



WP6 "Risk Prevention and Risk Management"

Actes du séminaire international d'experts

**« Adaptation de la gestion des risques naturels
face au changement climatique »**

26 janvier 2011, Domancy (Haute-Savoie, France)

**Transcription intégrale des présentations et
discussions, validée par leurs auteurs**

Benjamin Einhorn et Carine Peisser (PARN)

Juin 2011



***Pôle Alpin d'Etudes et de Recherche
pour la Prévention des Risques Naturels***

Sommaire

Introduction de la journée

Carine PEISSER (PARN).....	2
----------------------------	---

Contributions des opérationnels

1. La prise en compte du changement climatique dans la gestion des risques naturels en Région Vallée d'Aoste

Hervé STÉVENIN (Centre fonctionnel VdA).....	3
--	---

2. L'expérience des services RTM en Haute-Savoie

Jérôme LIÉVOIS (RTM 74).....	7
------------------------------	---

3. « Permafrost » et « Mat-érosion », deux projets d'adaptation en Valais

Eric BARDOU (CREALP / Valais).....	10
------------------------------------	----

4. Prise en compte du changement climatique dans la gestion du risque inondation : l'exemple du Rhône en Valais

Tony ARBORINO (VS-Rhône).....	16
-------------------------------	----

5. Adaptation de la gestion des risques naturels en Savoie

Anne LESCURIER (CG73, Service Risques naturels).....	26
--	----

6. Adaptation de la gestion des risques naturels en Isère

Valentin LE BIDAN (CG38, Service des routes).....	32
---	----

7. L'expérience des services de secours en Haute-Savoie

Pascal STRAPPAZZON (SDIS 74).....	35
-----------------------------------	----

8. Discussion générale (part 1).....	36
--------------------------------------	----

Contributions des scientifiques

9. Analyse des séries hydrologiques alpines

Michel LANG et Antoine BARD (Cemagref Lyon).....	37
--	----

10. Discussion générale (part 2).....	40
---------------------------------------	----

11. Impact du changement climatique sur les risques d'origine glaciaire

Christian VINCENT (CNRS / LGGE).....	42
--------------------------------------	----

12. Impact du changement climatique sur les crues torrentielles

Didier RICHARD (Cemagref Grenoble).....	50
---	----

13. Discussion générale (part 3).....	54
---------------------------------------	----

14. Impact du changement climatique sur les avalanches

Nicolas ECKERT (Cemagref Grenoble).....	61
---	----

15. Eroulements rocheux et dégradation du permafrost en haute montagne

Philip DELINE (Laboratoire EDYTEM, CNRS/Université de Savoie).....	64
--	----

Discussion et synthèse finales

16. Discussion générale (part 4).....	69
---------------------------------------	----

Conclusion de la journée : essai de synthèse des points importants

Carine PEISSER (PARN).....	73
----------------------------	----

Glossaire des sigles et acronymes.....	75
--	----

Introduction de la journée – Carine PEISSER (PARN)

Ce séminaire d'expert est organisé par le Pôle Alpin d'étude et de recherche sur la prévention des Risques naturels dans le cadre du projet *AdaptAlp*. Il s'agit d'un projet de l'Espace Alpin sur l'adaptation au changement climatique dans le domaine des risques naturels. D'une durée de 3 ans (2008-2011), il s'inscrit dans le programme de Coopération Territoriale Européenne 2007-2013 (Interreg IV), dans son volet B Espace Alpin, Priorité 3 Environnement et prévention des risques.

Ce projet regroupe 16 partenaires de 6 pays alpins (Allemagne, Autriche, France, Italie, Slovénie, Suisse) avec comme porteur de projet le ministère de l'Environnement du Land de Bavière (StMUG).

Le cœur du projet est axé autour de trois groupes de travail techniques (Work Package) :

- WP4 : régimes hydrologiques ;
- WP5 : cartographie des phénomènes naturels ;
- WP6 : prévention et gestion des risques naturels, avec une attention particulière à la gestion intégrée.

Deux des objectifs du WP6, dans lequel s'intègre ce séminaire, sont (1) de développer et promouvoir les échanges transnationaux et la coopération en ce qui concerne les méthodes de prévention et de gestion des risques et (2) de fournir des éléments à intégrer dans la Directive Inondation et la Directive INSPIRE sur l'échange de données.

Le séminaire international d'expert «Adaptation de la gestion des risques naturels face au changement climatique» vise ces deux objectifs. Il est l'occasion pour les experts de Rhône-Alpes, Vallée d'Aoste et Valais d'exposer et d'échanger leurs connaissances sur ce thème, afin d'une part de faire le point sur les aspects pratiques, techniques d'adaptation et dans un deuxième temps d'en débattre afin de proposer des recommandations destinées aux gestionnaires de territoires mais aussi aux décideurs.

Pour le Pôle Alpin Risque naturel, ce séminaire est une suite logique de la mise en œuvre de la Plateforme de connaissance *Alpes-Climat-Risques*¹ dans le cadre du projet *ClimChAlp* (travaux de synthèses bibliographiques sur les impacts du changement climatique, mis en ligne et actualisés périodiquement). Il ne s'agit pas de refaire état de connaissances scientifiques accessibles sur cette plateforme mais bien d'apporter le point de vue pratique des techniciens et gestionnaires de territoire, en s'attachant plus particulièrement à deux questions :

Q1: Quels sont les manques actuels, en terme de données, de structures, d'organisation... ?

Q2: Quels sont les stratégies d'adaptation possibles et le cas échéant quelles sont leurs difficultés pratiques de mise en œuvre ?

Pour répondre le plus complètement possible à ces questions la réflexion peut s'articuler autour de trois thèmes :

T1 : Les données sur les phénomènes naturels

T2 : La vulnérabilité du territoire : dans quelle mesure les différents services tiennent-ils compte de la vulnérabilité des biens, des personnes

T3 : L'information des collectivités territoriales et du public

¹ www.risknat.org/projets/alpes-climat-risques/

1. La prise en compte du changement climatique dans la gestion des risques naturels en Région Vallée d'Aoste – Hervé STÉVENIN (Centre fonctionnel VdA)

Le centre fonctionnel de la région autonome Vallée d'Aoste est organisé en trois bureaux pour la gestion des risques naturels :

- Prévision météorologique, prévision des crues (à échéance 2-3 jours) et alerte,
- Prévision des avalanches,
- Suivi des grands mouvements de terrain (monitoring en continu sur 5 sites).

Prise en compte du changement climatique dans la gestion des risques naturels en Vallée d'Aoste

Différentes activités sont en lien avec l'évaluation des effets du changement climatique sur le territoire :

- monitoring des glaciers (Fondation Montagne Sûre),
- réseau de 120 stations météorologiques,
- études sur des petits bassins versants pour comprendre leur évolution (passage du système glaciaire au système nival),
- participation à une dizaine de projets sur la thématique du changement climatique.

Aucune action spécifique d'adaptation au changement climatique n'a encore été mise en œuvre au niveau opérationnel en Vallée d'Aoste. Cependant, suite à la Directive européenne sur les inondations (2007), la prise en compte du changement climatique est inscrite dans la loi italienne de février 2010, qui prévoit d'adapter dès 2011 les outils opérationnels de prévention des risques d'inondation, notamment en reconsidérant les temps de retour pris en compte dans la cartographie des risques :

« L'évaluation préliminaire des risques d'inondation nous fournit une évaluation des risques potentiels basée sur les données enregistrées et des analyses rapides. En particulier, il faut tenir compte des conséquences des changements climatiques, surtout pour les éléments de cartographie et de dimensionnement. »

Il conviendrait de savoir s'il existe d'autres exemples nationaux de traduction réglementaire de la Directive Inondations prenant en compte le changement climatique. Il paraît indispensable d'étudier une stratégie commune aux différents gestionnaires du risque pour mettre en œuvre cette directive de manière coordonnée dans les différents pays alpins.

Manques constatés et difficultés rencontrées

En matière de prévision des risques naturels, le niveau d'incertitude est déjà élevé sans tenir en compte des changements climatiques. Tout d'abord, il y a un **besoin fort de disposer de davantage de données** sur les phénomènes. Un important travail a été fait en la matière au cours des dernières années :

- suite aux crues d'octobre 2000, le réseau de mesures météorologiques est passé d'une quinzaine à plus de 120 stations (voir ci-dessous),
- des études théoriques sont menées sur la cartographie du pergélisol,
- des cartes de dangers et de risque sont réalisées, mais reste un travail pour mieux les articuler et les rendre opérationnelles.

D'une part les méthodologies et les modèles utilisés sont améliorables, mais d'autre part on ne dispose pas toujours de **bases de données suffisamment précises** pour exploiter correctement la capacité des outils existants (ex.: modélisations de chutes de bloc sophistiquées appliquées sur MNT avec un pas de 10 mètres).

De surcroît, on n'est pas à même de tenir compte de toutes les variables liées aux changements climatiques, déjà d'un point de vue théorique : il s'avère donc très difficile de prendre en compte ces changements dans la gestion opérationnelle des risques.

On dispose de premières évaluations sur les changements déjà observés, par exemple :

- données sur les variations des régimes hydrologiques et hydrauliques liées à l'évolution des régimes nival et glaciaire au cours des 25 dernières années (intérêts de l'industrie hydroélectrique). Pour autant, les scénarios d'évolution des systèmes glaciaires et des risques associés sont toujours aussi difficile à intégrer ;
- études sur les glaciers et les aires desenglacées (Cadastre à jour ; projet *GlaRiskAlp*) et sur le pergélisol (projet *PermaNET*; projet *RiskNat BI-CI*) pour observer l'agrandissement des aires couvertes de débris non consolidés ;
- mise à jour des paramètres de régionalisation de pluie (sur la base des données les plus récentes) ;
- bases de données importante des phénomènes d'écroulement/mouvements de terrain (projet *IFFI*) permettant des analyses de distribution par milieux morpho-climatique et l'étude des variations de l'altitude typique des phénomènes.

Mais « il y a une grande différence entre études et pratique ». On est **loin de disposer de prévisions pour le futur**, les hypothèses étant encore de type qualitatif.

Au niveau pratique, on est contraint à une **priorisation des interventions** du fait d'une part de ressources financières limitées, et d'autre part d'une certaine difficulté pour justifier des interventions entraînant des couts majeurs sur la base d'hypothèses sur les changements climatiques. Pourtant des ressources financières majeures seront probablement nécessaires dans le futur à cause d'une urbanisation toujours croissante et de phénomènes plus fréquents/intenses.

D'un point de vue conceptuel, les manques conceptuels constatés en Italie (par rapport à la Suisse entre autre) sont :

- un manque d'acceptation du **risque résiduel** (seuils d'acceptabilité), de la part du système judiciaire comme de la part de la population ;
- un manque des concepts d'**autoresponsabilité** et d'autoprotection des individus ;
- une **faible culture du risque** (tout doit être contrôlé et garanti par les gestionnaires du risque).

