

Projet ANR-08-VULN-0009-01

Scampeï

Programme VMCS 2008

A IDENTIFICATION	1
B RÉSUMÉ CONSOLIDÉ PUBLIC	2
B.1 Instructions pour les résumés consolidés publics	2
B.2 Résumé consolidé public en français	3
B.3 Résumé consolidé public en anglais	4
C MÉMOIRE SCIENTIFIQUE.....	5
C.1 Résumé du mémoire	5
C.2 Enjeux et problématique, état de l'art	6
C.3 Approche scientifique et technique.....	7
C.4 Résultats obtenus.....	8
C.5 Exploitation des résultats.....	10
C.6 Discussion	10
C.7 Conclusions	10
C.8 Références	10
D LISTE DES LIVRABLES	11
E IMPACT DU PROJET	13
E.1 Indicateurs d'impact	13
E.2 Liste des publications et communications.....	14
E.3 Liste des éléments de valorisation.....	17
E.4 Bilan et suivi des personnels recrutés en CDD (hors stagiaires)	19

A IDENTIFICATION

Acronyme du projet	SCAMPEI
Titre du projet	Scénarios Climatiques Adaptés aux zones de Montagne : Phénomènes extrêmes, Enneigement et Incertitudes
Coordinateur du projet (société/organisme)	CNRS / URA GAME
Période du projet (date de début – date de fin)	1 janvier 2009 31 décembre 2011
Site web du projet, le cas échéant	http://www.cnrm.meteo.fr/scampeï/

Rédacteur de ce rapport	
Civilité, prénom, nom	M. Michel Déqué
Téléphone	05 61 07 93 82
Adresse électronique	Michel.deque@meteo.fr
Date de rédaction	01/02/12

Si différent du rédacteur, indiquer un contact pour le projet	
Civilité, prénom, nom	
Téléphone	
Adresse électronique	

Liste des partenaires présents à la fin du projet (société/organisme et responsable scientifique)	CNRS/GAME Michel Déqué CNRS/LMD Laurent Li CERFACS Laurent Terray CNRS/LGP Vincent Jomelli CNRS/LGGE Hubert Gallée
---	--

B RESUME CONSOLIDE PUBLIC

Ce résumé est destiné à être diffusé auprès d'un large public pour promouvoir les résultats du projet, il ne fera donc pas mention de résultats confidentiels et utilisera un vocabulaire adapté mais n'excluant pas les termes techniques. Il en sera fourni une version française et une version en anglais. Il est nécessaire de respecter les instructions ci-dessous.

B.1 INSTRUCTIONS POUR LES RESUMES CONSOLIDES PUBLICS

Les résumés publics en français et en anglais doivent être structurés de la façon suivante.

Titre d'accroche du projet (environ 80 caractères espaces compris)

Titre d'accroche, si possible percutant et concis, qui résume et explicite votre projet selon une logique grand public : il n'est pas nécessaire de présenter exhaustivement le projet mais il faut plutôt s'appuyer sur son aspect le plus marquant.

Les deux premiers paragraphes sont précédés d'un titre spécifique au projet rédigé par vos soins.

Titre 1 : situe l'objectif général du projet et sa problématique (150 caractères max espaces compris)

Paragraphe 1 : (environ 1200 caractères espaces compris)

Le paragraphe 1 précise les enjeux et objectifs du projet : indiquez le contexte, l'objectif général, les problèmes traités, les solutions recherchées, les perspectives et les retombées au niveau technique ou/et sociétal

Titre 2 : précise les méthodes ou technologies utilisées (150 caractères max espaces compris)

Paragraphe 2 : (environ 1200 caractères espaces compris)

Le paragraphe 2 indique comment les résultats attendus sont obtenus grâce à certaines méthodes ou/et technologies. Les technologies utilisées ou/et les méthodes permettant de surmonter les verrous sont explicitées (il faut éviter le jargon scientifique, les acronymes ou les abréviations).

Résultats majeurs du projet (environ 600 caractères espaces compris)

Faits marquants diffusables en direction du grand public, expliciter les applications ou/et les usages rendus possibles, quelles sont les pistes de recherche ou/et de développement originales, éventuellement non prévues au départ.

Préciser aussi toute autre retombée= partenariats internationaux, nouveaux débouchés, nouveaux contrats, start-up, synergies de recherche, pôles de compétitivités, etc.

Production scientifique et brevets depuis le début du projet (environ 500 caractères espaces compris)

Ne pas mettre une simple liste mais faire quelques commentaires. Vous pouvez aussi indiquer les actions de normalisation

Illustration

Une illustration avec un schéma, graphique ou photo et une brève légende. L'illustration doit être clairement lisible à une taille d'environ 6cm de large et 5cm de hauteur. Prévoir une résolution suffisante pour l'impression. Envoyer seulement des illustrations dont vous détenez les droits.

Informations factuelles

Rédiger une phrase précisant le type de projet (recherche industrielle, recherche fondamentale, développement expérimental, exploratoire, innovation, etc.), le coordonnateur, les partenaires, la date de démarrage effectif, la durée du projet, l'aide ANR et le coût global du projet, par exemple « Le projet XXX est un projet de recherche fondamentale coordonné par xxx. Il associe aussi xxx, ainsi que des laboratoires xxx et xxx). Le projet a commencé en juin 2006 et a duré 36 mois. Il a bénéficié d'une aide ANR de xxx € pour un coût global de l'ordre de xxx € »

B.2 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN FRANÇAIS

Des scénarios pour l'enneigement des massifs français au 21ème siècle

Modéliser le climat et son évolution en prenant en compte la diversité géographique du pays, en particulier en montagne

La dernière génération de modèles climatiques régionaux atteint maintenant la résolution de 10 km, ce qui est l'équivalent de la résolution horizontale des phénomènes observés sur la durée (analyses Safran de Météo-France de 1958 à nos jours). Il reste cependant trois obstacles à franchir. Le premier est le biais des modèles. Un système d'équations hydrodynamiques, même bien calibré, ne peut représenter exactement la distribution des observations, ce qui pose un problème pour les phénomènes à seuil comme la neige. Le deuxième est le climat de montagne. Même à résolution 10 km, on ne peut représenter les pics et les vallées qui connaissent pourtant des conditions de surface très différentes, du fait de l'altitude et des gradients verticaux de température. Le troisième est l'incertitude. On peut contraindre les résultats des modèles à suivre plus ou moins le climat présent. On ne peut les empêcher d'apporter des réponses différentes pour le climat futur. Le projet Scampeï a développé une technique originale pour produire des séries quotidiennes du climat sur trois périodes (passé, futur proche et futur lointain) en fonction de la position géographique et de l'altitude. Les diverses sources d'incertitudes ont été illustrées (3 modèles français) et quantifiées (14 modèles du Giec).

Une chaîne de modèles dynamiques et statistiques pour aboutir à des données d'enneigement par tranche d'altitude

La construction de scénarios climatiques est issue au départ de scénarios du Giec. Une approche directe consiste à utiliser un système d'identification de situations analogues qui relie une carte de pression sur la France à une situation observée dans le passé. On peut ainsi, grâce aux analyses Safran mentionnées plus haut fournir des séries météorologiques à haute résolution à partir de modèles à résolution grossière (300 km) pour le passé comme pour le futur. Cette approche permet d'aborder efficacement les incertitudes, mais ne s'appuie pas sur les phénomènes physiques de méso-échelle. A partir de simulations Giec, nous avons extrait puis corrigé les températures de surface de l'océan mondial. Nous les avons utilisées pour faire, avec des modèles atmosphériques, un deuxième jeu de simulations plus fin (50 km sur l'Europe) et plus proche de la réalité. Les conditions atmosphériques autour de la France ont été utilisées pour un troisième jeu de simulations à résolution encore plus fine (10 km). Les séries quotidiennes issues des modèles ont été corrigées statistiquement par rapport à Safran, par tranche verticale de 300 m. Les séries corrigées ont servi à piloter un modèle de sol-neige de complexité supérieure à celle des modèles de climat.

