécutives, avec présence ou non de glace (Ravanel, 2010).

Risque naturel : événement dommageable, doté d'une certaine probabilité, conséquence d'un aléa survenant dans un milieu vulnérable (Ministère de la transition écologique et solidaire).

Vulnérabilité : exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux (Ministère de la transition écologique et solidaire).

Sigles

ANENA – Association Nationale pour l'Etude de la neige et des Avalanches
AURA – Région Auvergne-Rhône-Alpes
BD – Base de Données
BDMvt – Base de Données Mouvements de terrains (BRGM)
BRA – Bulletin du Risque d'Avalanche
BRGM – Bureau de Recherche Géologique et Minière
CAT NAT – Procédure de reconnaissance de l'état de CATastrophe NATurelle
CCR – Caisse Centrale de Réassurance
CG – Conseil Général
CLPA – Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalanches
DICRIM – Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs
DDRM – Dossier Départemental sur les Risques Majeurs
EDYTEM – Environnements Dynamiques et Territoires de la Montagne
EPA – Enquête Permanente sur les Avalanches
FFSA – Fédération Française des Sociétés d'Assurances
INERIS – Institut National de l'EnviRonnement Industriel et des RisqueS
IRSTEA – Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture
MOA – Maîtres d'OuvrAges
OMIV – Observatoire Multidisciplinaire des Instabilités de Versant
ONF – Office Nationale des Forêts
ONRN – Observatoire Nationale des Risques Naturels
ORSEC – Organisation des SECours
PCS – Plan Communal de Sauvegarde
RDS – Radio Data System
RENAG – Reseau National GPS permanent
REX – Retour d'EXpérience
SCOT – Schéma de Cohérence Territorial
SNCF – Société Nationale des Chemins de Fer français
SSA – Sites Sensibles aux Avalanches
PAPI – Plan d'Action de Prévention des Inondations
PLRA – Prévision Localisée du Risque Avalanche
PLU – Plan Local d'Urbanisme
PPR(N) – Plan de Prévention des Risques (Naturels)
RTM – Restauration des Territoires de Montagne
UCPA – Union Nationale des Centres sportifs de Plein Air
UICN – Union Internationale pour la Conservation de la Nature