Les données sur les phénomènes naturels en Vallée d'Aoste

Pluies

Il existe une quantité importante de données, toutefois insuffisantes pour évaluer des tendances de changement (manque de séries historiques). De gros efforts sont déployés pour **actualiser les données** de manière régulière, en vue d'envisager des hypothèses sur les tendances futures (avec tout de même des périodes limitées), ce qui est une façon indirecte de tenir compte des changements climatiques. Il manque des analyses des pluies intenses et des analyses de tendance dans les fréquences.

Par ailleurs, des travaux sont consacrés à l'amélioration du réseau météorologique, notamment en altitude, avec par exemple l'installation d'instruments assez performants pour mesurer la pluviométrie à 3000m. On est ainsi passé de 16 stations (en 2000) à 110 stations (en 2010), complétées de 17 stations de l'ARPA (à partir du 1992).

Ainsi, on améliore peu à peu la quantité et la qualité des données. En particulier, on peut améliorer les connaissances concernant les tendances sur les 60 dernières années. Concernant les données actuelles et futures, il est indispensable de constituer et de maintenir des bases de données de bonne qualité, de façon à pouvoir faire dans 50 ans des analyses statistiques sur des bases solides.

Débits

On dispose de peu de données historiques et il est difficile de reconstruire le débit naturel des cours d'eau influencés de longue date par les activités humaines (anthropisation, prélèvements/relâchements à buts hydroélectriques ou irrigation).

Neige

On dispose de peu de données en haute altitude. Par exemple, une étude de régionalisation (calcul des hauteurs de neige pour la construction d'ouvrages de protection) faite récemment s'est avérée biaisée parce qu'elle était basée sur un nombre insuffisant de données.

Ecroulements et mouvements de terrain

On est confronté à l'impossibilité de quantifier les changements (fréquence, temps de retour, etc.). Il s'agit de phénomènes peu prévisibles, difficiles à comprendre et dont l'activité est difficile à relier au changement climatique de manière univoque (il est même difficile de la relier aux pluies, ou encore à l'action du gel...).

Echanges de données

On note une **discordance d'échelle** entre les données disponibles et la décision/l'action même si on dispose de réseaux de mesure performants. De ce fait, l'échange de données est utile, et à renforcer. Par exemple, en Italie, chaque région gère ses propres données météorologiques, contrairement à la Suisse et à la France où les données sont gérées de manière centralisée par Météo-Suisse et Météo-France.

Il est important de partager l'organisation et la validation des données pour développer des bases de données communes, afin d'être en mesure d'étudier le changement climatique :

- **au niveau régional**, par exemples grâce à la collaboration (dans les deux sens) avec les gestionnaires de l'industrie hydroélectrique, qui disposent d'un réseau important et qui fournissent en temps réel les données des débits produits dans chaque centrale, ce qui permet de compléter les données d'entrée des modèles hydrologiques de prévision des débits (Fig. 1). Ils disposent également d'un réseau de pluviomètres, avec lequel le réseau du Centre fonctionnel de la région Vallée d'Aoste est en cours d'harmonisation.

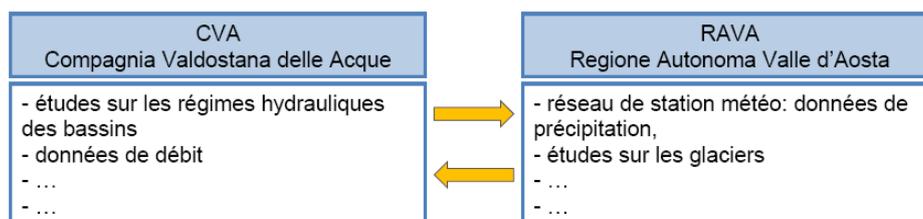


Fig. 1. Echange de données entre centre fonctionnel de la région VdA et l'industrie hydroélectrique

- **au niveau alpin**, via les projets Interreg qui favorisent les échanges transnationaux. Les échanges sont plus faciles entre organismes publics, mais ils présentent encore des difficultés, du fait des différences de format de données, et de problèmes liés à la propriété des données. Des échanges de données avec la France sont en cours au niveau transfrontalier dans le cadre du projet Alcotra *RiskNat*, en particulier via une convention avec Météo-France (et on l'espère avec Météo-Suisse).

La vulnérabilité du territoire

Il existe des cartes de dangerosité satisfaisantes (établies au niveau régional ?), qui toutefois doivent encore être harmonisées, mais on ne dispose pas encore de cartes de vulnérabilité « bien faites », et donc pas de cartes de risque vraiment opérationnelles. Il est donc difficile d'y insérer des considérations relatives au changement climatique.

A niveau local **la Commune doit évaluer la vulnérabilité sur son territoire** pour la définition des plans de protection civile pour la gestion de la crise, et les cartes de dangerosité et les plans de protection civile sont obligatoires pour chaque commune.

Par ailleurs, on constate le manque **d'un système d'assurances** utile pour la définition (économique) des valeurs des biens et des personnes (contrairement à la Suisse où les assurances sont beaucoup plus impliquées – et établissent leurs propres cartes de vulnérabilité ?-). La valeur des vies humaines n'est pas prise en compte (car il n'existe pas de moyen pour la calculer).

Chacune des 74 collectivités de la Vallée d'Aoste a un plan opérationnel de protection civile, qui en théorie doit tenir compte de la vulnérabilité, ce qui nécessite encore beaucoup de travail (quatre communes pilotes travaillent sur cette question). On souhaite arriver à une **intégration des plans de protection civile au niveau régional**, pour gérer les situations de crises intercommunales : l'administration est en train d'acquérir toutes sortes de cartes thématiques en format numérique fournies par les communes. Une amélioration importante est donc à prévoir dans les 10 prochaines années.

Deux problèmes augmentent les difficultés liées au traitement de l'aspect vulnérabilité :

- de nombreux problèmes se posent du point de vue culturel et du point de vue judiciaire en raison de l'absence d'une définition harmonisée des **seuils d'acceptabilité**. Dans la pratique, il faut effectuer des choix sur les seuils de probabilité garantissant la sécurité des biens et des personnes, et il devrait revenir aux politiques de choisir ces seuils. Par exemple les ingénieurs peuvent dimensionner des ouvrages de protection qui garantissent la sécurité dans 90% des situations, alors qu'un juge estimera qu'ils doivent la garantir dans 100% des cas, même dans des endroits critiques) ;
- l'utilisation du sol a changé et est augmentée, générant plus de situations de risques.

L'information des collectivités territoriales et du public

Le maire est obligé par la loi d'informer les citoyens des risques qui existent sur le territoire communal, ce qui est toujours difficile pour les élus. Il est jugé « moins responsable » s'il a accompli ce devoir d'information de la population.

Pour essayer de ne pas effrayer les personnes et de faire passer un message correct, des experts en communication ont parfois été engagés pour simplifier et rendre plus concrets les bulletins d'information diffusés au grand public, qui ne sont souvent pas compris.

Pour le moment la communication sur les risques naturels n'aborde pas la question des effets du changement climatique.

2. L'expérience des services RTM en Haute-Savoie – Jérôme LIÉVOIS (RTM 74)

Cette intervention présente des exemples pris en Haute-Savoie mais correspond plus largement à la réflexion menée à l'échelle de l'ensemble des services de Restauration des Terrains en Montagne présents en France dans les Alpes et dans les Pyrénées.

Premièrement il convient de rappeler que nos vallées sont soumises depuis toujours aux phénomènes naturels tels que les avalanches, les glissements de terrain, les chutes de pierres, les divagations torrentielles et les phénomènes glaciaires, comme en témoignent les nombreux exemples qui figurent dans les archives des RTM.

Parmi les exemples les plus connus, on peut citer ceux de la commune de Faverges ravagée en 1737 par une crue torrentielle, de la catastrophe de Saint-Gervais en 1892 ayant causé 175 morts suite à une rupture de poche sous-glaciaire à Tête-Rousse (Fig. 2), ou encore des phénomènes dommageables dont certains remontent au XVe ou au XVIe siècle rapportés dans l'ouvrage de P. Mougins "Les torrents de Savoie" publié en 1914).

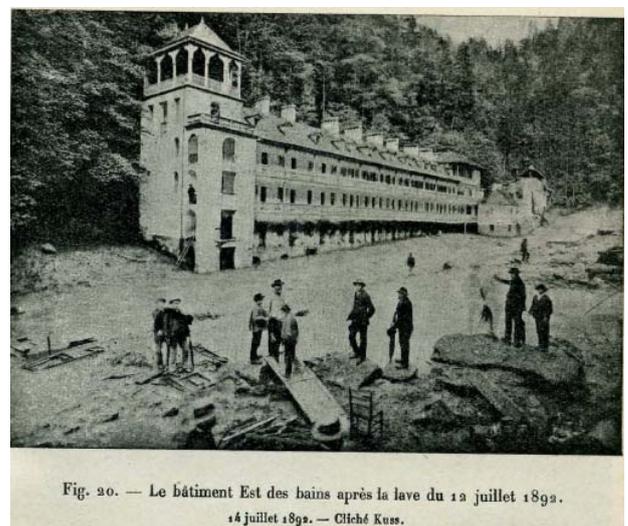
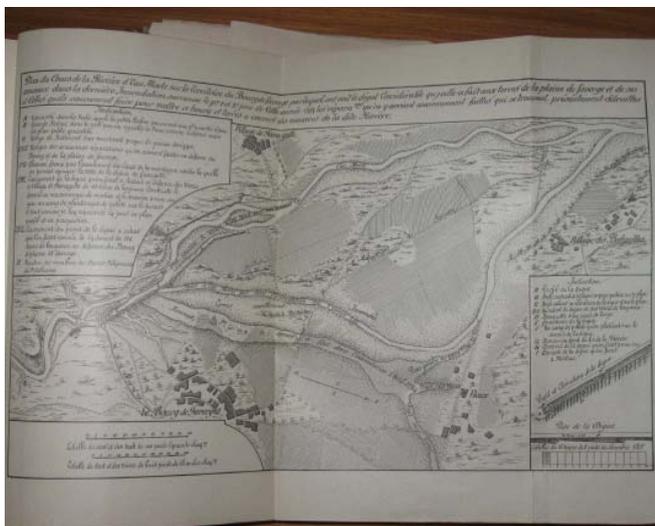


Fig. 2. Catastrophes de Faverges en 1737 (à gauche) et de Saint-Gervais en 1892 (à droite)

La prise de conscience s'est faite assez progressivement, mais notamment à partir du milieu du XIXe siècle. Dans le contexte du réchauffement climatique marquant la fin du « Petit âge glaciaire », le service RTM créé en 1860 a été chargé de lutter contre les effets de ces phénomènes perçus à cette époque comme majoritairement dus aux activités humaines pratiquées dans le monde rural (déboisement et surpâturage). Par ailleurs, les archives montrent qu'il y a 150 ans, les agents RTM se rendaient déjà sur le terrain avec des élus, mais aussi assez souvent avec des instituteurs.