Résultats majeurs du projet

Le principal résultat est la diminution forte dès le milieu du 21ème 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 robuste malgré la forte disparité de la réponse des modèles en ce qui concerne les précipitations. On note aussi une diminution du risque d'avalanche dans les Alpes du Nord, et une augmentation du risque de lave torrentielle en été dans les Alpes du Sud.

Production scientifique et brevets depuis le début du projet

Le projet a donné lieu à un grand nombre de présentations nationales et internationales, orientées parfois vers un public scientifique élargi. Des publications sont déjà parues, d'autres sont en cours d'évaluation, d'autre enfin seront soumises en 2012. Pour n'en citer que trois, nous avons validé notre

modèle régional de climat sur la France (Colin et al., 2010) la technique statistique pour l'enneigement sur les Alpes (Rousselot et al., 2012) et la technique statistique pour les laves torrentielles (Pavlova et al., 2012).

Illustration

Variation (%) du nombre de jours par an à 1500 m avec une hauteur de neige au sol supérieure à 5cm entre la période futur proche (2021-2050) et la référence (1961-1990) dans un des scénarios du projet.

Informations factuelles

Le projet Scampeï (Scénarios Climatiques Adaptés aux zones de Montagne : Phénomènes extrêmes, Enneigement et Incertitudes) est un projet de recherche fondamentale coordonné par le Groupe d'étude de l'atmosphère météorologique (CNRS/GAME). Il associe le Laboratoire de Météorologie Dynamique (CNRS/LMD), le Centre Européen de Recherche et Formation Avancée en Calcul Scientifique (CERFACS), le Laboratoire de Géographie Physique (CNRS/LGP) et le Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (CNRS/LGGE). Le projet a commencé en janvier 2009 et a duré 36 mois. Il a bénéficié d'une aide ANR de 555 k€ pour un coût global de 2388 k€.

B.3 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN ANGLAIS

Scenarios for 21st century snow cover in French mountains

Modeling climate and its evolution taking into account the geographical diversity of the country, in particular in mountain areas

The last generation of regional climate models reaches now 10 km horizontal resolution, which is presently the resolution of long series of observed meteorological variables (Safran analyses, from Météo-France, covers 1958-present). Three difficulties are to be coped with. The first one is model bias. A set of hydrodynamical equations, even highly calibrated, cannot represent exactly the observed series, which may be problematic with threshold phenomena like snow. The second difficulty is mountain climate. Even at 10 km resolution, one cannot represent peaks and valleys. Due to temperature vertical gradient, they undergo a different climate. The third difficulty is uncertainty. One can tune models so that they represent past observed climate. But one cannot prevent different models from proposing different responses for future expected climate. The Scampeï project has developed an original technique for producing daily series describing French climate over three time-slices (past, near future, far future) as a function of geographical position and altitude. Various sources of uncertainty have been illustrated (three French regional models) and quantified (14 IPCC global models)

A suite of dynamical and statistical models leading to snow distribution as a function of elevation

Building possible future climates starts from IPCC scenarios. A straightforward technique consists of using weather typing and analogs to connect surface pressure over France from a climate model with a past observed situation. Thanks to the above mentioned Safran analyses, one can produce high resolution meteorological series for the past as well as the future, using coarse resolution (300 km) models. This approach is efficient for evaluating uncertainties, but does not rely upon mesoscale phenomena in a physical way. A more complex technique has been developed from global sea surface temperature of two IPCC models. The monthly means have been bias-corrected and injected in higher resolution (50 km over Europe) global atmosphere models. This second set of simulations is more reliable over Europe. The atmospheric data around France from this set have been used to produce a third set of simulations at higher (10 km) resolution. The daily series of this third set have been statistically corrected with respect to Safran analyses for different elevations (300 m vertical resolution). The corrected time series have driven a soil-snow model of higher scientific complexity than the snow parameterizations generally used in climate models.

Major results of the project

The main result is a strong decrease of snow cover duration over most areas below 2500m, as soon as the middle of the 21st century. At the end of the century, the snow annual duration decreases by 80% in the most pessimistic scenarios, by 50% in the most optimistic ones. This result is robust despite a strong divergence of model responses, as far as precipitation is concerned. One can note also a decrease in avalanche risk in northern Alps in winter, and an increase in debris flow risk in southern Alps in summer

Scientific production and patents since the start of the project

The project has produced many national and international conferences toward our scientific community, but also toward a broader public. A few scientific papers have been accepted. Some are under review, and some will be submitted in 2012. To quote just three of them, we have validated our climate model over France (Colin et al., 2010), the statistical downscaling technique for the Alps (Rousselot et al., 2012) and the statistical scheme for debris flows (Pavlova et al., 2012).

Illustration

Variation (%) of the number of day per year at 1500 m elevation with snow depth above 5 cm, between near future (2021-2050) and reference (1961-1990) in one of the scenarios of the project

Factual informations

Scampeï (French acronym for « climate scenarios designed for mountain areas : extreme phenomena, snow cover and uncertainties ») is a fundamental research project coordinated by the *Groupe d'étude de l'atmosphère météorologique* (CNRS/GAME). It involves the *Laboratoire de Météorologie Dynamique* (CNRS/LMD), the *Centre Européen de Recherche et Formation Avancée en Calcul Scientifique* (CERFACS), the *Laboratoire de Géographie Physique* (CNRS/LGP) and the *Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement* (CNRS/LGGE). The project has started in January 2009 and covered 36 months. It received a support from ANR of 555 k€ for a total cost of 2388 k€.

C MEMOIRE SCIENTIFIQUE

Maximum 5 pages. On donne ci-dessous des indications sur le contenu possible du mémoire. Ce mémoire peut être accompagné de rapports annexes plus détaillés.

Le mémoire scientifique couvre la totalité de la durée du projet. Il doit présenter une synthèse auto-suffisante rappelant les objectifs, le travail réalisé et les résultats obtenus mis en perspective avec les attentes initiales et l'état de l'art. C'est un document d'un format semblable à celui des articles scientifiques ou des monographies. Il doit refléter le caractère collectif de l'effort fait par les partenaires au cours du projet. Le coordinateur prépare ce rapport sur la base des contributions de tous les partenaires. Une version préliminaire en est soumise à l'ANR pour la revue de fin de projet.

Un mémoire scientifique signalé comme confidentiel ne sera pas diffusé. Justifier brièvement la raison de la confidentialité demandée. Les mémoires non confidentiels seront susceptibles d'être diffusés par l'ANR, notamment via les archives ouvertes <http://hal.archives-ouvertes.fr>.

Mémoire scientifique confidentiel : non

C.1 RESUME DU MEMOIRE

La dernière génération de modèles climatiques régionaux atteint maintenant la résolution de 10 km, ce qui est l'équivalent de la résolution horizontale des longues bases de données observées sur la France, comme les analyses Safran qui couvrent de 1958 à nos jours. Il reste cependant trois obstacles à franchir pour pouvoir utiliser les sorties de modèles dans les études d'impact et de vulnérabilité. Le premier est le biais de ces modèles. Un système d'équations hydrodynamiques, même bien calibré, ne peut représenter exactement la distribution des observations, ce qui pose un problème pour les phénomènes à seuil comme la neige. Le deuxième est le climat de montagne. Même à résolution 10 km, on ne peut représenter les pics et les vallées qui connaissent pourtant des conditions de surface très différentes, du fait de l'altitude et des gradients verticaux de température. Le troisième est l'incertitude. On peut contraindre les résultats des modèles à suivre plus ou moins le climat présent. On ne peut les empêcher d'apporter des réponses différentes pour le climat futur. Le projet Scampeï a développé une technique originale pour produire des séries quotidiennes du climat sur trois périodes (passé, futur proche et futur lointain) en fonction de la position géographique et de l'altitude. Les diverses sources d'incertitudes ont été illustrées (3 modèles régionaux français à haute résolution) et quantifiées (14 modèles globaux du Giec).