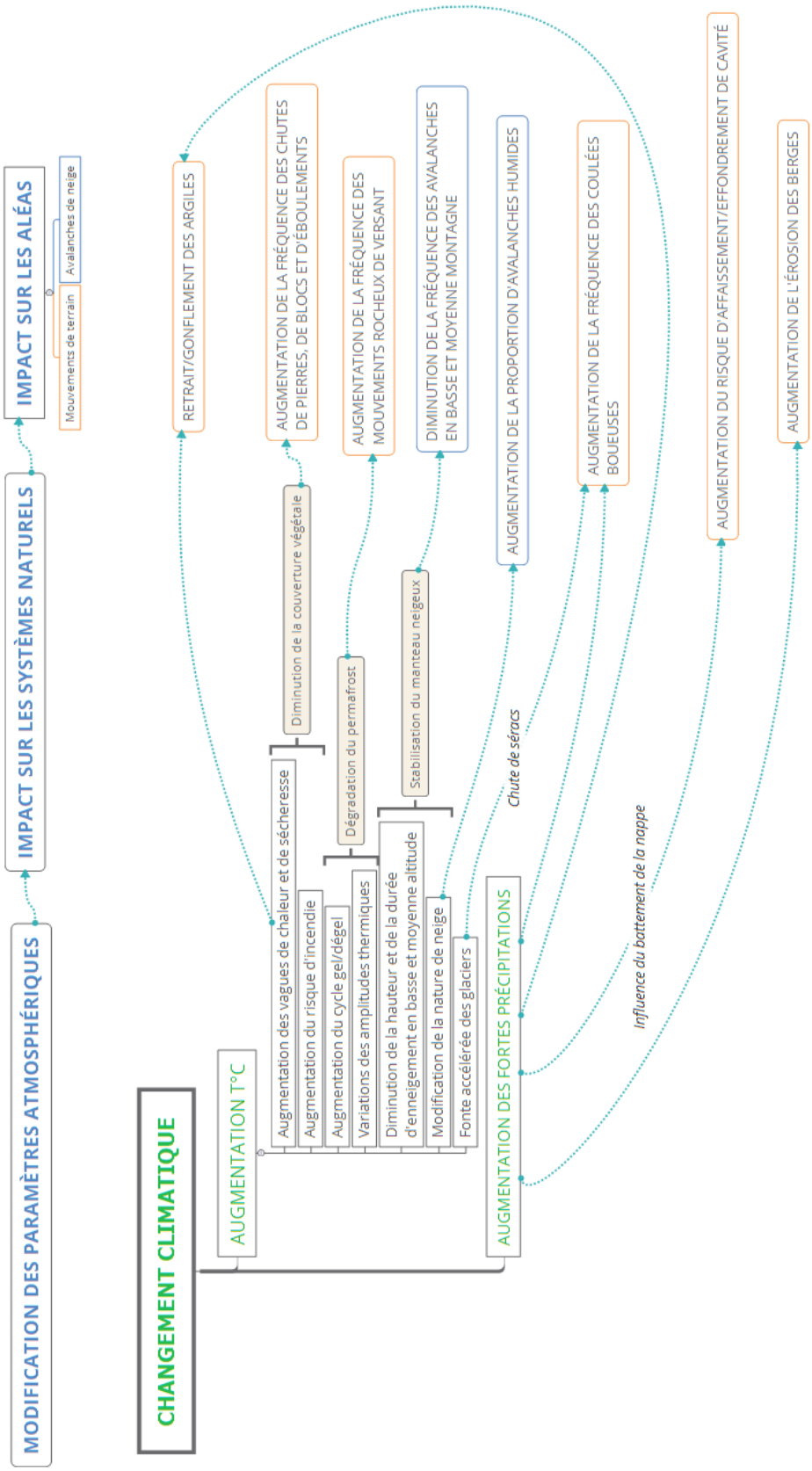
Annexes

Annexe 1 – Inventaire des mouvements de terrain pour chaque département de la région AURA (BDMvt, BRGM)