Il a fallu attendre la deuxième moitié du XXe siècle pour voir apparaître une cartographie plus systématique des aléas naturels. A partir des années 1970, suite à de grandes catastrophes telles que la coulée de boue du Plateau d'Assy (70 morts, en majorité des enfants) ou l'avalanche de Val d'Isère en 1970 (39 morts), d'importants efforts ont été entrepris pour localiser préventivement ces phénomènes et les référencer avec une part très active des RTM dans cette tâche (CLPA, PZEA, PZERN, etc.). C'est aussi l'époque de l'apparition des cartes ZERMOS du BRGM sur les mouvements de terrain.

Parallèlement les gens s'étant équipés de téléviseurs, notamment à l'occasion des jeux olympiques de 1968 se sont mis à regarder massivement la télévision dans ces années là, et de cette façon « les catastrophes par la télévision sont rentrées dans les foyers ». Les médias ont ainsi permis au plus grand nombre de nos concitoyens de visualiser ces phénomènes et d'y associer leurs émotions lors de catastrophes (Passy, Grand Bornand, Val d'Isère...). L'émotion est ainsi devenue un facteur très important dans la gestion des situations de crise (ex. : Fig. 3).

Plus récemment (depuis une quinzaine d'années) ces mêmes médias ont diffusé largement l'information sur le « changement climatique ». C'est la prise de conscience qui est relativement récente et non le phénomène, qui comme on l'a vu existe depuis 150 ans. **Ce qui est vraiment nouveau pour les praticiens et les acteurs de la prévention des risques naturels, c'est l'arrivée massive des médias et du discours autour de ce phénomène, bien plus que l'évolution des aléas !**



Fig. 3. Couverture de Paris Match sur la catastrophe du Grand Bornand en 1987 (23 morts)
Article du Monde sur le réchauffement climatique (janvier 2011)

Le monde politique a pareillement perçu progressivement l'effet mobilisateur du discours sécuritaire dans ce domaine. Il a enjoint ses relais techniques à se montrer présents dans ce domaine, « par une présence physique sur le terrain, en uniforme et avec des véhicules visibles, pour ne pas passer inaperçus et montrer que l'Etat n'abandonne pas la population à son triste sort »

Enfin les organismes de recherche ont apporté un éclairage toujours plus pertinent sur les mécanismes physiques qui sous-tendaient ces phénomènes parfois catastrophiques. Parmi les études et recherches diverses ainsi mises en œuvre on peut citer celles qui ont été menées en 2010 sur le glacier de Tête-Rousse. Ce partenariat est jugé indispensable : « on ne pourrait pas avancer sans ce genre d'études ».

Aujourd'hui nous nous retrouvons tous dans un jeu systémique complexe (Fig. 4) parmi les acteurs en présence : la population exige la sécurité (ce qui en démocratie figure « au sommet ») ; les médias ont le rôle d'informer ; les scientifiques cherchent à développer leur savoir ; les politiques « ont le pouvoir et les finances » ; les techniciens/praticiens essaient de mettre en œuvre ce que les politiques et la population leur demandent, avec ce que les scientifiques leur apportent, et travaillent également avec les médias. Un grand absent est à relever dans ce schéma : il s'agit du monde judiciaire.

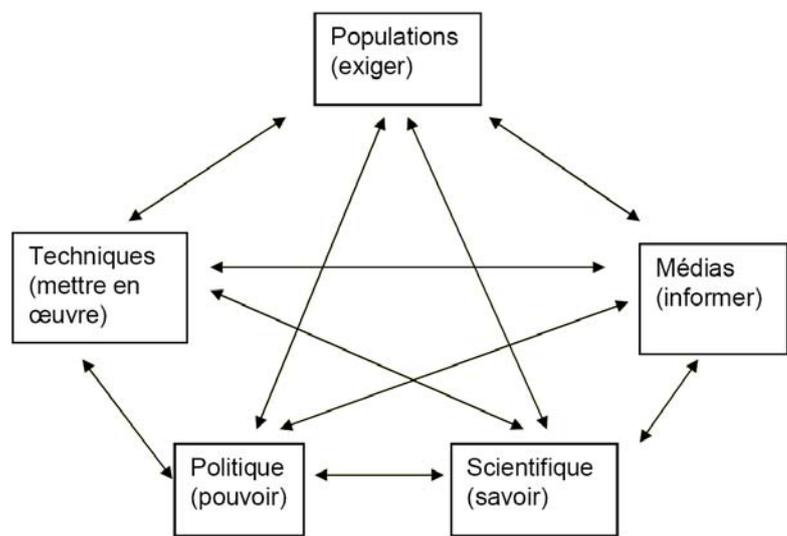


Fig. 4. Jeu d'acteurs traitant des risques

Les liens entre ces différents acteurs sont en perpétuelles évolutions.

Le discours sur le réchauffement climatique très médiatisé depuis une quinzaine d'années n'a pas changé fondamentalement ni la localisation des phénomènes, ni le jeu des acteurs multiples. Par contre il exacerbe les interrogations sur l'évolution de la probabilité d'occurrence des événements et de leurs intensités. Il renforce par là même, l'angoisse sécuritaire. Par ailleurs, ce discours s'impose à un certain nombre d'acteurs, « ne serait-ce que parce que les financements passent aussi par là »...

Tous ces acteurs ont des références temporelles différentes pour répondre à cette demande sociétale.

- La population exige d'être protégée ou rassurée maintenant et en permanence.
- Les médias affichent leurs « produits » de manière souvent saisonnière et renouvellent régulièrement les sujets.
- Les scientifiques progressent dans leur savoir mais de manière irrégulière au rythme de leurs programmes pluri annuels et des financements obtenus.
- Les politiques, qui décident des financements, exigent quant à eux d'obtenir des effets rapidement.

Beaucoup d'avancées demandent de nombreuses années. Elles débouchent presque toujours sur de nouvelles interrogations.

- Les techniques mettent en œuvre des procédés dont les effets sont rarement visibles et immédiats. Ils sont aussi très dépendants des financements incertains sur le long terme.
- Les politiques décident des financements mais exigent, comme la population qu'ils représentent, d'en mesurer les effets (« un retour sur investissement ») rapidement, c'est-à-dire pendant le temps de leur mandat.

Les problèmes de communication rencontrés par les praticiens et les gestionnaires du risque résultent probablement assez largement de ces différentes échelles de temps prises en compte par les différents acteurs.

3. « Permafrost » et « Mat-érosion », deux projets d'adaptation en Valais – Eric BARDOU (CREALP / Valais)

Ces deux projets ont trait à des dangers naturels qui sont liés aux effets du changement climatique. Le premier est en lien avec le permafrost et porte sur le glacier Bonnard, où un corps gelé en cours de dégradation alimente deux torrents en matériaux mobilisables par les laves torrentielles. Le second concerne l'ensemble de la vallée dans sa partie amont, où les cours d'eau ne parviennent plus à exporter les sédiments et où l'on s'attend à ce que ce problème s'accroisse dans le futur.

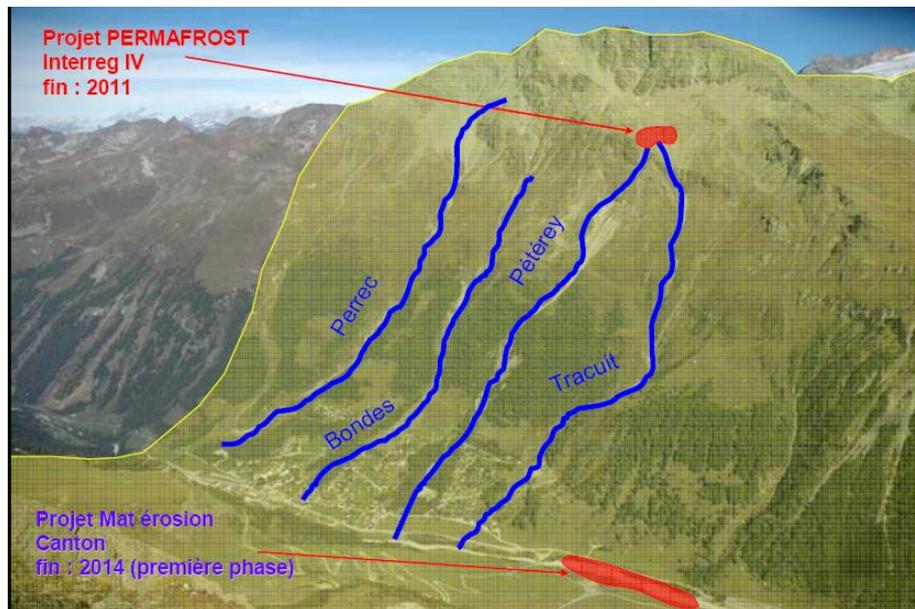


Fig. 5. Secteurs d'étude des projets « PERMAFROST » et « Mat-érosion » (Valais, Suisse)

1. Projet PERAMFROST – "Glacier" Bonnard

Ce projet s'inscrit dans le cadre du projet stratégique Alcotra *RiskNat* (activité B1-C1). Il vise à étudier une zone inscrite dans le permafrost au niveau du glacier Bonnard et constituant la principale source d'alimentation en matériaux déclencheurs pour les laves torrentielles des torrents de Pétérey et de Tracuit. Le secteur constitué par une moraine très raide (Fig. 6) présente une rupture de pente sur laquelle des matériaux gelés qui la surplombent progressent encore à l'heure actuelle, plus ou moins rapidement selon les secteurs. L'ensemble de la zone s'affaisse progressivement. L'étude des cartes anciennes (Fig. 7) montre qu'au Petit Âge Glaciaire, le glacier était déjà en train de se couvrir à l'amont de son bastion morainique.

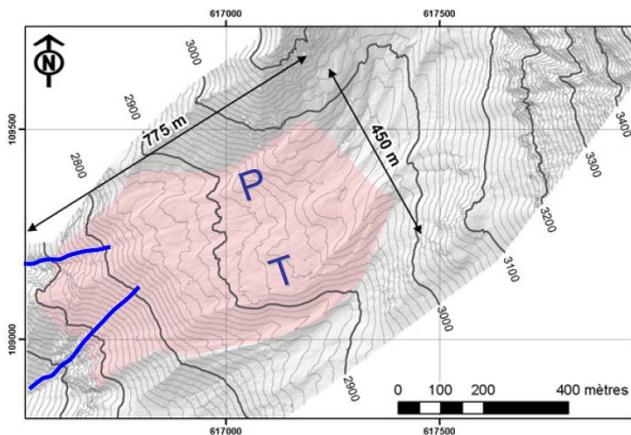


Fig. 6. (A) La zone d'étude



Fig. 7. (A) Carte Dufour (1861) ; (B) Carte Siegfried (1878)

L'étude en cours a pour objectif l'estimation (1) du volume total de la réserve de sédiments à disposition stockés dans la masse en mouvement, et (2) des volumes disponibles au niveau événementiel pour les laves torrentielles. Le but est de **fournir des éléments utiles à la gestion du risque de débordements torrentiels** dans le village de Zinal situé en aval, que ces torrents séparent en différents quartiers, dans la perspective d'une **éventuelle adaptation de cette gestion aux effets du changement climatique**.

