



# La Lettre Alpes-Climat-Risques

Lettre d'information du PARN sur le changement climatique et les risques naturels dans les Alpes

N°1 – Août 2012

[www.risknat.org/thematiques-recherche/changement-climatique-et-risques-naturels](http://www.risknat.org/thematiques-recherche/changement-climatique-et-risques-naturels)

## Sommaire

<b>Introduction.....</b>	<b>2</b>
<b>Activités du PARN sur le changement climatique .....</b>	<b>2</b>
Contexte .....	2
La rubrique web "Changement Climatique et Risques Naturels" .....	3
La Base Alpes-Climat-Risques .....	3
La Base Projets .....	4
<b>Informations et actualités institutionnelles.....</b>	<b>5</b>
Politiques publiques d'adaptation au changement climatique .....	5
Observatoires .....	5
Recherche universitaire .....	6
<b>Résultats de la recherche.....</b>	<b>8</b>
Climat et milieux alpins .....	8
Paramètres climatiques .....	8
Enneigement.....	10
Glaciers.....	11
Cours d'eau .....	13
Forêt alpine .....	14
Risques naturels .....	14
Aléas d'origine glaciaire.....	14
Avalanches .....	15
Mouvements de terrain .....	16
Crues et laves torrentielles .....	18
Crues et inondations.....	19
Feux de forêt.....	19
Tempêtes.....	20
Travaux transversaux (pluri-thématiques).....	21
<b>Manifestations .....</b>	<b>22</b>



## Introduction

Cette lettre d'information est éditée par Pôle Alpin d'études et de recherche pour la prévention des Risques Naturels (PARN) avec le soutien de la Région Rhône-Alpes. Elle s'inscrit dans le cadre de l'actualisation de la base de connaissances « Alpes-Climat-Risques » relative aux effets du changement climatique sur les risques naturels dans l'Arc alpin<sup>1</sup>. Elle est diffusée sur le site internet du PARN et au sein de son réseau scientifique, technique et institutionnel (chercheurs, gestionnaires opérationnels des risques, décideurs...).

Ce premier numéro présente :

- les activités du PARN sur le changement climatique,
- des informations et actualités sur le contexte institutionnel et scientifique de l'adaptation aux effets du changement climatique (politiques publiques, observatoires, recherche universitaire),
- les principaux résultats de la dernière mise à jour de la base Alpes-Climat-Risques, ainsi qu'une sélection de résultats récents de la recherche sur le changement climatique, ses impacts sur les milieux de montagne et ses effets sur les risques naturels dans les Alpes,
- un agenda de manifestations à venir sur ces thématiques.

## Activités du PARN sur le changement climatique

### Contexte

---

Dans le cadre des orientations prises en 2005 par son Conseil Scientifique et Technique (CST), le PARN a investi cette thématique des effets du changement climatique sur les risques naturels, à travers :

- ses activités de veille scientifique, d'analyse et de synthèse des connaissances initiées en 2006 dans le cadre du projet ClimChAlp<sup>2</sup> avec la conception et l'alimentation de la base de connaissance Alpes-Climat-Risques, par la suite mise à jour en 2010,
- sa participation au projet AdaptAlp<sup>3</sup>, dans la lignée du projet ClimChAlp,
- ses activités de diffusion et de valorisation (site internet, interventions orales lors d'ateliers ou de séances de formation, Lettre Alpes-Climat-Risques),
- sa contribution au volet « risques naturels » du Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC) en 2011,
- sa participation en 2011 et 2012 à des groupes de travail institutionnels sur la vulnérabilité des territoires et l'adaptation au changement climatique (PCET Nord-Isère, SRCAE Rhône-Alpes)<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> Cette base de connaissances, développée dans le cadre du projet européen ClimChAlp, est présentée ci-après.

<sup>2</sup> Projet Interreg IIIB Espace Alpin : "Climate change, impacts and adaptation strategies in the Alpine Space" (2006-2008).

<sup>3</sup> Projet ETC (Interreg IV) Espace Alpin : "Adaptation to Climate Change in the Alpine Space" (2008-2011).

<sup>4</sup> PCET : Plan Climat-Energie Territorial ; SRCAE : Schéma Régional Climat-Air-Energie.

## La rubrique web "Changement Climatique et Risques Naturels"

[www.risknat.org/thematiques-recherche/changement-climatique-et-risques-naturels](http://www.risknat.org/thematiques-recherche/changement-climatique-et-risques-naturels)

Cette rubrique du site internet du PARN donne accès :

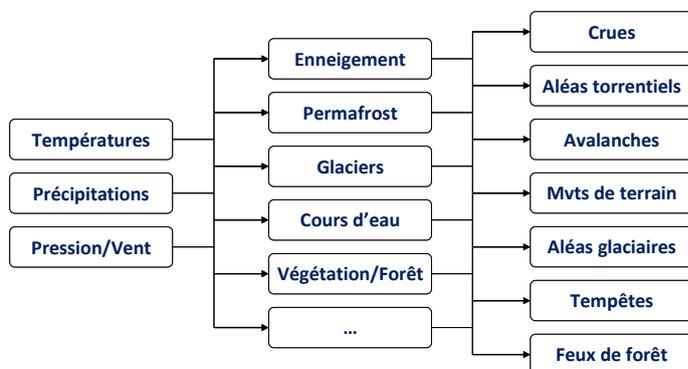
- à la base de connaissances Alpes-Climat-Risques ;
- au rapport technique publié par l'ONERC<sup>5</sup> reprenant les synthèses thématiques de la base, ainsi qu'à la plaquette d'information destinée aux collectivités locales, réalisé par le PARN en 2008 en partenariat avec la Région Rhône-Alpes dans le cadre du projet ClimChAlp ;
- aux travaux réalisés dans le projet AdaptAlp en 2011 :
  - actes de l'atelier international "Adaptation de la gestion des risques naturels face au changement climatique" et du séminaire technique sur la vidange de la poche d'eau du glacier de Tête Rousse (voir ci-après),
  - plateforme interactive Who-Does-What? décrivant l'organisation des acteurs de la gestion des risques naturels et leurs missions dans différents pays alpins (France, Italie, Slovénie),
  - "Common Strategic Paper" du projet ;
- à la présente lettre d'information.

## La Base Alpes-Climat-Risques

La base de connaissances Alpes-Climat-Risques des effets du changement climatique sur les risques naturels dans l'Arc alpin a été développée par le PARN en partenariat avec l'ONERC et la Région Rhône-Alpes dans le cadre du projet européen ClimChAlp (2006-2008), puis mise à jour en 2009-2010 avec le soutien de la Région Rhône-Alpes.



► [www.risknat.org/projets/alpes-climat-risques](http://www.risknat.org/projets/alpes-climat-risques)



Cette plateforme bibliographique offre une synthèse des connaissances triées et hiérarchisées sur les évolutions avérées et prévisibles des phénomènes naturels à l'origine de chaque type de risques (inondations, crues torrentielles, mouvements de terrain, avalanches, risques glaciaires, feux de forêt, tempêtes) sous l'influence du changement climatique.

Une nouvelle mise à jour est en cours et sera mise en ligne d'ici la fin de l'année 2012.

<sup>5</sup> "Changement climatiques dans les Alpes : Impacts et risques naturels", Rapport Technique N°1 de l'ONERC, Octobre 2008.

### Traitement des connaissances dans la Base Alpes-Climat-Risques

La base est alimentée par le PARN selon une procédure de traitement conçue pour assurer la traçabilité des résultats pris en compte dans le processus d'analyse et de synthèse des études traitées, afin de permettre aux utilisateurs de mobiliser ces connaissances selon leurs besoins :

(1) Sur la base d'un inventaire des études relatives aux effets du changement climatique sur les milieux de montagne et sur les risques naturels associés, les études sélectionnées sont intégrées sous la forme de '**fiches étude**'. Ces fiches sont répertoriées et accessibles par des liens hypertextes sur les pages web 'Références' et 'Inventaire' et les informations qu'elles contiennent sont ventilées dans les pages 'Analyse' décrites ci-après.

(2) La page '**Références**' comporte la liste de références bibliographiques traitées dans la base, classées selon les catégories suivantes : (i) études scientifiques (articles "peer-reviewed", chapitres d'ouvrage, thèses, etc.), (ii) rapports et (iii) proceedings (actes d'ateliers, conférences, workshops...).

(3) La page '**Inventaire**' fournit un classement thématique des études traitées sous forme de tableaux à double entrée : (i) par type de phénomène (paramètres climatiques, systèmes naturels impactés et type d'aléas naturels impactés) et, (ii) par type de connaissance (reconstructions paléoenvironnementales, observations/mesures, modélisations, et hypothèses théoriques).

(4) Les pages '**Analyse**' contiennent une sélection de paragraphes résumant les principaux résultats des études traitées ainsi que la méthodologie employée pour parvenir à ces résultats, en distinguant les connaissances produites selon les rubriques suivantes : (i) facteurs de contrôle des phénomènes et effets du changement climatique sur (ii) leur intensité, (iii) leur fréquence, (iv) leur saisonnalité et (v) leur distribution spatiale. Au sein de ces rubriques, le contenu des études est réorganisé selon les types de connaissances décrits au point 3. Pour la majorité des études, le contenu, à l'origine en anglais, est traduit en français.

(5) Enfin, la page '**Synthèses**' comporte des liens vers des synthèses thématiques rédigées sous forme de documents imprimables (pdf). Ces synthèses sont validées par un comité d'experts scientifiques.

Suite à la dernière mise à jour de la base en 2010, plus de 200 références bibliographiques ont été prises en compte. Les connaissances nouvellement intégrées n'ont pas remis en cause les principales conclusions des synthèses thématiques publiées dans le rapport de l'ONERC en 2008. Toutefois, elles ont permis d'apporter des compléments d'analyse pour toutes les thématiques et d'en préciser certains aspects. Ces éléments sont synthétisés ci-après, dans la partie « Résultats de la recherche ».

### **La Base Projets**

---

Depuis 2007 le PARN développe, en partenariat avec la DREAL Rhône-Alpes, une base de données qui fournit un accès rapide et ciblé aux résultats des projets de recherche européens, nationaux, régionaux et locaux sur les risques naturels, via un moteur de recherche multicritère : la Base Projets. Les projets considérés sont ceux qui concernent les territoires des régions Rhône-Alpes, PACA et Languedoc-Roussillon. Actuellement, une vingtaine de projets en lien avec la thématique du changement climatique dans différents programmes de recherche (Interreg, PCRD, ANR, GICC, etc.) sont consultables dans cette base de données. ► [www.risknat.org/baseprojets](http://www.risknat.org/baseprojets)

## Informations et actualités institutionnelles

### ***Politiques publiques d'adaptation au changement climatique***

---

Le **Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC)** prévu par la loi dite « Grenelle 1 » a été publié en juillet 2011 par le Ministère en charge de l'Ecologie. Ce plan a pour objectif de donner à la France les moyens de s'adapter aux nouvelles conditions climatiques de 2011 à 2015 dans tous les secteurs d'activité impactés. Il présente plus de 200 mesures découlant des recommandations issues de la phase de concertation avec différents collègues d'acteurs (ONG, syndicats, professionnels, élus, administration). Ces mesures concernent à la fois le renforcement de la recherche et de l'observation les effets du changement climatique, l'intégration de l'adaptation dans les politiques publiques, l'information de la société, la sensibilisation et le partage des connaissances sur le changement climatique et l'adaptation. Pour prendre en compte l'incertitude associée à l'évolution climatique, le PNACC sera révisé tous les cinq ans. ► [www.developpement-durable.gouv.fr/Le-Plan-national-d-adaptation,22978.html](http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-Plan-national-d-adaptation,22978.html). Le PARN, sollicité par le Ministère lors de la phase de concertation, a contribué aux recommandations produites par le groupe de travail sur les risques naturels.

Le **Schéma Régional Climat-Air-Energie (SRCAE)** lancé fin 2010 en Rhône-Alpes et piloté conjointement par la l'Etat et la Région, conformément à la loi dite « Grenelle 2 », a été approuvé en mars 2012, à l'issue de trois phases d'élaboration collective : (1) une phase d'élaboration au sein de 5 groupes de travail thématiques (Transport et urbanisme ; Bâtiment, logement et tertiaire ; Industrie, agriculture, sylviculture ; Adaptation aux effets du changement climatique ; Production énergétique), (2) une phase de concertation territoriale et (3) une phase de consultation publique. Les objectifs et orientations fixés par le SRCAE en matière d'atténuation et d'adaptation se fondent sur un état des lieux (diagnostic régional sur la qualité de l'air, les énergies renouvelables, les émissions de gaz à effet de serre, la consommation énergétique et la vulnérabilité du territoire au changement climatique), mais aussi sur un exercice de prospective aux horizons 2020 et 2050 permettant de se projeter sur les futurs possibles de la région. ► <http://srcae.rhonealpes.fr>. Au titre de ses activités sur le changement climatique et les risques naturels, le PARN a contribué aux travaux préparatoires ainsi qu'aux ateliers du volet « Adaptation » du SRCAE.

### ***Observatoires***

---

L'**Observatoire National des Effets du Réchauffement Climatique (ONERC)**, en partenariat avec le Groupement d'intérêt scientifique (GIS) « Climat Environnement Société », a mis en ligne une base de données des projets de recherche - en cours ou achevés après 2008 - portant sur les impacts du changement climatique et l'adaptation et couvrant prioritairement la France et l'Outre-mer.

► <http://onerc.org/fr/content/base-de-donnees-des-projets-de-recherche>

La création d'un **Observatoire Régional du Changement Climatique (ORECC)** en Rhône-Alpes a été initiée suite aux orientations préconisées dans le cadre du volet « Adaptation » du SRCAE. L'objectif de l'ORECC est de mettre à disposition des acteurs territoriaux une information fiable, la plus localisée et précise possible, sur le changement climatique et ses effets déjà constatés ou prévus. Les travaux de préfiguration sont actuellement menés par Rhône-Alpes-Energie-Environnement (RAEE), avec l'appui du Groupe de Réflexion et d'Action sur l'Adaptation au Changement Climatique (GRAACC).



► [Compte-rendu de l'Atelier de travail du 10 avril 2012](#). Le PARN a contribué à ces travaux préparatoires, notamment en fournissant un inventaire des acteurs rhônalpins de la recherche sur les risques naturels et le changement climatique.

**L'Observatoire savoyard du Changement Climatique (OsCC)** de la Mission Développement Prospective de Savoie (MDP73) publie depuis 2009 des documents d'analyse relatifs à divers aspects du changement climatique en Savoie (changement climatique, bilans climatiques, impacts, adaptation et atténuation, gaz à effet de serre), dont certains sont listés ci-après dans la rubrique « Résultats de la recherche ». ► [www.mdp73.fr](http://www.mdp73.fr)

Le Conseil général de la Savoie publie chaque année dans **L'Observatoire savoyard de l'environnement** des dossiers thématiques comportant de nombreux indicateurs sectoriels, avec en particulier des données et statistiques sur le climat, l'eau, l'air ou encore la gestion de l'espace. ► [www.cg73.fr/5765-toutes-les-publications-environnement.htm](http://www.cg73.fr/5765-toutes-les-publications-environnement.htm)

Le projet de **Parc Naturel Régional des Baronnies Provençales** prévoit la création d'un Observatoire du territoire, comportant un axe « risques naturels » destiné à suivre l'évolution des risques naturels (notamment les épisodes cévenols) au regard du changement climatique et global. Ce projet s'inscrit dans le cadre de l'opération interrégionale "Sites pilotes de gestion intégrée des risques naturels" animée par le PARN. ► [www.risknat.org/sitespilotes/.../ppt\\_Baronnies\\_25\\_nov\\_2011.pdf](http://www.risknat.org/sitespilotes/.../ppt_Baronnies_25_nov_2011.pdf)

**L'Observatoire de l'eau en montagne** créé suite aux Etats généraux de l'eau en montagne (Megève 2010) est en cours de développement sur le site pilote « Pays de Savoie – Annecy – Mont-Blanc – Léman ». Celui-ci regroupe des gestionnaires de l'eau de bassins versants des deux Savoie (Arve, Léman, lac d'Annecy et Arly)<sup>6</sup>. Trois thématiques sont abordées : (1) le partage de la ressource, (2) la préservation des zones humides, torrents et lacs de montagne, et (3) l'évolution des masses d'eau et des risques. Les objectifs généraux sont de renforcer l'observation et d'améliorer la connaissance du fonctionnement hydrologique des hauts bassins versants. Cet objectif passe par le renforcement des réseaux de mesure hydrométéorologique existants et par le développement d'outils de modélisation innovants permettant l'élaboration d'outils de gestion et d'aide à la décision pour les élus et les gestionnaires (notamment un système d'alerte en temps réel). ► [www.eaumontagne.org](http://www.eaumontagne.org)

## **Recherche universitaire**

---

Dans le cadre de la politique d'« investissements d'avenir », plusieurs « Laboratoires d'excellences » (Labex) portés par le PRES<sup>7</sup> Université de Grenoble ont été labellisés en 2011, parmi lesquels le Labex OSUG@2020 dans le domaine des Sciences de la terre, de l'univers et de l'environnement, et le Labex ITEM dans le domaine des Sciences de l'homme et de la société. Au regard de leurs compétences et de leurs objets scientifiques, de nombreux laboratoires des organismes membres du PARN sont impliqués dans l'un ou l'autre de ces deux Labex.

---

<sup>6</sup> Ce site pilote animé conjointement par la Société d'Economie Alpestre (SEA 74) et la Société d'Équipement de Haute Savoie (SEDHS) et soutenu par l'Agence de l'eau RMC, le CG74 et le programme hydrologique HELP de l'UNESCO, s'appuie sur des syndicats de bassin (SILA, SIFOR, SIEM, SYMASOL et SM3A), un contrat de rivière (Arly) et une régie des eaux (Megève).

<sup>7</sup> Pôle de recherche et d'enseignement supérieur.



Le **Labex OSUG@2020 "Stratégies innovantes pour l'observation et la modélisation des systèmes naturels"** a pour objectif d'étendre l'expertise de l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble (OSUG) dans le domaine de la recherche interdisciplinaire (notamment en climatologie, glaciologie et hydrologie), afin de répondre aux défis scientifiques à venir, en particulier les impacts de l'évolution du climat sur les activités humaines. ► <http://portail.osug.fr/labex-osug-2020-242>. En particulier, l'OSUG pilote plusieurs observatoires et systèmes d'observation<sup>8</sup> coordonnés par l'INSU<sup>9</sup> qui alimentent les bases de données nationales et internationales, parmi lesquels GLACIOCLIM<sup>10</sup>, l'Observatoire Hydrométéorologique Méditerranéen Cévennes-Vivarais (OHM-CV), la Zone Atelier Alpes (ZAA) et l'Observatoire Multi-disciplinaire des Instabilités de Versants (OMIV).

Le **Labex ITEM "Innovation et Territoire de Montagne"** entend reconsidérer le processus d'innovation à partir des territoires montagnards, considérés comme un laboratoire, en étudiant leurs réponses au changement global induit par les évolutions économiques, environnementales et climatiques. Dans une perspective de co-construction avec différentes catégories d'acteurs, ITEM regroupe un ensemble de laboratoires d'excellence en Sciences Humaines et Sociales et d'organismes partenaires. Dans cette perspective scientifique, le labex entend développer un partenariat étroit avec les collectivités territoriales et les milieux socio-économiques, avec pour objectifs : (1) développer des stratégies de recherche interdisciplinaire en SHS pour répondre aux enjeux actuels et à venir des territoires de montagne, (2) analyser les processus d'innovation et d'adaptation sur ces territoires et (3) expérimenter des modes de gestion intégrée, durable et innovante. Compte tenu de ces objectifs et de ces perspectives et au regard de son expérience et de ses activités dans le champ des risques naturels, le PARN est associé au labex ITEM en tant qu'organisme partenaire d'interface scientifique-décisionnelle-opérationnelle. ► [www.labexitem.fr](http://www.labexitem.fr)

---

<sup>8</sup> Observatoires de Recherche en Environnement (ORE) et Systèmes d'Observation et d'Expérimentation pour la Recherche en Environnement (SOERE).

<sup>9</sup> Institut National des Sciences de l'Univers.

<sup>10</sup> Service d'observation des glaciers Alpes, Andes, Antarctique.

## Résultats de la recherche

Cette section présente quelques résultats majeurs référencés lors de la dernière mise à jour de la base Alpes-Climat-Risques. Elle comporte également une sélection de liens vers des projets récemment terminés ou en cours et de ressources bibliographiques sur le changement climatique, ses impacts sur les milieux de montagne et ses effets sur les risques naturels dans les Alpes.

### Climat et milieux alpins

#### *Paramètres climatiques*

---

##### *Observations*

Les grandes tendances spatiales et temporelles des changements climatiques dans les Alpes ont été précisées à partir des longues séries de mesures homogénéisées couvrant les derniers 250 ans rassemblées dans la base de données HISTALP<sup>11</sup>. Cette base de données offre un cadre de référence pour les études climatologiques et paléoclimatiques alpines. Dans son ensemble, la région alpine s'est réchauffée de 2°C entre la fin du 19e et le début du 21e siècle, soit deux fois plus que la moyenne globale. Cette augmentation s'est produite en deux étapes, avec un premier pic dans les années 1940 et une deuxième augmentation à partir des années 1970. Les séries de précipitations (remontant jusqu'à 1800) présentent des différences régionales et saisonnières plus significatives, avec des tendances spatiales et temporelles beaucoup plus hétérogènes que celles des températures. En particulier, elles montrent une évolution remarquablement opposée au cours du 20e siècle entre la partie nord-ouest de la région alpine où les précipitations annuelles ont augmenté de 9% et sa partie sud-est où elles ont diminué également de 9%. Par ailleurs, l'augmentation des précipitations au NW de la région alpine au cours des 140 dernières années s'est accompagnée d'une augmentation similaire de la couverture nuageuse, tandis qu'un assèchement à long terme est observé au SE accompagné par une tendance à la baisse de la nébulosité. ► [www.zamg.ac.at/histalp](http://www.zamg.ac.at/histalp)

Pour les Alpes françaises, les réanalyses effectuées par Météo-France avec le modèle SAFRAN sur les données de 21 sites couvrant l'ensemble des massifs pour la période 1958-2005 permettent également de mieux spatialiser les évolutions climatiques observées<sup>12</sup>. Elles confirment l'augmentation marquée et statistiquement significative de la température moyenne annuelle depuis la fin des années 1970, de l'ordre de +1°C en moyenne. Les résultats mettent en évidence l'hétérogénéité spatiale et temporelle des tendances observées en fonction des massifs et selon les saisons. L'analyse des tendances à différentes altitudes (de 600 à 3600m) montre que l'augmentation des températures est particulièrement marquée aux altitudes moyennes (1500-2000m) où elle dépasse 0,03°C/an, tandis qu'elle s'atténue nettement au-delà de 3000m. En revanche, les précipitations annuelles moyennes observées et simulées par SAFRAN ne présentent pas de tendances statistiquement significatives. On observe néanmoins une tendance positive cohérente pour les précipitations des Alpes du Nord, et aucune tendance pour les Alpes du Sud.

---

<sup>11</sup> Auer *et al.*, 2007.

<sup>12</sup> Durand *et al.*, 2009a.

Concernant l'évolution des précipitations extrêmes, des tendances à la hausse sont observées au cours des dernières décennies pour certaines stations et dans certaines régions, principalement au nord des Alpes (Suisse, Allemagne), mais aucune tendance globale ne se dégage d'après les études répertoriées.

À l'échelle départementale, les bilans climatiques annuels et saisonniers publiés par l'**OsCC** mettent en évidence les évolutions observées en Savoie en termes de températures, de précipitations, d'enneigement et de bilan hydrique (► [MDP73 > Bilans Climatiques](#)). A titre d'exemple, la comparaison des températures moyennes annuelles mesurées en Savoie et en Suisse depuis 60 ans montre un réchauffement uniforme sur les Alpes du nord-ouest, de l'ordre de +1,8°C en tendance linéaire par rapport à la normale 1961/1990 (► [OsCC Climat N°7](#)). Par ailleurs, 2011 se révèle l'année la plus chaude jamais mesurée dans la montagne savoyarde (► [Bilans Clim. N°12](#)), ce qui est également le cas à l'échelle de la France métropolitaine (► [Bilan 2011 de Météo-France](#)).

Signalons enfin les recherches climatologiques en cours sur les massifs du Vercors et des Ecrins effectuées dans le cadre de la **Zone Atelier Alpes** (► [www.za-alpes.org](http://www.za-alpes.org)) et les observations réalisées à l'échelle par les Parcs Naturels Régionaux et Nationaux (► [www.parcsnationaux.fr/Access-direct/Actualites/Les-parcs-nationaux-francais-et-le-changement-climatique](http://www.parcsnationaux.fr/Access-direct/Actualites/Les-parcs-nationaux-francais-et-le-changement-climatique)), qui permettront à terme d'élaborer des diagnostics climatiques régionaux et locaux dans les régions de montagne.

### *Projections climatiques*

La série de rapports "**Le climat de la France au XXIe siècle**" diffusée par l'ONERC dans le cadre du PNACC rassemble les contributions de différents organismes de recherche en sciences du climat à la mission d'expertise dirigée par le climatologue Jean Jouzel pour produire une évaluation scientifique des conditions climatiques de la France au XXIe siècle. Elle fournit les indices climatiques de référence qui doivent servir de base à l'élaboration des mesures d'adaptation au changement climatique. ► [www.developpement-durable.gouv.fr/-Le-climat-de-la-France-au-XXIe-.html](http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Le-climat-de-la-France-au-XXIe-.html)

Le projet **DRIAS**<sup>13</sup> (2008-2011) coordonné par la Direction de la Climatologie de Météo-France avait pour objectif de créer un « service climatique » destiné aux différentes communautés d'utilisateurs impliqués dans les études d'impact et dans l'élaboration de mesures d'adaptation au changement climatique (notamment dans le cadre des SRCAE et des PCET). Un comité d'utilisateurs composé de chercheurs, bureaux d'étude, entreprises, associations et collectivités territoriales a été associé au projet pour construire un service qui réponde au mieux aux attentes. Le portail **DRIAS**<sup>les futurs du climat</sup> issu de ce projet, désormais en ligne, fournit un accès facilité aux projections climatiques régionalisées réalisées dans les laboratoires français de modélisation du climat (IPSL, CERFACS, CNRM-GAME). Les données sont délivrées sous différentes formes graphiques ou numériques. ► [www.drias-climat.fr](http://www.drias-climat.fr)

Le projet **SCAMPEI**<sup>14</sup> (2009-2011) soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) et coordonné par Météo-France a permis d'affiner les projections climatiques dans les régions de montagne en utilisant des modèles régionaux à haute résolution (8 km) sur la France métropolitaine. Une cascade de modèles numériques et statistiques a été développée pour produire des séries

---

<sup>13</sup> DRIAS : "Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnements", soutenu par le programme Gestion des Impacts du Changement Climatique (GICC).