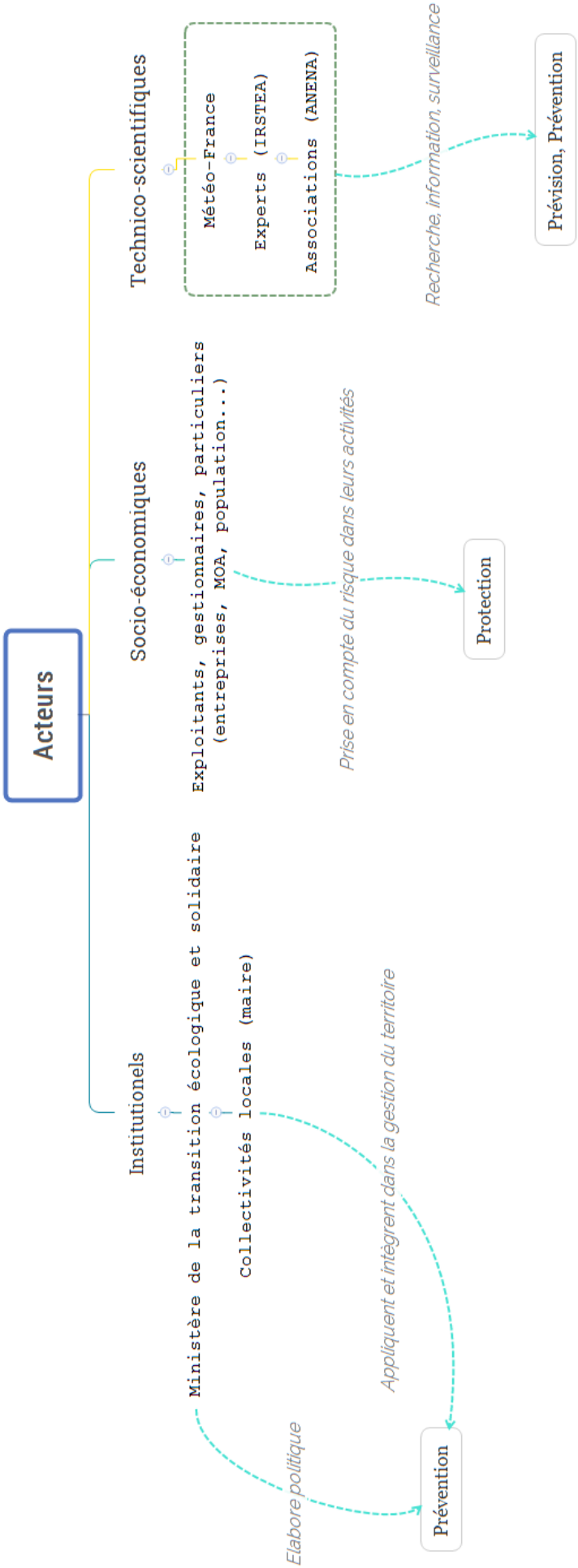
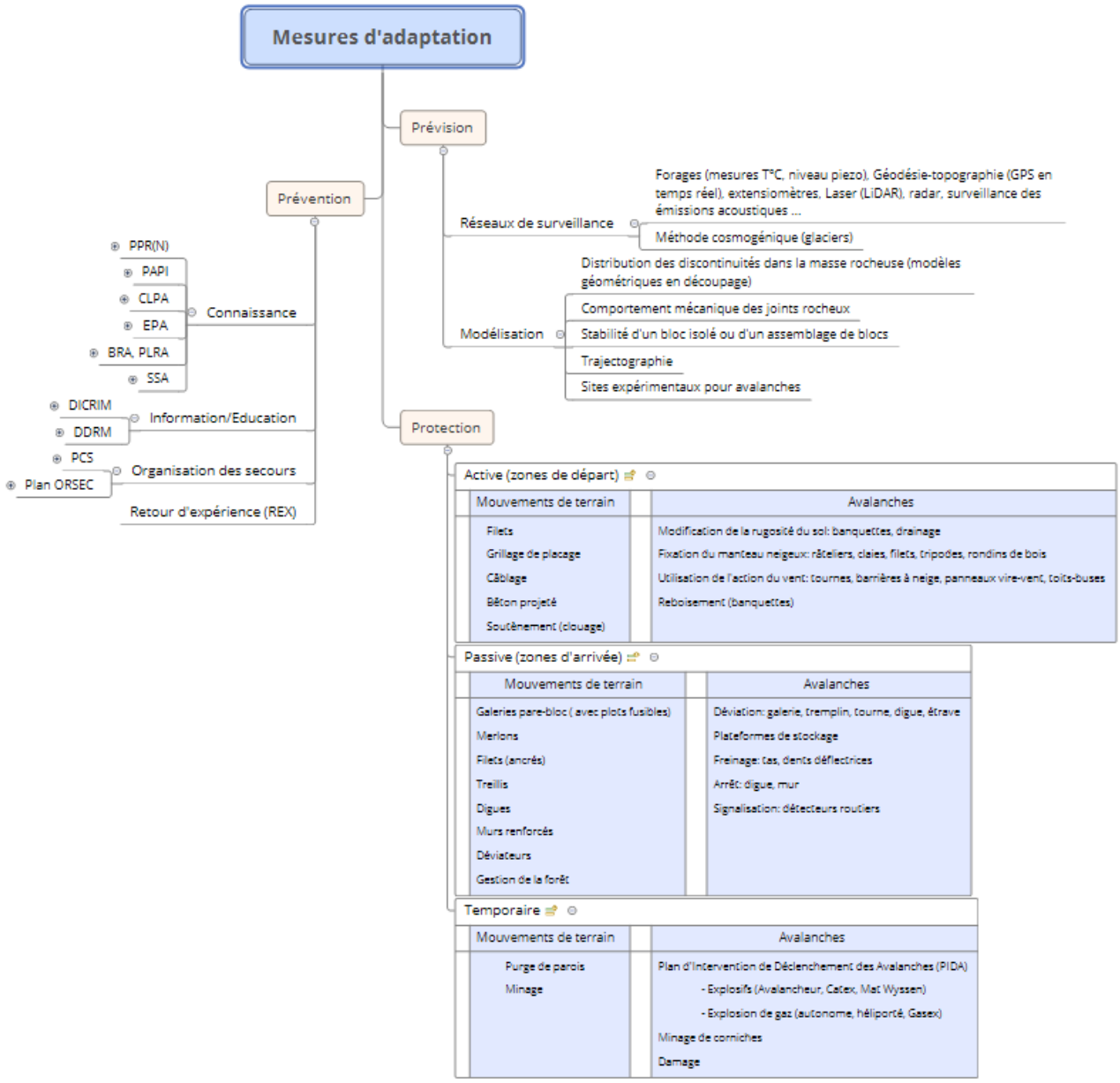
Département	Mouvements de terrain	Nombre	Total	Pourcentage
Savoie	Effondrements	24	1449	1,7%
	Glissements	445		30,7%
	Chutes de blocs/Eboulements	551		**38,0%**
	Coulées de boues	425		29,3%
	Erosion des berges	4		0,3%
Isère	Effondrements	21	1060	1,98%
	Glissements	526		**49,62%**
	Chutes de blocs/Eboulements	382		36,04%
	Coulées de boues	94		8,87%
	Erosion des berges	37		3,49%
Drôme	Effondrements	44	1041	4,23%
	Glissements	557		**53,51%**
	Chutes de blocs/Eboulements	219		21,04%
	Coulées de boues	118		11,34%
	Erosion des berges	103		9,89%
Ardèche	Effondrements	9	916	0,98%
	Glissements	545		**59,50%**
	Chutes de blocs/Eboulements	292		31,88%
	Coulées de boues	33		3,60%
	Erosion des berges	37		4,04%
Puy-de-Dôme	Effondrements	31	614	5,05%
	Glissements	345		**56,19%**
	Chutes de blocs/Eboulements	154		25,08%
	Coulées de boues	37		6,03%
	Erosion des berges	47		7,65%
Haute-Savoie	Effondrements	8	574	1,39%
	Glissements	353		**61,50%**
	Chutes de blocs/Eboulements	183		31,88%
	Coulées de boues	29		5,05%
	Erosion des berges	1		0,17%