Une des difficultés d'analyse provient du fait que de la glace est visible par endroits mais qu'on ignore s'il s'agit d'un glacier rocheux ou d'un glacier noir, ou encore d'un mélange entre ces deux formes. Des investigations de surface ont été mises en œuvre pour mieux connaître la structure et la dynamique de cette zone. Elles comprennent des mesures de déplacement par GPS différentiel (DGPS) et des reconnaissances géophysiques en forages et par sismique réfraction.

Les mesures GPS effectuées sur 150 points et renouvelées chaque année entre 2006 et 2009 ont permis de mettre en évidence un champ de déplacement assez hétérogène présentant des zones de déplacement rapide (en rouge sur la Fig. 8) et des zones stables ou sub-stables (en bleu). La moyenne des vitesses augmente depuis 2006, sans que l'on sache encore si cette tendance est directement liée à l'augmentation récente des températures et si elle va se poursuivre, ou si les déplacements vont plutôt adopter un caractère sinusoïdal alternant des phases d'accélération et de décélération. On voit que les observations nécessaires pour prendre en compte l'hétérogénéité spatiale de ces déplacements doivent descendre à un niveau d'échelle assez précis.

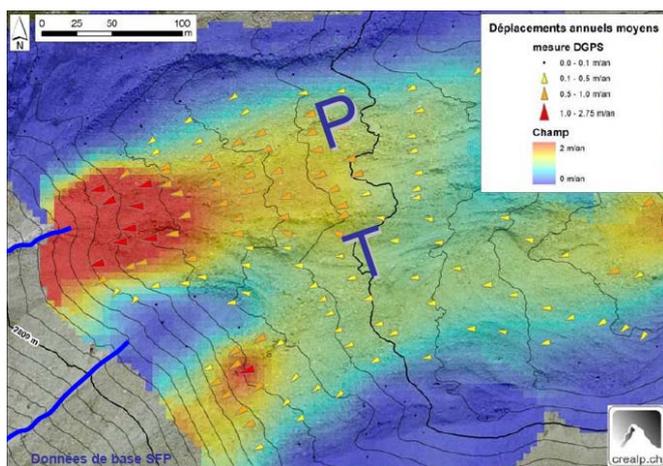


Fig. 8. Interprétation des mesures DGPS 2006-2009.

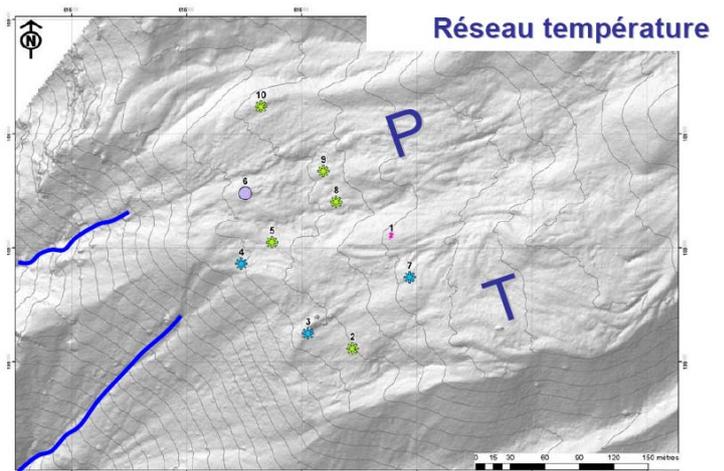
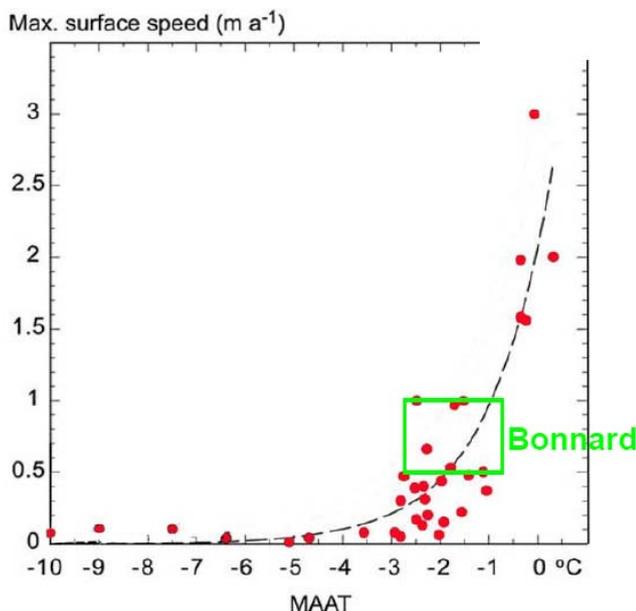


Fig. 9. Réseau de mesure des températures.

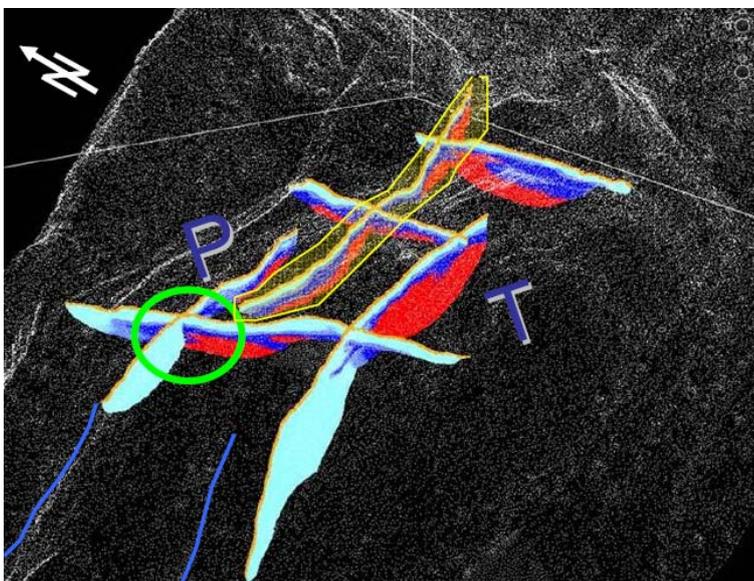


Pour relier l'évolution des vitesses de déplacement à celle des températures de surface, un réseau de capteurs est en cours d'installation (Fig. 9). Des développements techniques ont été effectués pour permettre la consultation des données on-line (ce dispositif est encore en phase de test). À terme, l'interprétation de la courbe reliant vitesses de déplacement et températures (Fig. 10) devrait permettre de dégager des perspectives d'évolution future.

Fig. 10. Relation entre vitesses de surface mesurées sur des glaciers rocheux alpins et température moyenne annuelle de l'air (Harris et al., 2009). Carré vert : gamme des vitesses mesurées au glacier Bonnard.

La comparaison des valeurs mesurées au glacier Bonnard avec les mesures effectuées sur d'autres glaciers rocheux montre que **les déplacements observés sont susceptibles de connaître une accélération notable sous l'effet d'une augmentation future des températures, ce qui pourrait conduire à une augmentation importante de la quantité de matériaux parvenant dans les chenaux des torrents. La poursuite du monitoring est donc nécessaire pour appréhender les évolutions à venir.**

Pour mieux comprendre les liens entre les différentes zones individualisées par les mesures de vitesse et leur rôle dans l'alimentation aux torrents, il est par ailleurs nécessaire d'examiner la nature des matériaux à l'intérieur de la masse du « glacier rocheux ». Une série de 14 forages a été réalisée. Ils indiquent que la nature des matériaux est très variable à la fois en profondeur (ce qu'on a pu aussi observer en faisant descendre une caméra dans un forage) mais aussi latéralement (les profils verticaux obtenus sont très différents les uns des autres), révélant une structure 3D assez complexe. De plus, des inclinomètres installés dans les forages ont permis de préciser la répartition en profondeur des vitesses de déplacement.



Ces données de forages ont été complétées par 11 profils de sismique réfraction sur l'ensemble de la zone. Leur interprétation en trois dimensions (Fig. 11) permet de distinguer la roche en place (en rouge), la présence de glace, soit pure soit mélangée avec des matériaux (en bleu) et des matériaux plus meubles en surface (en bleu ciel).

Fig. 11. Tomographies sismiques

L'ensemble de ces données fournit des éléments préliminaires à la compréhension du fonctionnement de ce corps gelé et ont permis une première estimation des volumes de matériaux en présence. Le volume total de matériaux en mouvement stockés à l'amont du village de Zinal ainsi évalué est de 1,5 millions de m^3 (Fig. 12) et le **volume de matériaux immédiatement mobilisables par des laves torrentielles est évalué à 40 000 m^3 pour l'un des torrents et 6000 m^3 pour l'autre.**

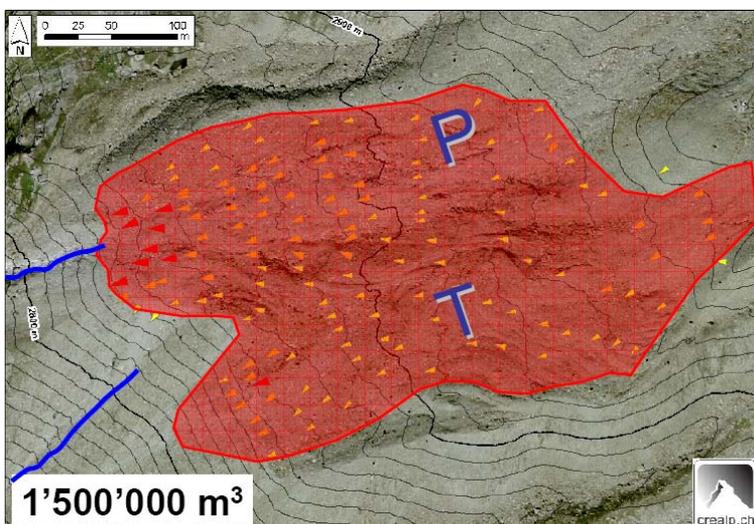


Fig. 12. Volume total de matériaux en mouvement estimé dans la partie aval de la zone d'étude

Cet exemple illustre le fait que **l'évaluation de l'impact des changements climatiques sur ce type de phénomènes requiert à la fois des investigations détaillées et un suivi continu et inscrit dans la durée sur la base d'un grand nombre de points de mesure**. Vu le nombre d'observations nécessaires, il y a donc « un niveau d'échelle à passer » impliquant des **moyens importants, que les décideurs ne sont pas encore forcément prêt à mettre en œuvre**.

Référence

Harris, C., et al. 2009. Permafrost and climate in Europe: Monitoring and modelling thermal, geomorphological and geotechnical responses, *Earth-Science Reviews*, doi:10.1016/j.earscirev.2008.12.002.