<sup>14</sup> SCAMPEI : "Scénarios Climatiques Adaptés aux zones de Montagne : Phénomènes extrêmes, Enneigement et Incertitude".

climatiques quotidiennes sur trois périodes (passé, futur proche et futur lointain) en fonction de la position géographique et de l'altitude, en mettant l'accent sur l'évaluation des diverses sources d'incertitudes par une approche multi-modèles. Des simulations spécifiques ont été mises en œuvre pour modéliser l'évolution de la couverture neigeuse et l'évolution de nombreux autres paramètres climatiques relatifs aux phénomènes météorologiques extrêmes (sécheresse, vagues de chaleur, précipitations extrêmes). Sur les Alpes, un modèle statistique de coulées de débris a été mis en œuvre pour calculer l'évolution des probabilités de déclenchement des laves torrentielles. La base de données SCAMPEI offre un accès public aux séries quotidiennes des variables météorologiques et nivologiques des scénarios du projet. Le choix se fait par commune ou par combinaison zone climatique/altitude. ► [www.cnrm.meteo.fr/scampe](http://www.cnrm.meteo.fr/scampe). Par ailleurs, les sorties de modèles produites dans SCAMPEI ont été incorporés à la base de données DRIAS pour permettre aux utilisateurs de produire en temps réel des graphiques à partir des données de base.

De très fortes incertitudes subsistent concernant l'évolution future des précipitations. Globalement, les modèles prévoient des tendances contrastées entre l'Europe du Nord et l'Europe du Sud, notamment en matière de précipitations extrêmes. Par exemple, selon les projections présentées dans le récent rapport du GIEC sur les événements extrêmes (SREX ► [www.ipcc-wg2.gov/SREX](http://www.ipcc-wg2.gov/SREX), voir p. 21), la période de retour des précipitations actuellement considérées comme vingtennales pourrait diminuer d'un facteur 2 sur la partie médiane de l'Europe mais varierait peu dans sa partie méditerranéenne. Dans les Alpes, qui sont au carrefour de différentes influences climatiques, l'évolution des précipitations et leurs impacts hydrologiques pourraient donc être très variables selon les régions.

Concernant les scénarios d'émission de gaz à effet de serre utilisés en entrée des modèles d'évolution climatique, le séminaire "**Mieux comprendre les nouveaux scénarios du GIEC**" organisé par le programme GICC (Paris, 23 Novembre 2011) a permis d'apporter des réponses aux questions suivantes : « Pourquoi de nouveaux scénarios ? Comment ont-ils été construits ? Comment les utiliser ? » Les vidéos et présentations ainsi que la synthèse du séminaire sont en ligne sur le site du programme. ► [www.gip-ecofor.org/gicc/?q=node/362](http://www.gip-ecofor.org/gicc/?q=node/362)

## **Enneigement**

---

### *Observations*

Une analyse rétrospective du climat et de l'enneigement dans les Alpes françaises a été effectuée par Météo-France à partir des données de modèles atmosphériques réanalysées sur la période 1959–2005 avec la chaîne de modèles Safran-Crocus-Mepra, complétées par les observations météorologiques<sup>15</sup>. Les principales caractéristiques climatiques du couvert neigeux ont été modélisées à différentes échelles spatiales et temporelles et les résultats ont été validés par confrontation avec les observations nivologiques. Globalement, on observe une diminution très nette de la durée et de la hauteur d'enneigement à basse et moyenne altitude à partir de 1980. L'épaisseur de neige modélisée à 1800 m sur l'ensemble des Alpes pour les mois d'hiver montre une forte variabilité interannuelle tout au long de la période d'étude, ainsi qu'une variabilité spatiale importante sur la première partie de la période. Après le milieu des années 1980, le couvert neigeux est plus homogène sur l'ensemble des Alpes, avec une diminution des valeurs moyennes et de l'amplitude des

---

<sup>15</sup> Durand *et al.*, 2009b.

valeurs extrêmes, indiquant une variabilité spatiale moindre. La diminution générale constatée est visible aux plus basses altitudes, surtout dans les Alpes du Nord, moins marquée au sud où des hivers bien enneigés se sont produits au cours des dernières décennies. En revanche, aucune tendance temporelle claire n'est visible à haute altitude (2700m) pour aucun des secteurs.

Ces résultats sont cohérents avec les tendances observées à des altitudes comparables dans les Alpes suisses<sup>16</sup>, qui montrent un changement abrupt à la fin des années 1980, avec une diminution significative du nombre de jours de neige, sans tendance claire au cours des 20 dernières années. Ce signal est uniforme sur les deux versants des Alpes malgré de fortes différences régionales. Cette série d'hivers peu enneigés, sans précédent sur la période d'étude (1948-2007), est concomitante avec l'augmentation brutale de la température hivernale moyenne observée depuis la fin des années 1980. Par ailleurs, toutes les études s'accordent sur le fait que les changements détectés dans la couverture neigeuse sont plus prononcés aux altitudes les plus basses, où les tendances des températures sont également plus marquées, et pour lesquelles un petit changement de température conduit à une augmentation des pluies par rapport aux précipitations sous forme de neige<sup>17</sup>.

Les bilans climatiques de l'OsCC apportent également des précisions sur les tendances observées en Savoie dans l'évolution de la couverture neigeuse. D'après le bilan d'enneigement de la saison 2011-2012, ces tendances observées apparaissent cohérentes avec les tendances futures modélisées dans le cadre du projet SCAMPEI (cf. ► [OsCC Bilans Clim. N°14](#)).

### *Projections*

Dans le cadre du projet **SCAMPEI**, l'évolution de la couverture neigeuse a été calculée sur les montagnes métropolitaines à partir des scénarios climatiques produits à la résolution de 8 km. Les résultats ont été affinés sur les Alpes grâce au modèle de manteau neigeux CROCUS pour tenir compte de variables supplémentaires comme l'altitude, l'exposition ou encore la qualité de la neige. Le principal résultat est la diminution forte dès le milieu du 21<sup>ème</sup> siècle de la durée d'enneigement de tous les massifs, ce jusqu'à une altitude de 2500 m. A la fin du siècle la durée annuelle d'enneigement est réduite de 80% dans les scénarios les plus pessimistes, mais 50% dans les scénarios optimistes. Ce résultat est jugé robuste malgré la forte disparité de la réponse des modèles en ce qui concerne les précipitations. ► [www.cnrm.meteo.fr/scampe](http://www.cnrm.meteo.fr/scampe)

## **Glaciers**

---

Dans le cadre du projet Alcotra **GlaRiskAlp**<sup>18</sup> en cours (2010-2013), un inventaire cartographique à haute résolution de l'état actuel des glaciers des Alpes occidentales a été réalisé sur la base des orthophotographies récentes (2006-2009). Les glaciers des Alpes françaises couvrent une surface totale de 275 km<sup>2</sup>, dont 96% situés dans les massifs des Ecrins, de la Vanoise et du Mont-Blanc. Sur la base des levés topographiques effectués par l'IGN à la fin des années 1960, des cartes anciennes et de relevés géomorphologiques, la cartographie des marges pro-glaciaires résultant du désenglacement doit ensuite permettre d'établir la chronologie des fluctuations glaciaires depuis le

---

<sup>16</sup> Marty, 2008.

<sup>17</sup> Bavay *et al.*, 2009.

<sup>18</sup> GlaRiskAlp : "Risques glaciaires dans les Alpes occidentales".



Petit Age Glaciaire. Ces travaux s'inscrivent dans l'étude des risques d'origine glaciaire sur la zone d'étude (voir ci-après). ► <http://edytem.univ-savoie.fr/Nouvel-inventaire-des-glaciers-des>

## **Permafrost**

---

Sous l'influence du réchauffement, la dégradation du pergélisol pourrait jouer un rôle significatif dans la recrudescence de phénomènes gravitaires, périglaciaires et torrentiels. Plusieurs projets récents contribuent à l'approfondissement des connaissances en la matière.

Le projet Espace Alpin **PermaNET**<sup>19</sup> (2008-2011) a permis de mettre en place un réseau de suivi à long terme du permafrost à l'échelle de l'arc alpin, à travers la mise en réseau de chercheurs et d'acteurs, l'équipement de sites de mesure, la caractérisation de la distribution actuelle du permafrost (compilation d'indices de terrain et établissement d'une carte du permafrost alpin) et de son évolution en relation avec les paramètres climatiques, le recensement et la caractérisation des phénomènes géomorphologiques potentiellement dangereux liés au permafrost ainsi que des méthodes de diagnostic et de gestion des risques associés, et la prise en compte du permafrost dans la gestion des ressources en eau (réservoir hydrologique et risques hydrochimiques). Des études de cas sur plus de 10 sites répartis à travers les Alpes combinées à l'analyse et à la modélisation des changements climatiques actuels et futurs ont permis de mieux caractériser les diverses réactions thermiques et géomorphologiques du permafrost. Les principales réactions thermiques sont (a) une augmentation de la température du sol et donc un réchauffement du permafrost, (b) la fonte du permafrost entraînant une réduction de son extension spatiale, l'épaississement de la couche dégelée en saison chaude et une augmentation de la circulation et de la pression d'eau dans le sol, (c) des modifications du nombre de cycles gel-dégel et de l'intensité des périodes de gel et de fonte. Les réactions géomorphologiques liées à ces effets thermiques – détaillées plus loin – ont la capacité d'affecter la stabilité des formations superficielles et des parois rocheuses dans les terrains à permafrost.

► [www.permanet-alpinespace.eu/](http://www.permanet-alpinespace.eu/)

Le réseau **PermaFRANCE** officialisé en 2010 est un réseau national de scientifiques et de laboratoires dédié à l'observation et au suivi du permafrost et de tous les phénomènes liés au gel. Il représente la contribution française au réseau alpin PermaNET et au réseau mondial GTN-P<sup>20</sup>. Actuellement déployé sur plus de quinze sites d'étude répartis dans Alpes françaises, il combine suivi de l'évolution thermique et suivi des processus à différentes altitudes : parois rocheuses en haute montagne, glaciers rocheux à l'étage périglaciaire, fourniture en matériaux à l'étage infra-périglaciaire et permafrost sporadique des éboulis froids et sols de moyenne altitude. A titre indicatif, la première carte de distribution potentielle du permafrost dans les Alpes françaises (produite en 2008) a permis d'évaluer la surface couverte par le permafrost à 1300 km<sup>2</sup>, dont 60% entre 2500 et 3000 m d'altitude.

► [Rapport N°1 "Permafrost in France" \(pdf, 2010\)](#)

---

<sup>19</sup> PermaNET : "Permafrost long-term monitoring network".

<sup>20</sup> Global Terrestrial Network for Permafrost.

Le projet financé par la Fondation MAIF "Analyse des risques induits par la dégradation du permafrost" (2007-2010)<sup>21</sup> a permis de mettre en place diverses méthodes de reconnaissance et d'initier un suivi de l'évolution du pergélisol en relation avec le changement climatique sur 4 sites-test des Alpes françaises. L'objectif était d'apprécier les dommages que peuvent engendrer les phénomènes associés (perte de cohésion du sol, fonte de la glace, éboulements, glissements et laves torrentielles) sur les installations de sport d'hiver et les zones habitées. Des recommandations concernant la gestion durable de ces installations ont été formulées. ► [Présentation du projet](#).

Les recherches se poursuivent pour mettre au point les méthodes permettant de mieux caractériser les secteurs à permafrost potentiellement instables dans des zones à enjeux et leur évolution sous l'influence du changement climatique (par ex. l'emploi de méthodes géophysiques calibrées par des forages pour l'étude et le suivi du permafrost sur la station des 2 Alpes, dans le cadre du projet coordonné par l'ADRGT en 2010-2011 soutenu par le programme départemental de recherche PGRN/CG38). ► [Présentation du projet](#).

Dans le cadre du projet **RiskNat-Alcotra**<sup>22</sup> (2009-2012), l'activité « Risques générés par l'évolution des milieux de haute montagne » visait ainsi à définir des instruments et procédures adaptés pour la détermination des aléas liés au pergélisol et pour la gestion des risques correspondants à l'échelle régionale et à l'échelle locale. Les différents types d'analyse et de méthodes d'investigation expérimentés dans le cadre du projet sont présentés dans le rapport « Aléas engendrés par la dégradation du pergélisol ». ► [www.risknat-alcotra.org/fr/index.cfm/b-1.html](http://www.risknat-alcotra.org/fr/index.cfm/b-1.html)

A signaler également, la **Dixième Conférence Internationale sur le Pergélisol**, qui s'est tenue en Russie (25-29 juin 2012), qui a permis de faire le point sur l'avancée des connaissances relatives au permafrost. ► <http://ticop2012.org>

## **Cours d'eau**

---

### *Observations*

Dans le cadre du projet **AdaptAlp**, le Cemagref a rassemblé un nombre suffisant de longues séries hydrologiques de qualité pour constituer un jeu de données représentatif à l'échelle de l'arc alpin, dans le but de détecter d'éventuelles tendances. Environ 180 séries couvrant une durée de 40 ans au minimum ont été collectées, homogénéisées et analysées, avec une attention particulière pour les débits de fonte. L'analyse statistique des maxima de débit n'a révélé aucune tendance significative de leur intensité ou de leur fréquence à l'échelle des Alpes (cependant, d'éventuelles tendances pourraient être masquées par la forte variabilité naturelle de ces séries). En revanche, les analyses régionales menées à l'échelle de régions hydro-climatiques homogènes montrent des évolutions cohérentes et statistiquement significatives probablement liées à l'évolution des températures observées, avec une augmentation de l'intensité et du volume des crues de fonte pour les rivières influencées par les glaciers et une date plus précoce de la fonte nivale et glaciaire. Dans l'ensemble, ces analyses suggèrent que les tendances qui affectent les rivières alpines dépendent fortement de leur régime hydrologique. ► [AdapAlp - Work Package 4 Technical Report - Water Regime](#)

---

<sup>21</sup> Projet coordonné par l'Association pour le développement des Recherches sur les Glissements de Terrains (ADRGT).

<sup>22</sup> Projet stratégique "Gestion en sécurité des territoires de montagne transfrontaliers" ► [www.risknat-alcotra.org](http://www.risknat-alcotra.org)

A l'échelle du département de la Savoie, des données hydrologiques sont également disponibles sur l'évolution des débits de rivières alpines peu influencés par les activités humaines (► [OsCC Impact N°2 + N°6](#)), ou encore sur l'évolution de la température de grands lacs alpins (► [OsCC Impacts N°4](#)).

### *Projections*

Concernant les tendances hydrologiques futures, les incertitudes associées aux projections climatiques sont encore trop grandes pour prévoir leur impact sur l'hydrologie des cours d'eau alpins. Outre les incertitudes déjà présentes dans les scénarios d'émission de gaz à effet de serre et dans les modèles climatiques utilisés, ces modèles ne permettent pas de prendre en compte les échelles spatiales et temporelles requises pour les modèles d'impact. De nombreux travaux portent ainsi sur les techniques de désagrégation spatiale pour tenter de passer des sorties de modèles climatiques à des échelles pertinentes pour les modèles hydrologiques.

Par exemple, le projet international **ACQWA "Assessing Climate impacts on the Quantity and quality of Water"** du 7<sup>ème</sup> PCRD a pour objectif d'utiliser des techniques de modélisation avancées pour quantifier l'influence du changement climatique sur les principaux déterminants de l'hydrologie des cours d'eau de montagne (principalement le haut Rhône et sur le Pô), dont la neige et la glace représentent la plus grande composante des écoulements. ► [www.acqwa.ch/](http://www.acqwa.ch/)

### ***Forêt alpine***

---

De nombreux travaux de recherche sont en cours pour mieux apprécier les effets des changements climatiques passés et futurs sur la végétation alpine. Dans le champ des risques naturels, la question principale qui se pose aux gestionnaires est celle des impacts potentiels sur les forêts jouant un rôle de protection vis-à-vis des aléas naturels. Cette question a notamment été abordée dans le cadre du projet **IFP<sup>23</sup>** (2007-2011). ► [www.interreg-forets-protection.eu](http://www.interreg-forets-protection.eu)

## **Risques naturels**

### ***Aléas d'origine glaciaire***

---

Le projet **GlaRiskAlp** consacré aux risques d'origine glaciaire s'inscrit à la suite du projet **GLACIORISK** (2011-2003). Il s'appuie sur un inventaire détaillé des glaciers, des marges proglaciaires et des phénomènes associés tels que les lacs glaciaires ou les secteurs instables, pour effectuer une reconnaissance des aléas potentiels dans les secteurs englacés et récemment désenglacés des Alpes occidentales. Le projet comporte également des études locales sur sites pilotes : zones de séracs des glaciers du Taconnaz et des Grandes Jorasses, poche d'eau du glacier de Tête Rousse et secteurs désenglacés. ► [www.fondazionemontagnasicura.org/fr/glariskalp.aspx](http://www.fondazionemontagnasicura.org/fr/glariskalp.aspx)

---

<sup>23</sup> Projet Franco-suisse "Interreg Forêts de Protection".

L'impact du changement climatique sur les lacs et poches d'eau glaciaires et sur les chutes de séracs était au cœur des questions abordées lors du séminaire technique "**Gestion des risques d'origine glaciaire et périglaciaire**" organisé par le PARN à Grenoble les 12 et 13 mars 2012, avec le soutien du MEDDTL (DGPR). Les éléments abordés sont restitués dans le document préparatoire, les présentations et la synthèse du séminaire disponibles en ligne. ► [Site web du séminaire](#)

L'atelier international "**Gestion intégrée du risque généré par les poches d'eau du glacier de Tête Rousse - De la catastrophe de 1892 à la gestion de crise de 2010**" organisé par le PARN à Grenoble, le 20 avril 2011 dans le cadre du projet AdaptAlp a été l'occasion de tirer des enseignements du retour d'expérience de cette intervention d'urgence, avec en toile de fond la question de l'incidence du changement climatique sur ce type de phénomènes. ► [Actes et présentations](#)

## **Avalanches**

---

### *Observations*

L'évolution de la fréquence et de l'intensité des avalanches dans les Alpes françaises a été étudiée au Cemagref sur la base des données de l'Enquête Permanente sur les Avalanches (EPA). L'analyse statistique des données sur l'ensemble de la seconde moitié du XXe siècle n'a pas permis de détecter de tendance significative constante du nombre d'avalanches observées. Cependant, malgré la forte variabilité interannuelle, on a pu identifier un maximum relatif d'activité autour de 1980, suivi par une décroissance du nombre d'avalanches. On retrouve ce motif de manière amplifiée dans les altitudes d'arrêt atteintes par les avalanches, qui présentent également un minimum relatif autour de 1980.

► [www.risknat.org/adaptalp/expert\\_hearing\\_wp6/proceedings/14\\_N-Eckert.pdf](http://www.risknat.org/adaptalp/expert_hearing_wp6/proceedings/14_N-Eckert.pdf)

Pour s'affranchir des éventuels biais d'observation résultant par exemple de changements dans le protocole de collecte des données de l'EPA ou de la construction d'ouvrages de protection, cette analyse a été complétée par une nouvelle approche développée dans le cadre du projet **ECANA**<sup>24</sup> (2008-2011) financé par la DGPR. Les objectifs étaient les suivants : (1) dresser une climatologie des événements avalancheux naturels importants des 50 dernières années sur les Alpes Françaises, en les qualifiant sur le plan nivo-météorologique et en recherchant une évolution ou tendance éventuelle dans leur fréquence et/ou répartition spatiale, (2) investiguer la corrélation entre évolution des indicateurs moyens de l'activité avalancheuse hivernale (intensité et fréquence des événements) et évolution des indicateurs moyens nivo-météorologiques (température, précipitations, enneigement).

► [Présentation du projet sur le site du CNRM](#)

Ces travaux se poursuivent dans le cadre du projet ANR **MOPERA**<sup>25</sup> (2010-2013), dont l'objectif est de développer des modèles probabilistes plus performants pour la gestion intégrée à long terme du risque avalanche, à travers les axes suivants : (1) Estimation locale des avalanches extrêmes, (2) Validation et enrichissement grâce aux données dendrogéomorphologiques, (3) Détection et prise en compte des non-stationnarités temporelles, (4) Evaluation spatialisée de l'aléa avalancheux, (5) Vulnérabilité physique du bâti, (6) Vulnérabilité des réseaux routiers alpins face à l'aléa avalanche, (7) Dimensionnement fonctionnel d'ouvrages et quantification du risque résiduel et (8) Evaluation formelle du risque d'avalanche et approche décisionnelle. ► [www.avalanches.fr/mopera/mopera.htm](http://www.avalanches.fr/mopera/mopera.htm)

---

<sup>24</sup> ECANA : "Etude climatologique de l'activité avalancheuse naturelle au cours 50 dernières années sur les Alpes françaises".

<sup>25</sup> MOPERA : "Modélisation Probabiliste pour l'Etude du Risque d'Avalanche".



## *Projections*

L'évolution de la fréquence des situations à risques d'avalanche importants dans les Alpes a été étudiée dans le projet **SCAMPEI**<sup>26</sup>, en considérant le nombre de jours par hiver où l'indice de synthèse d'instabilité naturelle fourni par le système expert Mepra par massif est supérieur à 3. Les résultats indiquent une forte baisse de l'indice d'activité avalancheuse dans le futur proche, notamment dans le sud des Alpes (jusqu'à -80% selon le scénario A2). Cette diminution s'amplifierait dans le futur lointain et concernerait tous les massifs des Alpes (jusqu'à -85%), avec pour conséquence une quasi-absence d'activité avalancheuse significative dans le sud et dans la majorité des autres massifs, hormis à l'extrême nord des Alpes. Dans le massif du Mont-Blanc, le nombre de jours à forte activité avalancheuse passerait ainsi de 10 jours en moyenne par hiver dans le climat actuel à environ 2,5 (toujours, selon le scénario A2, les autres scénarios confirmant ces valeurs en les atténuant).

► [www.cnrm.meteo.fr/scampe](http://www.cnrm.meteo.fr/scampe)

On gardera à l'esprit que cette diminution attendue de la fréquence des avalanches n'est pas incompatible avec la persistance voire l'augmentation des avalanches de forte intensité, comme l'illustrent les avalanches exceptionnelles observées dans les Alpes lors des crises avalancheuses de 1999 et 2008.

## **Mouvements de terrain**

---

### *Mouvements de terrain liés à la dégradation du permafrost*

Le projet **PermaNET** a montré que les impacts géomorphologiques du réchauffement sur les terrains à permafrost sont les suivants : (a) modifications de la vitesse et du mode de déplacement des glaciers rocheux (passage d'un fluage lent à un glissement basal, voire un effondrement), (b) modifications dans les processus d'altération cryogénique, (c) modifications du volume et de l'étendue des versants instables, (d) des modifications de la fréquence et de l'intensité des mouvements de masse comme les écroulements, les glissements rocheux ou les laves torrentielles, (e) instabilités de surface engendrées par les processus thermokarstiques (fonte de la glace du permafrost).

► [http://www.permanet-alpinespace.eu/archive/pdf/WP5\\_3\\_final\\_report.pdf](http://www.permanet-alpinespace.eu/archive/pdf/WP5_3_final_report.pdf)

### *Écroulements rocheux en haute montagne*

Les recherches conduites par le laboratoire EDYTEM dans le massif du Mont-Blanc dans le cadre des projets **PERMAdataROC** (2006-2008) puis **PermaNET** (2008-2011) ont permis confirmer le lien entre les écroulements rocheux en haute montagne et la dégradation du permafrost. Une forte corrélation a été mise en évidence entre les écroulements survenus depuis 150 ans et les périodes les plus chaudes observées à Chamonix au XXe siècle. Les deux périodes principales identifiées correspondent aux décennies 1940-1950 et à la période récente à partir des années 1980. Par ailleurs, il ressort que les zones de détachement de ces écroulements on atteint des altitudes d'autant plus haute que les étés ont été chauds, suggérant qu'à l'avenir les écroulements pourraient se produire à des altitudes plus élevées, auparavant non concernées par ce phénomène.

► [www.risknat.org/adaptalp/expert\\_hearing\\_wp6/proceedings/15\\_P-Deline.pdf](http://www.risknat.org/adaptalp/expert_hearing_wp6/proceedings/15_P-Deline.pdf)

---

<sup>26</sup> Voir p. 9 et 11.

### *Fluage des glaciers rocheux*

Les mouvements des glaciers rocheux suivis dans les Alpes au cours des dernières années et décennies présentent des variations semblables. Les vitesses de déplacement mesurées montrent que les glaciers rocheux réagissent de manière étonnamment rapide aux variations des températures de l'air et du sol. On suppose que, sous l'effet de la dégradation du permafrost, la plupart d'entre eux pourraient connaître une accélération dans les prochaines décennies, et une inactivation à plus longue échéance. Il est recommandé d'effectuer un suivi des vitesses de surface des glaciers rocheux supportant des infrastructures.

### *Eboulements et chutes de blocs*

Concernant l'activité des éboulements et chutes de blocs survenant à plus basse altitude, les observations existantes ne permettent pas de conclure à une tendance significative.

Le projet PGRN/CG38 "**Morphologie des falaises et risque d'éboulement**" (2010-2011) coordonné par ISTerre tire partie des progrès récents dans la détection et la caractérisation des chutes de blocs (Lidar, photos numériques et photogrammétrie) pour mettre en place des outils d'observation à long terme de ces phénomènes sur les falaises calcaires du bassin grenoblois. Une méthode permettant de reconstruire le relief a ainsi été testée sur des sites pilotes (versant du Saint-Eynard et Dent de Crolles) pour estimer l'érosion due à ces phénomènes entre différentes dates d'acquisition. Une des retombées attendues de ces travaux de recherche est de parvenir à établir une relation entre l'activité érosive due aux chutes de blocs et l'évolution du climat local, avec en perspective un développement possible vers un « observatoire des falaises ».