C.2 ENJEUX ET PROBLEMATIQUE, ETAT DE L'ART

Les régions de montagne sont parmi les parties du globe celles où sont attendus les effets les plus significatifs du changement climatique. En effet, l'élévation de température au 20ème siècle s'est manifestée de manière plus forte sur les régions de montagne qu'en moyenne sur le globe (Beniston 2003). Pour répondre à la question du climat qui nous attend au cours du 21ème siècle, la communauté scientifique a mis en place des modèles régionaux (Christensen et al., 2007) capables de représenter de grands massifs comme les Alpes ou le Massif Central dans les modèles numériques de climat. Au cours de la dernière décennie leur résolution horizontale est passée de 50 km à 25 km et il est envisageable, sur des domaines sub-continentaux, ou pour des simulations ciblées de gagner encore un facteur 2 en résolution (e.g. Déqué and Somot, 2008). Cependant, même dans un carré de 10 km de côté, on trouve en région de montagne des conditions de température de surface très différentes suivant que l'on se trouve au fond d'une vallée ou au sommet d'un pic. Lorsqu'on s'intéresse à la question de l'enneigement, à moins de descendre à une résolution horizontale d'une centaine de mètres, hors de portée de nos calculateurs dès qu'il s'agit de simulation climatique, il faut passer par une autre approche.

La question de l'enneigement futur est importante car il s'agit à la fois d'une ressource (tourisme, hydrologie) et d'un inconvénient (transports). C'est également une question scientifique intéressante, car il est difficile d'apporter une réponse à partir d'arguments simples. Certes le changement climatique attendu est un réchauffement de quelques degrés. La réponse en terme de précipitations totale est encore incertaine sur la France en ce qui concerne son signe, mais son amplitude en hiver ne devrait pas être trop élevée en regard de la variabilité interannuelle (Goodess et al., 2009). Il est donc attendu, qu'à basse altitude la neige marque un recul. En moyenne altitude (1500 m) par contre, le gradient vertical atmosphérique moyen de température ($6^{\circ}\text{C}/\text{km}$) peut maintenir des températures inférieures à 0°C malgré le réchauffement global. D'autre part les températures très froides sont un obstacle aux précipitations abondantes à cause de la loi de Clausius-Clapeyron. Là encore le réchauffement climatique peut favoriser les chutes de neige là où la température demeure négative. Nous sommes donc en présence de deux phénomènes physiques en compétition. Pour apporter une réponse même qualitative entre 1500 et 3000 m, le recours à la modélisation est indispensable.

L'enjeu du projet Scampeï est donc de mettre en place une technique permettant d'apporter une réponse quantitative sur le territoire métropolitain à une résolution suffisante pour les zones de montagne soient représentées dans leur diversité. L'accent est mis sur l'enneigement dans ce projet. Cependant le climat est un tout, et l'approche à haute résolution permet d'aborder également la question des phénomènes extrêmes : tempêtes, fortes pluies, canicules, sécheresses, avalanches et laves torrentielles. Certains de ces phénomènes ne sont pas spécifiques des zones de montagne, et le projet peut offrir une couverture pour tout le pays puisque les modèles de climat ont une extension horizontale au delà de nos frontières.

Il n'est pas concevable d'aborder la description du futur sans gérer la question des incertitudes. C'est pourquoi Scampeï inclut les trois modèles régionaux français existant au moment du montage du projet. Comme on le verra plus loin, les modèles régionaux atmosphériques seuls ne suffisent pas à apporter la réponse que l'on attend. Trois méthodes statistiques ont été utilisées pour produire des séries temporelles plus conformes aux observations. A l'horizon de la fin du siècle, une autre incertitude devient prépondérante : les émissions par l'humanité de gaz à effet de serre. Aussi trois scénarios du Giec ont été considérés. La modélisation du manteau neigeux demande, à l'échelle locale, une précision qui n'est pas prise en compte dans les modèles de climat. Deux modèles spécifiques pour l'évolution de la neige ont été utilisés, l'un pour la France dans son ensemble, l'autre pour les Alpes. En utilisant à chaque étape deux ou trois approches concurrentes, on peut illustrer les incertitudes, mais il est difficile de les quantifier. Aussi, une méthode de descente d'échelle a été appliquée à 14 modèles globaux issus du 4ème rapport du Giec, ainsi qu'aux 6 simulations spécifiques du projet et à 23 autres simulations régionales disponibles pendant la durée du projet. Ce n'est pas l'approche la plus précise, mais elle donne au premier ordre une fourchette qui permet d'affirmer la robustesse de certains de nos résultats.

C.3 APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Le projet repose sur une cascade de modèles numériques et statistiques. Cette chaîne permet de partir des concentrations en gaz à effet de serre et d'aboutir à une réponse régionale en terme d'enneigement et de phénomènes extrêmes.

Le noyau dur du projet est constitué autour de trois modèles à haute résolution sur la France. Cependant ces modèles ne sont pas autonomes, ils ont besoin de conditions atmosphériques aux frontières. D'autre part leur résolution horizontale ne permet pas de représenter séparément une vallée et un pic adjacent. En outre, ils souffrent d'erreurs systématiques qui les rendent d'un emploi délicat pour des phénomènes à seuil. Aussi l'analyse Safran (Quintana-Segui et al., 2008) avec ses 615 zones climatiques sur la France, ses tranches d'altitude espacées de 300 m, et sa couverture au pas horaire de 1958 à nos jours offre un pont entre le monde des modèles et celui de la vérité terrain.

Les scénarios du Giec offrent des évolutions possibles pour le système atmosphère-océan-banquise jusqu'en 2100. A partir des températures de la mer mensuelles des deux modèles français (CNRM et IPSL) qui ont participé au 4ème rapport, nous avons effectué des simulations atmosphériques avec les modèles Arpege (Déqué, 2010) et LMDZ (Goubanova and Li, 2007). Les températures de la mer ont été corrigées de leur biais systématiques avant de forcer les modèles atmosphériques, rendant les simulations du 20ème siècle plus réalistes que celles du Giec. Un surcroît de réalisme est également apporté par le fait que ces deux modèles ont une résolution plus élevée (50 km contre 300 km) sur l'Europe et le proche Atlantique. Trois modèles à haute résolution ont utilisé les données de ces simulations comme condition aux limites : Aladin (Colin et al., 2010), Mar (Gallée et al., 2004) et une version de LMDZ pilotée à ses frontières. Les résolutions sont 12km pour le premier, 20km pour les deux autres.

Trois techniques de correction statistique ont été appliquées aux données des modèles régionaux pour leur donner un format et des caractéristiques climatiques conformes, sur le climat présent, aux analyses Safran. La méthode DSCLIM (Boé et al., 2006) n'utilise que les caractéristiques de grande échelle des modèles et est donc applicable à une large gamme de produits, incluant les simulations du Giec. La méthode quantile-quantile (Déqué, 2007) traite chaque zone chaque altitude et chaque variable séparément (sauf température et précipitation, à cause de la limite pluie-neige). Mais elle respecte la chronologie du modèle et est plus adaptée à l'étude des phénomènes extrêmes. Une troisième méthode d'analogues a été produite par le projet (Rousselot et al., 2012). Elle est spécifique au massif alpin.