2. Projet « Mat érosion » : bilan sédimentaire

Cette partie, non présentée lors du séminaire, reprend le contenu du diaporama support de cette présentation.

Constat

- Exemple sur Zinal (été 2008)
 - 1 camion = 8 m³;
 - 1 coulée de 10 000 m³ = 1250 camions
 - Stockage à proximité 2 km
 - Stockage en décharge 4 km (en 2015 → 30 km!)
 - Cas réel 2008, différence de 5'250 km (45% des coûts)
- Décharges matériaux terreux propres
 - A court terme fermeture de 59 sur 86 sites
 - Gestion annuelle de 1-2 Mm³

Mandat

Fournir un concept consolidé

- Techniquement, économiquement environnementalement et "paysagèrement" faisable
- Conforme aux dispositions législatives cantonales

Carte des taux d'érosion obtenus pour chaque bassin versant par l'étude de l'alluvionnement dans la retenue hydroélectrique respective

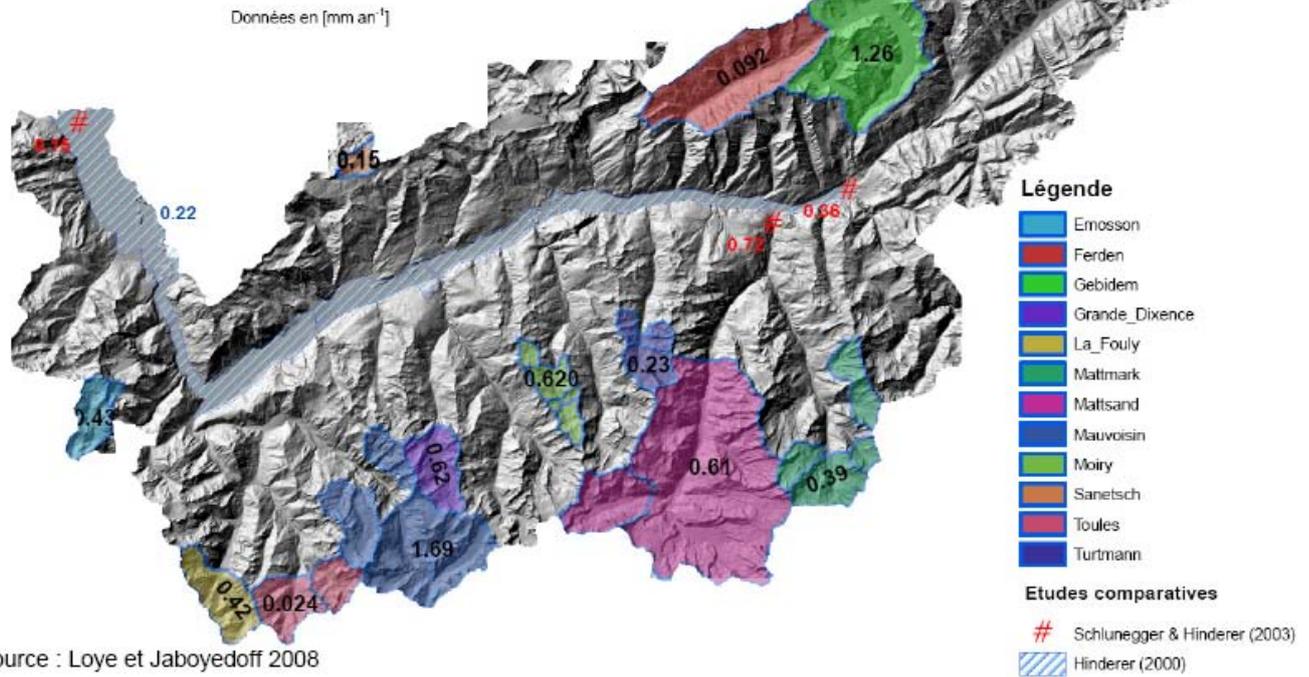


Fig. 13. Bilan sédimentaire

Etat du climat en 2100 selon GIEC

	Hiver	Eté
Température moyenne	↗ 2 - 4°C	↗ 5-7°C
Précipitations de pluie	↗ 5 - 20%	↘ 10 - 30%
Conséquences futures	++ humide	++ chaud et sec

Constat

- Taux d'érosion maximum 1.69 mm/an soit 8'450 m³/an (pour un BV de 5km²)
- Taux d'érosion minimum 0.024 mm/an soit 120 m³/an (pour un BV de 5km²)
- Extrapolation au plan cantonal ~ 1,25 Mm³/an
- **Volume en probable augmentation** dus aux changements climatiques

Une adaptation : stockage organisé in-situ

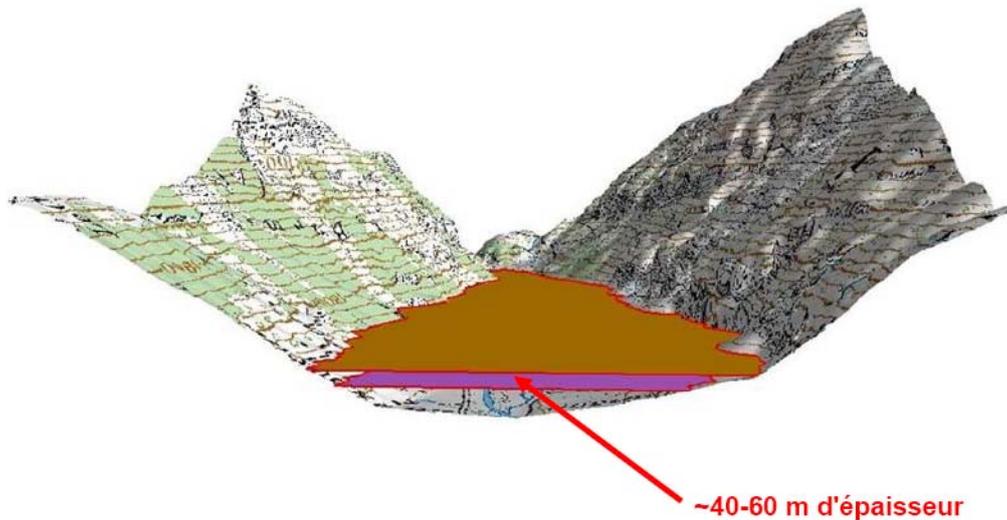


Fig. 14. Stockage des matériaux dans la vallée

Bilan

Message

- L'adaptation demande une prise en compte de plus en plus complexe
- Cela nécessite de "**connaître**" quantitativement l'environnement, soit :
 - d'avoir une base de données "événements"
 - de progresser dans l'utilisation des techniques d'investigation

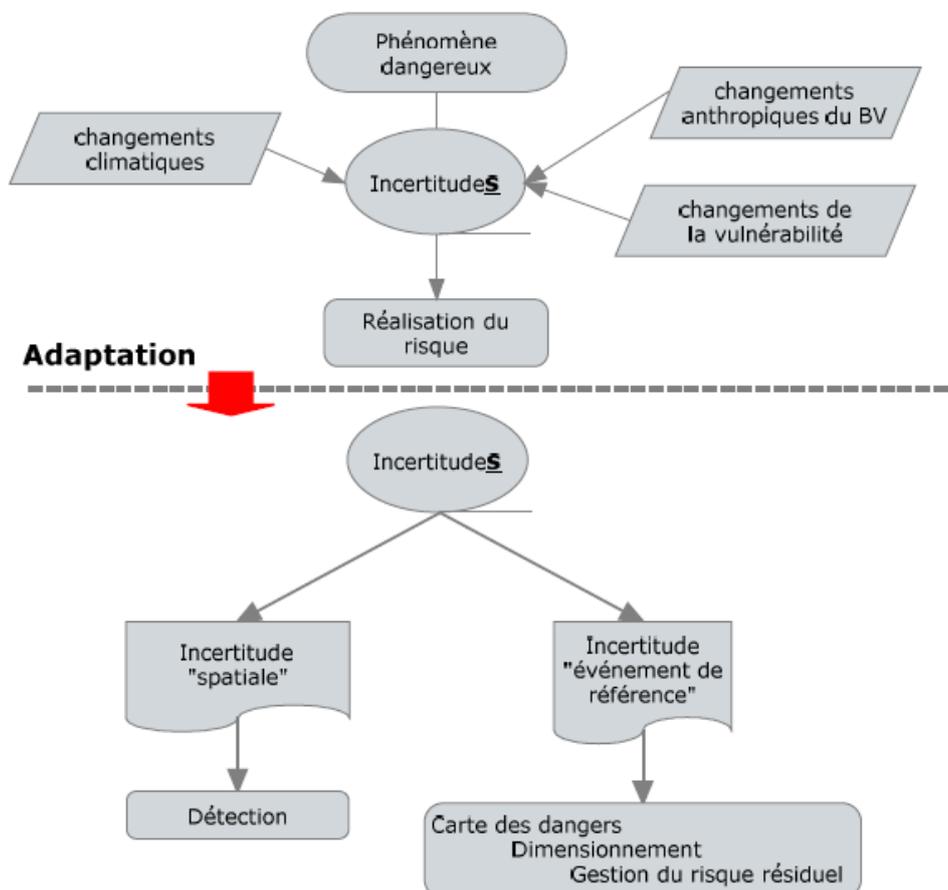


Fig. 15. Synthèse

4. Prise en compte du changement climatique dans la gestion du risque inondation : l'exemple du Rhône en Valais – Tony ARBORINO (VS-Rhône)

Cette présentation expose l'expérience acquise en Valais dans le cadre de la stratégie de protection contre les crues mise en place pour la troisième correction du Rhône, « un système particulier qui a l'intérêt d'être à une échelle suffisamment grande pour qu'on y retrouve tous les phénomènes en jeu dans la protection contre les crues ». Le « haut Rhône » présente des caractéristiques de rivière torrentielle, et pose des problèmes de gestion des ouvrages suite aux ruptures de digue qui se sont produites lors des crues d'octobre 2000.

1. Identification des risques

En matière d'analyse hydrologique, il existe déjà aujourd'hui énormément d'incertitudes ; **Les variations climatiques sont une source d'incertitude supplémentaire.**

Le Valais réalise des cartes de dangers (Fig. 16) et travaille sur les dégâts potentiels, donc travaille sur une analyse de type risque ». Par contre ce qui manque, c'est (1) d'implémenter dans cette méthodologie les nouveaux scénarios d'évolution climatique et (2) de faire des analyses de sensibilité portant sur l'hydrologie, sur l'hydraulique (le danger) et sur la vulnérabilité (les dégâts).



Fig.16. Scénario d'inondation dans la plaine du Rhône en Valais

2. Stratégies d'adaptation et difficultés

Il s'agit de **prendre en compte l'incertitude supplémentaire** entraînée par les modifications climatiques dans la définition de scénarios de réalisation de l'aléa sur le terrain et dans la gestion territoriale, **en dimensionnant les ouvrages de manière adéquate** et **en interdisant l'habitat et la construction dans les secteurs exposés.**

La politique de gestion des risques mise en œuvre en Suisse (et de manière semblable au niveau européen) est basée sur :

- une analyse des aléas,
- l'élaboration de scénarios,
- une définition du danger qui croise les notions d'intensité et de probabilité,
- l'estimation des dommages (dégâts potentiels),
- la définition de mesures de protection durables résistant à ces incertitudes et souples face aux inévitables adaptations futures.