► [www.risknat.org/.../ISTerre\(ex-LGIT\)\\_D.Amitrano\\_PGRN2010.pdf](http://www.risknat.org/.../ISTerre(ex-LGIT)_D.Amitrano_PGRN2010.pdf)

### *Glissements superficiels*

Bien qu'aucune tendance générale ne se dégage non plus concernant les glissements superficiels, des évolutions sont signalées à l'échelle locale. Par exemple dans les Alpes suisses, une augmentation de la surface en érosion affectée par des glissements de terrain au cours des dernières décennies a été constatée dans la vallée d'Urseren, sous l'influence de facteurs aussi bien anthropiques (modification de l'utilisation des sols) que climatiques (intensification des pluies torrentielles)<sup>27</sup>.

### *Glissements profonds*

Le projet PGRN/CG38 "**Caractérisation dynamique des instabilités gravitaires affectant la bordure sud du massif de Belledonne : apport des datations cosmogéniques <sup>10</sup>Be**" (2009-2010) coordonné par ISTerre<sup>28</sup> a permis d'obtenir de nouvelles datations sur des escarpements sommitaux des niches d'arrachement de trois grands glissements de terrain - dont celui de Séchilienne - affectant la partie sud du massif de Belledonne (Isère). Les âges obtenus indiquent que l'initiation des trois mouvements s'est produite durant la période chaude et humide de l'Optimum Climatique Holocène (entre 9000 et 5000 ans), au moins 3000 ans après le retrait du glacier de la Romanche (vers 13 000 ans).

► [www.risknat.org/pages/programme\\_dep/projets/lgca/schwartz\\_2009.html](http://www.risknat.org/pages/programme_dep/projets/lgca/schwartz_2009.html)

---

<sup>27</sup> Meusburger and Alewell, 2008.

<sup>28</sup> Institut des Sciences de la Terre.

## ***Crues et laves torrentielles***

---

### *Reconstructions*

Diverses méthodes ont été développées ces dernières années pour reconstituer l'activité passée des crues torrentielles à partir d'enregistrements naturels de leur occurrence (impacts sur les cernes de croissance des arbres, dépôts sédimentaires dans les lacs...) avec une résolution temporelle annuelle. L'application de ces méthodes sur un nombre croissant de sites permettra, à terme, d'établir des synthèses régionales des variations spatiales et temporelles de l'activité des phénomènes torrentiels en lien avec l'évolution du climat. Deux exemples sont présentés.

Dans les Alpes suisses, l'application de la méthode dendrogéomorphologique sur 8 torrents de la vallée de Zermatt a ainsi permis d'identifier plus de 400 événements de laves torrentielles sur la période 1600-2009. Les fréquences décennales ainsi reconstituées montrent une augmentation relative du nombre d'événements à l'échelle de la vallée depuis 1850 et surtout pendant le 20<sup>e</sup> siècle (pics d'activité et dans les années 1920 et 1990) et une nette diminution au cours des années 2000, concomitante avec la diminution observée des précipitations intenses.

► [www.dendrolab.ch/fr/proj\\_rufine.php](http://www.dendrolab.ch/fr/proj_rufine.php)

Dans les Alpes françaises, le laboratoire EDYTEM coordonne des recherches visant à reconstituer l'évolution des crues torrentielles sur plusieurs sites d'altitude à partir de l'analyse de séquences sédimentaires lacustres. La comparaison des calendriers de crues ainsi obtenues avec des reconstitutions de température suggère que l'évolution de l'activité torrentielle a été différente entre les Alpes du Nord et les Alpes du Sud (cf. thèse de B. Wilhelm soutenue en 2012 dans le cadre du projet ANR **PYGMALION**<sup>29</sup>).

### *Observations*

Une des conséquences de la dégradation du permafrost est l'accroissement de la fourniture en matériaux dans de certains bassins torrentiels inscrits en domaine périglaciaire. Des recherches ont été mises en œuvre dans le cadre de divers projets (**PermaNET**, **RiskNat-Alcotra**...) pour quantifier les volumes de débris potentiellement mobilisables par ce type de torrents dans des secteurs sensibles (présence d'enjeux), en vue de mieux dimensionner les aménagements à l'aval.

### *Projections*

Des projections concernant l'évolution future des probabilités de déclenchement de laves torrentielles dans les Alpes françaises ont été effectuées sur la base des sorties de modèles du projet **SCAMPEI**. Elles donnent des résultats contrastés. Dans les Alpes du Nord, les tendances des probabilités de déclenchement projetées divergent (elles augmentent dès 2050 avec les scénarios du modèle Aladin, mais restent constantes ou diminuent selon les autres scénarios), tandis que les trois modèles utilisés s'accordent sur une augmentation dans les Alpes du Sud. Par ailleurs, une analyse de la vulnérabilité du réseau liée à cet aléa a été menée dans le cadre de ce projet. ► [www.cnrm.meteo.fr/scampeii](http://www.cnrm.meteo.fr/scampeii)

---

<sup>29</sup> "Paleohydrology and Human – Climate – Environment" (2008-2011).

## ***Crues et inondations***

---

Les tendances spatiales et temporelles de l'activité des crues des rivières alpines ne sont pas cohérentes à l'échelle des Alpes (résultats du projet **AdaptAlp**, cf. p. 13). Cependant, des augmentations significatives des débits sont signalées en Suisse et dans la partie alpine de l'Allemagne du sud<sup>30</sup>. Une étude de la fréquence des crues observées depuis 150 ans à l'échelle de la Suisse<sup>31</sup> suggère une diminution des crues jusqu'aux années 1960 et une augmentation ultérieure. Depuis environ 1900, trois des quatre plus gros événements de crues à grande échelle dans le nord de la Suisse (crues de 1999, 2005 et 2007) se sont produites au cours des dix dernières années. Cependant, une accumulation similaire de grandes crues s'est produite dans la seconde moitié du 19e siècle. Par ailleurs, les périodes riches en crues ont alterné avec des périodes pauvres en crues.

De nombreuses recherches sur l'évolution passée et futures des crues ont été effectuées et se poursuivent dans le cadre de projets nationaux et européens. Les résultats concernant les cours d'eau alpin seront progressivement intégrés à la base Alpes-Climat-Risques au cours de la mise à jour 2012 en cours.

## ***Feux de forêt***

---

### *Observations*

En France, on dispose de peu de données systématiques à l'exception des 15 départements de la zone Sud (base de données Prométhée). Dans cette région, Malgré un accroissement de l'Indice Forêt Météo (IFM) depuis un demi-siècle on observe une diminution des surfaces brûlées depuis les années 1990. Cette diminution s'expliquerait par une augmentation des moyens de lutte déployés dans la zone Sud. En revanche, on n'observe pas de tendance décelable dans les départements alpins. ► Rapport de la mission interministérielle "[Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts](#)" (juillet 2010).

A l'échelle des Alpes, le réseau infrarégional Euro-Alpin du "Global Wildland Fire Network" fédère différentes initiatives visant à renforcer la coopération en matière de recherche et de gestion du risque incendie, pour développer des outils de lutte adaptés au contexte spécifique des environnements de montagne. ► [www.fire.uni-freiburg.de/GlobalNetworks/EuroAlpine/EuroAlpine.html](http://www.fire.uni-freiburg.de/GlobalNetworks/EuroAlpine/EuroAlpine.html)

Le projet Espace Alpin ALP-FFIRS "**Alpine Forest Fire waRning System**" (2009-2012) s'inscrit dans le cadre de ce réseau. Il a pour objectif d'améliorer la prévention des feux de forêts dans le contexte de réchauffement climatique dans l'espace alpin, grâce à la création d'un système partagé d'alerte basé sur les conditions météorologiques de prédisposition au feu. Le but est de développer un système d'aide à la décision basé sur une évaluation quotidienne d'une échelle de danger « feu de forêt alpin » et sur des prévisions permettant d'anticiper les périodes critiques d'occurrence potentielle. La constitution d'une base de données sur l'occurrence des incendies et les conditions environnementales (climat, végétation) - préalable à l'élaboration de cet indice - permettra, à terme, de spatialiser et d'améliorer la compréhension des effets du changement climatique sur le risque de feux de forêt à l'échelle de l'arc alpin. ► [www.alpfirs.eu/](http://www.alpfirs.eu/)

---

<sup>30</sup> Birsan *et al.*, 2005 ; Allamano *et al.*, 2009 ; Petrow and Merz, 2009.

<sup>31</sup> Schmocker-Fackel and Naef 2010

En Suisse, une reconstitution du régime des feux au cours du 20<sup>e</sup> siècle en Valais a mis en évidence une augmentation de leur fréquence au cours des dernières décennies (une légère augmentation dans les années 1940-1950, suivie d'un pic plus fort pendant les années 1990). Les observations suggèrent que les températures et les précipitations ont joué un rôle majeur à la fois sur la fréquence des feux et sur les surfaces brûlées dans la première moitié de la période d'étude, mais que la température n'était plus un facteur limitant dans les vallées sèches intra-alpines après le milieu du 20<sup>e</sup> siècle. ► [www.fire.uni-freiburg.de/GlobalNetworks/EuroAlpine/Zumbrunnen-et-al-2009.pdf](http://www.fire.uni-freiburg.de/GlobalNetworks/EuroAlpine/Zumbrunnen-et-al-2009.pdf)

### *Projections*

De manière générale, on s'attend à ce que l'augmentation projetée des sécheresses et des vagues de chaleur en Europe entraîne une remontée vers le nord et en altitude des zones touchées par les feux de forêt. Dans le cadre du projet **ALP-FFIRS**, une évaluation de l'impact du changement climatique sur le potentiel de feux dans les Alpes a été réalisée sur la base de scénarios de climat futur, en appliquant l'indice canadien de feux de forêts (Fire Weather Index, FWI) sur des projections issues de différents modèles climatiques régionaux forcés avec le scénario A1B du GIEC. Ces simulations indiquent un potentiel croissant d'incendies au milieu du XXI<sup>e</sup> siècle, particulièrement aux altitudes les plus élevées et dans les parties sud et ouest de l'arc alpin, avec une augmentation spectaculaire de la fréquence des jours à fort potentiel d'incendies graves. ► [www.alpfirs.eu/](http://www.alpfirs.eu/)

## **Tempêtes**

---

### *Observations*

Aucune variation significative de la vitesse des vents extrêmes et de la fréquence des tempêtes n'a été mise en évidence à l'échelle de la France métropolitaine. A l'inverse, à l'échelle de la Suisse et pour certaines stations d'Europe centrale, ces paramètres présentent une tendance à la hausse associée à un accroissement des dégâts causés aux forêts suisses au cours du 20<sup>e</sup> siècle (aucune étude à l'échelle de l'arc alpin n'est répertoriée dans la base de connaissances).

Ces résultats sont corroborés par de nouvelles réanalyse à l'échelle de l'Europe remontant jusqu'à la fin du 19<sup>e</sup> siècle, qui concluent à une augmentation significative de la fréquence et de l'intensité des tempêtes hivernales en Europe du nord, et de manière moins prononcée en Europe centrale et de l'ouest. Cette augmentation pourrait être expliquée tant par la variabilité climatique naturelle, que par le réchauffement climatique. ► [www.rac-f.org/De-nouvelles-analyses-suggestent](http://www.rac-f.org/De-nouvelles-analyses-suggestent)

### *Projections*

Même si les modèles climatiques les plus récents ont la capacité de reproduire des vents compatibles avec les observations effectuées lors des grandes tempêtes du passé (ex. projet SCAMPEI), les projections restent très incertaines quant à l'évolution future des tempêtes. Une étude récente basée sur un ensemble de modèles projette cependant une possible intensification de la vitesse des vents extrêmes en Europe centrale et de l'ouest, susceptible d'accroître le potentiel de dommages au nord des Alpes. ► [www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/11/1351/2011/nhess-11-1351-2011.html](http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/11/1351/2011/nhess-11-1351-2011.html)

## Travaux transversaux (pluri-thématiques)

Dans le cadre du projet AdaptAlp, le PARN a organisé fin 2011 un séminaire international intitulé **"Adaptation de la gestion des risques naturels face au changement climatique"** réunissant des experts (techniciens, gestionnaires de territoire et scientifiques) français, italiens et suisses pour leur permettre d'exposer et d'échanger leurs connaissances sur ce thème. S'appuyant sur les connaissances disponibles dans la base Alpes-Climat-Risques sur l'évolution des différents types de risques naturels en montagne, ce séminaire visait d'une part à faire le point sur les aspects pratiques et techniques opérationnels de l'adaptation aux effets du changement climatique et, dans un deuxième temps, de proposer des recommandations destinées aux gestionnaires de territoires et aux décideurs. Les principales recommandations concernent l'amélioration des observations, la prise en compte de l'incertitude, le développement d'une gestion plus intégrée, l'éducation en matière de risques naturels et le renforcement des liens entre les chercheurs et les gestionnaires de territoire.

► [Actes et synthèse du séminaire](#)

Parmi les nouveaux projets financés dans le cadre des derniers appels d'offre des programmes de coopération européenne 2007-2013, signalons le projet de capitalisation **C3 Alps**<sup>32</sup>, qui vise à synthétiser les connaissances et les outils en matière d'adaptation aux effets du changement climatique dans les Alpes développés dans le cadre des précédents projets du programme Espace Alpin (AdaptAlp, PermaNET etc.). ► [www.c3alps.eu](http://www.c3alps.eu)

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a publié son « rapport spécial sur la gestion des risques d'événements extrêmes et de catastrophes afin d'anticiper l'adaptation au changement climatique » (**SREX**)<sup>33</sup>. Ce rapport, fruit du rapprochement avec diverses communautés scientifiques travaillant sur la gestion des risques, consiste en une évaluation des relations entre changement climatique, aléas climatiques extrêmes et effets sur la société, sur la base d'une expertise collective des publications scientifiques internationales. La nouveauté est de prendre en compte le rôle des facteurs non climatiques dans l'analyse des impacts passés et futurs des événements extrêmes au niveau local, national et international, dans une approche transversale des diverses composantes du risque (l'environnement physique, mais aussi l'exposition, la vulnérabilité et la résilience des sociétés). ► [www.ipcc-wg2.gov/SREX](http://www.ipcc-wg2.gov/SREX).

A l'occasion de la publication du résumé pour décideurs du SREX fin 2011, l'AFPCN a organisé une journée intitulée **"Désastres pensés, désastres reconnus"**, dont la restitution est disponible en ligne.

► [www.afpcn.org/111212SREX/index.htm](http://www.afpcn.org/111212SREX/index.htm)

Le colloque **"Incertitudes et adaptation au changement climatique"** (Meudon, 13-14 juin 2012) avait pour objectif d'examiner comment les incertitudes étaient appréhendées à différentes échelles de temps et d'espace et dans les différentes approches théoriques, méthodologiques et empiriques des recherches sur l'adaptation au changement climatique. L'enregistrement des interventions et les supports de présentation sont en ligne sur le site du GIS Climat, Environnement, Société.

► [www.gisclimat.fr/bilan-du-colloque-incertitudes-et-adaptation-au-changement-climatique](http://www.gisclimat.fr/bilan-du-colloque-incertitudes-et-adaptation-au-changement-climatique)

---

<sup>32</sup> Projet Espace Alpin "C3 Alps: Climate Change Capitalisation and Adaptation platform for the European Alps" (2012-2014).

<sup>33</sup> "Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation" (2012).



## Manifestations

Le 25ème colloque de l'Association Internationale de Climatologie (AIC 2012) intitulé "Climats régionaux : observation et modélisation" organisé par le LTHE<sup>34</sup> du 5 au 8 septembre 2012 à Grenoble comportera les sessions thématiques suivantes : 1) mesure et instrumentation, 2) climat et télédétection, 3) modélisation climatique, 4) agro- et topoclimatologie, 5) climats tropicaux, 6) aléas climatiques et impacts. ► <http://aic2012.sciencesconf.org/>

Le programme national **Gestion et Impacts du Changement Climatique (GICC)** organise un « Séminaire de restitution des projets 2008, bilan à mi-parcours des projets 2010 et lancement des projets 2012 » le mercredi 10 octobre 2012 à Paris. ► [Programme et inscription.](#)

---

<sup>34</sup> Laboratoire d'Etude des Transferts en Hydrologie et Environnement.



# La Lettre Alpes-Climat-Risques

Lettre d'information du PARN sur le changement climatique et les risques naturels dans les Alpes

N°2 – Avril 2013

[www.risknat.org/thematiques-recherche/changement-climatique-et-risques-naturels](http://www.risknat.org/thematiques-recherche/changement-climatique-et-risques-naturels)

## Sommaire

<b>Introduction.....</b>	<b>2</b>
<b>Activités du PARN sur le changement climatique.....</b>	<b>2</b>
Mise à jour de la Base Alpes-Climat-Risques.....	2
Mise à jour de la Base Projets.....	2
Atelier du Labex ITEM.....	2
<b>Actualités et ressources du réseau.....</b>	<b>3</b>
Politiques publiques d'adaptation au changement climatique.....	3
Observatoires.....	3
Recherche universitaire.....	3
Réseau associatif.....	4
<b>Résultats de la recherche.....</b>	<b>4</b>
Travaux transversaux (pluri-thématiques).....	4
Résultats des projets du programme Espace Alpin 2007-2013.....	4
Manifestations et publications récentes.....	5
Préparation du 5e rapport du GIEC.....	6
Climat et milieux alpins.....	6
Paramètres climatiques.....	6
Glaciers.....	10
Cours d'eau.....	11
Forêt alpine.....	12
Erosion.....	12
Risques naturels.....	13
Aléas d'origine glaciaire.....	13
Avalanches.....	14
Mouvements de terrain.....	14
Crues et laves torrentielles.....	15
Crues et inondations.....	15
Feux de forêt.....	16
Tempêtes.....	17
<b>Manifestations à venir.....</b>	<b>18</b>

Cette lettre d'information est éditée par Pôle Alpin d'études et de recherche pour la prévention des Risques Naturels (PARN) avec le soutien de la Région Rhône-Alpes. Elle s'inscrit dans le cadre de l'actualisation de la base de connaissances *Alpes-Climat-Risques* relative aux effets du changement climatique sur les risques naturels dans l'Arc alpin. Elle est diffusée sur le site internet du PARN et au sein de son réseau scientifique, technique et institutionnel.



## Introduction

La Lettre Alpes-Climat-Risques poursuit son tour d'horizon des activités, des projets et des résultats scientifiques et techniques sur le changement climatique et ses impacts sur les milieux de montagne et les risques naturels dans les Alpes. Dans ce second numéro, une attention particulière est accordée aux résultats des projections climatiques régionales et des simulations d'impacts disponibles à l'échelle alpine.

## Activités du PARN sur le changement climatique

### *Mise à jour de la Base Alpes-Climat-Risques*

---

La base de connaissances bibliographique Alpes-Climat-Risques actualisée en 2012 comporte désormais 260 références sur le changement climatique et ses effets sur les milieux de montagne et sur les risques naturels dans l'Arc alpin. Cette mise à jour se poursuit en 2013 pour prendre en compte les dernières avancées de la recherche sur cette thématique, en particulier les résultats des projets de recherche européens récemment achevés.

► [www.risknat.org/projets/alpes-climat-risques](http://www.risknat.org/projets/alpes-climat-risques)

### *Mise à jour de la Base Projets*

---

Suite à sa mise à jour en 2011-2012 soutenue par la DREAL Rhône-Alpes, la Base Projets du PARN présente aujourd'hui les résultats de plus de 400 projets sur les risques naturels concernant les territoires alpins et au-delà (régions Rhône-Alpes, PACA et Languedoc-Roussillon), parmi lesquels 30 projets portent sur des thématiques relatives au changement climatique et à ses impacts.

► [www.risknat.org/baseprojets](http://www.risknat.org/baseprojets)

### *Atelier du Labex ITEM*

---

L'atelier "**Changement global et risques naturels**" organisé par le PARN en collaboration avec le WP1 du Labex ITEM<sup>1</sup> s'est tenu à Autrans (Vercors) les 21-22 mars 2013. Il a rassemblé des acteurs issus des sphères scientifiques et opérationnelles, dans un objectif de co-construction, en proposant un questionnement sur le changement global à travers le prisme des risques naturels. En vue d'éclairer collectivement ces questionnements et les enjeux opérationnels qu'ils sous-tendent, des sessions d'échanges en sous-groupes de type « world café » ont permis aux participants de confronter leurs points de vue et expériences tant sur les concepts et sur les outils existants que sur les obstacles à l'intégration de la question du changement global dans les pratiques de gestion des risques naturels. La synthèse de cet atelier sera prochainement diffusée sur les sites web du PARN et du Labex ITEM.

► [www.risknat.org/activites/labex\\_item](http://www.risknat.org/activites/labex_item)

---

<sup>1</sup> Laboratoire d'excellence « Innovation et Territoire de Montagne » (cf. [Lettre Alpes-Climat-Risques N°1](#), p. 7)

## Actualités et ressources du réseau

### **Politiques publiques d'adaptation au changement climatique**

---

La DREAL Rhône-Alpes a commandité la rédaction d'un "Guide d'accompagnement à destination des collectivités pour décliner le projet de Schéma Régional Climat-Air-Energie dans son Plan Climat Energie Territorial" (nov. 2012). Ce document est accompagné d'un tableur de présentation indicative de la répartition territorialisée des objectifs chiffrés du projet de SRCAE. Tous deux sont disponibles sur le site internet du Schéma Régional. ► <http://srcae.rhonealpes.fr>.

Le guide "Climat : réussir le changement" réalisé par Rhône-Alpes-Energie-Environnement (RAEE) sur la base des travaux du Groupe de Réflexion et d'Action pour l'Adaptation aux effets du Changement Climatique (GRAACC) est un outil méthodologique pour accompagner les élus et les services techniques dans la définition et la mise en place de stratégies d'adaptation au changement climatique. Le 1<sup>er</sup> volume (mai 2012) présente quelques points clés utiles aux décideurs pour engager la démarche. Le second volume (avril 2013), qui s'adresse plus particulièrement aux chargés de mission, apporte des éléments pratiques pour la mise en œuvre de stratégies locales d'adaptation. ► [www.ddrhonealpesraee.org/adaptation\\_aux\\_effets\\_du\\_changement\\_climatique.php](http://www.ddrhonealpesraee.org/adaptation_aux_effets_du_changement_climatique.php)

### **Observatoires**

---

La démarche de mise en place d'un **Observatoire Régional du Changement Climatique (ORECC)** est présentée sur le site internet de la DREAL Rhône-Alpes, où figurent également les rapports produits par Météo-France dans le cadre du SRCAE sur le climat actuel en Rhône-Alpes et sur les projections climatiques pour le XXI<sup>ème</sup> siècle. ► [www.rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/orecc-observatoire-regional-des-r954.html](http://www.rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/orecc-observatoire-regional-des-r954.html).

### **Recherche universitaire**

---

#### **Mise en place de la Plateforme ENVIRHONALP CLIMAT REGIONAL**

La proposition de créer une Plateforme Climat Planète s'est construite autour de trois idées centrales :

- fédérer les recherches régionales sur la compréhension de l'évolution des climats aux échelles régionales et de leurs impacts sociétaux,
- développer des structures permettant une liaison plus étroite entre ces recherches, les structures d'enseignement, la demande sociétale, et le monde économique,
- créer un Centre de Données, qui permette une gestion et une utilisation ouvertes et performantes des informations obtenues à travers les dispositifs d'observation et de calcul.



Sandrine Anquetin, Directeur de Recherche CNRS au LTHE Grenoble, est porteur scientifique de cette plateforme.

► <http://envirhonalp.obs.ujf-grenoble.fr/index.php?option=content&task=view&id=320>

## Réseau associatif

---

Le pôle "Educ'Alpes Climat" lancé par le Réseau d'éducation à l'environnement montagnard alpin (REEMA) fin 2010 regroupe aujourd'hui une trentaine d'acteurs (associations d'éducation à l'environnement, collectivités territoriales impliquées dans des démarches PCET, bureau d'étude, institutionnels, etc.) travaillant sur la sensibilisation au changement climatique en montagne. Il a notamment pour activités le recensement des acteurs alpins de la sensibilisation au changement climatique et de leurs actions éducatives, l'organisation de rencontres inter-acteurs, la réalisation de supports d'information sur le changement climatique dans les Alpes, ou encore la mise en place d'une offre de formation concertée au changement climatique en montagne. ► [www.reema.fr/wakka.php?wiki=ChangementClimatique](http://www.reema.fr/wakka.php?wiki=ChangementClimatique)

## Résultats de la recherche

### Travaux transversaux (pluri-thématiques)

#### Résultats des projets du programme Espace Alpin 2007-2013

---

Pour une vue d'ensemble, le rapport "*Alpine Space Programme - Climate Change Cluster*" (2011) (► [www.clisp.eu/content/sites/default/files/CC\\_Cluster-booklet.pdf](http://www.clisp.eu/content/sites/default/files/CC_Cluster-booklet.pdf)) présente le contexte, les objectifs et les principales réalisations de 9 projets issus de la seconde période de programmation du programme Espace Alpin portant sur les impacts du changement climatique et l'adaptation<sup>2</sup> :

- **AdaptAlp**: Adaptation to Climate Change in the Alpine Space (2008-2011)
- **Alp-FFIRS**: Alpine Forest Fire Warning System (2009-2012)
- **AlpWaterScarce**: Water Management Strategies against Water Scarcity (2008-2011)
- **ClimAlpTour**: Climate Change and its Impact on Tourism (2009-2011)
- **CLISP**: Climate Change Adaptation by Spatial Planning (2008-2011)
- **MANFRED**: Management strategies to adapt Alpine Space forests to climate change risks (2009-2012)
- **Paramount**: imProved Accessibility: Reliability and security of Alpine transport infrastructure related to mountainous hazards in a changing climate (2009-2012)
- **PermaNET**: Longterm Permafrost Monitoring Network (2008-2011)
- **SILMAS**: Sustainable Instruments for Lakes Management (2009-2012)

En outre, les principaux résultats de ces projets sont disponibles sur le site du programme Espace Alpin. ► [www.alpine-space.eu/projects/project-results-per-thematic-field/climate-change](http://www.alpine-space.eu/projects/project-results-per-thematic-field/climate-change)

Parmi eux, le projet **CLISP** se plaçait à la suite de projets précédents (notamment ClimChAlp<sup>3</sup>) dans la perspective d'élaborer une stratégie globale d'adaptation de la planification territoriale au changement climatique dans les régions alpines, à la fois multi-sectorielle et intégrée. Le WP4 du projet visait plus spécifiquement à contribuer à l'amélioration de la connaissance et de la prise en

---

<sup>2</sup> Un certain nombre de ces projets ont été présentés dans la [Lettre Alpes-Climat-Risques N°1](#).