Une fois les méthodes statistiques appliquées aux séries quotidiennes issues des modèles atmosphériques régionaux, on dispose d'un certain nombre de séries horaires au format Safran pour trois tranches temporelles : 1961-1990, 2021-2050 et 2071-2100. Pour la première tranche, qui sert de référence, les caractéristiques moyennes et la variabilité sont celles fournies par l'observation via Safran, mais la chronologie des événements dépend de la fantaisie de chaque modèle. Les deux autres tranches sont appelées futur proche et futur lointain. Deux modèles sont utilisés pour simuler avec précision l'évolution du manteau neigeux sur les tranches de trente ans. Isba-ES (Boone et al.) couvre toute la France, y compris les régions de plaine. Crocus (Brun et al., 1992) est limité aux Alpes mais représente la neige au sol de manière plus détaillée (effet de la pente, de l'exposition, stratification fine).

Les données corrigées sur les zones Safran ont également interpolées sur une grille de 8 km sur tout le pays et ramenées au pas quotidien. Des indices de phénomènes extrêmes ont été calculés pour chaque tranche temporelle et chaque simulation. Ces indices étant calculés sur une base annuelle, on peut aisément établir des fourchettes d'erreur dues à la variabilité interannuelle.

A partir des données quotidiennes de Safran sur les Alpes (température et précipitations), un modèle statistique de probabilité de déclenchement de laves torrentielles a été constitué en utilisant toutes les chroniques disponibles de ce genre d'événement (Pavlova et al., 2012). Ce modèle a été ensuite utilisé avec les séries corrigées des différents scénarios.

C.4 RESULTATS OBTENUS

On trouvera en annexe des résultats plus détaillés par partenaire. Ici les résultats sont regroupés suivant la deuxième partie de l'acronyme de projet:

Phénomènes extrêmes

Les résultats des six scénarios pour la fin du siècle s'accordent sur une augmentation de la température maximale d'un été de 3°C à 10°C entre le scénario le plus modéré et le plus extrême. Pour les autres saisons l'augmentation est moins spectaculaire. Selon le scénario optimiste B1, la température la plus froide d'un hiver n'augmente que de 1°C. Pour les autres scénarios, l'augmentation se situe autour de 3°C, ce qui montre que l'évolution du climat se fera plus sentir en été qu'en hiver. Cependant dès le milieu du siècle le nombre de jours de gel en hiver est réduit de 30% à 50%, pour atteindre jusqu'à 80% en fin de siècle. Le nombre de jours de canicule, définis comme une séquence de plus de 5 jours où la température est plus de 5°C au-dessus de la normale est, sur la période de référence où est définie cette normale, de 2 jours en moyenne. En fin de 21ème siècle, il augmente partout, surtout dans le Sud du pays, pour atteindre jusqu'à 50 jours (soit plus de la moitié de l'été) dans le scénario A2 le plus pessimiste. La réponse des précipitations moyennes est assez variable entre les trois modèles, Aladin annonçant une diminution et LMDZ une augmentation. Par contre, quand on ne prend en compte que les jours où il tombe plus de 20 mm, les modèles s'accordent à prédire en fin de siècle une augmentation de la précipitation moyenne. En hiver, ils annoncent une augmentation de 5 à 10%, et en été jusqu'à 25% dans certaines régions et pour les scénarios Aladin. On n'observe pas d'augmentation des sécheresses dans les scénarios LMDZ, ce qui est cohérent avec l'augmentation des précipitations vue par ce modèle. Dans Mar, et surtout Aladin, le nombre de jours consécutifs sans pluies en été augmente jusqu'à doubler sur la moitié Ouest du pays dans le scénario A2. La crainte de voir les tempêtes devenir plus intenses n'est confirmée par aucun modèle : il n'y a pas d'accord sur le signe de la réponse entre les saisons, les régions et les modèles. L'augmentation du vent maximum d'une saison donnée ne dépasse jamais 10%. Pourtant quand Aladin est piloté par des analyses, il est capable de fournir des vents compatibles avec les observations lors des grandes tempêtes du passé, ce qui prouve que les modèles ont la capacité de produire ces phénomènes.

Pour évaluer la fréquence de situations à risques d'avalanche importants dans les Alpes nous avons considéré le nombre de jours par hiver où l'indice de synthèse d'instabilité naturelle fourni par le système expert Meptra par massif est supérieur à 3. Dans le scénario A2, l'indice d'activité avalancheuse naturelle modélisée baisse fortement dans un futur proche et notamment dans le sud des Alpes avec des baisses supérieures à 80%, baisses qui s'accroissent avec le temps puisque dans un futur lointain, les baisses sur tous les massifs des Alpes sont supérieures à 85 %. La conséquence est une quasi-absence d'activité avalancheuse significative dans le sud et dans la majorité des autres massifs. Seul l'extrême nord des Alpes et notamment le massif du Mont Blanc conservent un caractère significativement avalancheux avec un nombre de jours à forte activité de 2,5 environ en moyenne par hiver à comparer aux 10 jours dans le climat actuel. Les autres scénarios confirment cette tendance en l'atténuant.

Dans les Alpes du Nord, les probabilités de déclenchement de laves torrentielles augmentent dès 2050 si l'on utilise les scénarios d'Aladin, mais restent constantes ou diminuent de 30% par rapport à l'actuel selon les scénarios de Mar et de LMDZ respectivement. Dans les Alpes du Sud, la réponse est la même pour les trois modèles, avec une augmentation de la probabilité de déclenchement. La probabilité d'observer au moins 5 déclenchements par an est multipliée par 4 (scénario A1B) par rapport à l'actuel dès le futur proche.

Parallèlement nous avons analysé la vulnérabilité du réseau liée à cet aléa. Une analyse des sources historiques fait ressortir 4 zones principalement impactées (la vallée de la Maurienne, le Briançonnais, la Haute Tarentaise et la Haute Ubaye). Une carte régionale d'indice de risque de coupure a été réalisée selon le taux d'endommagement et les valeurs fonctionnelle/d'usage de chaque tronçon impacté. Les conséquences socio-économiques liées à la coupure d'un ou de plusieurs tronçons routiers dans ces secteurs sont très importantes pour plusieurs raisons. Il s'agit d'axes routiers le plus souvent de 1er ordre (niveau national, autoroute) à forte valeur fonctionnelle (contournement difficile) qui permettent de desservir des grandes villes françaises et italiennes. De plus ils permettent l'accès au

principales stations de ski, véritable poumon économique régional (700 millions d'€ / an de chiffre d'affaire dont 47% en été).

Enneigement

Les variations en pourcentage de la durée moyenne du couvert neigeux (jours avec plus de 5cm au sol) pour le futur proche et le futur lointain (scénario A1B, moyenne des modèles haute résolution du projet) montrent la forte baisse de l'enneigement liée aux scénarios climatiques. Ainsi, les zones dont les variations sont les plus fortes sont les Alpes du sud et la partie centrale des Pyrénées. La diminution peut atteindre jusqu'à 80% de la durée de référence. Néanmoins, l'impact sur les massifs Corse et le reste du massif des Pyrénées est limité par le faible enneigement du temps présent (faible significativité des variations). Les massifs du nord (Alpes du nord, Jura, Vosges), d'une manière générale, présentent une diminution plus faible en pourcentage que les autres massifs. A la fin du siècle, l'impact sur l'enneigement est très marqué en moyenne montagne. Une des conséquences est qu'il y a peu de différences entre les scénarios A1B et A2 (dès le scénario A1B, l'enneigement est très réduit).

Ces résultats sont confirmés sur les Alpes par l'utilisation du modèle de manteau neigeux Crocus. Pour une altitude moyenne (1800m) et dans le scénario B1, la diminution est significativement moindre que pour les deux autres scénarios, en particulier dans les massifs les plus au nord et correspond grossièrement aux valeurs simulées par les autres scénarios en milieu de siècle (de 35 à 60% de réduction en hauteur et 15 à 40 % en durée). Toujours à 1800m, la diminution calculée avec le scénario A2 pour la fin de siècle est la plus importante et atteint presque deux fois celle du scénario B1 (de 40 à 75% de réduction en durée). Le scénario A1B donne un résultat intermédiaire, de 25 à 65% de réduction en durée qui correspondent à environ 35 jours en milieu de siècle et 75 jours à la fin. On notera aussi la réduction dramatique de l'enneigement (de près de 90% pour la hauteur de neige) dans les massifs les plus au sud pour le scénario A2.