Il s'agit d'éléments absolument fondateurs, qui sont aujourd'hui stables et qu'il paraît fondamental de porter à connaissance et de valoriser auprès des décideurs politiques et de la population. Il paraît **important de ne pas perdre cette chaîne logique et de la valoriser**, même si elle est aujourd'hui perturbée par de nouvelles hypothèses. Cette politique de gestion du risque est bonne et doit être conservée, sans nécessairement modifier ses éléments fondamentaux. Il faut «juste» intégrer ce nouvel aléa-scénario et mieux réfléchir les solutions durables.

En matière d'analyse de dangers dans la plaine du Rhône, la valeur précise de la période de retour des crues débordantes (par ex. 90, 100 ou 110 ans) n'est pas fondamentale ! Ce sont les règles d'urbanisation et l'interdiction ou non de construire dans ces secteurs qui sont fondamentales. « La carte de danger aujourd'hui vire au rouge avec les outils de gestion du danger » (Fig. 17) et il faudrait normalement interdire la construction dans toute la plaine (quand la hauteur d'eau dépasse 2 m).

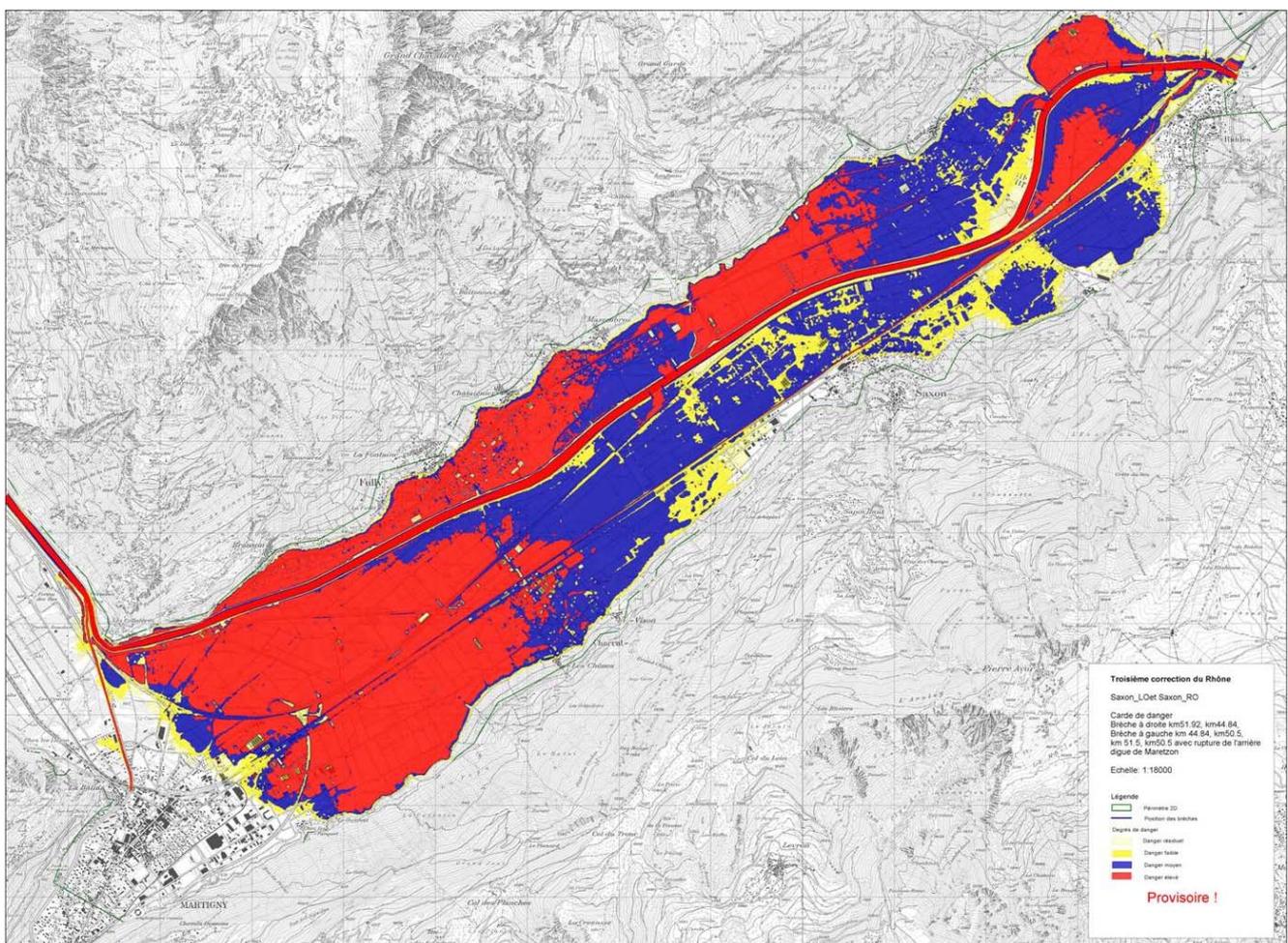


Fig. 17. Exemple de carte de dangers « inondation » du Rhône en amont de Martigny (Valais)

Dans la démarche actuelle d'analyse du risque, le danger est défini selon deux paramètres : la probabilité d'occurrence et l'intensité du phénomène, qui constituent les deux axes de la matrice des dangers utilisée pour les cartographier (Fig. 18A), mais on peut porter un regard critique sur cet outil et compléter cette démarche, notamment en ajoutant la notion de temps. Actuellement, la vitesse du phénomène n'est en effet pas prise en compte dans l'appréciation du danger, ce qui constitue un manque important.

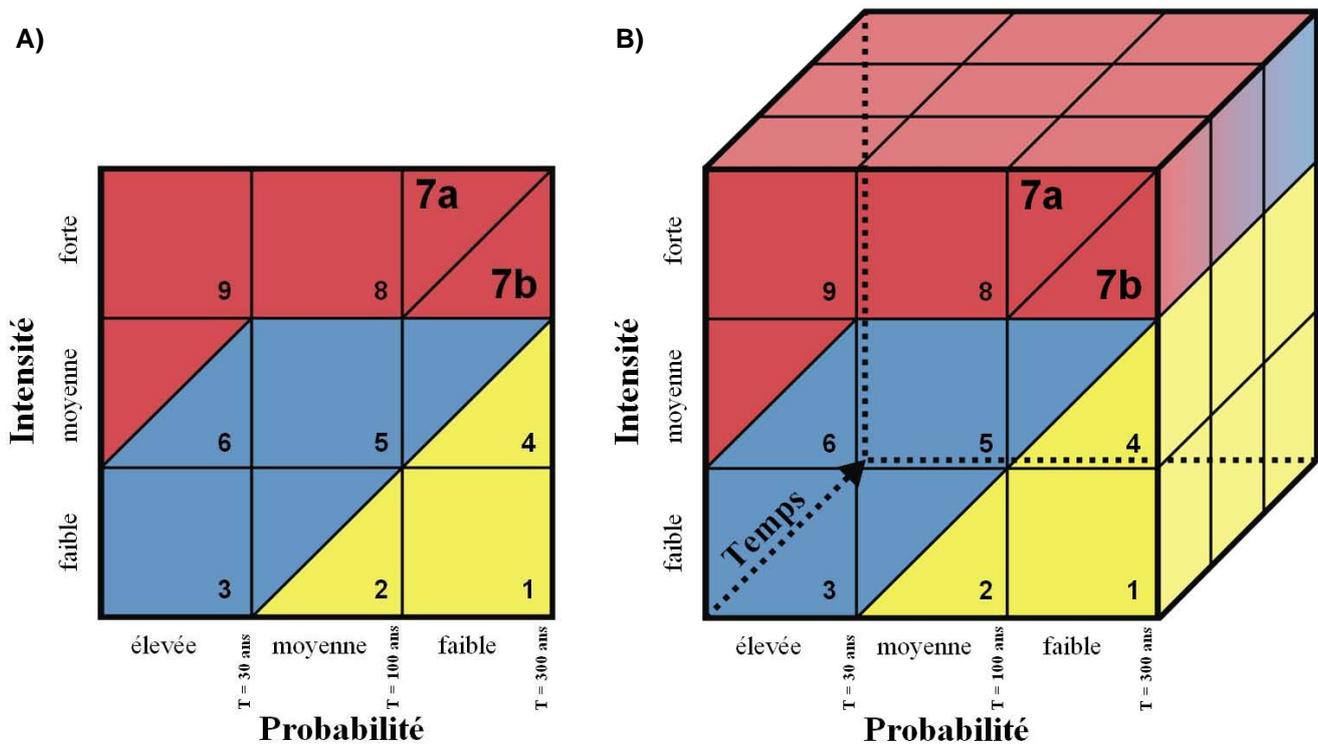


Fig. 18. (A) Matrice utilisée en Suisse pour l'appréciation des dangers ; (B) Proposition d'évolution

L'introduction du paramètre « temps » dans l'analyse du risque (soit un troisième axe dans la matrice : Fig. 18B) montre que si le temps de propagation du phénomène est assez lent, même dans le cas d'un événement assez intense (par exemple l'événement centennal avec une hauteur d'eau supérieure à 2 m), les mesures existantes de gestion du territoire, d'intervention d'urgence et de culture du risque peuvent permettre de vivre avec ce danger et d'économiser des moyens de construction. Si on ne prend pas en compte le temps de réalisation de l'aléa, notre système d'intervention d'urgence et de gestion du risque sur le territoire ne peut pas être valorisé. Il paraît donc important de compléter cette logique, qui présente aujourd'hui une limite au raisonnement.

Les mesures de gestion des situations de danger sur le Rhône comprennent la remise en état des abords du fleuve suite aux crues, l'entretien (avec des directives pour débiter les matériaux) et nécessitent une appréciation claire de la situation de danger associant des prescriptions à la construction (comme le rehaussement des habitations), la prévision des crues (en collaboration avec le géologue cantonal), la gestion des barrages pour écrêter au maximum et l'organisation de la gestion d'urgence sur la base de seuils prédéfinis.

La mise en évidence des points faibles pouvant conduire à des débordements dans la plaine par surverse ou par rupture de digue permet de définir ponctuellement les endroits à surveiller. L'ensemble permet de définir un projet global incluant des mesures ponctuelles et la réalisation de travaux.

On retrouve ce schéma (réparation après l'événement, entretien, connaissance du danger, prescription territoriale, prévision, gestion et intervention, travaux) dans chaque type de danger naturel ; même s'il faut maintenant compléter ce panel avec des hypothèses nouvelles, il demeure assez universel.