<sup>3</sup> [ClimChAlp](#) : "Climate Change, impacts and Adaptation Strategies in the Alpine Space" (2006-2008)

compte de la vulnérabilité aux impacts du changement climatique et à promouvoir l'intégration du concept de vulnérabilité en tant que question clé de l'adaptation dans les pratiques de planification. Le but était de développer une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité spatiale régionale commune et transférable, basée sur l'identification de (i) l'exposition au changement climatique (scénarios climatiques), (ii) la sensibilité aux changements climatiques, (iii) les impacts potentiels, mais aussi (iv) la capacité d'adaptation des régions considérées, à partir d'une série d'indicateurs qualitatifs et quantitatifs. Cette démarche a été mise en œuvre pour les 11 « régions modèles » du projet en analysant leur vulnérabilité dans les secteurs clé suivants : agriculture, urbanisme, énergie, forêts, santé, tourisme et gestion de l'eau. Les impacts potentiels sur les avalanches, les chutes de blocs les laves torrentielles, les crues, et les feux de forêt ont notamment été pris en compte. De plus, certaines techniques développées pour modéliser la vulnérabilité régionale ont été testées pour évaluer des impacts du changement climatique à l'échelle de l'arc alpin dans son ensemble. Ces travaux sont présentés dans le rapport de synthèse du WP4 : "*Vulnerability Assessment*" (EURAC, avril 2011).

► [www.clisp.eu/content/?q=node/229](http://www.clisp.eu/content/?q=node/229)

Pour rappel, l'effort de capitalisation et de mutualisation des connaissances pour l'adaptation au changement climatique dans l'Espace alpin se poursuit dans le cadre du projet **C3 Alps**<sup>4</sup> déjà évoqué dans le précédent numéro. ► [www.c3alps.eu](http://www.c3alps.eu)

### ***Manifestations et publications récentes***

---

Les présentations au colloque "**Les changements globaux : Enjeux et défis**" du **Comité National Français des Changements Globaux (CNFCG)** (Toulouse, 9-11 juil. 2012) sont désormais en ligne.

► <http://cnfcg-colloque2012.ipsl.fr>

Les actes du **25ème colloque de l'Association Internationale de Climatologie (AIC 2012)** intitulé "**Climats régionaux : observation et modélisation**" (Grenoble, 5-8 sept. 2012) sont également en ligne sur le site internet de l'AIC. ► [www.climato.be/aic/colloques/actes/grenoble2012\\_actes.pdf](http://www.climato.be/aic/colloques/actes/grenoble2012_actes.pdf)

La conférence internationale "**Mountains Under Watch 2013 (MUW13): Observing Climate Change Effects in the Alps**" organisée par l'ARPA Vallée d'Aoste (20-21 fév. 2013) a rassemblé des scientifiques et experts internationaux pour échanger sur les méthodes et les stratégies d'observation à long terme des effets du changement climatique sur les différentes composantes de l'environnement alpin (hydrologie, ressources en eau, glaciers, permafrost, écosystèmes d'altitude...). Les vidéos et documents de ces deux journées sont en ligne sur le site web de la conférence. ► [www.muw2013.it](http://www.muw2013.it)

Dans le cadre du 10<sup>e</sup> Forum International de la Météo et du climat s'est tenu le colloque international "**Agir face aux risques météo-climatiques : outils et enjeux économiques à l'horizon 2030**" le 21 mars 2013 à Paris. Etaient abordés les avancées en matière de prévisions météorologiques, l'impact économique des risques météo-climatiques et les stratégies pour réduire ou gérer ces risques, en s'intéressant particulièrement à la mesure, la perception, et la mémoire des risques, aux meilleures façons de lancer des alertes, et à la gouvernance des risques en France et à l'étranger.

► [www.forumeteoclimat.com/colloque-international](http://www.forumeteoclimat.com/colloque-international)

---

<sup>4</sup> C3 Alps: "Climate Change Capitalisation and Adaptation platform for the European Alps" (2012-2014).

A signaler également, le rapport de l'Agence Européenne pour l'Environnement "**Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012**" (cf. [communiqué de presse](#)) qui dresse, sur plus de 300 pages, un vaste panorama du changement climatique en Europe (variables clés et cryosphère) et de ses impacts sur les systèmes environnementaux (océans, zones côtières, ressource en eau, écosystèmes terrestres et biodiversité, sols) et sur les systèmes socio-économiques (agriculture, foresterie, pêche et aquaculture, santé, énergie, services et infrastructures de transport, tourisme), ainsi que de la vulnérabilité associée (en particulier aux risques de crues, de pénurie d'eau et de sécheresse). Cette évaluation met en avant une approche intégrée de la vulnérabilité au changement climatique, la caractérisation de la vulnérabilité des villes et des centres urbains, ainsi qu'une évaluation des coûts associés aux dommages projetés. ► [www.eea.europa.eu/publications/climate-impacts-and-vulnerability-2012](http://www.eea.europa.eu/publications/climate-impacts-and-vulnerability-2012)

## **Préparation du 5e rapport du GIEC**

---

Le groupe 1 du **Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC)** livrera fin septembre 2013 la première partie de son 5<sup>ème</sup> rapport consacré à l'état des connaissances sur le climat et aux projections de l'évolution climatique à venir, tandis que le rapport du groupe 2 sur l'impact, la vulnérabilité et l'adaptation est attendu pour mars 2014. ► [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch). Pour en savoir plus, des documents d'information sur le 5<sup>ème</sup> Rapport sont disponibles sur le site internet de l'ONERC. ► [www.developpement-durable.gouv.fr/Presentation,22611.html](http://www.developpement-durable.gouv.fr/Presentation,22611.html)

## **Climat et milieux alpins**

### **Paramètres climatiques**

---

#### *Observations*

Parmi les indicateurs de l'ONERC récemment mis à jour, l'évolution du nombre annuel de jours de pluies  $\geq 100$ , 150 ou 190 mm sur les régions méditerranéennes de la France (qui comportent les départements alpins de la région PACA) couvre désormais la période 1958 à 2012. On observe une variabilité interannuelle importante du nombre d'occurrences de fortes pluies quel que soit le seuil considéré. En revanche, aucune tendance n'est observée actuellement dans l'évolution de l'occurrence des pluies diluviennes sur ces régions. ► [Indicateur sur le site de l'ONERC](#)

#### *Analyse du climat alpin*

Les longues séries de variables météorologiques homogénéisées de la Grande Région Alpine (GAR) rassemblées dans la base de données HISTALP<sup>5</sup> sont régulièrement actualisées. Sur les séries de températures les plus anciennes, qui remontent à 1760, des corrections ont été apportées aux biais de mesure affectant les données au début de la période<sup>6</sup>. Les dernières mises à jour intègrent progressivement les mesures des années récentes. Ce jeu de données unique permet ainsi d'analyser avec une fiabilité croissante la variabilité climatique dans les Alpes sur les 250 dernières

---

<sup>5</sup> Voir [Lettre Alpes-Climat-Risques N°1](#) (p. 8).

<sup>6</sup> [Böhm et al., 2010](#), *Climatic Change* 101, 41–67.

années. A titre d'exemple, ces nouvelles séries font clairement apparaître la valeur « record » de la température moyenne du semestre d'hiver 2006/07 (+3,6°C au-dessus de la moyenne 1851–2000). Le développement de longues séries de précipitations solides et liquides permet d'étudier l'évolution du ratio pluie/neige aux diverses stations de mesure considérées<sup>7</sup>. De surcroît, le traitement statistique des données produit de nouveaux indicateurs. L'interpolation des données sur une grille permet pour la première fois de calculer les anomalies mensuelles et saisonnières en tout point de la GAR<sup>8</sup> et ainsi de reconstituer l'évolution temporelle et spatiale de variables climatiques jouant un rôle clé dans le fonctionnement du milieu alpin, telles que l'altitude moyenne de l'isotherme 0°C ou les gradients altitudinaux de températures. Les analyses sur la période 1780-2008 montrent, par exemple, que pendant la dernière décennie, l'altitude moyenne de l'isotherme 0°C (calculé sur 10 ans pour diverses stations) s'est élevé de 400 m par rapport au début des années 1980. Enfin, à l'aide de valeurs discrètes et de moyennes glissantes sur des périodes de 30 ans, une analyse régionale de la variabilité « haute fréquence » interannuelle et inter-saisonnière de la pression atmosphérique, de la température et des précipitations sur la période 1760–2011 a été menée<sup>9</sup>. Cette étude montre, d'une part, que la variabilité climatique dans la GAR sur plus de deux siècles a plutôt diminué qu'augmenté, et que, d'autre part, le climat des 30 dernières années a été plutôt moins variable que celui des périodes « normales » précédentes en dépit de l'accroissement du forçage radiatif d'origine anthropique au cours des dernières décennies. Les publications récentes qui rendent compte de ces avancées seront progressivement intégrées à la base Alpes-Climat-Risques. ► [www.zamg.ac.at/histalp](http://www.zamg.ac.at/histalp)

### *Projections climatiques alpines*

Plusieurs rapports (pour bon nombre issus des projets du programme Espace Alpin) permettent de dresser un panorama des scénarios d'évolution climatique disponibles à l'échelle alpine à différentes échéances.

Le rapport de l'Agence Européenne pour l'Environnement (**EEA 2009**) : "*Regional climate change and adaptation — The Alps facing the challenge of changing water resources*" présente des projections climatiques régionales pour la Grande Région Alpine (GAR). Ces projections sont détaillées dans le rapport pour chaque saison (DJF, MAM, JJA, SON) pour l'ensemble de la GAR et pour chacune de ses sous-région (NW, NE, SW, SE et régions d'altitude > 1500 m). Elles prévoient une augmentation de la *température moyenne annuelle* de 3,9°C dans les Alpes à la fin du 21<sup>e</sup> siècle (2071-2100) par rapport à la période de référence 1970-2000 (contre 3,3°C pour l'ensemble de l'Europe) selon le scénario A1B du GIEC, avec un réchauffement particulièrement marqué en haute montagne (> 1500 m), de 4,2°C. L'augmentation des températures serait comparativement faible jusqu'à 2050 (1,4°C), impliquant une nette accélération du réchauffement à partir de la seconde moitié du 21<sup>e</sup> siècle. Toujours à l'échelle annuelle, on s'attend à une légère diminution des *précipitations* à la fin du siècle, comprise entre -1% et -11% selon les modèles et selon les régions, avec la diminution la plus forte au sud-ouest des Alpes. En revanche, les tendances seraient très différentes selon les saisons. Les plus forts changements sont projetés en été, avec une diminution de -25% au NE des Alpes et jusqu'à -41% au SW à la fin du siècle, tandis que la plupart des régions connaîtraient une augmentation des précipitations au printemps et en hiver. ► [www.eea.europa.eu/publications/alps-climate-change-and-adaptation-2009](http://www.eea.europa.eu/publications/alps-climate-change-and-adaptation-2009)

<sup>7</sup> [Chimani et al., 2011](#), *Advances in Science & Research* 6, 39–43.

<sup>8</sup> [Chimani et al., 2012](#), *International Journal of Climatology*, in press.

<sup>9</sup> [Böhm, 2012](#), *The European Physical Journal Plus* 127: 54.

Le rapport technique du projet **AdaptAlp** : "*Climate Projections for the Greater Alpine Region - An evaluation of selected regional climate simulations with respect to hydrometeorological variations*" (Nilson et al., 2012) présente une évaluation des changements climatiques futurs projetés aux horizons « futur proche » (2021-2050) et « futur distant » (2071-2100) dans l'espace alpin par rapport à la période 1971-2000, ainsi que des projections de l'évolution future des débits de rivières. Cette évaluation est basée sur une approche multi-modèles intégrant la plupart des simulations climatiques disponibles, qui permet d'évaluer la robustesse des simulations considérées (c'est-à-dire leur capacité à reproduire les principales caractéristiques du climat observé au 20<sup>e</sup> siècle et leur cohérence pour une majorité de projections) et de sélectionner les modèles les plus robustes et les plus adaptés aux horizons temporels visés (14 simulations sur 20 ont été retenues). Pour réduire la gamme des futurs possibles considérés, le scénario de l'IPCC conduisant à des concentrations « intermédiaire » en gaz à effets de serre (SRES A1B) a été choisi.

Selon l'estimation centrale, l'augmentation projetée des *températures moyennes annuelles* de l'air s'élèverait à +1,5°C dans le futur proche et à +3,5°C dans le futur distant, mais pourrait atteindre respectivement +2,25°C et +4,75°C selon une estimation haute. L'augmentation des températures hivernales serait supérieure de 0,2° à celle des températures estivales dans le futur proche. Inversement, le réchauffement estival serait supérieur de 0,5° au réchauffement hivernal dans le futur distant.

Les changements simulés dans les *précipitations moyennes annuelles* restent limités jusqu'au milieu du 21<sup>e</sup> siècle : plusieurs modèles montrent une légère augmentation (+5%) en hiver dans les parties nord de la région alpine et une légère diminution estivale (-5%) dans les parties méditerranéennes. A la fin du siècle, l'accord entre les modèles est plus fort et les changements simulés sont plus prononcés : l'estimation centrale des changements dans les précipitations moyennes montre une augmentation de +15% en hiver (+25% dans les Alpes centrales) et une diminution de -15% en été (-25% dans les parties méditerranéennes).

Enfin, concernant la *disposition météorologique à la sécheresse* représentée par les plus faibles totaux de précipitation sur 30 jours par saison, aucune tendance robuste n'apparaît pour le futur proche, hormis en été où elle augmente pour la majorité des points de simulation. Le signal devient plus clair pour le futur distant, où toutes les simulations indiquent une diminution des totaux de précipitations sur 30 jours en été, dans une gamme allant de -20% à -75% dans les Alpes occidentales, tandis qu'une majorité de simulations montrent une augmentation jusqu'à +40% en hiver. Cet ensemble de projections est destiné à servir de base pour la prise de décision. Le rapport précise qu'il revient aux décideurs de choisir les simulations à considérer parmi l'ensemble dans les études de vulnérabilité et d'adaptation. Il insiste également sur le fait que les changements projetés dans les moyennes sont généralement plus robustes que les changements dans les extrêmes.

► [www.adaptalp.org/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=370&Itemid=79](http://www.adaptalp.org/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=370&Itemid=79)

Le rapport "*Climatic scenarios guideline*" (Saulnier *et al.*, 2011) du projet **Alps-Water-Scarce** présente une méthodologie de calcul de scénarios climatiques futurs dans les Alpes, destinée à fournir des bases communes pour être appliquée sur les sites pilotes du projet (parmi lesquels, concernant les Alpes françaises, figurent la Savoie et le bassin de l'Arly). Cette approche combine les résultats des projections du GIEC et du projet ENSEMBLES<sup>10</sup> basées sur des techniques classiques de descente d'échelle avec une méthode de perturbation appliquée à des séries de mesures réelles (en vue d'une application aux séries d'observation des sites pilotes du projet). La méthode a été appliquées aux

---

<sup>10</sup> [ENSEMBLES](#): "Ensemble-based Predictions of Climate Changes and their Impacts" (2004-2009) du 6e PCRD.

séries de températures mesurées dans la Grande Région Alpine (GAR) rassemblées dans le projet HISTALP (qui couvrent la période 1760-2007), en extrapolant jusqu'à 2100 la corrélation entre les tendances du GIEC et celles de la série HISTALP obtenue sur la période 1900-2007.

Ces données montrent un réchauffement deux fois plus rapide dans les Alpes qu'à l'échelle globale. L'augmentation moyenne des *températures* ainsi calculées pour la GAR s'élève à +3°C à l'horizon 2040-2060 et à +5,1°C à l'horizon 2080-2099 par rapport à la période 1980-1999. Pour les quatre sous-régions de la GAR (NW, NE, SW et SE), qui intègrent des stations de basse altitude non prises en compte dans le calcul de la température moyenne de la série HISTALP, les valeurs moyennes projetées sont légèrement moins élevées. Pour les parties NW et SW (qui couvrent les Alpes françaises et suisses et la partie occidentale des Alpes italiennes), le réchauffement calculé est compris entre +2,4 et +2,7°C à l'horizon 2040-2060 et entre +4,0 et +4,7°C à l'horizon 2080-2099. Le rapport indique que les projections fournies pour ces deux fenêtres temporelles doivent être considérées non pas comme des prévisions précises mais comme – pour la première – une situation hautement probable dans le futur proche et – pour la seconde – comme une situation sévère possible. L'évolution des précipitations reste quant à elle très incertaine. D'après les projections du projet ENSEMBLES, le rapport indique que le gradient nord-sud projeté dans l'évolution des *précipitations* futures sur l'Europe pourrait se traduire schématiquement par un léger accroissement des précipitations moyennes sur la partie nord des Alpes et une légère diminution sur la partie sud.

► [Rapport en ligne \(pdf\)](#)

Différents scénarios de changement climatique destinés à refléter une large gamme de futures conditions climatiques possibles dans les Alpes ont été pris en compte dans le projet **CLISP** (cf. p. 4). Ces scénarios ont été calculés avec différents modèles climatiques régionaux (RCM) forcés par différents modèles de circulation générale (GCM) sous différents scénarios d'émission de gaz à effet de serre (SRES) (B1 : scénario d'émissions faibles, et A1B : scénario d'émissions modérées/fortes). L'évolution des valeurs moyennes mensuelles, saisonnières et annuelles de différents paramètres climatiques a été calculée en terme de changement absolu par rapport à la période de référence (1961-1990) pour deux périodes futures de 20 ans (2011-2030 et 2031-2050). Les résultats présentés dans les documents de synthèse du projet ont été limités aux indicateurs présentant des tendances claires, potentiellement aisément interprétables. Parmi tous les paramètres considérés, les températures sont le plus fiable mais présentent cependant une variance importante, et d'autant plus à échelle fine. Les projections de précipitations présentent une incertitude beaucoup plus forte (les modèles climatiques n'étant pas capables de reproduire certains phénomènes comme les événements de pluies convectives, qui peuvent représenter une part majeure des précipitations estivales). Dans le rapport technique "*Processing of regional climate model data & providing climate projections for MRs (CLM and/or REMO) - Climate change scenarios - The Alps*" (EURAC, avril 2011), l'évolution moyenne des températures et des précipitations saisonnières (DJF, MAM, JJA, SON) est présentée sous forme de cartes et de graphiques pour l'ensemble de la région alpine. Une tendance à la hausse des *températures moyennes* apparaît clairement en toutes saisons après 2030. Le réchauffement le plus fort est attendu en été, compris entre 1,3°C et 3°C d'ici 2050. En continuité avec les tendances observées dans le passé, la partie centrale des Alpes se réchaufferait plus rapidement que les régions de piémont. Les *températures maximales* projetées présentent à peu près les mêmes tendances que les températures moyennes (indiquant une augmentation future de la fréquence des températures extrêmes), tout comme les *températures minimales*. Ces dernières présentent cependant des tendances encore plus fortes en hiver, qui impliqueraient une réduction accrue du nombre de jours de gel et donc de la couverture neigeuse et des glaciers (qui sont particulièrement

sensibles à l'augmentation des températures minimales). Concernant les *précipitations*, la tendance la plus claire est celle des précipitations estivales qui, selon une majorité de scénarios, présenteraient une légère diminution, jusqu'à -55 mm. ► [www.clisp.eu/content/sites/default/files/The\\_Alps\\_v2.pdf](http://www.clisp.eu/content/sites/default/files/The_Alps_v2.pdf)

Le rapport de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse (RMC) : "*Impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse - Bilan des connaissances*" (sept. 2012) passe en revue les travaux scientifiques portant sur le changement climatique à venir et ses impacts sur les évolutions hydrologiques dans les bassins RMC. Il présente une synthèse des projections considérées comme robustes (sur lesquelles plusieurs études et/ou plusieurs scénarios s'accordent). Concernant l'évolution du climat, les projections retenues tablent sur une hausse généralisée des *températures annuelles* (+ 3 à 5°C en 2080), une baisse des *précipitations estivales*, une baisse des *précipitations moyennes* à long terme (-5 à -20% en 2080 sur la région Rhône-Méditerranée), une forte augmentation du *nombre de jours caniculaires* (+10 à 25 jours/ans en 2080), une hausse de *l'évapotranspiration potentielle (ETP)*, une augmentation de la fréquence et une intensification des *sécheresses météorologiques d'été et d'automne* à long terme, ainsi qu'une forte baisse du *couvert neigeux* à basses et moyennes altitude, particulièrement marquée au sud des Alpes, dès l'horizon 2030 et qui s'accroît à long terme (durée d'enneigement de -40 à -60% dans le sud des Alpes en 2030 et de -15 à -30% dans le nord des Alpes), avec une baisse modérée de l'enneigement en haute altitude, plus marquée au sud (durée d'enneigement de -10 à -25 % en 2030 et jusqu'à 45% en 2080 au sud ; -10 à -20 % au nord en 2080). Les projections considérées comme plus incertaines concernent les *évolutions saisonnières des températures*, la hausse des *précipitations hivernales*, l'intensification des *événements pluviométriques en hiver*, l'allongement des *sécheresses* et la baisse relativement faible de la *durée d'enneigement* dans les Alpes du Nord à long terme. Les conclusions concernant les impacts de ces projections climatiques sur l'hydrologie des rivières et les régimes de crues sont présentées ci-après dans les sections consacrées à ces thématiques (voir p. 11 et 16).

► [www.eaurmc.fr/fileadmin/espace-presse/documents/Connaissances\\_CC\\_rapport\\_AERMC\\_-\\_24\\_sept-DEF.pdf](http://www.eaurmc.fr/fileadmin/espace-presse/documents/Connaissances_CC_rapport_AERMC_-_24_sept-DEF.pdf)

## Glaciers

---

Dans le cadre du projet **GlaRiskAlp**<sup>11</sup>, un inventaire des extensions actuelle et anciennes des glaciers dans les Alpes franco-italiennes a été réalisé dans le but de quantifier le retrait glaciaire depuis le Petit Âge Glaciaire (PAG). Le contour des glaciers à différentes époques a été digitalisé à partir d'orthophotographies IGN de 2006 à 2009, de cartes topographiques IGN datant de la fin des années 1960 et d'images satellitaires Landsat datant de 1985-1986. La surface couverte actuellement par les glaciers dans les Alpes françaises (275 km<sup>2</sup> à la fin des années 2000) a diminué de près de 20% par rapport à 1985-86 (340 km<sup>2</sup>) et de 26% par rapport aux années 1967-71 (370 km<sup>2</sup>). Ces résultats, comparables à ceux obtenus dans d'autres secteurs des Alpes, confirment une nette accélération du retrait glaciaire à partir du milieu des années 1980 : la vitesse du retrait a été multipliée par 1,5 entre la période 1967-71 à 1985-86 (-5% par décennie) et la période 1985-86 à 2006-2009 (-8% par décennie). La reconstitution de l'extension des glaciers depuis la fin du Petit Âge Glaciaire (~1850) est basée quant à elle sur l'utilisation de cartes anciennes et sur l'étude géomorphologique des marges proglaciaires. Dans le massif de la Vanoise, par exemple, la surface englacée a diminué de plus de 50% depuis la fin du PAG. ► [www.fondms.org/glariskalp](http://www.fondms.org/glariskalp)

---

<sup>11</sup> Voir [Lettre Alpes-Climat-Risques N°1](#) (p. 11).

## **Permafrost**

---

Le réseau **PermaFRANCE** de mesure du permafrost et des processus liés au gel a été présenté dans le dernier numéro. Un poster a été présenté au colloque "Les changements globaux : Enjeux et défis" du CNFCG (juil. 2012). ► [http://cnfcg-colloque2012.ipsl.fr/data/documents/Po1\\_12\\_Bodin\\_1.pdf](http://cnfcg-colloque2012.ipsl.fr/data/documents/Po1_12_Bodin_1.pdf)

## **Cours d'eau**

---

### *Projections*

Le grand Sud-Est français (bassins Rhône-Méditerranée et Corse), qui connaît déjà des situations de pénuries d'eau sur 40% de son territoire, est considéré comme la région la plus sensible de France au changement climatique. Les projections considérées comme robustes dans le rapport de synthèse de l'Agence de l'eau RMC présenté en septembre 2012 (cf. p. 10) prévoient : une diminution des débits en été et en automne (-20 à -50%), un changement dans le régime des cours d'eau à influence nivale (pic de fonte avancé d'un à deux mois), des étiages plus sévères et plus longs, une baisse de l'équivalent en eau de la neige à 1200 m dès l'horizon 2030, cette projection étant plus robuste pour 2080 avec une très forte baisse au sud des Alpes (quasi disparition de la neige au printemps à 1200 m), une baisse des débits d'été et d'automne des affluents non méditerranéens du Rhône (-20 à -50% en 2050), ainsi qu'une forte baisse des débits estivaux de l'Isère et de la Durance (jusqu'à -75% en juin-juillet en 2050). Les projections considérées comme plus incertaines sont les suivantes : hausse des débits en hiver, modules plutôt en baisse mais incertitudes en fonction des contrastes saisonniers, stabilité voire hausse des débits d'hiver du Rhône, baisse de l'équivalent en eau de la neige au nord-est des Alpes (avec de fortes incertitudes sur l'amplitude de cette baisse), incertitudes sur l'équivalent en eau de la neige en haute altitude (stabilité ou baisse dans le nord des Alpes, baisse significative au sud), stabilité ou hausse des débits hivernaux des affluents non méditerranéens du Rhône, hausse des débits d'hiver de l'Isère et de la Durance, incertitudes sur l'évolution des débits hivernaux des cours d'eau méditerranéens, et baisse incertaine de la recharge des nappes (qui pourraient être plus marquée dans les Alpes et en Corse).