Incertitudes

Une comparaison de deux techniques de désagrégation différentes, l'une statistique et l'autre dynamique, a été effectuée (Piazza et al. 2012a). Les résultats issus des différentes méthodologies s'accordent sur une forte diminution du nombre de jours de gel dans les trois zones de montagnes (Alpes, Corse et Pyrénées), accompagnée d'une importante diminution des quantités de précipitations solides, mais aussi des précipitations liquides avec une augmentation moyenne du pourcentage de jours secs supérieure à 10%. Les résultats obtenus sur la Corse pour les deux méthodes sont plus contrastés et discutables car le domaine spatial est réduit et ne permet sans doute pas un échantillonnage statistique suffisamment pertinent. En revanche, sur les autres massifs, un raffinement du découpage spatial s'avère nécessaire.

Afin de mieux comprendre les incertitudes, nous avons procédé à l'évaluation comparée des rétroactions de la couverture neigeuse sur la température (Piazza et al., 2012b), dans les observations et dans le modèle régional Aladin. En effet, à l'échelle régionale, les changements liés à l'évolution climatique pourraient être grandement conditionnés par les rétroactions locales dues aux effets de l'orographie, du couplage sol-atmosphère et de la circulation de méso-échelle. L'étude des mécanismes associés à ces rétroactions a permis d'élaborer deux hypothèses principales. Dans le Sud, la rétroaction a lieu en avril, soit avec un décalage de 2 mois. C'est aussi la région où la neige, si elle est présente en février, fond le plus tôt dans la saison. Cette fonte est associée à une température de sol favorisant la condensation de l'eau atmosphérique près du sol, et la formation de brumes bloquant le rayonnement solaire. Dans l'Est et le Nord, où la température est impactée en juillet et août respectivement (soit avec un décalage de plus de 6 mois), ce sont le contenu en eau et la température des sols qui permettent la persistance de l'effet de la neige de février. La fonte au printemps va augmenter l'indice d'humidité du sol, augmentant par là sa capacité thermique ; plus il y a de neige en hiver et plus le sol reste froid, et ce plus longtemps. La température du sol est elle-même fortement corrélée à la température à 2m, via le flux de chaleur sensible.

C.5 EXPLOITATION DES RESULTATS

Les résultats ont été déposés sur le site Internet du projet. Ce site est public, pérenne, et distribue aussi bien des cartes sur la France de nombreux indices climatiques que des séries numériques quotidiennes des variables de base. Il s'agit là d'un site de téléchargement. Pour aboutir à un véritable service climatique, c'est à dire pour offrir à un utilisateur la possibilité de produire en temps réel des graphiques à partir des données de base, les sorties de modèles seront incorporés à la base de données Drias de Météo-France (ouverture mi-2012). Depuis l'annonce de l'ouverture au public du site Scampeï en novembre 2011 de nombreux téléchargements ont été réalisés et les retours sont en général positifs.

C.6 DISCUSSION

Les objectifs initiaux ont été atteints, la chaîne de production des séries nivologiques donne pour le climat de référence des résultats tout à fait comparables aux observations, ce qui n'était pas garanti au départ. Le site internet a été rempli dans les délais avec les données issues des simulations planifiées. Ainsi les résultats pour le futur gagnent en crédibilité auprès des utilisateurs potentiels. Le projet ouvre la voie à de nombreuses études économiques sur la viabilité des sites touristiques et sur l'accessibilité routière dans un milieu difficile comme la montagne. Sur le plan scientifique, ce projet ouvre la voie à l'étude d'une autre menace que le changement climatique fait peser sur la France : la réduction des ressources en eau. Les résultats d'Isba-ES ne sont pas exploitables en terme de ruissellement et d'humidité des sols profonds, mais les fichiers de forçage atmosphérique au format Safran sont disponibles. Cependant, c'est plus la technique mise au point dans Scampeï que ses résultats de 2011 qui devrait avoir un avenir. En effet dès 2012, le Giec va proposer une nouvelle famille de scénarios qui feront peu à peu autorité (les RCP). D'autre part, la confrontation avec les chercheurs du monde économique montre que le concept de tranche de temps ne leur convient pas. Il faut envisager la production de séries continues sur le 21ème siècle, même si cela pose le risque de mauvaise interprétation par le grand public (l'année 2015 d'un modèle n'est pas une prévision pour 2015).

C.7 CONCLUSIONS

Ce projet a mis en évidence un résultat assez inattendu : la durée d'enneigement diminue fortement jusqu'à une altitude de 2500 m et ce dès le milieu du 21ème siècle. A cet horizon, la réponse des températures est faible (moins de 2°C) et celle des précipitations non significative compte tenu de la forte variabilité naturelle de ce paramètre à nos latitudes. On a donc un effet amplificateur par les lois de la physique que les modèles prennent en compte, surtout quand ils sont à haute résolution horizontale. Ce résultat est robuste quand on change de modèle de climat ou de technique statistique, avec bien sûr une modulation de la réponse. Le risque d'avalanche, qui aurait pu augmenter avec l'augmentation des cycles chutes de neige importantes suivies de fonte rapide, diminue significativement.

Ce projet confirme également des résultats de projets nationaux ou européens sur la raréfaction des vagues de froid, l'augmentation des vagues de chaleur, l'accentuation des sécheresses (sauf pour un des trois modèles) accompagnée de l'augmentation des phénomènes précipitants intenses. Il confirme aussi l'absence d'augmentation significative des tempêtes. A la différence des projets précédents, la représentation du climat de référence est beaucoup plus fidèle à la réalité grâce aux analyses Safran, ce qui rend les données plus crédibles pour des études d'impact.

C.8 REFERENCES

- Beniston, M., 2003: Climatic change in mountain regions: A review of possible impacts. *Climatic Change* 59, 5-31.
- Boé J., L. Terray, F. Habets and E. Martin, 2006: A simple statistical-dynamical downscaling scheme based on weather types and conditional resampling. *J. Geophys. Res.*, 111, D23106.
- Boone, A. and P. Etchevers, 2001: An inter-comparison of three snow schemes of varying complexity coupled to the same land-surface model: Local scale evaluation at an Alpine site, *J. Hydrometeorol.*, 2, 374-394.

Brun, E, P. David, M. Sudul and G. Brugnot, 1992: A numerical model to simulate snow cover stratigraphy for operational avalanche forecasting. *Journal of Glaciology* 38(128), 13-22.

Christensen, J.H. and 16 coauthors, 2007: Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Colin et. al., 2010 : cf section E2

Déqué, M., 2007: Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: model results and statistical correction according to observed values. *Global and Planetary Change*, 57, 16-26.

Déqué, M. and Somot, S., 2008: Extreme precipitation and high resolution with Aladin. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 112, 179-190

Déqué, M., 2010: cf section E2

Gallée, H., W. Moufouma-Okia, P. Bechtold, O. Brasseur, I. Dupays, P. Marbaix, C. Messenger R. Ramel and T. Lebel, 2004 : A high resolution simulation of a West African rainy season using a regional climate model. *Journal of Geophysical Research* 109, D05108, doi 10.1029/2003JD004020.

Goodess, C.M., D. Jacob, M. Déqué, J. M. Gutiérrez, R. Huth, E. Kendon, G. C. Leckebusch, P. Lorenz, and V. Pavan, 2009: Downscaling methods, data and tools for input to impacts assessments. In : *ENSEMBLES: Climate change and its impact at seasonal, decadal and centennial time scales*. Eds. van der Linden, P., and J. F. B. Mitchell, 59-78.