Pour bien analyser l'influence des modifications du climat sur l'efficacité des mesures de protection (Climat → Débit → Projet), il importe de garder à l'esprit que ces modifications sont très difficiles à cerner, mais surtout de considérer que dans la démarche actuelle utilisée depuis les années 1980, des approximations importantes sont introduites en assimilant une crue de période de retour donnée à une valeur fixe de débit, alors qu'il faut prendre en compte non pas une valeur ponctuelle de débit (Fig. 19A) mais sa variation dans le temps (Fig. 19B).

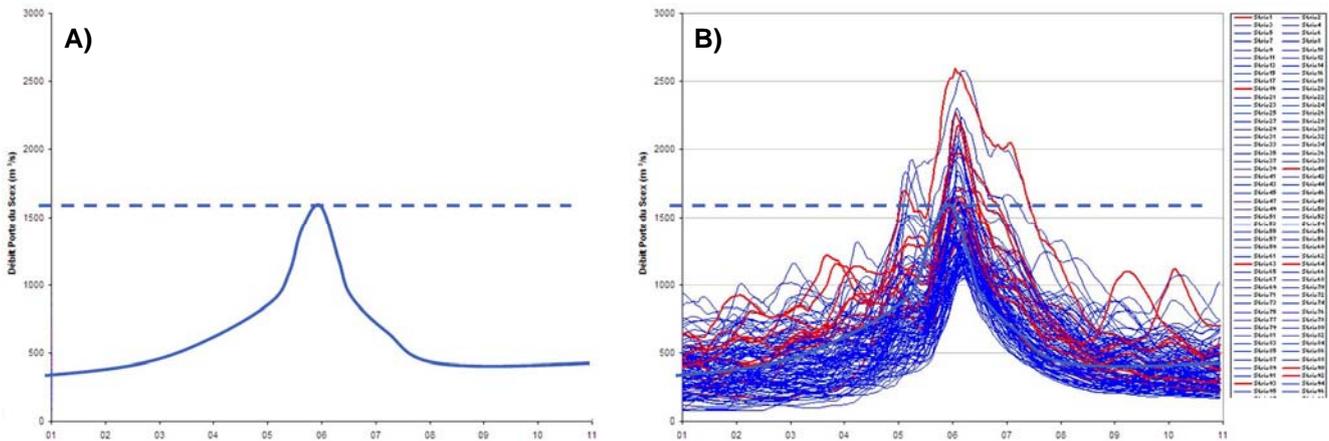


Fig. 19. Exemple d'hydrogramme des crues de référence prise en compte :
 (A) valeur ponctuelle « idéalisée » ; (B) valeurs historiques

Il convient donc de définir la bonne valeur seuil mais aussi d'admettre de travailler dans l'incertitude, en prenant en compte les incertitudes sur les changements climatiques à venir en plus des incertitudes déjà existantes sur de nombreux paramètres (les pluies, l'altitude de l'isotherme 0°, la perméabilité des sols, le rôle des barrages, les vitesses de propagation des crues, la concomitance des pointes de crue, etc.).

Cela constitue l'élément fondamental d'une **stratégie de gestion souple et robuste**, avec deux points à améliorer : (1) la connaissance des variations climatiques et de leurs conséquences et (2) l'intégration et la formation à l'intégration de l'incertitude dans la solution technique.

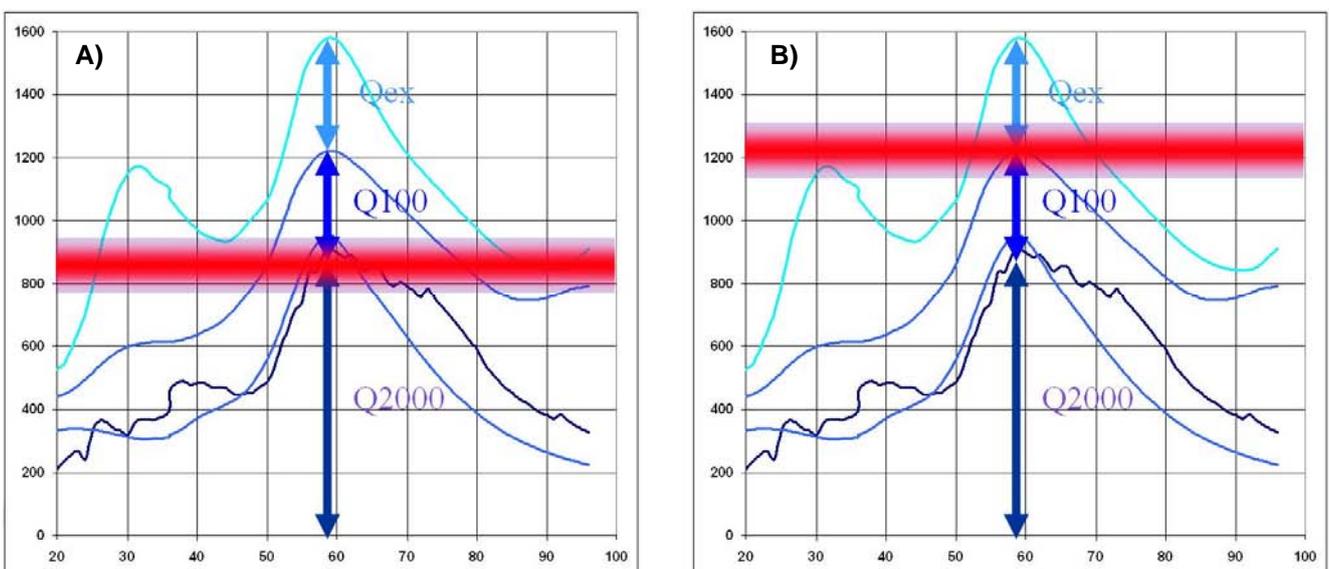


Fig. 20. Evolution de la gamme de débits prise en compte

Dans l'exemple du Rhône valaisan, les gammes de crue centennale prises en compte admettent une incertitude de + ou - 20% avec des débits compris entre 1000 et 1200 m³/s (Fig. 20), et la gamme des crues extrêmes s'étend jusqu'à 1600 m³/s (environ deux fois supérieures aux débits des crues historiques). La stratégie mise en œuvre consiste à **définir un système capable de résister à l'entière gamme de débits** : si le débit centennial, aujourd'hui de 1000 m³/s (évalué d'après les valeurs historiques), passe à 1100 m³/s avec le réchauffement climatique, il faut pouvoir s'affranchir de cette incertitude et définir un système avec lequel cette modification n'entraîne pas de conséquences fâcheuses.

Pour affronter demain cette gamme de débits, trois éléments de gestion se dégagent : (1) la gestion du débit du Rhône dans son chenal principal en fonction de sa capacité d'écoulement, avec une valeur seuil de débit principal qu'on peut définir en tenant compte de la réalité du terrain et des enjeux et intérêts existants, l'important étant de prévoir les actions à mettre en œuvre en cas de dépassement de cette valeur seuil (ce qui risque toujours d'arriver, quel que soit le seuil), (2) le stockage d'un maximum d'eau dans les barrages quand ce seuil est dépassé (Fig. 21), et si cette mesure ne suffit pas, (3) **l'inondation contrôlée de secteurs réservés dans la plaine** pour toucher un minimum d'habitants et d'habitations.

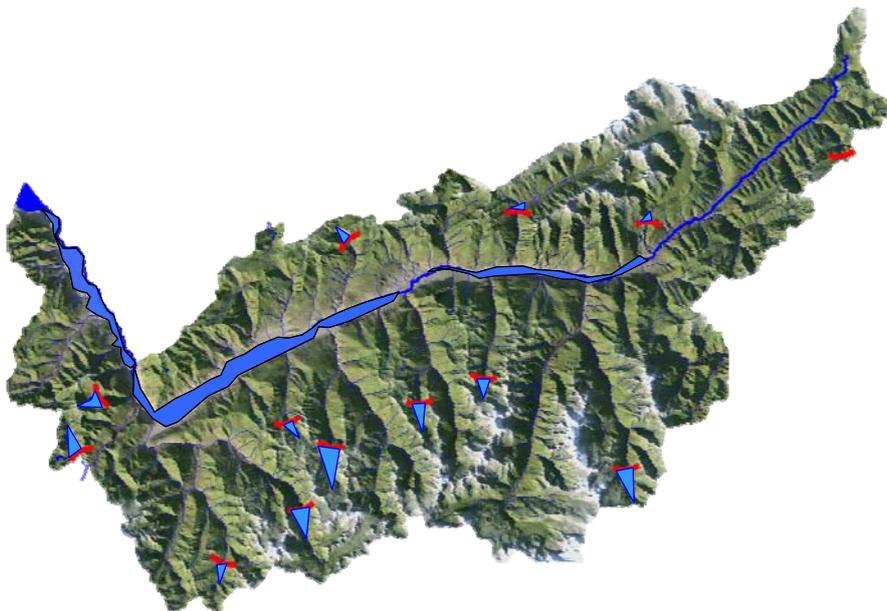


Fig. 21. Distribution des barrages utilisables pour réguler le débit du Rhône en Valais

Finalement, que ce système « Rhône » déborde pour un seuil de débit d'une période de retour de 85, 105 ou 110 ans a peu d'importance, parce qu'au-delà un autre système prend la relève, qui lui-même comporte un **système de gestion du risque résiduel**, qui garantit la robustesse de ce système de protection contre les crues.

Il s'agit typiquement d'éviter les ruptures de digue avec des systèmes de déversement, en prévoyant « que le pire peut arriver », et non pas « de nous battre pour savoir si ce système est parfaitement dimensionné pour une crue centennale » : acceptons « que ça déborde un jour ou l'autre et trouvons la solution pour éviter que ce débordement n'entraîne des catastrophes », notamment en gérant ce risque de débordement avec des ouvrages capables d'y résister.

Pour conclure, la Fig. 22 illustre le cadre historique dans lequel s'inscrit la troisième correction du Rhône.

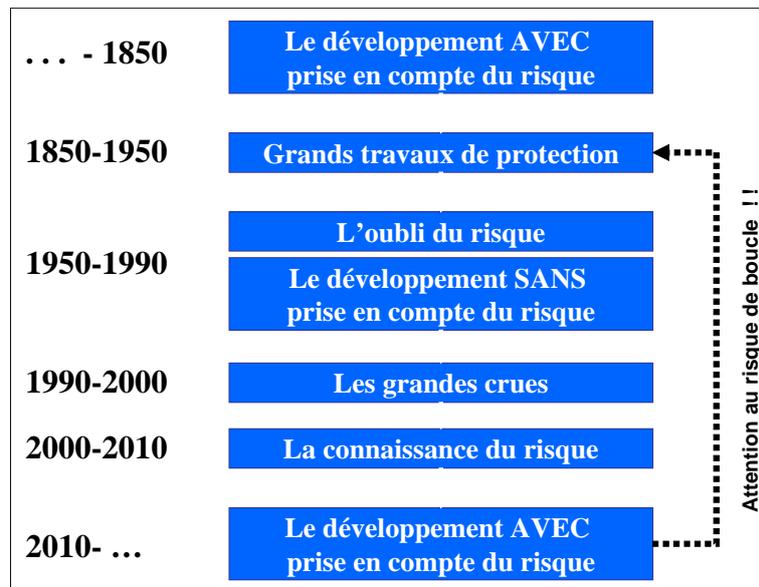


Fig. 22. Cadre historique de la troisième correction du Rhône en Suisse

Remarque

Ce type de système de protection contre les crues paraît plus simple à mettre en place en tête de bassin versant (comme sur le Rhône suisse) qu'en aval...