Les conclusions de ce rapport de synthèse ont été présentées lors du séminaire "Eau et changement climatique" organisé à Lyon le 19 sept. 2012, qui a rassemblé 300 experts et gestionnaires de l'eau et des rivières, des collectivités et de l'Etat. Les documents de ce séminaire (vidéos, diaporamas et recueil des interventions, communiqué de presse) ainsi que le rapport de synthèse sont disponibles sur le site internet de l'Agence de l'eau. ► [www.eaurmc.fr/actualites-de-lagence-de-leau/detail-de-lactualite/article/seminaire-eau-et-changement-climatique.html](http://www.eaurmc.fr/actualites-de-lagence-de-leau/detail-de-lactualite/article/seminaire-eau-et-changement-climatique.html)

### *Manifestation récente*

Les **rencontres de l'Observatoire de l'eau en montagne** (Megève, 15-16 octobre 2012) avaient pour objectif de faire le point sur les avancées des actions mises en place dans le cadre de l'Observatoire. Les résultats présentés concernent notamment les outils de modélisation du fonctionnement hydrologique observé et futur du bassin versant Megève/Haut-Arly en fonction des variations climatiques et des activités anthropiques. Ces outils ont été mis en œuvre, dans le prolongement du projet Alp-Water-Scarce, en vue d'une gestion harmonisée de la ressource en eau sur ce territoire (volet 1). Les diaporamas présentés lors de ces journées sont en ligne sur le site internet de l'Observatoire. ► [www.eaumontagne.org/site/index.php?option=com\\_content&view=article&id=57](http://www.eaumontagne.org/site/index.php?option=com_content&view=article&id=57)

Dans le cadre du projet **C3 Alps** (cf. p. 5), l'étude de l'impact du changement climatique sur le système hydrologique et l'élaboration de stratégies d'adaptation dans le domaine de la gestion de l'eau se poursuivent sur les sites pilotes de la commune de Megève et du département de la Savoie, avec pour objectif de développer des outils d'aide à la décision combinant instrumentation et modélisation en associant des scénarios climatiques et anthropiques. ► [www.c3alps.eu](http://www.c3alps.eu)

## **Forêt alpine**

---

Le développement de cette rubrique de la base Alpes-Climat-Risques se poursuit en vue d'intégrer progressivement (i) des reconstructions paléoenvironnementales qui fournissent notamment des éléments de connaissance permettant d'analyser les liens entre le couvert végétal et les autres composantes des milieux d'altitude (glaciers, hydrologie, feux de forêt...), (ii) des observations sur la dynamique passée et récente des formations végétales alpines, ainsi que (iii) des projections de l'impact du changement climatique sur leur évolution future.

## **Erosion**

---

L'érosion des sols pourrait devenir une préoccupation importante d'un point de vue physique, chimique et biologique sous l'influence des changements à venir dans les régimes de précipitations. Des techniques de modélisation de l'érosion des sols ont été développées dans le projet **AdaptAlp** et sont présentées dans le rapport technique "*Water Regime in the Alpine Space: Soil Erosion in a Changing Environment*" (Pregolato et D'Amico, 2011). L'objectif était de fournir une évaluation qualitative (et éventuellement quantitative) de l'évolution future de l'érosion superficielle des sols due à l'eau (précipitations et ruissellement) à partir de la réponse de deux modèles d'érosion différents forcés avec des scénarios climatiques, et de vérifier leur utilisation possible comme outils pratiques de prédiction du taux d'érosion des sols dans les environnements alpins. Les deux modèles testés sont le modèle empirique **RUSLE** (Revised Universal Soil Loss Equation) et le modèle à base physique **WEPP** (Water Erosion Prediction Model) – ont été utilisés à l'échelle du bassin ou du versant pour modéliser l'érosion des sols dans les hauts bassins des rivières Adda (Italie), de la Soča (Slovénie) et de l'Inn (Suisse, Autriche, Allemagne, Italie). Les résultats obtenus avec le modèle **RUSLE** pour ces trois grands bassins montrent une diminution généralisée de l'érosion des sols dans la majeure partie de l'Espace alpin au cours des prochaines décennies (2015-2035), causée par une réduction des précipitations et du nombre d'événements de pluie érosifs. Les résultats du modèle **WEPP** sur deux cas d'étude à l'échelle locale montrent également une tendance générale à la baisse. Malgré le raffinement du modèle **RUSLE** par rapport aux modèles préexistants (meilleure résolution spatiale des couches d'information utilisées pour calculer les facteurs de l'érosion, équations plus détaillées pour le calcul de l'érodibilité des sols et meilleure précision accrue des couches thématiques de couverture des sols) et la plus grande précision des données climatiques utilisées en entrée (résolution spatiale : 8 km et résolution temporelle : 6h), de fortes incertitudes subsistent en raison des incertitudes associées aux projections de l'évolution future des précipitations. De plus, la diminution projetée de l'érosion des sols due à des causes environnementales pourrait être largement contrebalancée par l'impact des perturbations du sol et de la végétation provoquées par les activités humaines ou par les phénomènes naturels liés aux changements climatiques (par ex. feux de forêt, processus de pédogenèse, phytosociologie...), qui restent hors de portée de ces modèles simples.

► [www.adaptalp.org/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=458&Itemid=79](http://www.adaptalp.org/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=458&Itemid=79)

## Risques naturels

### Aléas d'origine glaciaire

---

La journée d'étude finale du projet Alcotra **GlaRiskAlp**<sup>12</sup> s'est tenue à Courmayeur (Vallée d'Aoste) le 11 janvier 2013. Une synthèse des résultats est présentée sur le site web du projet (► [www.fondms.org/glariskalp](http://www.fondms.org/glariskalp)) :

Etudes menées à l'échelle régionale des Alpes occidentales :

- Inventaire des extensions actuelle et ancienne des glaciers.
- Cartographie géomorphologique des secteurs déglacés depuis la fin du Petit-Âge-Glaciaire.
- Elaboration d'une typologie des aléas glaciaires.
- Méthodologie d'évaluation de la prédisposition aux aléas des secteurs englacés et récemment déglacés.

Etudes réalisées sur des sites pilotes :

- Glaciers de Taconnaz (Haute-Savoie) : caractérisation de la fréquence et du volume des ruptures de séracs et détermination du régime thermique du glacier.
- Glacier des Grandes Jorasses (vallée d'Aoste) : suivi de l'évolution morphologique du sérac (développement d'un système d'acquisition photogrammétrique et réalisation d'un modèle 3D) et caractérisation du régime thermique du glacier.
- Glacier de Tête Rousse (Haute-Savoie) : campagnes d'observation sur le glacier pour mieux comprendre les mécanismes de formation de la poche d'eau actuelle et de celle à l'origine de la catastrophe de Saint-Gervais en 1892 (analyse des mécanismes de remplissage de la poche d'eau, étude du risque d'effondrement de la cavité, étude du régime thermique du glacier).
- Secteurs récemment désenglacés (quatre sites pilotes) : test de méthodes qui permettent de : (i) recenser de manière détaillée les processus passés et actuels et leurs combinaisons éventuelles, générateurs d'aléas ; (ii) quantifier le volume de matériaux mobilisés/mobilisables ; (iii) caractériser ces matériaux, en particulier du point de vue de leur stabilité.
- Glacier de l'Argentière (Haute-Savoie) : acquisition et analyse de données in situ et exploitation des données de télédétection pour le suivi de la dynamique glaciaire (champs de vitesses de surface).

A terme, les données cartographiques numériques issues de GlaRiskAlp devraient être intégrées au géoportail transfrontalier sur les risques naturels du projet stratégique RiskNat-Alcotra<sup>13</sup>, dont le développement va se poursuivre au sein du projet RiskNET<sup>14</sup>.

Dans la poursuite du séminaire organisé en mars 2012 avec le soutien de la DGPR du MEDDE sur la gestion des risques d'origine glaciaire et périglaciaire (ROGP)<sup>15</sup>, le PARN a rédigé une "Synthèse des connaissances et des pratiques" en matière de prévention des ROGP (janvier 2013).

► [www.risknat.org/risques-glaciaires-et-periglaciaires/Synthese\\_ROGP\\_PARN\\_2013.pdf](http://www.risknat.org/risques-glaciaires-et-periglaciaires/Synthese_ROGP_PARN_2013.pdf)

---

<sup>12</sup> [GlaRiskAlp](#) : "Risques glaciaires dans les Alpes occidentales" (2010-2013).

<sup>13</sup> [RiskNat-Alcotra](#) : "Gestion en sécurité des territoires de montagne transfrontaliers" (2009-2012).

<sup>14</sup> RiskNET : "Réseau transfrontalier sur les risques naturels" (2013-2015).

<sup>15</sup> Voir [Lettre Alpes-Climat-Risques](#) (p. 15).

## Avalanches

---

### *Reconstructions*

Une étude dendrogéomorphologique menée sur un couloir d'avalanches (couloir de l'Echalp) dans le massif du Queyras (Hautes-Alpes) a permis de reconstituer les caractéristiques spatio-temporelles des événements avalancheux depuis le XIV<sup>e</sup> siècle à partir de l'analyse des cernes de croissance de mélèzes poussant à proximité de ce couloir. Trois maxima dans la fréquence des avalanches ont été reconstruits au début des 16<sup>e</sup> et 19<sup>e</sup> siècles et vers 1850, corrélés avec des hivers plus froids que la moyenne et des avancées glaciaires dans les Alpes, mais aucune tendance n'apparaît dans la fréquence des événements extrêmes. ► [http://www.dendrolab.ch/.../Corona\\_etal\\_Holocene\\_2012.pdf](http://www.dendrolab.ch/.../Corona_etal_Holocene_2012.pdf)

### *Observations*

Les projets **ECANA**<sup>16</sup> et **MOPERA**<sup>17</sup> ont été évoqués dans le dernier numéro<sup>18</sup>. L'objectif principal d'ECANA était d'étudier la climatologie de l'activité avalancheuse naturelle dans les Alpes Françaises afin de questionner la stationnarité du phénomène avalancheux dans le temps. L'objectif du projet ANR MOPERA est de développer des modèles probabilistes plus performants pour la gestion intégrée à long terme du risque avalanche. Tous deux s'appuient fortement sur les données d'avalanche françaises archivées par Irstea : principalement l'Enquête Permanente sur les Avalanches (EPA), mais aussi les données nivométéorologiques acquises, assimilées et réanalysées par Météo France, ainsi que la Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalanche (CLPA). Le nouveau site internet [avalanches.fr](http://www.avalanches.fr) dédié à l'observation des avalanches en France présente désormais les résultats, productions et livrables de ces deux projets, en particulier la liste des communications et publications déjà disponibles, complétée au fur et à mesure de l'avancée des travaux. ► [www.avalanches.fr](http://www.avalanches.fr)

## Mouvements de terrain

---

L'intégration des études répertoriées relatives aux effets du changement climatique sur les mouvements de terrain ("éboulements et chutes de blocs", "glissements superficiels" et "glissements profonds") se poursuit dans le cadre de l'actualisation de la base Alpes-Climat-Risques. Un aperçu pourra en être donné dans les prochains numéros de la Lettre.

### *Projections*

Dans le cadre des travaux du WP4 du projet **CLISP** (cf. p. 4 et 9), une modélisation des impacts potentiels des chutes de blocs liées à la dégradation du permafrost a été menée à l'échelle de l'arc alpin dans son ensemble en termes de réduction de l'accessibilité des vallées. Cette analyse montre que de nombreuses routes pourraient être interrompues par les trajectoires des chutes de blocs potentielles. L'évaluation des conséquences sur le trafic routier en termes d'allongement du temps de trajet et de population affectée (dont le produit est utilisé comme un indicateur de la magnitude de ces impacts) indique que les conséquences économiques de ces impacts pourraient être importantes. Les coûts de protection et de restauration du réseau routier pourraient donc augmenter considérablement.

---

<sup>16</sup> [ECANA](#) : "Etude Climatologique de l'Activité Avalancheuse Naturelle" (2008-2011).

<sup>17</sup> [MOPERA](#) : "Modélisation Probabiliste pour l'Etude du Risque d'Avalanche" (2010-2013).

<sup>18</sup> Voir [Lettre Alpes-Climat-Risques](#) (p. 15).

## ***Crues et laves torrentielles***

---

### *Reconstructions*

Depuis quelques années, le laboratoire EDYTEM associé à d'autres laboratoires a entrepris l'étude pluridisciplinaire de séquences sédimentaires de différents lacs d'altitude des Alpes françaises, dans le but de reconstruire la fréquence et l'intensité de crues torrentielles passées au cours des derniers siècles aux derniers millénaires à partir de l'analyse sédimentologique (granulométrie, géochimie) de leurs dépôts précisément datés<sup>19</sup>. La comparaison des chroniques de crues ainsi obtenues avec des reconstitutions de température suggère que sur l'ensemble des Alpes françaises la fréquence des crues augmente en période froide, probablement en lien avec une intensification des flux d'ouest et de l'activité cyclonique. Par ailleurs, on observe une évolution régionale différenciée de l'activité torrentielle en fonction des forçages prédominants : l'intensité des crues augmente également au cours de périodes froides dans les Alpes du Sud en lien apparent avec des phases négatives de l'Oscillation Nord Atlantique, tandis que dans les Alpes du Nord l'intensité augmente aussi au cours des périodes chaudes. Ces données permettent ainsi de construire des hypothèses régionalisées sur l'évolution de l'activité torrentielle pour les décennies à venir. Pour en savoir plus, les résultats obtenus sur 3 lacs (Lac Blanc des Aiguilles Rouges, Lac Blanc de Belledonne et Lac d'Allos dans le Mercantour) publiés dans des revues internationales<sup>20,21,22</sup> ont notamment été présentés au 25<sup>e</sup> colloque de l'AIC ► [www.climato.be/aic/colloques/actes/grenoble2012\\_actes.pdf#771](http://www.climato.be/aic/colloques/actes/grenoble2012_actes.pdf#771) (p. 769-774).

Des travaux similaires sont également conduits en Suisse. Pour un état de l'art récent : ► [www.limnogeology.ethz.ch/GilliFloods.pdf](http://www.limnogeology.ethz.ch/GilliFloods.pdf)

## ***Crues et inondations***

---

### *Projections*

Sur la base des projections climatiques multi-modèles du projet **AdaptAlp** présentées dans le rapport de Nilson et al. (2012) cité plus haut (p. 8), le cumul maximal de précipitations sur 5 jours par saison a été utilisé comme un indicateur de la disposition future aux crues dans les Alpes. Aucune région ou saison ne présente un signal de changement robuste (c.a.d. une majorité de modèles pointant dans la même direction) dans un proche avenir (2021-2050), les résultats étant compris généralement entre + et -10%. Dans les secteurs situés au nord des Alpes, une augmentation des maxima de précipitations sur 5 jours est projetée pour le printemps (mars à mai) et l'automne (septembre à novembre). Les signaux de changement obtenus pour la fin du siècle (2071-2100) montrent une réduction des épisodes de fortes précipitations durant l'été dans la plupart des régions (jusqu'à -30%). Pour l'hiver, des épisodes de fortes précipitations plus intenses (jusqu'à +20%) sont simulées dans tous les secteurs.

► [www.adaptalp.org/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=370&Itemid=79](http://www.adaptalp.org/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=370&Itemid=79)

---

<sup>19</sup> Travaux menés notamment dans le cadre du projet [ANR Pygmalion](#) : "Paleohydrology and Human Climate Environment Interactions in the Alps" (2007-2012).

<sup>20</sup> [Wilhelm et al., 2012](#), *Climatic Change* 113, 563-581.

<sup>21</sup> [Giguet-Covex et al., 2012](#), *Quaternary Research* 77, 12-22.

<sup>22</sup> [Wilhelm et al., 2012](#), *Quaternary Research* 78, 1-12.

Un modèle conceptuel reliant la période de retour des crues à l'extension des zones contributives des bassins versants alpins au-dessus de l'altitude de l'isotherme 0°C suggère que les crues considérées aujourd'hui comme centennales pourraient correspondre dans le futur à des crues d'une période de retour de 20 ans<sup>23</sup>. Les données d'observation disponibles dans les Alpes suisses s'accordent avec ce modèle. Sur la base de ces hypothèses, une méthode pour évaluer l'évolution des débits de crues centennale sous l'effet du changement climatique a été développée<sup>24</sup> et appliquée à l'ensemble de l'arc alpin dans le cadre du WP4 du projet **CLISP** (cf. p. 4). Les résultats indiquent que les débits augmenteraient plus dans les bassins de haute altitude, et dans les Alpes occidentales que dans la partie est. Les bassins les plus fortement affectés se situeraient dans les Alpes suisses et italiennes, où un plus grand nombre de bassins versants tendent à passer d'un régime nival à un régime pluvial.

Dans les bassins Rhône-Méditerranée et Corse, le rapport de synthèse produit par l'**Agence de l'eau RMC** (déjà évoqué p. 10 et 11) conclue que, de manière générale, malgré les projections de baisse généralisée des débits moyens au cours du 21<sup>e</sup> siècle, les valeurs de débits élevés ainsi que l'amplitude et la fréquence des crues ne devraient pas baisser et pourraient même s'aggraver, ce qui aura une incidence sur le dimensionnement des ouvrages, avec des contrastes plus forts à gérer.

## **Feux de forêt**

---

### *Rétro-analyse*

La base de données alpine des feux de forêt constituée dans le cadre du projet **ALP-FFIRS**<sup>25</sup> représente une avancée importante vers une régionalisation des impacts du changement climatique sur les feux de forêt dans les Alpes. ► [www.alpfirs.eu](http://www.alpfirs.eu)

L'impact de l'évolution climatique récente sur la prédisposition météorologique aux feux de forêt a été évalué sur la période 1951-2010 à l'aide d'analyses statistiques sur différents indices de danger quotidiens calculés à partir des données météorologiques de 25 stations réparties à travers les Alpes (stations HISTALP) fournies par les agences météorologiques nationales de six pays et regroupées en quatre régions climatologiquement homogènes (parties Nord, Ouest et Sud des Alpes + Alpes internes)<sup>26</sup>. Des augmentations significatives de l'indice de danger feu de forêts au cours des 6 dernières décennies sont manifestes pour les stations des Alpes occidentales et plus encore des Alpes méridionales. Dans ces régions, le nombre de jours à fort indice (dépassant un seuil fixé) a augmenté au cours des dernières années. Une augmentation comparativement faible apparaît dans la partie Nord de la chaîne et il n'y a pas de tendance claire pour les stations des vallées internes des Alpes. En outre, l'analyse des valeurs extrêmes met en évidence une diminution de la période de retour des fortes valeurs de l'indice au cours des dernières décennies, en particulier dans les régions Ouest et Sud des Alpes. Une comparaison des indices de danger avec les données d'observations des feux de forêts pour certains secteurs pilotes montre des corrélations spatialement hétérogènes : assez faible en Valais dans les Alpes occidentales (où l'on observe une faible tendance à la hausse du nombre de feux et des surfaces brûlées), plus forte en Bavière (où l'indice météo feux de forêt a augmenté alors qu'au contraire le nombre de feux et les surfaces brûlées sont à la baisse pour des

---

<sup>23</sup> Allamano et al., 2009a, *Water Resource Research* 45 + Allamano et al., 2009b, *Geophysical Research Letters* 36.

<sup>24</sup> Castellarin and Pistocchi, 2012, *Hydrological Processes* 26, 1517–1526.

<sup>25</sup> Voir [Lettre Alpes-Climat-Risques N°1](#), p. 19.

<sup>26</sup> [Wastl et al., 2012](#), *Agricultural and Forest Meteorology* 162-163, 1–13.

raisons liés à l'activité humaine) et la corrélation est très faible au Sud des Alpes (dans le Tessin, où la plupart des feux se produisent en hiver alors que les fortes valeurs de l'indice se produisent en été, et où la tendance de l'indice météo feux de forêt est contrebalancée par une diminution du nombre de départs d'origine humaine).

Par ailleurs, les données rassemblées pour cinq stations représentatives des régions alpines ont permis d'analyser conjointement les types de temps journaliers classifiés pour la période 1951-2010 et différents indices feux de forêt quotidiens calculés sur cette même période, ainsi que des données observées sur une période de 10 ans (2001-2010)<sup>27</sup>. Les analyses ont montré une forte dépendance du danger feux de forêt à l'activité cyclonique (les types de temps cycloniques, plutôt humides, se traduisent par un faible danger d'incendie), ainsi qu'à la direction du flux atmosphérique, avec de fortes différences régionales (les flux de nord se traduisant par des valeurs faibles de l'indice liées aux précipitations sur le flanc nord des Alpes et des valeurs fortes liées à un assèchement des masses d'air sur le flanc sud). De manière générale, une faible corrélation entre les types de temps et les feux observés résulte de la forte influence humaine sur le régime des feux dans les Alpes.

► La publication finale "*Forest fires in the Alps - Prediction, knowledge and cooperation to protect our forest heritage*" ([pdf](#)), des glossaires multilingues ([vol.1](#) & [vol. 2](#)), ainsi que les recommandations ([pdf](#)) du projet ALP-FFIRS sont désormais disponibles sur le site du programme Espace Alpin.

#### *Prévision météo et projections climatiques*

Dans son numéro 48 (sept. 2012), la ***Lettre de veille météo et climat*** du CGEDD<sup>28</sup> fait le point sur les méthodes et les pratiques mises en œuvre par Météo-France pour la prévision météorologique opérationnelle des feux de forêts et rend compte des principales conclusions du rapport de la mission interministérielle "Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts" (juillet 2010)<sup>25</sup> relatives à l'impact potentiel du changement climatique sur ce risque. ► [LVMC N°48](#)

## **Tempêtes**

---

Une analyse des extrêmes de vent géostrophique a été menée à partir de données d'observations sub-quotidiennes de pression de surface sur 13 stations européennes réparties de la péninsule ibérique à la Scandinavie sur une période allant de 1878 à 2007<sup>29</sup>. En accord avec les études précédemment mentionnées<sup>30</sup>, les résultats montrent (i) des fluctuations importantes de l'activité des tempêtes à l'échelle décennale ou sur des périodes plus longues dans une région allant du nord-est de l'Atlantique à l'Europe occidentale, avec de fortes différences saisonnières et régionales (en particulier entre hiver et été, et entre le secteur des îles britanniques et de la mer du Nord et le reste de la région) et (ii) une augmentation notable de la fréquence d'occurrence des forts vents géostrophiques ( $\geq 20$  m/s) dans les régions de la mer du Nord et des Alpes et plus particulièrement des Alpes françaises entre le milieu et la fin du 20<sup>e</sup> siècle. Par ailleurs, cette étude montre que la relation entre l'activité des tempêtes et l'Oscillation Nord Atlantique (NAO) pendant la saison froide (décembre à mars) est significativement positive dans la partie nord et centrale de l'Europe, mais négative dans la partie sud/sud-est. ► [www.esrl.noaa.gov/psd/people/gilbert.p.compo/Wangetal2011.pdf](http://www.esrl.noaa.gov/psd/people/gilbert.p.compo/Wangetal2011.pdf)

---

<sup>27</sup> [Wastl et al., 2013](#), *Agricultural and Forest Meteorology* 168, 15–25 (étude soutenue également par le projet MANFRED).

<sup>28</sup> Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable.

<sup>29</sup> [Wang et al., 2011](#), *Climate Dynamics* 37(11-12), 2355-2371.

<sup>30</sup> Voir [Lettre Alpes-Climat-Risques N°1](#), p. 20.



## Manifestations à venir

La conférence internationale "IMPACTS WORLD 2013 – International Conference on Climate Change Effects" (Potsdam, 27-30 mai 2013) qui rassemblera des chercheurs et des décideurs de niveau local et international doit permettre de développer une vision transversale de la recherche sur les impacts du changement climatique à travers des discussions sur cinq thématiques phares : (1) l'intégration interdisciplinaire de la connaissance existante dans les différents secteurs d'activité, (2) le traitement de l'incertitude dans les évaluations d'impacts et d'adaptation, (3) l'analyse des manques actuels et l'identification des mécanismes, secteurs et régions où la recherche doit être intensifiée, (4) l'articulation entre les études d'impacts globale et régionales pour répondre aux besoins des décideurs et des collectivités, et (5) la communication des résultats de la recherche sur les impacts et l'adaptation auprès des différents utilisateurs. ► [www.climate-impacts-2013.org](http://www.climate-impacts-2013.org)

L'"International Snow Science Workshop (ISSW 2013)", qui aura lieu pour la seconde fois en Europe, est organisée du 7 au 11 octobre 2013 à Grenoble, avec une excursion d'une journée à Chamonix. Cette manifestation vise à promouvoir l'interaction et les échanges entre praticiens et chercheurs dans le domaine de la neige et des avalanches, avec pour devise : "une fusion de la théorie et de la pratique". Les séances plénières seront traduites en français, anglais, italien et allemand. Parmi les nombreux thèmes abordés, une session sera dédiée aux conséquences observées et à venir du changement climatique sur la neige et l'activité avalancheuse du point de vue économique, social et écologique, sans oublier les mesures d'adaptation déjà réalisées ou en projet. ► [www.issw2013.com](http://www.issw2013.com)

Pour une vision extra-alpine, la conférence internationale **MOUNTAINHAZARDS2013**: "Natural Hazards, Climate Change and Water in Mountain Areas" (Bishkek, Kirghizstan 16-18 sept. 2013) organisée par le PNUD<sup>31</sup> abordera les risques naturels liés au climat, la surveillance des phénomènes, les méthodes d'évaluation du risque et les mesures de prévention et d'adaptation dans les environnements de haute montagne d'Asie centrale. ► [www.mountainhazards2013.com](http://www.mountainhazards2013.com)

---

<sup>31</sup> Programme des Nations Unies pour le Développement.



# La Lettre Alpes-Climat-Risques

Lettre d'information du PARN sur le changement climatique et les risques naturels dans les Alpes

N°3 – Février 2014

[www.risknat.org/thematiques-recherche/changement-climatique-et-risques-naturels](http://www.risknat.org/thematiques-recherche/changement-climatique-et-risques-naturels)

## Sommaire

<b>Introduction.....</b>	<b>2</b>
<b>Activités du PARN sur le changement climatique.....</b>	<b>2</b>
Actualités du PARN.....	2
Mise à jour de la Base Alpes-Climat-Risques.....	3
Liens et appui aux partenaires nationaux et régionaux.....	3
<b>Actualités et ressources du réseau.....</b>	<b>4</b>
Actualité institutionnelle.....	4
Manifestation récente.....	4
Politiques publiques d'adaptation au changement climatique.....	4
Observatoires.....	5
Réseau associatif.....	6
Programmation de la recherche.....	6
<b>Résultats de la recherche.....</b>	<b>7</b>
Travaux transversaux (pluri-thématiques).....	7
5e rapport du GIEC.....	7
Projets européens et nationaux.....	7
Manifestations et publications récentes.....	9
Climat et milieux.....	10
Paramètres climatiques.....	10
Glaciers.....	13
Cours d'eau.....	14
Forêt alpine.....	15
Risques naturels.....	16
Aléas d'origine glaciaire.....	16
Avalanches.....	16
Crués et inondations.....	18
Crués et laves torrentielles.....	18
Mouvements de terrain.....	19
<b>Manifestations à venir.....</b>	<b>23</b>

Cette lettre d'information est éditée par Pôle Alpin d'études et de recherche pour la prévention des Risques Naturels (PARN) avec le soutien de la Région Rhône-Alpes. Elle s'inscrit dans le cadre de l'actualisation de la base de connaissances *Alpes-Climat-Risques* relative aux effets du changement climatique sur les risques naturels dans l'Arc alpin. Elle est diffusée sur le site internet du PARN et au sein de son réseau scientifique, technique et institutionnel.