Goubanova, K., and L. Li, 2007: Extremes in temperature and precipitation around the Mediterranean basin in an ensemble of future climate scenario simulations. *Global and Planetary Change*, 57, 27-42.

Pavlova et al., 2012: cf section E2

Piazza et al., 2012a: cf section E2

Piazza et al., 2012b: cf section E2

Quintana-Seguí, P., P. Le Moigne, Y. Durand, E. Martin, F. Habets, M. Baillon, C. Canellas, L. Franchisteguy and S. Morel, 2008: Analysis of Near-Surface Atmospheric Variables: Validation of the SAFRAN Analysis over France. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 47, 92–107.

Rousselot et al., 2012: cf section E2

D LISTE DES LIVRABLES

Quand le projet en comporte, reproduire ici le tableau des livrables fourni au début du projet. Mentionner l'ensemble des livrables, y compris les éventuels livrables abandonnés, et ceux non prévus dans la liste initiale.

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
01/06/09	1.1	Sept simulations de 30 ans avec Aladin	données	GAME	
01/12/10	1.2	Cinq simulations de 30 ans avec LMDZ	données	LMD	
01/04/11	1.3	Trois simulations de 30 ans avec MAR	données	<u>LGGE</u> , LMD	

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (<u>souligner le responsable</u>)	Commentaires
01/01/10	2.1	Nouvel algorithme de descente d'échelle statistique adapté aux zones de montagne	logiciel	CERFACS	
01/06/10	2.2	Adaptation statistique des simulations Aladin	données	GAME	
01/06/10	2.3	Adaptation statistique des simulations CMIP3	données	CERFACS	
01/03/11	2.4	Comparaison descente d'échelle statistique et dynamique	rapport	<u>CERFACS</u> , GAME	
01/04/11	2.5	Adaptation statistique des simulations LMDZ	données	<u>GAME</u> , LMD	
01/06/11	2.6	Adaptation statistique des simulations MAR	données	<u>GAME</u> , LGGE	
01/06/11	2.7	Rétroactions en descente d'échelle statistique et dynamique	rapport	CERFACS	
01/03/09	3.1	Site web du projet	données	GAME	
01/11/11	3.2	Base de données du projet	données	<u>GAME</u> , LMD, CERFACS, LGP, LGGE	
01/01/10	4.1	Modèle de surface adapté (ISBA/ES)	logiciel	GAME	
01/09/11	4.2	Simulations ISBA/ES pilotées par CMIP3	données	<u>GAME</u> , CERFACS	
01/03/11	4.3	Simulations ISBA/ES pilotées par Aladin	données	GAME	
01/04/11	4.4	Simulations ISBA/ES pilotées par LMDZ	données	GAME, LMD	
01/06/11	4.5	Simulations ISBA/ES pilotées par LGGE	données	GAME, LGGE	
01/01/10	5.1	Préparation du modèle de neige (CROCUS)	logiciel	GAME	
01/12/10	5.2	Simulations CROCUS pilotées par CMIP3	données	<u>GAME</u> , CERFACS	
01/12/10	5.3	Simulations CROCUS pilotées par Aladin	données	GAME	

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
01/06/11	5.4	Simulations CROCUS pilotées par LMDZ	données	<u>GAME</u> , LMD	
01/10/11	5.5	Simulations CROCUS pilotées par MAR	données	<u>GAME</u> , LGGE	
01/12/11	5.6	Analyses MEPRA	rapport	GAME	
01/10/11	6.1	Modèle probabiliste de coulée de débris	logiciel	LGP	
01/11/11	6.2	Quantification du risque d'interruption de réseau	données	<u>LGP</u> , GAME	
01/12/11	6.3	Publication des résultats dans un journal	publication	<u>LGP</u> , GAME	
01/06/11	7.1	Première évaluation des incertitudes	rapport	CERFACS	
01/12/11	7.2	Identification des mécanismes sources des incertitudes	rapport	CERFACS	
01/02/12	7.3	Évaluation finale des incertitudes	publication	<u>CERFACS</u> , GAME, LMD, LGGE	

E IMPACT DU PROJET

Ce rapport rassemble des éléments nécessaires au bilan du projet et plus globalement permettant d'apprécier l'impact du programme à différents niveaux.

E.1 INDICATEURS D'IMPACT

Nombre de publications et de communications (à détailler en E.2)

Comptabiliser séparément les actions monopartenaies, impliquant un seul partenaire, et les actions multipartenaies résultant d'un travail en commun.

Attention : *éviter une inflation artificielle des publications, mentionner uniquement celles qui résultent directement du projet (postérieures à son démarrage, et qui citent le soutien de l'ANR et la référence du projet).*

		Publications multipartenaies	Publications monopartenaies
International	Revue à comité de lecture	3	3
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage		3
	Communications (conférence)	5	8
France	Revue à comité de lecture	1	
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage		1
	Communications (conférence)		9
Actions de	Articles vulgarisation		

diffusion	Conférences vulgarisation	1	
	Autres		

Autres valorisations scientifiques (à détailler en E.3)

Ce tableau dénombre et liste les brevets nationaux et internationaux, licences, et autres éléments de propriété intellectuelle consécutifs au projet, du savoir faire, des retombées diverses en précisant les partenariats éventuels. Voir en particulier celles annoncées dans l'annexe technique).

	Nombre, années et commentaires (valorisations avérées ou probables)
Brevets internationaux obtenus	
Brevet internationaux en cours d'obtention	
Brevets nationaux obtenus	
Brevet nationaux en cours d'obtention	
Licences d'exploitation (obtention / cession)	
Créations d'entreprises ou essaimage	
Nouveaux projets collaboratifs	
Colloques scientifiques	1, 2011
Autres (préciser)	1, 2010 (développement et amélioration du logiciel DSCLim) 1, 2011 (base de données météo-nivologiques publique)

E.2 LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

Publications à comité de lecture

Colin, J., Déqué, M., Radu, R. and Somot, S., 2010: Sensitivity study of heavy precipitation in Limited Area Model climate simulations: influence of the size of the domain and the use of the spectral nudging technique, *Tellus A*, 62, 591-604

Déqué, M., 2010: Regional climate simulation with a mosaic of RCMs. *Meteorol. Z.*, 19, 259-266

Pavlova, I., Jomelli, V., Grancher, D., Brunstein, D., Déqué, M., Martin, E., Li, L., Gallée, H. and Gobiet, A., 2012. Impact of future climatic change on debris flows occurrence in the French Alps based on ensemble simulations. *Climatic Change*, à soumettre

Pavlova, I., Jomelli, V., Grancher, D., Brunstein, D., Martin, E. and Déqué, M., 2012. Debris Flow activity related to current climate conditions in the French Alps: a regional investigation based on SAFRAN reanalyzed data. *Geomorphology*, submitted.

Piazza, M., Déqué, M., Durand, Y., Etchevers, I., Giraud, G., Martin, E., Merindol, L., Pagé, C., Sanchez-Gomez, E., Rousselot, M., Terray, L., 2012a. Évaluation du changement climatique sur les zones de montagne en France à partir des méthodes de régionalisation. *La Houille Blanche*. Sous presse.

Piazza, M., Boé, J., Terray, L., Pagé, C., Sanchez-Gomez, E. and Déqué, M., 2012b. Snowfall changes over the French Alps: the role of temperature. *Climatic Change*, submitted

Rousselot, M., Durand, Y., Giraud, G., Méridol, L., Dombrowsky-Etchevers, I. and Déqué, M., 2012 : Statistical adaptation of ALADIN RCM outputs over the French alpine massifs. Application to future climate and snow cover. *The Cryosphere*, submitted

Ouvrages ou chapitres d'ouvrages

Leone F., Deymier J., Jomelli V., Chapelon L., Bouhet O., Colas A., Vinet F. et Cherel J. P., 2011: Vulnérabilités des réseaux routiers face aux debris flows dans les Alpes. Quantification des risques et modélisation de l'accessibilité territoriale. Partie 1 : Approche régionale. Vulnérabilités des réseaux routiers et dégradation de l'accessibilité territoriale (Alpes-de-Haute-Provence, Hautes-Alpes, Savoie). Partie 2 : Approche locale. Diagnostic intégré du risque torrentiel et accessibilité routière des secours sur cinq bassins-versants. Moyenne vallée de l'Ubaye (Alpes-de-Haute-Provence) - Rapport WP6, Projet ANR SCAMPEI, UMR GRED (ex. EA GESTER), Université Montpellier 3, 135 p.