Cantal	Effondrements	8	561	1,43%
	Glissements	277		**49,38%**
	Chutes de blocs/Eboulements	183		32,62%
	Coulées de boues	18		3,21%
	Erosion des berges	75		13,37%
Ain	Effondrements	13	371	3,50%
	Glissements	176		**47,44%**
	Chutes de blocs/Eboulements	146		39,35%
	Coulées de boues	13		3,50%
	Erosion des berges	23		6,20%
Rhône	Effondrements	18	292	6,16%
	Glissements	130		**44,52%**
	Chutes de blocs/Eboulements	80		27,40%
	Coulées de boues	20		6,85%
	Erosion des berges	44		15,07%
Loire	Effondrements	13	273	4,76%
	Glissements	97		**35,53%**
	Chutes de blocs/Eboulements	41		15,02%
	Coulées de boues	41		15,02%
	Erosion des berges	81		29,67%
Haute-Loire	Effondrements	17	196	8,67%
	Glissements	100		**51,02%**
	Chutes de blocs/Eboulements	64		32,65%
	Coulées de boues	9		4,59%
	Erosion des berges	6		3,06%
Allier	Effondrements	10	131	7,63%
	Glissements	64		**48,85%**
	Chutes de blocs/Eboulements	12		9,16%
	Coulées de boues	12		9,16%
	Erosion des berges	33		25,19%

Annexe 2 – Synthèse des effets du changement climatique sur les risques en montagne



Annexe 3 – Schéma simplifié des différents acteurs dans la gestion des risques naturels



Annexe 4 – Exemples de mesures d'adaptation mise en place dans la gestion des risques naturels