## Introduction

Tout comme elle l'a été en 2013, l'actualité scientifique, technique et institutionnelle sur la thématique « changement climatique et risques naturels » demeure très riche en 2014. On relève notamment :

- (i) *Au niveau international*: la publication du cinquième rapport du GIEC, qui constitue une référence centrale pour les actions d'atténuation et d'adaptation menées dans le cadre des politiques publiques et des négociations (inter)-étatiques.
- (ii) *Au niveau européen (et infra)*: la transition entre les périodes de programmation budgétaire 2007-2013 et 2014-2020, qui s'accompagne de la mise à disposition et de la capitalisation des résultats de nombreux projets récemment achevés<sup>1</sup>, de l'élaboration et de la mise en œuvre des nouveaux programmes de R&D, des programmes de coopération et des programmes opérationnels (PCRD<sup>2</sup>, CTE<sup>3</sup>, PO régionaux et POIA<sup>4</sup>). À noter également : l'adoption par l'Union Européenne de sa stratégie d'adaptation changement climatique, qui prévoit d'attribuer 20% des fonds européens 2014-2020 aux politiques climatiques (atténuation et adaptation).
- (iii) *Au niveau national*: la mise en place de l'Observatoire National des Risques Naturels (ONRN) parmi les actions phares du PNACC<sup>5</sup>, la publication des résultats scientifiques de projets récemment terminés ou encore le lancement de nouveaux projets (en particulier des projets ANR).
- (iv) *Au niveau régional*: l'inauguration de l'Observatoire Régional des Effets du Changement Climatique (ORECC) ou encore l'élaboration des nouveaux CPER associés aux PO régionaux.

Dans ce contexte, la période qui s'ouvre représente également une période charnière pour le PARN, avec : (1) le lancement de son réseau d'interface « Science-Décision-Action » entre acteurs scientifiques et techniques de la prévention des risques naturels à l'échelle alpine et (2) la mise en place d'un programme interrégional de recherche à caractère finalisé sur cette thématique (voir ci-après). C'est dans ce cadre élargi, que s'inscrivent aussi nos activités sur le changement climatique menées avec le soutien de la Région Rhône-Alpes.

## Activités du PARN sur le changement climatique

### Actualités du PARN

Les journées organisées par le PARN les 16-17 oct. 2013 à Embrun ont été consacrées conjointement : (1) à la restitution de l'opération interrégionale CIMA-POIA « Gestion intégrée des risques naturels dans les Alpes – Expérimentation sur sites pilotes » (« GIRN Alpes »), et (2) au lancement du réseau « Science-Décision-Action » pour la prévention des risques naturels dans les Alpes. ► [Programme des journées](#)

<sup>1</sup> Voir les précédents numéros de la Lettre Alpes-Climat-Risques.

<sup>2</sup> Programme Cadre de Recherche et Développement technologique de l'UE.

<sup>3</sup> Coopération Territoriale Européenne / Interreg IV.

<sup>4</sup> Programme Opérationnel Interrégional du massif des Alpes.

<sup>5</sup> Plan National d'Adaptation au Changement Climatique, publié le 20 juillet 2011.



**Opération « GIRN Alpes »** : La gestion intégrée des risques naturels est reconnue depuis plusieurs années comme un enjeu majeur pour mieux faire face aux événements actuels et à leur possible intensification dans le contexte d'un climat changeant. L'opération expérimentale « GIRN Alpes » menée entre 2009 et 2013 implique des acteurs des territoires en prise directe avec les réalités de terrain. La restitution de l'opération a notamment été l'occasion de recueillir une nouvelle fois le témoignage d'élus faisant part de leur sentiment d'une évolution climatique perceptible dans les hautes vallées, par exemple en Haute Maurienne où elle se traduit en particulier par une sensible recrudescence des crues torrentielles associées à des épisodes de pluie intense au cours des deux dernières décennies. Pour en savoir plus sur cette opération, la plateforme de capitalisation « GIRN Alpes » vient tout juste d'être mise en ligne. ► [www.risknat.org/girn/](http://www.risknat.org/girn/)

**Dynamique d'interface pour la prévention des risques naturels dans les Alpes** : Le projet d'interface entre les sphères « recherche » et « opérationnelle » proposé par le PARN est soutenu par les régions Rhône-Alpes et PACA, la DATAR<sup>6</sup> et le MEDDE<sup>7</sup>. Ce projet comporte : (1) la constitution du réseau « Science-Décision-Action » d'acteurs scientifiques et techniques œuvrant dans le champ de la prévention des risques naturels à l'échelle du Massif des Alpes ; (2) la mise en place d'un programme de recherche-action « Gestion des risques naturels en montagne » à l'échelon interrégional. Cette dynamique d'interface s'inscrit dans la stratégie du POIA 2014-2020 officialisée le 20 janvier 2014. La thématique « changement climatique & risques naturels », qui a naturellement vocation à être prise en compte dans ce projet, pourra faire l'objet d'un des groupes de travail envisagés au sein du réseau.

### ***Mise à jour de la Base Alpes-Climat-Risques***

---

Plus de 300 références bibliographiques relatives aux effets du changement climatique sur les risques naturels alpins sont désormais prises en compte dans la partie 'analyse' de la base de connaissances, dont l'alimentation se poursuit en 2014. ► [www.risknat.org/projets/alpes-climat-risques](http://www.risknat.org/projets/alpes-climat-risques)

### ***Liens et appui aux partenaires nationaux et régionaux***

---

Lors de la réunion « **Risques en montagne** » des services de l'Etat (DGPR<sup>8</sup>, DREAL Rhône-Alpes, DDT alpines, services ONF-RTM) le 26 juin 2013 à la DDT73 (Chambéry), le PARN a fait une rapide présentation des conséquences avérées et prévisibles du changement climatique sur les risques naturels dans les Alpes.

Le PARN et le cabinet ASTERISQUES Consultants ont été **auditionnés au Sénat**<sup>9</sup> le 14 jan. 2014 dans le cadre de l'actualisation du "Rapport Amoudry" relatif à la prévention des risques naturels en montagne. Le PARN est intervenu en tant que structure de réseau scientifique et technique dans ce champ thématique et à la faveur de son expertise sur l'impact du changement climatique. Cette audition a permis de formuler plusieurs pistes et propositions innovantes afin de mieux appréhender la spécificité des risques naturels en territoires de montagne. ► [Télécharger les propositions](#)

---

<sup>6</sup> Délégation interministérielle à l'Aménagement du Territoire et à l'Attractivité Régionale.

<sup>7</sup> Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie.

<sup>8</sup> Direction Générale de la Prévention des Risques, du MEDDE.

<sup>9</sup> Par les sénateurs André Varetto et Hélène Masson-Maret.

## Actualités et ressources du réseau

### **Actualité institutionnelle**

---

Le CEREMA, Centre d'études et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement, a été créé le 1<sup>er</sup> janvier 2014 par ses ministères de tutelle, MEDDE et METL<sup>10</sup>, en vue de « disposer d'un appui scientifique et technique renforcé pour élaborer, mettre en œuvre et évaluer les politiques publiques de l'aménagement et du développement durables ». À cet effet, ce nouvel Établissement public à caractère administratif (EPA), basé à Bron (69), réunit en une seule entité les compétences de onze services préexistants : les huit Centres d'études techniques de l'équipement (CETE), le Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU), le Centre d'études techniques, maritimes et fluviales (CETMEF) et le Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements (SETRA). Le CEREMA vient donc naturellement remplacer le CETE de Lyon parmi les membres du PARN. ► [www.cerema.fr/](http://www.cerema.fr/)

### **Manifestation récente**

---

L'atelier Environnement de la CoTITA<sup>11</sup> Centre-Est a organisé une **journée technique « Changement climatique et aménagement »** le 20 février 2014 à la Direction Territoriale Centre-Est du CEREMA (Bron). Cette journée, dédiée aux thématiques de l'atténuation et de l'adaptation dans l'aménagement du territoire, s'adressait aux services techniques des collectivités territoriales et des services déconcentrés de l'Etat compétents en matière d'aménagement, ainsi qu'à un public plus large. Les supports de présentation sont en ligne. ► [www.cotita-centre-est.fr/spip.php?rubrique128](http://www.cotita-centre-est.fr/spip.php?rubrique128)

### **Politiques publiques d'adaptation au changement climatique**

---

La **Stratégie globale d'adaptation au changement climatique adoptée par la Commission européenne** en avril 2013 (évoquée en introduction) vise mettre en place une approche cohérente et coordonnée pour anticiper la réponse aux impacts du changement climatique aux échelles locale, régionale, nationale et européenne. Le texte et les documents qui l'accompagnent sont consultables à partir de la page internet qui lui est consacrée sur le site du MEDDE <sup>12</sup>. ► [www.developpement-durable.gouv.fr/Adaptation-au-changement,32350.html](http://www.developpement-durable.gouv.fr/Adaptation-au-changement,32350.html).

Après un premier point d'avancement du **Plan National d'Adaptation au Changement Climatique** (juin 2013), l'ONERC a publié un rapport d'évaluation à mi-parcours (décembre 2013). Parmi les mesures mises en œuvre, on peut relever les points suivants dans la fiche "Risques naturels" : (1) L'ajout des phénomènes glaciaires à la liste des grands types de risques (inondations, mouvements de terrain, avalanches et feux de forêt) pris en compte dans l'action 1 visant l'amélioration de la connaissance. (2) La création de l'Observatoire national des risques naturels (présenté ci-après). (3) L'ouverture en juillet 2013 de plate-forme collaborative WIKLIMAT<sup>13</sup> développée par le CETMEF sur le modèle de

---

<sup>10</sup> Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement.

<sup>11</sup> Conférence technique interdépartementale des transports et de l'aménagement.

<sup>12</sup> Elle est également évoquée dans la [Lettre de l'ONERC aux élus N°17](#).

<sup>13</sup> ► <http://wiklimat.developpement-durable.gouv.fr/>



l'expérience WIKHYDRO, afin de faciliter le partage des initiatives en matière d'adaptation. À noter également dans la fiche "Montagne" : l'intégration des préoccupations climatiques dans les schémas de massif. ► <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Plan-national-d-adaptation-au,37066.html>

## Observatoires

---

L'**Observatoire National des Risques Naturels (ONRN)** créé dans le cadre de l'action 2 du PNACC (consacrée à la diffusion des données et informations) est développé en partenariat avec la DGPR, la Caisse centrale de réassurance, la Mission risques naturels et des sociétés et mutuelles d'assurance. En complément d'informations générales sur les aléas, l'exposition et la vulnérabilité des populations, l'ONRN va mettre à disposition des professionnels et du grand public les principales bases de données thématiques concernées par les risques naturels liés au changement climatique.

► [www.onrn.fr](http://www.onrn.fr)

La conférence de lancement de l'**Observatoire Régional des Effets du Changement Climatique (ORECC)** Rhône-Alpes qui s'est déroulée le 6 Novembre 2013 à Lyon a permis de présenter ses objectifs opérationnels, son état d'avancement (création prochaine d'un site internet) et de restituer les travaux des groupes de travail « agriculture – sylviculture » et « tourisme » lancés en septembre 2013 (développement d'indicateurs du changement climatique relatifs à ces thématiques). En perspective, la création d'un groupe de travail sur les risques naturels est envisagée.

► [www.developpement-durable.gouv.fr/Un-observatoire-regional-du.html](http://www.developpement-durable.gouv.fr/Un-observatoire-regional-du.html)

Lors des **deuxièmes rencontres techniques de l'Observatoire de l'eau en montagne** (1-2 oct. 2013 à Megève), les échanges ont notamment porté sur les orientations de son 3<sup>e</sup> volet « Evolution des masses d'eau et des risques liés à l'eau ». Les supports de présentation de ces journées ainsi que leur restitution dans la deuxième lettre d'information de l'observatoire sont disponibles sur son nouveau site internet. ► <http://observatoire-eau-montagne.org/>

Parmi les nouvelles ressources de l'**Observatoire savoyard du Changement Climatique (OsCC)**, outre les derniers bilans climatiques saisonniers et annuel (2013), figure un nouvel indicateur composite de l'évolution des températures depuis 1900 développé à l'échelle des Alpes françaises en agrégeant des séries de données multi-sources.

► [www.mdp73.fr/index.php?option=com\\_content&task=view&id=106&Itemid=37](http://www.mdp73.fr/index.php?option=com_content&task=view&id=106&Itemid=37)

Développé dans le cadre du Plan Intégré Transfrontalier de l'Espace Mont-Blanc (PIT EMB)<sup>14</sup> financé par le programme ALCOTRA, l'**Observatoire du Mont-Blanc** a pour rôle d'observer, à l'aide d'indicateurs environnementaux sociaux et économiques, l'évolution de l'état du territoire et la mise en place des recommandations, des stratégies, des plans d'actions et des mesures du Schéma du Développement Durable de l'EMB. Cet observatoire est doté d'un Géoportail qui permet l'interrogation, la représentation cartographique et l'extraction des données fournies par le partenariat transfrontalier, ainsi que d'un Système de Connaissances (SYCO) qui donne accès aux informations, données et évaluations nécessaires aux politiques, stratégies et actions des responsables de l'EMB et autres acteurs locaux. ► <http://pit.espace-mont-blanc.com/embp/index.cfm/observatoire-du-mont-blanc.html>

---

<sup>14</sup> Le PIT Espace Mont-Blanc comporte un ensemble de projets couvrant des thématiques variées (transport, habitat, économie locale, tourisme, environnement) relatives au développement durable du territoire. ► <http://pit.espace-mont-blanc.com/>

S'inscrivant également au sein du PIT EMB, l'**Atlas scientifique du Mont-Blanc** est issu d'un travail collaboratif pluridisciplinaire associant les grands laboratoires de recherche des Alpes françaises, suisses et italiennes sous la coordination du CREA<sup>15</sup> pour offrir un accès unifié aux connaissances issues des études scientifiques menées dans le massif en climatologie, écologie, glaciologie, géologie.

► [www.atlasmontblanc.org/](http://www.atlasmontblanc.org/)

## **Réseau associatif**

---

Au titre de ses activités de porter à connaissance des résultats de la recherche sur la thématique des impacts du changement climatique sur les risques naturels dans les Alpes, le PARN, depuis 2013, est membre du Réseau d'éducation à l'environnement montagnard alpin (REEMA) et participe à son **pôle Educ'Alpes Climat**, présenté dans le dernier numéro<sup>16</sup>.

L'année passée, le pôle Climat a produit des supports de communication collective présentant (i) les structures et territoires ayant engagé des actions de sensibilisation au changement climatique en montagne et (ii) les acteurs proposant de la formation sur ce thème :

► [Plaquette de présentation des acteurs de la sensibilisation au changement climatique dans les Alpes.](#)

► [Offre de formation concertée sur le changement climatique en montagne.](#)

Par ailleurs, les membres du Pôle Educ'Alpes Climat du REEMA ont réalisé collectivement un **dépliant-poster** support de sensibilisation à destination des professionnels de la montagne (accompagnateurs, gardiens de refuge, etc.) et du grand public, intitulé : « Changement climatique : c'est chaud pour les Alpes ! », qui fera prochainement l'objet d'une campagne de communication pour en permettre une large diffusion, notamment via un site internet. Une version basse définition est d'ores et déjà disponible en ligne : <http://chaud-pour-les-alpes.reema.fr/>

## **Programmation de la recherche**

---

Outre les Programmes Opérationnels Régionaux de Rhône-Alpes et de PACA et le POIA mentionnés en introduction, les **programmes de Coopération Territoriale Européenne** qui intéressent les territoires alpins (Alcotra, Espace alpin, France-Suisse, MED, etc.) pour la période 2014-2020 sont en cours d'élaboration.

Divers documents sur celle du programme Espace Alpin sont d'ores et déjà disponibles sur son site internet, parmi lesquels certains chapitres de son programme opérationnel.

► <http://www.alpine-space.eu/about-the-programme/strategy-development-for-the-alps/alpine-space-programme-2014-2020/asp-2014-2020-programming-process>

Signalons que le 8<sup>e</sup> PCRD, également en préparation, sera désormais dénommé « **Horizon 2020** ».

► [www.europe-en-france.gouv.fr/Des-programmes-pour-qui-pour-quoi/Trouver-une-aide/Programmes-de-cooperation](http://www.europe-en-france.gouv.fr/Des-programmes-pour-qui-pour-quoi/Trouver-une-aide/Programmes-de-cooperation)

► [http://cordis.europa.eu/fp7/ict/ssai/fp8preparations\\_en.html](http://cordis.europa.eu/fp7/ict/ssai/fp8preparations_en.html)

► <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/>

---

<sup>15</sup> Centre de Recherches sur les Ecosystèmes d'Altitude.

<sup>16</sup> [Lettre Alpes-Climat-Risques N°2, p. 4.](#)



## Résultats de la recherche

### Travaux transversaux (pluri-thématiques)

#### 5e rapport du GIEC

---

Le volume I du nouveau rapport du GIEC "Climate Change 2013: The Physical Science Basis. IPCC Fifth Assessment Report (AR5), Working Group I" a été publié le 26 sept. 2013. Le résumé pour décideurs est désormais disponible en français. Sa parution a été largement relayée au sein des sphères scientifiques, institutionnelles et médiatiques et de nombreuses ressources lui sont consacrées sur internet par différents organismes, parmi lesquels : l'INSU, qui a rassemblé diverses ressources scientifiques et pédagogiques à cette occasion, le MEDDE, l'ONERC ([Lettre de l'ONERC aux élus N°18](#)), ou encore le Réseau Action Climat France à travers son site de vulgarisation « [Le climat change](#) ». Le volume II « Changements climatiques : Impacts, Adaptation et Vulnérabilité » sera publié le 29 mars, le volume III le 11 avril et le rapport de synthèse le 31 octobre 2014. Dans les sphères décisionnelles comme scientifiques (ou du moins dans leur très large majorité), l'ensemble de ce travail constitue le nouveau cadre de référence pour l'élaboration stratégique des politiques publiques d'atténuation et d'adaptation au changement climatique. ► <http://www.ipcc.ch/report/ar5/>

#### Projets européens et nationaux

---

Après le passage en revue des projets de Coopération Territoriale Européenne du programme Espace Alpin dans le dernier numéro, on évoque cette fois notamment quelques projets européens et français ayant porté sur le changement climatique et les risques naturels en contexte alpin.

Les résultats du projet ACQWA: "Assessing Climate impacts on the Quantity and quality of Water" (2008-2013) du 7<sup>ème</sup> PCRD ont été présentés lors de sa conférence finale le 4 septembre 2013 à Genève. ACQWA est un grand projet intégrateur doté d'un budget de 6,5 millions €, qui a rassemblé 37 partenaires européens et internationaux sous la coordination de l'Université de Genève (partenaires français : CEN<sup>17</sup>, LTHE<sup>18</sup>, LGP<sup>19</sup>, LGGE<sup>20</sup> et LSCE<sup>21</sup>). Sa philosophie générale était, d'une part, de faire progresser la compréhension et la modélisation des processus complexes et diversifiés à l'œuvre dans l'évolution hydrologique des milieux de montagne et des risques associés sous l'effet du changement climatique, et d'autre part, d'exploiter ces résultats pour formuler des recommandations en matière de stratégies d'adaptation dans le domaine de la gestion de l'eau.

Le document de synthèse final du projet ("A Science and Policy Brief") et le résumé pour décideurs fournissent une vue d'ensemble des principaux résultats obtenus sur les thématiques du projet : Méthodes et modèles de simulation du changement climatique à l'échelle régionale ; Projections climatiques régionales à l'échelle des Alpes à l'horizon 2050 ; Impacts projetés sur les composantes neige et glace ; Changements projetés sur l'hydrologie (cas d'études alpins : bassins du Rhône et du

---

<sup>17</sup> Centre d'Etude de la Neige (Météo-France CNRM), Grenoble.

<sup>18</sup> Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement (UJF/CNRS), Grenoble.

<sup>19</sup> Laboratoire de Géographie Physique (Univ. Paris 1/CNRS), Meudon.

<sup>20</sup> Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (UJF/CNRS), Grenoble.

<sup>21</sup> Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (CEA/CNRS/Univ. de Versailles Saint-Quentin), Gif-sur-Yvette.

Pô) ; Evolution des événements de précipitations extrêmes ; Impacts sur les aléas naturels à contrôle climatique ; Impacts combinés impliquant plusieurs composantes du milieu naturel (ex. : climat/végétation/ hydrologie) ; Impacts sur la production hydroélectriques ; Impacts sur l'agriculture ; Impacts sur les écosystèmes aquatiques ; Impacts sur les forêts de montagne ; Impacts sur le tourisme ; Enseignements tirés de cas d'études pour des régions non-européennes.

Les conclusions générales relatives aux aléas naturels sont les suivantes : (i) En dépit des incertitudes, l'évolution récente observée sur des sites de haute-altitude (en particulier dans des terrains à permafrost) montre clairement une forte sensibilité des zones de montagne au changement climatique. (ii) Des événements d'une intensité au-delà de celle des événements historiques vont continuer à se produire au fur et à mesure de la progression du changement climatique. (iii) Le retrait des glaciers et la formation de lacs glaciaires, d'avalanches de glace et de phénomènes de décompression des versants rocheux causent le déclenchement de chutes de rochers et d'instabilités de versants à des altitudes progressivement plus élevées. (iv) Le volume des laves torrentielles, mais pas nécessairement leur fréquence, est susceptible d'augmenter.

Les principales conclusions relatives à nos différents domaines thématiques d'intérêt sont reprises ci-après en faisant référence aux livrables des différents Work Packages, qui sont progressivement mis en ligne. ► [www.acqwa.ch](http://www.acqwa.ch)

Au sein du réseau européen de recherche ERA-NET CIRCLE<sup>22</sup> sur les impacts du changement climatique et l'adaptation soutenu par le 7<sup>ème</sup> PCRD, le projet **CIRCLE MOUNTain: "Climate change impacts (natural and anthropogenic factors) and response options in mountainous areas"**, lancé en 2009, a rassemblé des partenaires français, autrichiens, suisses et suédois dans le cadre de quatre sous-projets dédiés à l'évaluation et la prise en compte des impacts du changement climatique sur les risques liés aux mouvements de terrain et les laves torrentielles (ARNICA et ChangingRISKS, dont les résultats sont présentés ci-après), les écosystèmes de montagne (CAMELEON) et les aléas d'origine glaciaire (EURAS-CLIMPACT). ► [www.circlemontagne.fr](http://www.circlemontagne.fr). La conférence finale (Barcelone, 26-27 sept. 2013) a permis de partager et de mettre en perspective les résultats obtenus à travers des discussions sur les voies de coopération possibles entre les régions de montagne européennes pour améliorer le partage des connaissances en matière d'adaptation. Les supports présentés lors de cette conférence sont consultables en ligne. ► [www.circle-era.eu/np4/MountPresentations.html](http://www.circle-era.eu/np4/MountPresentations.html)

### *Programmes nationaux*

Le projet **EXPLORE 2070** (2010-2012) piloté par le MEDDE s'inscrit dans la continuité de projets nationaux antérieurs<sup>23</sup>. Il visait à mettre en œuvre une approche intégrée et systémique des impacts du changement climatique sur les milieux aquatiques et la ressource en eau à l'horizon 2070 en métropole et dans les départements d'outre-mer, en vue d'apporter une aide à la décision aux responsables publics nationaux, régionaux et locaux dans l'élaboration de stratégies d'adaptation. Les synthèses, présentations au colloque de restitution (24 mai 2013) et rapports du projet sont désormais en ligne sur le site web du projet<sup>24</sup>, ordonnés selon les différentes thématiques abordées : évaluation des stratégies d'adaptation ; climatologie ; hydrologie de surface ; hydrologie souterraine ; Ecosystèmes aquatiques ; Milieux côtiers ; Prospective socio-économique et démographique ; Méthodologie, hypothèses et incertitudes). Les résultats sur les volets 'climatologie' et 'hydrologie de surface' sont évoqués ci-après. ► [www.developpement-durable.gouv.fr/-Explore-2070-.html](http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Explore-2070-.html)

<sup>22</sup> Climate Impact Research & Response Coordination for a Larger Europe: CIRCLE (2004-2009) et CIRCLE-2 (20089-2014).

<sup>23</sup> En particulier les projets DRIAS et SCAMPEI, voir [Lettre Alpes-Climat-Risques N°1, p. 9](#).

<sup>24</sup> L'[interface cartographique](#) donnant accès aux données est également en ligne.

## **Manifestations et publications récentes**

---

La conférence internationale "IMPACTS WORLD 2013" (Postdam du 27 au 30 mai 2013) annoncée dans le précédent numéro a réuni des scientifiques et des décideurs du monde entier dans le but de discuter de l'avenir de la recherche sur les impacts du changement climatique. Pour mémoire, les nombreux sujets abordés concernaient 5 défis fondamentaux : 1) l'intégration transdisciplinaire des connaissances sectorielles existantes en matière d'impacts sur les systèmes naturels et socio-économiques ; 2) l'amélioration de la robustesse des projections – sur laquelle repose la crédibilité et l'utilité des études d'impacts et d'adaptation – à travers la réduction des incertitudes aux différents niveaux d'analyse (données d'observation, modèles de climat et d'impacts, scénarios socio-économiques) ; 3) le besoin d'une analyse systématique des manques de recherche pour identifier les mécanismes, secteurs et régions qui ne sont pas suffisamment étudiés ; 4) l'articulation des recherches et modèles d'impacts entre les différentes échelles spatiales (internationale, nationales, régionales et locales) requise pour être à même de fournir aux décideurs et aux praticiens des informations fiables et en temps opportun ; 5) le besoin d'une approche transversale et de synthèses quantitatives permettant de communiquer les résultats de recherche de manière concise et intelligible, notamment à travers un lien plus étroit entre les recherches sur les impacts et sur l'adaptation.