Jomelli, V., 2011. Lichenometric dating of debris-flow deposits with an example in part of the French Alps. In: Tracking Torrential Processes on Fans and Cones. M. Bollschweiler, M. Stoffel and F. Rudolf-Miklau Springer eds. In press.

Jomelli, V., Pavlova, I., Utasse, M., Chenet, M., Grancher, D., Brunstein, D., and Leone, F., 2011. Are debris floods and debris avalanches responding univocally to recent climatic change: A case study in the French Alps. In: Climate change 1, Intech Blanco J.A. Kheradmand, H. (Eds) ISBN 978-953-307-419

Pavlova, I., Jomelli, V., Grancher, D., Brunstein, D., and Vrac, M., 2011. Debris flow occurrence and meteorological factors in the French Alps: a regional investigation. *Debris flow hazards mitigation*; Genevois, Hamilton & Prestininzi (ed), La sapienza, 127-135.

Rapports techniques

Déqué, M., Martin E. and Kitova N., 2011: Response of the snow cover over France to climate change. *Research activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*, 41, 7.11-7.12

Durand, Y., 2011 : MEPRA : Modèle Expert de Prévision du Risque d'Avalanches. Notice technique CNRM/CEN.

Pagé, C., Terray, L. and Boé, J., 2009: DSCLim: A software package to downscale climate scenarios at regional scale using a weather-typing based statistical methodology. Technical Report , CERFACS.

Piazza, M., 2011. Snowfall changes over the French Alps: the role of temperature. Technical report, CERFACS.

Piazza, M., Boé, J., Pagé, C., Sanchez-Gomez, E. et Terray, L., 2011: Evaluation comparée des rétroactions de la couverture neigeuse sur la température, dans les observations et dans le modèle régional ALADIN. Technical Report , CERFACS.

Piazza, M., Boé, J., Pagé, C., Sanchez-Gomez, E. et Terray, L., 2011: Première évaluation des incertitudes. Technical Report , CERFACS.

Piazza, M., Pagé, C., Sanchez-Gomez, E. et Terray, L., 2011: Comparaison des méthodes de désagrégation statistique et dynamique pour l'évaluation du changement climatique sur les zones de montagnes en France. Technical Report , CERFACS.

Conférences internationales

Colin J. : The evolution of extreme precipitations in high resolution scenarios over France. 9th EMS Annual Meeting, Toulouse, 15 octobre 2009

Colin J., Déqué M., Somot S., Sanchez Gomez E. : Comparison of dynamical and statistical downscaling of extreme precipitation over France in present-day climate, EGU assembly, Vienne, 14 mai 2010

Déqué M. : Scénarios de couverture de neige sur les massifs montagneux français. Séminaire de l'UQAM, Montréal, 23 août 2011 (invité)

Déqué M. : Scenarios for snow cover over the French mountains :the Scampeï project. NorWRF workshop, Bergen, 7 septembre 2011 (invité)

- Jomelli, V., Brunstein, D., Grancher, D., Pavlova, I.: Climatic and Geomorphic Factors Controlling the Activity of Debris Flows: A Hierarchical Analysis. 7th International Conference on Geomorphology (ANZIAG) 6 - 11 July 2009 Melbourne Convention and Exhibition Centre, Melbourne, 11 juillet 2009
- Kitova, N., Martin, E., Déqué, M., Pagé, C., Sanchez, E., Li, L. and Gallée, H. : Impact of climate change on snow cover in the mountainous regions of France using high resolutions climate simulations EGU General assembly, Vienne, avril 2011
- Mérindol, L., Marie Rousselot, M., Gérald Giraud, G. et Y. Durand: Le changement climatique en zone de montagne. Journée Changement climatique et agriculture alpine Quels impacts, quelles adaptations ? St Baldoph, 5 novembre 2010
- Pagé, C., Sanchez-Gomez, E. and Terray, L.: Statistical downscaling with a weather typing approach: adapting the methodology to France mountainous areas. 2009 AGU Fall Meeting, San Francisco, 16 décembre 2009
- Pavlova, I., Eckert, N., Jommelli, V., Grancher, D. and Brunstein, D.: Debris flow and climate relations in the North French Alps region. European Geosciences Union General Assembly 2011, Vienne, 4 avril 2011
- Pavlova, I., Jomelli, V., Brunstein, D. and Grancher, D.: Debris flow occurrence future changes in high populated mountains (French Alps). Sixth EGU Alexander von Humboldt International Conference on Climate Change, Natural Hazards, and Societies Merida, Mexico, 14 mars 2010
- Rousselot, M., Durand, Y., Giraud, G., Mérindol, L. et Déqué, M.: Statistical downscaling of regional climate scenarios for the French Alps : Impact on snow cover. Ecole d'été sur l'analyse des événements extrêmes en géosciences et leur modélisation statistique, Aussois, 6 septembre 2010
- Rousselot, M., Durand, Y., Giraud, G., Mérindol, L., Déqué, M., Sanchez, E., Pagé, C. and Hasan, A.: Statistical downscaling of regional climate scenarios for the French Alps : Impacts on snow cover. 2010 AGU Fall Meeting, San Francisco, 15 décembre 2010
- Sanchez-Gomez, E., Pagé, C., Déqué, M. and Terray, L.: Statistical versus dynamical downscaling over the mountainous regions in France: a performance evaluation and comparison of several scenarios. 2010 AGU Fall Meeting, San Francisco, 14 décembre 2010

Conférences nationales

- Colin J., Déqué M., Joly B., Nuissier O. et Somot S.: Représentation des évènements de pluies intenses dans le Sud-Est de la France par le modèle Aladin-Climat : comparaison à une méthode de downscaling statistique, Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère, Toulouse, 28 janvier 2010
- Déqué M. : Le changement climatique en Poitou-Charente. Colloque INRA-Chambre régionale d'agriculture, Melle (79), 6 décembre 2011 (invité)
- Déqué M. : Les échelles globales et régionales : quels scénarios et quels outils. Atelier GMES, Paris, 8 juin 2011
- Déqué M.: Les climats possibles au 21ème siècle: de la Planète à l'Hexagone. Séminaire ENGEES, Strasbourg, 4 juin 2010 (invité)
- Giraud, G., Rousselot, M., Durand, Y., Etchevers, I. et Mérindol, L.: Changement climatique et évolution de l'enneigement sur les Alpes françaises. SRCAE de la Région Rhone-Alpes, (Schéma Régional Climat Air Energie) Lyon ; mai 2011.
- Leone F., Deymier, J., Chapelon, L. et Jomelli, V. : Risques naturels et accessibilité territoriale : le cas des debris flows dans les Alpes -- In : /Actes du colloque international « Fonder les sciences du territoire »/, CIST, Paris, novembre 2011, pp. 290-296.
- Leone, F., Deymier J., Chapelon, L. et Jomelli V.: Vulnérabilité des réseaux routiers et modélisation de l'accessibilité routière en cas de laves torrentielles dans les Alpes-- /Actes du colloque

inaugural du centre Séolane, Les cahiers de Séolane/, n°1, Barcelonnette, septembre 2011, France, 6 p.