L'objectif poursuivi était de jeter les bases d'un programme de recherche coordonné permettant de combiner les contributions individuelles pour établir collectivement des synthèses régulières des analyses d'impacts climatiques, en vue de mieux répondre au besoin continu pour des résultats de recherche pertinents pour les politiques. Les actes de la conférence, qui comportent notamment des contributions relatives à l'évolution des phénomènes de crues et inondations, sont disponibles sur son site internet. ► [www.climate-impacts-2013.org](http://www.climate-impacts-2013.org)

La Conférence Internationale sur les Montagnes et le Changement Climatique "**High Summit 2013**" (Lecco, 23-25 oct. 2013) a quant à elle rassemblé des représentants d'organisations nationales et internationales et des chercheurs, experts et acteurs opérationnels spécialistes de la montagne issus d'institutions internationales et d'universités pour dresser un état des lieux actualisé, notamment à la lumière des conclusions du 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC, en vue d'alerter les décideurs politiques et de leur fournir des recommandations sur les problèmes environnementaux spécifiques aux régions de montagne. Les messages clés ont été rassemblés dans une déclaration commune articulée selon les cinq grandes sessions thématiques abordées : climat, cryosphère, écosystèmes montagnards, eau, impacts environnementaux et socio-économiques. Ce document de synthèse ainsi que les supports de présentation sont disponibles sur le site internet de la conférence. ► [www.highsummit.org/](http://www.highsummit.org/)

Dans le cadre de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique (OPCC)<sup>25</sup>, la Communauté de Travail des Pyrénées (CTP) a organisé le "**Colloque international sur le changement climatique en zones de montagne: observer pour s'adapter**" le 6 nov. 2013 à Pampelune (Espagne). Cette rencontre a été l'occasion d'un porter à connaissance des actions remarquables menées sur ce massif dans un cadre transfrontalier<sup>26</sup>, et plus largement d'un partage d'expériences et d'initiatives sur le changement climatique en zones de montagne européennes. ► [www.opcc-ctp.org/opcc\\_event/index\\_fr.html](http://www.opcc-ctp.org/opcc_event/index_fr.html)

---

<sup>25</sup> ► [www.opcc-ctp.org/](http://www.opcc-ctp.org/)

<sup>26</sup> Les actions de l'OPCC s'inscrivent dans le cadre du Programme Opérationnel de Coopération Territoriale Espagne-France-Andorre 2007-2013 (POCTEFA). ► [www.poctefa.eu/](http://www.poctefa.eu/)

Les différentes sessions du "11th Swiss Geoscience Meeting" (Lausanne, 15-16 nov. 2013) ont notamment abordé les thématiques suivantes : "Atmospheric predictability, phenology and seasonality" ; "Cryospheric Sciences" ; "Fluxes of water, sediment and dissolved substances in geomorphologically active/changing environments" ; ou encore "Geomorphology".

► <http://geoscience-meeting.scnatweb.ch/sgm2013/>

La Journée Scientifique Météo et Climat organisée par Société Météorologique de France (SMF) à Paris le 3 décembre 2013 portait sur le thème "**La perception du changement climatique**". Les supports de présentation sont en ligne. ► <http://meteoetclimat.fr/journees-scientifiques/>

## Climat et milieux

### Paramètres climatiques

---

#### *À l'échelle mondiale*

Outre la publication du cinquième rapport du GIEC, on peut signaler aussi le rapport de synthèse : "**Le climat dans le monde 2001-2010 : une décennie d'extrêmes climatiques**" publié par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) en juillet 2013, qui livre une analyse des phénomènes climatiques extrêmes à fort impact qui se sont produits au cours de cette décennie, la plus chaude depuis le début des mesures systématiques en 1850. ► [Communiqué de presse](#) et [Rapport complet](#)

En mai 2013, la **concentration atmosphérique en CO2** mesurée depuis la fin des années 1950 à l'observatoire du Mauna Loa (Hawaï) a atteint pour la première fois la barre symbolique des 400 ppm, soulignant la poursuite de la croissance des émissions mondiales de gaz à effet de serre d'origine humaine, et par là même du forçage anthropique imposé au système climatique global. On s'éloigne en effet de plus en plus rapidement de la teneur naturelle en CO2, qui était restée comprise entre 180 ppm (en période glaciaire) et 280 ppm (en période interglaciaire) au cours des derniers 800 000 ans selon les reconstitutions effectuées dans la glace en Antarctique, selon un taux d'accroissement 100 fois plus rapide qu'au sortir de la dernière glaciation. ► Pour en savoir plus : voir [ici](#) et [là](#).

#### *À l'échelle Européenne / alpine*

La démarche scientifique d'ensemble du projet **ACQWA** (voir p. 7) a reposé sur l'utilisation, l'amélioration et le développement de modèles numériques aidant à la compréhension des interrelations entre les grandes composantes du système climatique (climat, hydrologie, neige et glace) en vue de prédire leur évolution sur les 50 prochaines années et les impacts associés dans divers secteurs d'activité. Pour ce faire, les données issues des modèles climatiques régionaux les plus avancés (projet ENSEMBLES du 6<sup>ème</sup> PCRD) ont été utilisées pour produire des simulations climatiques couvrant le domaine Européen avec une résolution spatiale de 25 km et pour améliorer la modélisation des processus hydrologiques en terrains complexes grâce à la correction des biais, un travail sur les méthodes de descente d'échelle et la création de données à haute résolution pour l'arc alpin. Les résultats de ces nouvelles simulations régionales sont en accord avec les projections issues de différents projets présentées dans le dernier numéro<sup>27</sup>. Une des avancées notables concerne la quantification des incertitudes associées à ces résultats. Les principales conclusions sont :

---

<sup>27</sup> Voir [Lettre Alpes-Climat-Risques N°2, p. 7-10](#).

(i) Un réchauffement d'ensemble pouvant aller jusqu'à +2°C en 2050, plus important au-dessus de 1500 m d'altitude en automne. Dans le détail, le réchauffement attendu est plus fort le long de la crête des Alpes, en particulier en été, et plus marqué dans les Alpes occidentales (+1,7°C en hiver et +1,9°C en été), mais ce réchauffement est plus certain pour l'hiver et le printemps que pour l'été (l'incertitude sur les résultats étant liée principalement au choix du modèle climatique global utilisé en entrée) ;

(ii) Une possible augmentation des précipitations en hiver mais plutôt une diminution au printemps et en été, mais vraisemblablement une forte variabilité spatiale, avec des augmentations au nord des Alpes au printemps, en été et en automne, et des diminutions dans les parties sud et ouest (les résultats sur les précipitations ont un degré élevé d'incertitude, avec une plus grande contribution des modèles climatiques régionaux que celle des modèles globaux à l'incertitude totale) ;

(iii) Une diminution de l'épaisseur de neige en hiver et au printemps : en ligne avec les différentes projections déjà effectuées pour les Alpes françaises, le modèle CROCUS de Météo-France utilisé dans le projet ACQWA avec une résolution horizontale de 10 km prévoit un déclin de la couverture neigeuse en réponse à l'augmentation des températures (avec une part plus importante des précipitations liquides vs solides), particulièrement dans les secteurs d'altitude moyenne entre 1000 et 2000 m ;

(iv) Une augmentation de la fréquence des événements de précipitations extrêmes et des périodes humides plus séparées au sein des événements, avec des durées plus courtes mais une plus forte intensité. Plus spécifiquement, les investigations menées sur la Suisse suggèrent une remarquable intensification des événements extrêmes de précipitations à la fin du 21<sup>e</sup> siècle, dans la continuité de l'augmentation en intensité et en fréquence déjà observée depuis 1990 dans la haute vallée du Rhône et dans sa partie sud. Par ailleurs, les résultats indiquent que les modèles actuels sous-estiment les précipitations dans les régions où une part essentielle des pluies provient des dépressions froides<sup>28</sup>, qui sont les situations synoptiques contribuant le plus (de 20 à 95%) aux événements de fortes précipitations à grande échelle dans les parties les plus exposées au nord et à l'est des Alpes. Plus largement, des projections des extrêmes de précipitations saisonnières à la fin du siècle utilisant 8 nouvelles simulations globales à haute résolution montrent une intensification significative des extrêmes en toutes saisons aux moyennes et hautes latitudes des deux hémisphères.

► Livrable ACQWA 1b : ["Quantification of heavy precipitation events in the Alpine region and related atmospheric circulation under changing climatic conditions"](#)

### *À l'échelle nationale*

Le volet 'climatologie' du projet **EXPLORE 2070** (présenté ci-dessus) s'est attaché à caractériser le climat actuel et le climat futur. Des simulations ont été réalisées à l'aide de 7 modèles climatiques globaux, forcés par le scénario d'émission de gaz à effet de serre A1B (scénario dit « médian »), pour fournir des séries de précipitations liquides et solides, de températures et d'évapotranspiration potentielle au pas de temps journalier sur la période de référence (1961-1990) et sur la période future (2046-2065). Les résultats ont été désagrégés par une méthode de descente d'échelle statistique par type de temps, sur une grille de maille 8 km x 8 km couvrant la France métropolitaine et la Corse.

La synthèse effectuée sur le climat actuel comprend (i) une description générale du climat français et l'analyse des normales de pluies et de température ; (ii) une analyse des séries de températures et de précipitations moyennes (annuelles et saisonnières) sur la période 1958-2008 issues de la chaîne de

---

<sup>28</sup> En anglais : "cut-off low".

réanalyse climatologique Safran-Isba-Modcou<sup>29</sup> ; (iii) une description de l'évolution des indicateurs de précipitations et températures observée durant ces 100 dernières années. Les résultats montrent une nouvelle fois que le réchauffement s'accélère en métropole depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle : l'augmentation des températures moyennes atteint +0,55°C par décennie sur la période 1979-2005. L'indicateur de précipitations (obtenu par cumul des précipitations quotidiennes, moyenné sur la France métropolitaine pour l'ensemble des points de la réanalyse Safran) ne montre en revanche aucun signal significatif sur la période 1959-2009, du fait de l'hétérogénéité des variations de hauteur de précipitations et de leur significativité entre les régions et les saisons.

Pour le climat futur, les résultats montrent une augmentation possible des températures moyennes de l'air de l'ordre de +1.4°C à + 3°C selon les simulations sur l'ensemble de la métropole, et une évolution incertaine des précipitations, la plupart des modèles s'accordant cependant sur une tendance à la baisse en été sur l'ensemble de la métropole, en moyenne de l'ordre de -16% à -23%.

► [www.developpement-durable.gouv.fr/Climatologie.html](http://www.developpement-durable.gouv.fr/Climatologie.html)

Concernant la Suisse, signalons également le **rapport de l'OFEV<sup>30</sup> « Changements climatiques en Suisse - Indicateurs des causes, des effets et des mesures »** (avril 2013), qui présente un panorama synthétique des nombreuses relations entre le climat et l'environnement naturel et anthropique.

[www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01709/index.html?lang=fr](http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01709/index.html?lang=fr)

#### *À l'échelle régionale*

Une **étude du changement climatique dans les Baronnies Provençales** (datant de 2011) est désormais disponible sur la plateforme de capitalisation de l'opération « GIRN Alpes », récemment mise en ligne<sup>31</sup>. L'analyse des séries de données issues de cinq stations réparties sur ce territoire a porté sur les 40 dernières années. Elle indique que cette zone de moyenne montagne des Préalpes connaît une augmentation rapide des températures annuelles (jusqu'à 0,69°C pour les minimales et 0,98°C par décennie pour les maximales) et saisonnières (principalement pour les mois de printemps-été). Elle montre aussi une nette augmentation des pluies d'automne, une baisse des précipitations en fin d'hiver et début de printemps, et une absence de tendance à l'échelle annuelle. Ces changements se caractérisent par des ruptures climatiques à compter de 1988 pour les températures et 1992 pour les précipitations, en cohérence avec les évolutions mises en évidence par ailleurs pour l'ensemble des Alpes. Parmi les impacts attendus sur les Baronnies Provençales figurent une modification de la répartition des espèces forestières (passant par des dépérissements forestiers), et un possible accroissement des feux de forêts ainsi que des crues torrentielles. ► [Etude en ligne \(pdf\)](#)

Sur les Alpes du Sud également, on a relevé une analyse détaillée de l'évolution du climat dans l'Embrunais depuis 1947 (<sup>32</sup>) lors du **colloque sur la qualité de l'air, le développement durable et le changement climatique (ADDC)** organisé les 4 et 5 avril 2013 par GeographR et la Maison de la météo à l'Espace Rencontre et Culture des Orres (Hautes-Alpes). La prochaine édition est annoncée plus loin. ► <http://geographr.typepad.fr/site/colloque-des-orres.html>

---

<sup>29</sup> La chaîne de calcul SIM de Météo-France combine des données d'observation de surface et des données d'analyse provenant de modèles météorologiques.

<sup>30</sup> Office fédéral de l'environnement.

<sup>31</sup> Voir ci-dessus, p. 3.

<sup>32</sup> Cf. contribution de Christophe Adon.

## Glaciers

---

### Observations

Chose rare depuis le début des mesures en 2000, le bilan de masse du **Glacier Blanc** calculé par les agents du Parc National des Ecrins pour l'année 2013 est positif ! Ce léger regain (35 cm d'équivalent en eau) s'est effectué grâce à la persistance d'une importante accumulation de neige (4,6 m d'épaisseur de neige mesurée au sortir de l'hiver 2012-2013, soit un tiers de plus que la normale) qui a protégé la glace tard dans la saison, grâce aussi à un été modérément chaud. ► [www.ecrins-parcnational.fr/actus/54-connaître-protéger/1503-bilan-positif-pour-le-glacier-blanc-.html](http://www.ecrins-parcnational.fr/actus/54-connaître-protéger/1503-bilan-positif-pour-le-glacier-blanc-.html)

### Projections

Dans le cadre du projet **ACQWA**, la réponse future des glaciers au changement climatique a été modélisée à l'échelle du glacier à l'aide de modèles de bilan de masse continus de dernière génération pour 6 glaciers alpins représentatifs de différentes configurations morphologiques et caractéristiques de surface (haut glacier d'Arolle jusqu'à 2100 et glaciers d'Aletsch, du Rhône, du Gorner, de la Tsa et du Miage jusqu'à 2050). Ces modèles prennent en compte l'évolution des processus d'accumulation et d'ablation à une échelle infra-journalière et de manière spatialement distribuée pour évaluer les changements dans le bilan de masse et la géométrie du glacier (surface, longueur, volume). Les résultats indiquent un retrait progressif d'ici à 2050 associé à une réduction continue du volume de glace, avec toutefois une ampleur variable liée à l'hétérogénéité des 6 glaciers en termes de morphologie, de conditions de surface et de forçage climatique, mais également en fonction des divers scénarios climatiques utilisés.

Par ailleurs, les glaciers « noirs » couverts d'une épaisseur importante de débris devraient connaître des bilans de masse moins négatifs et un retrait moins rapide que les glaciers « blancs » non recouverts. Cette évolution différentielle pourrait conduire à un scénario où la plupart des surfaces glaciaires subsistantes seraient enfouies sous une couverture de débris dans des secteurs non exposés et d'altitude relativement basse. Ce résultat plaide pour la prise en compte des secteurs couverts de débris pour effectuer des simulations réalistes de l'évolution future des glaciers. En outre, une fonte printanière et estivale accrue pourrait survenir sur la période 2031-2050.

Enfin, le retrait glaciaire pourrait ralentir dans les secteurs où les glaciers sont confinés à haute altitude si les précipitations hivernales sont importantes. En conséquence, la contribution projetée de la fonte glaciaire à l'écoulement dans les bassins englacés pourrait graduellement disparaître.

► [Livraison 8 ACQWA : "Glacier response to climate change"](#) (pdf)

## Permafrost

---

Le PARN a récemment mis en ligne le rapport : "**Les glaciers-rocheux dans les Hautes-Alpes : inventaire, cartographie et risques associés**" (oct. 2011) réalisé par l'ONF-RTM 05 en partenariat avec l'Institut de Géographie Alpine de Grenoble. ► [Rapport en ligne \(pdf\)](#)

En partenariat avec le laboratoire EDYTEM, le Parc national des Écrins a organisé une soirée de restitution publique intitulée "**De la glace sous les cailloux**" présentant une synthèse des travaux scientifiques effectués depuis 30 ans dans la combe de Laurichard, qui permettent de mieux comprendre les effets du changement climatique sur les dynamiques géomorphologiques (éboulis, permafrost, glacier rocheux). ► <http://edytem.univ-savoie.fr/actualites/de-la-glace-sous-les-cailloux>

Ces travaux ont également été présentés le lendemain lors d'une soirée scientifique Zone Atelier Alpes organisée par le Parc national des Ecrins à Bourg-d'Oisans. Supports de présentation en ligne :

► <http://edytem.univ-savoie.fr/annuaire/BODIN-Xavier>

## **Cours d'eau**

---

### *Projections*

Les conclusions du projet **ACQWA** concernant les changements projetés sur l'hydrologie alpine sont les suivantes :

- Les effets du changement climatique sur le cycle hydrologique apparaissent moins évidents dans les parties hautes de la région alpine (ex. : dans le bassin versant du haut Rhône) qu'aux altitudes plus basses (ex. : dans la plaine du Pô).
- Les impacts projetés à l'aide de modèles climatiques régionaux (RCM) sur les courbes des débits classés du fleuve Pô montrent une diminution générale des débits pour les longues durées (basses eaux) et une augmentation des débits pour les courtes durées (hautes eaux). Les résultats des modèles climatiques globaux (GCM) sont plus variables. La diminution des débits est estimée à plus de 50% en moyenne saisonnière pour une large portion du réseau hydrographique.
- La descente d'échelle d'une résolution de 25 km à 3 km a impacté significativement le changement projeté dans le cycle hydrologique annuel en raison de la description spatiale requise pour représenter la couverture neigeuse, la distribution des précipitations et les températures dans les régions alpines.
- Dans le bassin du Rhône, la variabilité climatique interne (stochastique) est une source fondamentale d'incertitude, plus grande que le signal du changement climatique projeté, tandis que les changements dans le régime hydrologique naturel imposés par les aménagements hydrauliques existants sont plus grands que le signal du changement climatique attendu d'ici 2050.
- Les impacts du changement climatique sur l'écoulement dépendent de l'altitude, avec une forte diminution à haute altitude causée par une moindre contribution des eaux de fonte glaciaire et un effet atténué en aval : diminution de la disponibilité en eau en été et augmentation des débits en hiver.
- Bien que les changements à l'échelle locale puissent être d'une certaine importance, il est peu probable que des changements majeurs se produisent dans l'écoulement total pour l'ensemble du bassin du haut Rhône dans les prochaines décennies jusqu'à 2050.

► [Livraison 7 ACQWA : "Climate change and regional hydrologic response"](#)

Dans le volet 'Hydrologie de surface' du projet **EXPLORE 2070**, les sorties de modèles climatiques ont été utilisées en entrée de deux modèles hydrologiques pour simuler les débits présents et futurs possibles aux exutoires des bassins, pour plus de 1500 points de calcul répartis sur le territoire national français. Les résultats obtenus sur la métropole montrent : (i) une diminution significative globale des débits moyens annuels à l'échelle du territoire, de l'ordre de 10% à 40% selon les simulations ; (ii) une diminution des débits d'étiage encore plus prononcée que la diminution à l'échelle annuelle, pour une grande majorité des cours d'eau ; (iii) des évolutions plus hétérogènes et globalement moins importantes sur les crues (voir ci-après). Dans les bassins de montagne (Alpes et

Pyrénées), les projections s'accordent sur un creusement des étiages estivaux, tandis qu'elles sont trop divergentes pour permettre de conclure concernant l'évolution des étiages hivernaux.

► [www.developpement-durable.gouv.fr/Hydrologie-de-surface.html](http://www.developpement-durable.gouv.fr/Hydrologie-de-surface.html)

## **Forêt alpine**

---

### *Stratégies d'adaptation*

Le Réseau Mixte Technologique AFORCE a organisé le 4 février 2014 à Paris un atelier international sur le thème : "**Adaptation des forêts au changement climatique : état des lieux et retours d'expériences par pays**", dans l'objectif de porter à connaissance et de mettre en parallèle les stratégies et plans d'action mis en place dans différents pays. Les contributions des pays à composante alpine ont en particulier porté sur les forêts Françaises, Suisses, Bavaroises et Autrichiennes. Les supports d'intervention sont en ligne.

► <http://www.foretpriveefrancaise.com/atelier-international-400283.html>

### *Impacts projetés*

Les conclusions du projet **ACQWA** relatives à l'impact du changement climatique sur les forêts de montagne sont les suivantes :

- La sensibilité des services fournis par les écosystèmes forestiers de montagne (stockage du carbone, production de bois, diversité, protection contre les aléas naturels) à un réchauffement de 2°C dépend fortement des conditions climatiques régionales actuelles, à l'importance des gradients d'altitude du secteur considéré, ainsi qu'au service écosystémique spécifique considéré.
- À basse et moyenne altitude, des impacts négatifs importants affecteront les régions les plus chaudes et sèches, où un léger changement du climat peut se traduire par des impacts négatifs liés à la sécheresse.
- À plus haute altitude et dans les secteurs initialement froids et humides, les simulations suggèrent que les écosystèmes forestiers seront relativement résistants à un réchauffement de 2°C.
- Certains services tels que la protection contre les chutes de blocs et les avalanches sont sensibles à un tel réchauffement, alors que d'autres services tels que le stockage du carbone seraient relativement préservés. Une augmentation des températures moyennes globales de 2°C ne peut donc pas être considérée comme une limite universellement « sûre » pour le maintien des services fournis par les forêts de montagne.
- Les analyses produites fournissent des informations cruciales pour la gestion des écosystèmes forestiers en identifiant les régions et les services écosystémiques les plus susceptibles d'être impactés, permettant ainsi aux gestionnaires forestiers de concentrer leurs efforts et d'utiliser au mieux leurs ressources financières limitées.

► [www.acqwa.ch](http://www.acqwa.ch)

## Risques naturels

### Aléas d'origine glaciaire

---

Le PARN a mis en ligne sur son site internet un **Plan de propositions d'actions scientifiques et techniques, pour une meilleure prévention des Risques d'Origine Glaciaire et Périglaciaire (ROGP)** proposé à la DGPR en juin 2013, qui fait suite à la synthèse du séminaire technique organisé sur ce thème en mars 2012, déjà évoquée dans le précédent numéro ([N° 2, p. 13](#)). ► [Plan d'action ROGP](#)

Dans le cadre du projet **ACQWA**, un travail spécifique a été effectué sur l'analyse et la modélisation des conditions de stabilité des glaciers suspendus à travers un certain nombre de cas d'étude alpins, et sur leur évolution future sous l'effet du changement climatique. Dans ce cadre, le LGGE a effectué de nouvelles mesures de températures de la glace dans des forages au Col du Dôme (4250 m) et au Dôme du Goûter (4300 m), qui constituent des données précieuses tant pour la connaissance de l'évolution du régime thermique des glaciers que pour la reconstitution de l'évolution des températures de l'air à ces altitudes au cours du siècle dernier<sup>33</sup>. ► [Livraison 8 ACQWA : "Glacier response to climate change"](#) (pdf, p. 269-303)

### Avalanches

---

Parmi les contributions à l' "**International Snow Science Workshop (ISSW 2013)**" qui s'est déroulé en octobre dernier à Grenoble, différentes études relatives à l'activité avalancheuse dans les Alpes (dont certaines ont aussi fait l'objet de publications dans des revues scientifiques internationales) vont être intégrées prochainement à la base Alpes-Climat-Risques<sup>34</sup>.

Une analyse menée par le WSL<sup>35</sup> sur l'évolution des avalanches de mi saison d'hiver (déc. à fév.) dans les Alpes suisses sur la période 1952-2013 montre une tendance positive dans le nombre et la proportion des avalanches de neige humide et des avalanches de fond<sup>36</sup> (par opposition aux avalanches de neige sèche), coïncidant avec la tendance à l'augmentation des anomalies positives de température, en particulier depuis la fin des années 1980. Les chercheurs prévoient que l'activité observée des avalanches de neige humide (+0,4% par an en moyenne) devrait continuer avec la poursuite du réchauffement, requérant des adaptations dans la gestion du risque compte tenu des dommages causés lors des périodes de forte activité avalancheuse comme celle qui s'est produite au cœur de l'hiver 2011-2012, qui a causé des victimes et des dommages aux infrastructures.

Cette évolution est à rapprocher de celle observée dans les Alpes françaises présentée par Irstea<sup>37</sup>, sur la base des résultats des projets ECANA et MOPERA<sup>38</sup>, où une diminution de 12% des avalanches de neige poudreuse (sèche) depuis 1973 a été constatée. Les analyses statistiques menées sur les Alpes françaises dans le cadre de ces projets ont livré de nombreux résultats. Elles

---

<sup>33</sup> Voir la thèse d'Adrien Gilbert "*Modélisation du régime thermique des glaciers : application à l'étude du risque glaciaire et à la quantification des changements climatiques à haute altitude*" soutenue au LGGE le 19 déc. 2013.

<sup>34</sup> D'autres contributions, non évoquées ici, relatives à l'évolution de l'enneigement, seront également considérées.

<sup>35</sup> Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage, Davos ; Pielmeier *et al.*, 2013.

<sup>36</sup> En anglais : "wet snow" et "full-depth glide avalanche".

<sup>37</sup> Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture, Grenoble ; Eckert *et al.*, 2013.

<sup>38</sup> Ces projets et leurs objectifs ont été présentés dans les précédents numéros de la Lettre Alpes-Climat-Risques : [N°1, p. 15](#) et [N°2, p. 14](#). Pour en savoir plus : ► [www.avalanches.fr](http://www.avalanches.fr)

ont notamment permis de mettre en évidence un signal temporel caractérisé par un point de rupture majeur centré autour de l'année 1978 correspondant à un minimum relatif dans l'altitude moyenne d'arrêt des avalanches (-55 m) concomitant d'un maximum dans leur occurrence (+0,1 avalanches par couloir et par hiver) relativement au début et à la fin de la période 1946-2010. De plus, les avalanches de période de retour élevée ont vu un retrait marqué de leur propagation sur la période 1980/85 à 2000/05, par exemple de ~80 m pour l'altitude d'arrêt (moyenne annuelle par couloir) correspondant à une période de retour de 10 ans. Cependant, un plus grand nombre d'avalanches depuis environ 2005 et des altitudes d'arrêt plus basses depuis environ 2000 ont conduit à des avalanches de période de retour élevée puis à nouveau légèrement inférieures au cours des hivers les plus récents. Ces évolutions sont fortement corrélées aux évolutions de température et d'épaisseur de neige, ainsi qu'à d'autres covariables, en particulier en termes de dates de point de rupture, et de tendances. Toutefois, le contrôle climatique semble plus fort en terme de variabilité interannuelle de l'occurrence des avalanches et, à des échelles de temps plus longues, d'altitudes d'arrêt et de régimes d'écoulement. Cela conduit à un contrôle climatique mixte pour les avalanches de période de retour élevée, mais avec un impact clair du réchauffement sur le retrait important des avalanches au cours de la période 1980/85 à 2000/05. Ces analyses ont aussi permis de mettre en évidence des différences spatiales dans l'évolution et les facteurs de contrôle de l'activité avalancheuse, avec (i) une rupture plus brutale (1977) entre deux niveaux distincts d'activité dans les Alpes du Nord et une transition plus graduelle entre 1979 et 1984 dans les Alpes du Sud, ou encore (ii) une plus grande influence de l'épaisseur de neige au Nord et de la température au Sud des Alpes françaises. En outre, des classifications spatio-temporelles suggèrent que les différences nord/sud dans les régimes d'occurrence des avalanches résultent d'interactions complexes entre les circulations atmosphériques dominantes, leur changement régional et la topographie. Par exemple, les motifs prédominants à l'échelle des Alpes comprennent une composante décroissante à basse altitude en accord avec la réduction du couvert neigeux lié au réchauffement du climat et une augmentation à plus haute altitude potentiellement liée à des chutes de neiges plus intenses. Enfin, des analyses de régression avec un petit nombre de covariables décrivant des paramètres physiques issus de la chaîne de modélisation Safran-Crocus-Mepra (SCM) ont permis d'étayer le contrôle climatique existant sur les fluctuations de l'activité avalancheuse dans les Alpes françaises, en montrant par exemple que l'activité hivernale (déc. à mars) est contrôlée par un plus petit nombre de variables que l'activité printanière (mars à mai), et ainsi une plus grande variété des contextes de déclenchement en fin de saison.

D'autre part, les résultats des projections de Météo-France issues du projet SCAMPEI sur l'évolution future de la fréquence des avalanches dans les Alpes françaises<sup>39</sup> ont également fait l'objet d'une présentation<sup>40</sup> à l'ISSW 2013.

Parmi ces contributions également, une analyse des précipitations neigeuses, des durées d'enneigement et de l'activité avalancheuse dans les Alpes italiennes sur la période 1961-2010 a été présentée<sup>41</sup>. Bien que les données disponibles sur l'activité des avalanches couvrent une période et un nombre de stations relativement limités par rapport aux autres séries de données, cette étude a permis de mettre en évidence une augmentation du nombre de jours avalancheux entre 1980 et 2013. Cette activité est très similaire aux fluctuations de l'indice d'accumulation de neige (précipitations neigeuses cumulées), qui paradoxalement présente quant à lui une tendance négative sur la période.

---

<sup>39</sup> Ces résultats ont été évoqués dans la Lettre Alpes-Climat-Risques : [N°1, p. 16](#).

<sup>40</sup> Giraud *et al.*, 2013.

<sup>41</sup> Valt and Cianfarra, 2013.

## ***Crués et inondations***

---

Concernant l'évolution des débits de crue, les simulations effectuées à l'échelle nationale dans le cadre du projet **EXPLORE 2070** ont porté essentiellement sur la crue décennale. Compte tenu de la divergence entre les 14 projections réalisées, il n'est pas possible de détecter de tendance significative sur la majeure partie du territoire. Parmi les principales conclusions avancées, les résultats indiquent toutefois une possible augmentation de l'intensité des crues dans les Cévennes, et au contraire une possible diminution des débits de crue décennale dans les zones de haut relief (Alpes, Pyrénées, Jura) à l'horizon 2046-2065. Les auteurs de l'étude soulignent que les évolutions sur les crues restent fortement dépendantes de la méthode de descente d'échelle climatique choisie, et qu'il convient de rester prudent sur la significativité des évolutions simulées.

► [www.developpement-durable.gouv.fr/Hydrologie-de-surface.html](http://www.developpement-durable.gouv.fr/Hydrologie-de-surface.html)

## ***Crués et laves torrentielles***

---

Le résumé scientifique du projet **ACQWA** indique que, dans la plus grande partie des Alpes suisses, le volume de sédiments transportés par les laves torrentielles a augmenté d'un ordre de grandeur depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle, et qu'il pourrait encore augmenter du fait de l'augmentation de la disponibilité en matériaux liée à la dégradation du pergélisol. Pour le bassin du haut Rhône (Valais suisse), les résultats projettent une diminution future de la fréquence des laves torrentielles mais une augmentation de leur intensité en raison à la fois d'une intensification des précipitations et de l'extension des zones sources de sédiments. Malgré les incertitudes, il est souligné que les phénomènes récents observés sur les sites de haute altitude ont clairement montré la forte sensibilité du milieu montagnard au changement climatique, et que des événements au-delà de l'expérience historique continueront de se produire avec la poursuite du changement climatique, ce qui plaide pour un examen critique des cartes de risques existantes.

Par ailleurs, des modèles à composantes hydrologique et géotechnique permettant de tester l'impact du changement climatique sur la stabilité des sols et des pentes ont été développés dans le cadre du projet pour permettre de futures analyses de l'évolution des glissements de terrain superficiels.

► [ACWA Book / Livrable ACQWA\\_D.Diss.5](#) (p. 49-50)

Le projet **ARNICA : "Assesment of Risks on transportation Networks resulting from slope Instability and Climate change in the Alps"**<sup>42</sup> (2010-2013) a rassemblé quatre partenaires de pays alpins avec pour objectif de déterminer les impacts potentiels du changement climatique futur sur l'activité des laves torrentielles dans les Alpes et d'analyser la vulnérabilité du réseau routier à ces phénomènes.

(1) Des scénarios climatiques à haute résolution portant sur l'évolution future des précipitations (durée, intensité et phase liquide/solide) ont été développés par l'Université de Graz pour servir de données d'entrée aux analyses de risque réalisées par les autres partenaires. Les résultats indiquent que les conditions climatiques favorables au déclenchement des glissements de terrain et des laves torrentielles devraient devenir plus fréquentes dans les Alpes pour la plupart des saisons excepté juillet et août, mais que même en été, la fréquence des pluies très intenses (> 30 mm / jour) pourrait augmenter dans certaines régions.

---

<sup>42</sup> Sous-projet du projet ERA-NET CIRCLE MOUNTain, voir p. 8.

(2) Pour les Alpes françaises, le LGP<sup>43</sup> a étudié les impacts du changement climatique passé et futur sur l'activité des laves torrentielles en exploitant la base de données « Evénements » du RTM (565 événements recensés depuis 1970). Parmi les résultats obtenus, une analyse statistique a permis d'estimer la part respective des caractéristiques géomorphologiques et climatiques dans l'activité des laves torrentielles à l'échelle régionale, montrant le rôle essentiel joué par le climat dans la probabilité d'occurrence des événements par rapport aux autres variables telles que l'occupation du sol. Par ailleurs, pour le futur proche (2050) comme lointain (2100) et quelque soit le modèle de climat utilisé en entrée, les résultats indiquent une augmentation significative de la probabilité d'occurrence des laves torrentielles au nord comme au sud des Alpes.

En parallèle, des développements ont été réalisés par les partenaires autrichien et suisse, consistant en (3) une modélisation de la susceptibilité aux déclenchements de glissements de terrain superficiels dans le sud du Tyrol (Alpes italiennes) basée sur un modèle hydrologique forcé à partir des scénarios d'évolution des précipitation, dont les résultats prévoient une augmentation progressive en automne en raison de l'augmentation de la proportion de précipitations liquides, mais une diminution en été due à une diminution de l'humidité ; et (4) une analyse de l'évolution de la saisonnalité et de la fréquence des laves torrentielles dans la vallée de Zermatt (Valais suisse) sur la base de données dendro-géomorphologiques et météorologiques, dont les résultats montrent un allongement de la saison propice aux laves torrentielles (mai à octobre) par rapport au 19<sup>e</sup> siècle, et suggèrent une légère diminution des conditions favorables au déclenchement des laves dans le futur (fin du 21<sup>e</sup> siècle), mais une possible augmentation de leur intensité en raison d'une plus grande disponibilité en sédiments provenant des zones périglaciaires qui alimentent les torrents de la vallée.

► [Site web du projet](#) et [accès au résumé final](#).

Parmi les projets de la fin de programmation Espace Alpin, le projet **SedAlp: "Sediment management in Alpine basins: integrating sediment continuum, risk mitigation and hydropower"** (2012-2015) comporte un groupe de travail sur la dynamique sédimentaire à l'échelle du bassin versant (WP4), dont l'un des objectifs est de mener une analyse historique des réponses des bassins aux changements survenus dans les conditions environnementales. Les sites d'étude français, qui font l'objet d'un monitoring (transport de bois et de sédiments), sont : les ponts d'Allex sur la Drôme (26) et de Chazey-sur-Ain (01), le barrage de Génissiat sur le Rhône amont (01) et les bassins versants des torrents du Manival (38), du Moulin (04) et du Réal (06). ► [www.sedalp.eu/](http://www.sedalp.eu/)

Repérée par le Pôle Educ'Alpes Climat du REEMA, une petite **vidéo** mise en ligne sur Swissinfo.ch montre les conséquences spectaculaires de la dégradation du permafrost sur les mouvements de terrain et l'alimentation en matériaux des torrents à laves torrentielles dans le Valais Suisse. ► [Vidéo](#)

## ***Mouvements de terrain***

---

Un article intitulé « Menace au sommet » dans le dernier numéro du magazine « Environnement » de l'OFEV (nov. 2013) évoque l'accroissement des dangers naturels gravitaires et torrentiels sous l'effet du réchauffement dans les Alpes Suisses et présente des principes et exemples concrets de mesures d'adaptation déjà mises en œuvre pour s'en prémunir. ► [www.bafu.admin.ch/magazine2013-4-01](http://www.bafu.admin.ch/magazine2013-4-01)

---

<sup>43</sup> Laboratoire de Géographie Physique (CNRS / Univ. Paris 1 Panthéon-Sorbonne / Univ. Paris Est), Meudon.

## Reconstructions

Différentes approches mises en œuvre au sein du projet ANR **SLAMS: "Séchilienne Land movement : Multidisciplinary Studies from Hazard assessment to associated risk and consequences"** (2010-2013)<sup>44</sup> ont permis d'apporter de nouveaux éléments pour préciser l'initiation du grand mouvement rocheux affectant le versant instable de Séchilienne (Isère) : « Les datations par la mesure de la concentration en nucléide cosmogénique <sup>10</sup>Be produit in situ accumulé dans les roches superficielles ont montré que le désenglacement du versant de Séchilienne a commencé à partir de 17ka pour se terminer en fond de vallée aux environs de 14ka. (...) Les escarpements sommital et latéral Est semblent s'être créés entre 5 et 8 ka, durant la période climatique de l'Optimum Climatique Holocène, et la déformation s'est ensuite propagée vers l'Ouest (4-5 ka), puis à l'intérieur du mouvement (initiation d'escarpements mineurs entre 2-4 ka). Enfin, les modélisations numériques thermiques<sup>45</sup> ont montré que le pergélisol a pu persister jusqu'à 11 ka et a donc pu jouer un rôle dans le délai de plusieurs milliers d'années observé entre la disparition du glacier (14-17 ka) dans la vallée et l'initiation de l'instabilité gravitaire (5-8 ka). Un point important est que la profondeur maximale atteinte par le pergélisol correspond à l'épaisseur de la zone déstructurée mise en évidence par les reconnaissances profondes. Ce résultat suggère que le pergélisol a pu jouer un rôle de fissuration du massif (par ségrégation de lentilles de glace) contribuant à affaiblir le versant. » ► [Rapport final du projet SLAMS](#)

Dans le prolongement d'un projet<sup>46</sup> associant le laboratoire PACTE et le Cemagref soutenu en 2006 par le PGRN/CG38 visant à développer de nouvelles méthodes d'analyse dendrogéomorphologique<sup>47</sup>, les recherches effectuées dans le cadre de la **thèse de Jérôme Lopez-Saez**<sup>48</sup> et au sein des projets **DENDROGLISS** (soutenu par la Fondation MAIF), **PARAMOUNT** (Espace-Alpin) et **ACQWA** ont livrés de nombreux résultats, publiés dans des revues internationales. Ces travaux ont permis d'établir une reconstruction de l'activité de 13 glissements de terrain dans la moyenne vallée de l'Ubaye (Alpes-de-Haute-Provence) et d'étudier le rôle des paramètres climatiques, en particulier les précipitations, dans le déclenchement des événements passés. À l'échelle de la moyenne vallée de l'Ubaye, 91 phases de réactivation depuis 1866 ont pu être identifiées. La fréquence des réactivations présente une évolution notable au cours des 150 dernières années, caractérisée par : une activité relativement basse jusqu'aux années 1900, un léger accroissement au cours de la décennie 1910-19, une activité à nouveau moins soutenue au cours des cinq décennies suivantes, puis un net regain d'activité depuis 1970, avec 60 phases de réactivations reconstruites sur la période 1970-2009, dont 20 uniquement depuis 2000. Par ailleurs, des régressions logistiques ont révélé des corrélations statistiquement significatives soulignant le rôle important du cumul des précipitations des mois de décembre à avril dans le déclenchement des réactivations à l'échelle de l'ensemble de la vallée. En revanche, il a été montré le rôle important des pluies d'été dans le déclenchement des réactivations du glissement du Bois Noir<sup>49</sup>. L'analyse des perturbations de croissance des cernes d'arbres a aussi permis d'étudier la saisonnalité des réactivations. Les données ainsi obtenues, par exemple à l'échelle plus restreinte du bassin du Riou Bourdoux sur la période 1890-2010, montrent qu'un changement s'est opéré avec le passage de glissements induits par la fonte des neiges (contrôlés par les précipitations hivernales) à

<sup>44</sup> <http://isterre.fr/recherche/projets-de-recherche/projets-en-cours/projets-anr/article/projet-slams-etude-du-mouvement-de>

<sup>45</sup> [Lebrouc et al., 2013](#), *Geomorphology*, Vol. 198, 189-200.

<sup>46</sup> [Schoeneich et al., 2007](#), Rapport final, programme 2006 du PGRN.

<sup>47</sup> Désormais Irstea.

<sup>48</sup> [Lopez Saez, 2011](#), thèse de l'Université de Grenoble (Laboratoire PACTE / Irstea).

<sup>49</sup> [Lopez Saez et al., 2012](#), *Landslides*, Vol. 9, 189-203.

des réactivations contrôlées par les températures printanières et la fonte rapide du couvert neigeux<sup>50</sup>. En outre, une approche statistique basée sur un modèle de Poisson développée pour permettre de quantifier et de cartographier des probabilités de réactivation a été mise en œuvre sur les glissements de Pra Bellon<sup>51</sup> et des Aiguettes<sup>52</sup>.

### *Projections – Glissements de terrain*

Autre grand projet intégrateur phare du 7ème PCRD, le projet **SafeLand: “Living with landslide risk in Europe: Assessment, effects of global change, and risk management strategies”** (2009-2013) a rassemblé 27 partenaires issus de 12 pays européens (partenaire français : BRGM) pour développer des outils d'évaluation et des stratégies de gestion des risques de mouvements de terrain à l'échelle locale, régionale et européenne. Ce projet comportait un volet spécifiquement consacré à l'élaboration de scénarios d'impacts de changements globaux, climatiques, environnementaux et sociétaux, sur l'évolution future des aléas et des risques de mouvement de terrain en Europe et sur des cas d'études localisés ('Work Area 3'). Cette démarche s'appuie sur des projections climatiques d'évolution des événements de précipitations extrêmes en procédant selon une approche par échelles emboîtées, à partir : (1) des simulations climatiques multi-modèles du projet ENSEMBLES (résolution spatiale de 25 x 25 km sur l'Europe) utilisées pour analyser l'évolution des événements de précipitations extrêmes sur la période 1961-2099, (2) de projections climatiques à haute-résolution (10 km) pour quatre sous-régions en Europe parmi lesquelles une sous-région 'Italie et Alpes', et (3) de projections climatiques locales à très haute-résolution (3,8 km) pour la période 1951-2050 sur des domaines couvrant des secteurs d'étude restreints.

À l'échelle de l'Europe, les grandes tendances spatiales des changements de précipitations extrêmes projetés apparaissent cohérentes entre les différentes simulations (8 modèles régionaux), avec en particulier une augmentation des extrêmes sur le nord de l'Europe en hiver comme en été, mais les résultats présentent des incohérences en particulier en hiver sur les régions de montagne et leur piémont, et surtout en été à travers la zone de transition en Europe centrale qui sépare les régions avec des tendances positives au nord et les régions avec des tendances négatives au sud. Ces projections climatiques ont été combinées avec les changements attendus dans l'utilisation des sols et la population exposée (démographie, infrastructures...) pour évaluer les changements dans l'aléa et le risque 'mouvement de terrain' à l'échelle de l'Europe à différentes dates (2030, 2050, 2070 et 2090) par rapport à l'état présent (2010). Les résultats, à considérer avec précaution compte tenu du niveau d'incertitude élevé lié en particulier à la disponibilité limitée des données socio-économiques, montrent des variations mineures du niveau d'aléa, avec une augmentation de 1,5% des surfaces exposées, et une très légère augmentation du niveau global de risque, touchant 0,7% de la population totale<sup>53</sup>, essentiellement due à l'évolution de la population exposée, donc de la vulnérabilité.

Parmi les secteurs d'étude locaux du projet figure le bassin de Barcelonnette (vallée de l'Ubaye, Alpes-de-Haute-Provence), pour lequel sont projetés des augmentations significatives dans les températures (jusqu'à 3°C) en toutes saisons, mais surtout en hiver, et une augmentation des précipitations sur certains sous-domaines en toutes saisons, avec de légers changements dans les événements extrêmes sur l'ensemble du domaine. Sur ce secteur d'étude, l'évaluation des changements dans les facteurs de déclenchement des mouvements de terrain a été réalisée à l'aide d'un modèle à base physique, qui combine un modèle hydrologique calibré avec des paramètres observés (température moyenne, cumuls de précipitations, évapotranspiration potentielle, niveau

<sup>50</sup> [Lopez Saez et al., 2013](#), *Geology*, Vol. 41, 619–622.

<sup>51</sup> [Lopez Saez et al. 2012](#), *Geomorphology*, Vol. 138-1, 189–202.

<sup>52</sup> [Lopez Saez et al., 2013](#), *Tectonophysics*, Vol. 602, 355–369.

<sup>53</sup> Deliverable 3.7: [Expected changes in climate-driven landslide activity \(magnitude, frequency\) in Europe in the next 100 years.](#)

piézométrique) avec un modèle d'évaluation quantitative de mouvements de terrain, pour permettre l'intégration de scénarios climatiques dans des cartes de susceptibilité à l'échelle du bassin<sup>54</sup>. Les résultats prévoient une augmentation du niveau d'aléa sur le bassin, avec un léger accroissement de la probabilité d'occurrence des instabilités dans les zones d'initiation des mouvements de terrain. Une méthodologie spécifique a été développée pour croiser ces résultats, complétés avec un modèle décrivant la propagation des mouvements de terrain, avec des données prospectives sur l'évolution des éléments exposés (routes, bâti et population) afin d'obtenir une évaluation d'ensemble de l'évolution du risque<sup>55</sup>. Les changements projetés dans l'exposition aux mouvements de terrain sont différents en fonction des éléments à risque, ainsi que du niveau d'aléa considérés. Par exemple, le linéaire routier exposé aux aléas faibles à moyens connaîtrait plutôt une diminution du nombre de kilomètres impactés, tandis que le nombre de kilomètres de routes impactés par des aléas forts à très forts aurait plutôt tendance à augmenter. Mais là encore, en raison de leur nature encore exploratoire, ces résultats préliminaires sont à considérer à titre indicatif et avec une certaine prudence. Les livrables correspondant aux différentes étapes de ces analyses sont accessibles sur le site internet du projet. ► [www.safeland-fp7.eu/results/Pages/wa3.aspx](http://www.safeland-fp7.eu/results/Pages/wa3.aspx)

Le projet **ChangingRISKS: "Changing pattern of landslide risks as response to global changes in mountain areas"**<sup>56</sup> (2010-2012) a permis de formaliser une méthodologie générique à visée opérationnelle pour quantifier l'impact des changements globaux futurs sur l'aléa et le risque mouvement de terrain, à travers le développement d'une plateforme SIG permettant de cartographier de manière semi-automatique l'aléa, la vulnérabilité et le risque. Différentes méthodes (statistique, empirique et à base physique) ont été utilisées pour analyser l'impact des changements climatiques et d'occupation des sols sur l'activité des mouvements de terrain sur deux sites d'étude alpins exposés à de nombreux phénomènes (ravinement, glissements de terrain, laves torrentielles) : le bassin de Barcelonnette (350 km<sup>2</sup>) et la commune/district autrichienne de Waidhofen/Ybbs (130 km<sup>2</sup>). Les modèles, basés sur le scénario A1B du GIEC et adaptés à l'échelle locale, prédisent une augmentation probable de l'activité des mouvements de terrain en termes de surface des zones potentiellement instables (susceptibilité) et de fréquence d'activation (aléa). Bien que l'influence des changements démographiques et économiques reste difficile à prendre en compte dans l'analyse, l'augmentation de projetée de l'exposition et de la vulnérabilité, combinée à celle de l'aléa, devrait également concourir à une augmentation globale du risque de dommages liés aux mouvements de terrain sur les deux sites d'études. ► [Site web du projet et accès au résumé final.](#)

Portant notamment sur le même secteur, on signalera le projet en cours **CHANGES: "Changing Hydro-meteorological Risks – as Analyzed by a New Generation of European Scientists"** (2011-2014), qui constitue un réseau de formation "Marie Curie" du 7<sup>ème</sup> PCRD. Ce projet poursuit l'objectif de développer (1) la compréhension de la façon dont les changements globaux vont affecter l'évolution temporelle et spatiale des aléas hydro-météorologiques et des risques associés en Europe, et (2) les moyens d'évaluer, de modéliser et d'incorporer ces changements dans les stratégies de gestion des risques (aménagement du territoire, préparation à la gestion de crise et communication du risque).  
► [www.changes-itn.eu/](http://www.changes-itn.eu/)

---

<sup>54</sup> Deliverable 3.8: [Changing pattern in climate-driven landslide hazard at selected sites in Europe \(focus on Southern Italy, the Alps and Southern Norway\) in the next 50 years.](#)

<sup>55</sup> Deliverable D3.9: [Methodology for predicting the changes in the landslide risk during the next 50 years at selected sites in Europe. Changing pattern of landslide risk in hotspot and evolution trends in Europe according to global change scenarios.](#)

<sup>56</sup> Sous-projet du projet ERA-NET CIRCLE MOUNTain, voir p. 8.

## Manifestations à venir

Le prochain **"Séminaire Changements Environnementaux"** organisé par l'Agence Nationale de la Recherche du 19 au 21 mars 2014 à Lille vise à présenter les projets sur les changements environnementaux à grande échelle (climat, eau, air, surfaces continentales) financés par les programmes ANR édition 2011. ► [Présentation et programme du séminaire](#). Il fera suite aux précédents séminaires de restitution et d'avancement organisés depuis 2008 sur cette thématique. Les présentations et posters des éditions [2012 \(Bordeaux\)](#) et [2013 \(Toulouse\)](#) sont consultables sur le site internet de l'ANR.

Les prochaines **journées "Glaciologie-Nivologie-Hydrologie de Montagne" de la Société Hydrotechnique de France (SHF)** auront lieu les 20 et 21 mars 2014 à Grenoble. Ces journées d'échange, ouvertes à tous, permettent de faire le point sur les dernières recherches et de suivre l'évolution des connaissances sur les glaciers, le permafrost, l'enneigement et l'hydrologie de montagne. ► [www.shf-hydro.org/174-1-manifestations-16.html](http://www.shf-hydro.org/174-1-manifestations-16.html)

La seconde édition du **colloque sur la qualité de l'air, le développement durable et le changement climatique (ADDC)** organisé par GeographR et la Maison de la météo aux Orres (Hautes-Alpes) se tiendra le 7 juillet 2014. ► <http://geographr.typepad.fr/site/colloque-addc-2014-les-orres.html>

Le XII<sup>e</sup> congrès de l'**International Association for Engineering Geology and the environment (IAEG)** "*Engineering Geology for Society and Territory*" organisé à Turin (15-19 sept. 2014) marquera le 50<sup>e</sup> anniversaire de l'IAEG. Il comportera les sessions suivantes : (1) "*Climatic change and engineering geology*", (2) "*Landslide processes*" (3) "*River basins, reservoir sedimentation and water resources*", (4) "*Marine and coastal processes*", (5) "*Urban Geology, sustainable planning and landscape exploitation*", (6) "*Applied Geology for Major engineering projects*", (7) "*Education, professional ethics and public recognition of engineering geology*" et (8) "*Preservation of cultural heritage*", au sein desquelles seront abordés les impacts du changement climatique sur les ressources et les risques naturels liés aux mouvements de terrain dans les environnements de montagne et du littoral. ► [www.iaeg2014.com](http://www.iaeg2014.com)

Les **2<sup>e</sup> États Généraux de l'eau en montagne** seront organisés à Megève du 8 au 10 octobre 2014 : « Cette nouvelle édition sera consacrée à l'efficiencia de la gestion de l'eau en montagne dans un contexte de changement global. Ainsi 3 volets de connaissances scientifiques, issus des réflexions des éditions précédentes et des volets thématiques développés par l'Observatoire de l'eau en montagne, serviront de cadre aux apports et aux débats : (1) Précipitations, recharges nivo-glaciaires et risques liés à l'eau ; (2) Milieux aquatiques, zones humides et lacs de montagne ; (3) Partage de la ressource et conciliation des usages. Les réponses concrètes aux gestionnaires et élus seront abordés à travers 3 thématiques transversales : (i) Les rapports Ville/Montagne pour la gestion de l'eau (eau potable, eaux usées, eaux pluviales) ; (ii) Les services écosystémiques liés à l'eau et rendus par la montagne (en terme qualitatif et quantitatif) ; (iii) Les gouvernances de l'eau en montagne (nouvelles réglementations, DCE, bilan étape SDAGE ...) » (source : [www.oieau.org/](http://www.oieau.org/)). ► [www.egem2014.org/](http://www.egem2014.org/)