Leone, F., Deymier, J., Chapelon, L., Colas, A., et Jomelli V. : Debris flows et accessibilité routière dans les Alpes françaises : caractérisation et modélisation des vulnérabilités physiques, fonctionnelles et territoriales -- In : /Actes du XXIVème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie/, Rovereto, Italie, septembre 2011, pp. 369-374.

Pavlova, I., Grancher, D., Brunstein, D. et Jomelli, V.: Application d'un modèle intensité/durée des précipitations sur le déclenchement des laves torrentielles dans les Alpes Françaises. Journées des Jeunes Géomorphologues, Paris, 6 février 2010

Pavlova, I., Jomelli, V., Brunstein, D., Grancher, D., Martin, E. et M. Déqué: Comment les laves torrentielles se déclenchent dans les Alpes françaises? Journees des jeunes geomorphologues JJG 2012, Strasbourg, 27 janvier 2012

Pavlova, I.: Application d'un modèle intensité/durée des précipitations sur le déclenchement des laves torrentielles dans les Alpes Françaises. Journées des jeunes géomorphologues, Paris, 5 février 2010

Piazza, M.: Évaluation du changement climatique sur les zones de montagne en France à partir des méthodes de régionalisation. Colloque SHF : Eau en montagne, Lyon, 16 avril 2011

E.3 LISTE DES ELEMENTS DE VALORISATION

*La liste des éléments de valorisation inventorie les retombées (autres que les publications) décomptées dans le deuxième tableau de la section **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** On détaillera notamment :*

- brevets nationaux et internationaux, licences, et autres éléments de propriété intellectuelle consécutifs au projet.
- logiciels et tout autre prototype
- actions de normalisation
- lancement de produit ou service, nouveau projet, contrat,...
- le développement d'un nouveau partenariat,
- la création d'une plate-forme à la disposition d'une communauté
- création d'entreprise, essaimage, levées de fonds
- autres (ouverture internationale,..)

Elle en précise les partenariats éventuels. Dans le cas où des livrables ont été spécifiés dans l'annexe technique, on présentera ici un bilan de leur fourniture.

Colloque de restitution des résultats scientifiques du projet Scampeï concernant les zones de montagne. Grenoble (LGGE), le 28 novembre 2011. Dix intervenants pour une soixantaine de participants du monde scientifique et des professionnels de la montagne (sur invitation).

Logiciel DSCLim: Logiciel sous licence CeCILL créé et développé au Cerfacs. Développement scientifique et amélioration de la configuration et de la méthodologie de ce logiciel de désagrégation statistique des scénarios climatiques. <http://www.cerfacs.fr/~page/work/dsclim/>

Base de données Scampeï. Un serveur pérenne est installé à Météo-France. Il offre un accès public (<http://www.cnrm.meteo.fr/scampeï/>) aux séries quotidiennes des variables météorologiques et nivologiques des scénarios du projet. Le choix se fait par commune ou par combinaison zone climatique/altitude

AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE



Compte-rendu de fin de projet

E.4 BILAN ET SUIVI DES PERSONNELS RECRUTES EN CDD (HORS STAGIAIRES)

Ce tableau dresse le bilan du projet en termes de recrutement de personnels non permanents sur CDD ou assimilé. Renseigner une ligne par personne embauchée sur le projet quand l'embauche a été financée partiellement ou en totalité par l'aide de l'ANR et quand la contribution au projet a été d'une durée au moins égale à 3 mois, tous contrats confondus, l'aide de l'ANR pouvant ne représenter qu'une partie de la rémunération de la personne sur la durée de sa participation au projet.

Les stagiaires bénéficiant d'une convention de stage avec un établissement d'enseignement ne doivent pas être mentionnés.

Les données recueillies pourront faire l'objet d'une demande de mise à jour par l'ANR jusqu'à 5 ans après la fin du projet.

Identification				Avant le recrutement sur le projet			Recrutement sur le projet				Après le projet				
Nom et prénom	Sexe H/F	Adresse email (1)	Date des dernières nouvelles	Dernier diplôme obtenu au moment du recrutement	Lieu d'études (France, UE, hors UE)	Expérience prof. Antérieure, y compris post-docs (ans)	Partenaire ayant embauché la personne	Poste dans le projet (2)	Durée missions (mois) (3)	Date de fin de mission sur le projet	Devenir professionnel (4)	Type d'employeur (5)	Type d'emploi (6)	Lien au projet ANR (7)	Valorisation expérience (8)
Rousselot Marie	F	Marie.Rousselot@meteo.fr	01/01/12	thèse	France, hors UE	3	GAME	post-doc	20	30/04/11	Etudiante	néant			Oui
Majidi, Hakim	M	hakim.majidi@yahoo.fr	30-06-2010	ingénieur	France	0	LGGE	ingénieur	14	31/12/10	CDD	Recherche publique	ingénieur	Oui	Oui
Pavlova Irina	F	Pavlova@cnrs-bellevue.fr	31/12/11	M2	Hors UE	0	LGP	doctorant	36	31/12/11	Etudiante	Recherche publique	Doctorante	Oui	Oui
Liu Lin	M	llimd@lmd.jussieu.fr	31/12/11	thèse	Hors UE	0	LMD	post-doc	12	31/12/10	CDI	Recherche publique	chercheur	Non	Oui
Piazza Marie	F	marie.piazza@cerfacs.fr	Janvier 2012	M2	France	0,5	CERFACS	Ingénieure d'étude	12	30/09/11	Étudiante	Société Civile	Doctorante	Oui	Oui
Sanchez Emilia	F	emilia.sanchez@cerfacs.fr	Janvier 2012	Thèse	France	7	CERFACS	Chercheure	36	31/12/11	CDI	Société Civile	Chercheure	Oui	Oui
Kitova Nadia	F	nadiakitova@yahoo.com	01/01/12	Thèse	France	1	CNRM-GAME	Post-doc	8	31/12/11	Recherche d'emploi	néant			
Vial Jessica	F	Jessica.vial@lmd.jussieu.fr	31/12/11	M2	UE	0	LMD	doctorant	4	30/06/10	Etudiante	Recherche publique	Doctorante	Oui	Oui

Aide pour le remplissage

- (1) **Adresse email** : indiquer une adresse email la plus pérenne possible
- (2) **Poste dans le projet** : post-doc, doctorant, ingénieur ou niveau ingénieur, technicien, vacataire, autre (préciser)
- (3) **Durée missions** : indiquer en mois la durée totale des missions (y compris celles non financées par l'ANR) effectuées sur le projet
- (4) **Devenir professionnel** : CDI, CDD, chef d'entreprise, encore sur le projet, post-doc France, post-doc étranger, étudiant, recherche d'emploi, sans nouvelles
- (5) **Type d'employeur** : enseignement et recherche publique, EPIC de recherche, grande entreprise, PME/TPE, création d'entreprise, autre public, autre privé, libéral, autre (préciser)
- (6) **Type d'emploi** : ingénieur, chercheur, enseignant-chercheur, cadre, technicien, autre (préciser)
- (7) **Lien au projet ANR** : préciser si l'employeur est ou non un partenaire du projet
- (8) **Valorisation expérience** : préciser si le poste occupé valorise l'expérience acquise pendant le projet.

Les informations personnelles recueillies feront l'objet d'un traitement de données informatisées pour les seuls besoins de l'étude anonymisée sur le devenir professionnel des personnes recrutées sur les projets ANR. Elles ne feront l'objet d'aucune cession et seront conservées par l'ANR pendant une durée maximale de 5 ans après la fin du projet concerné. Conformément à la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 modifiée, relative à l'Informatique, aux Fichiers et aux Libertés, les personnes concernées disposent d'un droit d'accès, de rectification et de suppression des données personnelles les concernant. Les personnes concernées seront informées directement de ce droit lorsque leurs coordonnées sont renseignées. Elles peuvent exercer ce droit en s'adressant l'ANR (<http://www.agence-nationale-recherche.fr/Contact>).