Document annexe transmis après l'expert-hearing (pages suivantes)

Arborino, T. « Prise en compte des modifications climatiques dans la gestion des risques d'inondation », Note interne-R3-F/V1.0, 27.01.2011.

Affaire R00
Traité par. TA

Aux intéressés

Notre réf. Note intégration variation climatique dans gestion des risques.doc

Sion, le 27.01.2011

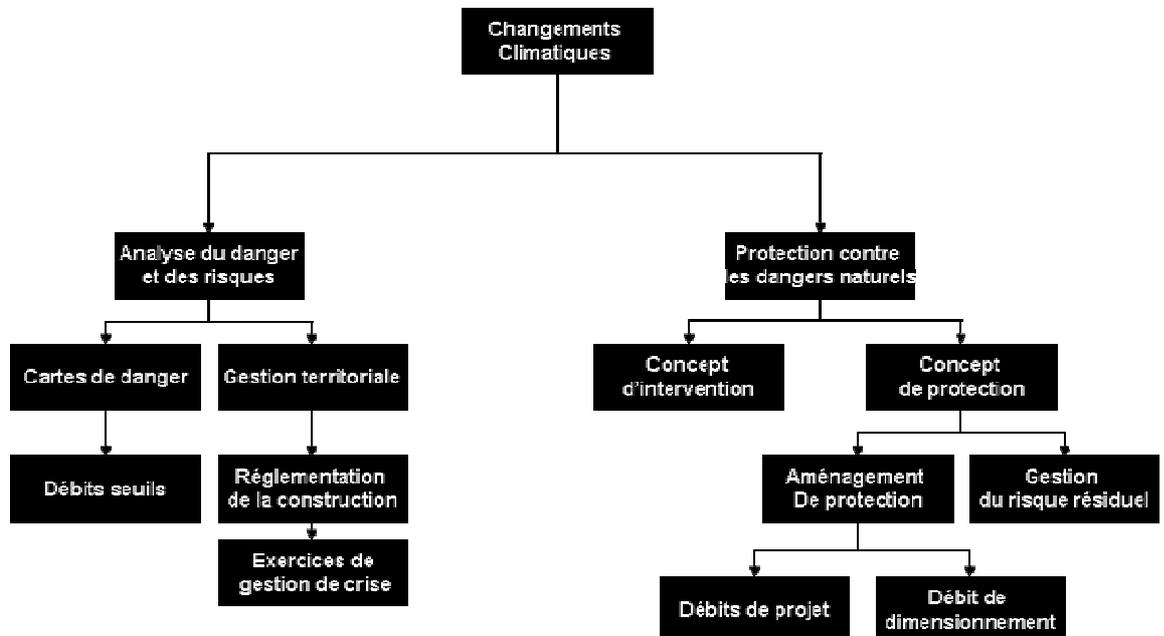
Prise en compte des modifications climatiques dans la gestion des risques d'inondation

1 Introduction

Les modifications climatiques sont à prendre en compte dans deux aspects distincts dans la protection contre les dangers naturels :

- L'analyse de danger / risque
- Le concept de protection

Il convient d'analyser séparément ces deux aspects, selon le schéma suivant.



2 Effet des changements climatiques sur l'analyse de danger

La question est de savoir si la valeur seuil choisie pour l'établissement de la carte de danger (le débit centennal par exemple) doit être majorée pour prendre en compte la modification climatique observée. Il est à noter que, si les modifications de

Merci de mentionner le numéro d'affaire dans votre correspondance. / Bitte erwähnen Sie die Dossiernummer in Ihrer Korrespondenz.

températures sont identifiées et quantifiées selon divers scénarii, il n'en est pas de même pour les débits, et il semble difficile de fonder sur des bases scientifiques solides une décision d'augmentation des valeurs seuils.

Compte tenu de cela., et du fait que les analyses hydrologiques habituelles (statistiques et stochastiques) présentent déjà de grandes incertitudes et que, d'une certaine manière, la modification climatique est partiellement intégrée à ces modèles par la simple prise en compte des derniers événements (les crues de '87, '93, 2000 et 2005) sont peut-être le fruit d'une modification climatiques et influencent déjà les statistiques de débit), je proposerai de ne **pas modifier les valeurs seuils**.

Par contre, il est essentiel de transposer ces analyses de danger dans le territoire et d'assurer une **règlementation stricte** des extensions de zones et constructions sur la base de la carte de danger.

De même, il convient de poursuivre l'effort scientifique pour normer ces changements et disposer à moyen terme, cas échéant, de nouvelles valeurs seuils. Pour cela, il s'agit d'augmenter le réseau de mesures et de centraliser toutes les informations pertinentes dans un **observatoire** ad hoc.

3 Effet des changements climatiques sur le concept de protection

La modification climatique a potentiellement une influence sur les débits de projet (gamme de débits avec incertitudes à prendre en compte dans le concept de protection) et de dimensionnement (débit de référence servant au dimensionnement de l'ouvrage).

Pour les mêmes raisons qu'évoquées ci-dessus pour les valeurs seuils de détermination du danger, je pense que **les débits de projet ne doivent pas être modifiés** par une augmentation systématique par exemple (selon le modèle allemand semble-t-il). Par contre, il est essentiel de prendre en compte ce facteur comme nouvelle incertitude dans le choix itératif du débit de dimensionnement.

Les débits de projet doivent donc se présenter sous la forme de fourchette estimant la valeur plausible (souvent un fuseau médian sur une statistique). Pour le Rhône par exemple, la crue centennale est estimée entre 1060 et 1260 m³/s.

Le choix du débit de dimensionnement dans cette fourchette se fait alors en prenant en compte le rapport coût/efficacité (ratio du dégât potentiel et du coût de l'aménagement) nécessaire pour se protéger contre ces valeurs et les possibilités de gestion des valeurs supérieures (risques résiduels). Cela passe par la mise en évidence des seuils. Par exemple, si sur un cours d'eau on doit refaire tous les ponts à partir d'un certain débit, compris dans la gamme inférieure des valeurs de référence, on peut décider de prendre une valeur faible de dimensionnement vu le seuil important que franchiraient les coûts d'aménagement sinon, et compléter le concept par un seuil déversant amont par exemple garantissant qu'en cas de dépassement de la valeur de dimensionnement les dégâts soient moindre.

Dans tous les cas, un deuxième aspect est à prendre en compte et assurer : la durabilité de l'aménagement de protection.

Cette **durabilité** est d'autant plus cruciale que les incertitudes augmentent. Elle peut se résumer, pour les aspects techniques, à deux critères : la souplesse et la robustesse.



La **souplesse** caractérise la facilité d'un concept/ouvrage de protection à être modifié par la suite pour accepter de nouvelles exigences (nouveaux débits de dimensionnement par exemple). Typiquement, les solutions de type surélévation des digues, abaissement du fond du cours d'eau, sont souvent moins souples que l'élargissement du cours d'eau, car en cas de modification de débit, il faut complètement changer le système.

La **robustesse** caractérise la fiabilité du système pour les cas de charge supérieurs (débits supérieurs, nouveaux aléas). Elle s'analyse par la prise en compte du cas de surcharge mais pas seulement. Elle se base aussi sur des principes simples prenant en compte l'aléa technologique. Un signe de robustesse pour une variante d'aménagement de cours d'eau est par exemple le niveau d'eau en crues (en cas de présence de digue). L'aménagement présentant le niveau le plus bas mettra forcément moins en danger la population en cas de défaillance du système (rupture de digue imprévue par exemple). C'est pour cela aussi que les solutions d'élargissement sont souvent meilleures pour la sécurité (...dans le cas des grands aménagements de cours d'eau avec des digues hautes).

Au terme d'un processus de recherche de solution suivant ce schéma, on obtient un aménagement de protection **très peu sensibles aux variations climatiques**. Il peut absorber des crues plus importantes provenant de modifications climatiques avec un minimum de dégâts et il pourra être adapté « facilement » le jour où un changement de débit de dimensionnement sera décidé à cause de l'effet climatique...ou de l'augmentation des dégâts potentiels.

C'est la voie que je propose de suivre en attendant que l'observatoire nous permette, cas échéant, de définir de nouveaux débits.

4 Social learning

Cette manière de faire doit être complétée par un travail sur l'**intervention d'urgence**, selon un concept de protection intégrée des risques développé en une fois et prenant tous les éléments en compte. L'éducation de la population est centrale pour la gestion de crise. La mise à l'enquête de la carte de danger, ou de l'aménagement de protection sont des phases importantes pour sensibiliser la population aux risques. Dans le cas du danger Rhône, nous permettons la construction en certaines zones de danger uniquement si la commune a mis sur pied son plan d'intervention d'urgence, nommé son état major et fait un exercice d'évacuation chaque 4 ans (période politique).

5 Organisation des compétences

La gestion intégrale des risques (esquissée ci-dessus) présente des difficultés de mise en œuvre car elle s'appuie sur des compétences très diverses, des hydrologues aux ingénieurs en passant par les spécialistes de l'intervention d'urgence et de la gestion du risque et du territoire.

Ces compétences sont souvent regroupées verticalement (dans un organigramme), dans des services, divisions ou département différents, alors qu'elles sont toutes nécessaires pour appréhender globalement la question.

La solution passe souvent par la création d'une **Equipe de projet**, transversale à l'organisation administrative et regroupant toutes les compétences nécessaires. Cette organisation opérationnelle peut être mise sur pied par décision du politique sans changement des organigrammes (ce qui prendrait trop de temps). Cette décision



politique pourrait aussi préciser les objectifs de cette Equipe, ce qui permettrait de disposer d'un socle politique fort traversant les législatures.

6 Autres dangers naturels

N'étant pas spécialiste des autres dangers naturels, je ne mesure pas la pertinence de cette analyse dans le cas des avalanches ou chutes de blocs, bien qu'il me semble qu'il s'agisse de principes assez généraux.

Il convient cependant d'ajouter en tous cas un élément supplémentaire pour les aléas (au sens suisse du terme) directement liés à la température comme la fonte du permafrost. Dans ce cas, je pense qu'un nouveau scénario (toujours au sens suisse du terme) devrait systématiquement être analysé, p. ex. avec un + 2°, pour évaluer les volumes de matériaux mobilisables et analyser la sensibilité de la carte de danger en conséquence.

Tony Arborino
L'ingénieur du Rhône

Annexe : -

Copie : -



5. Adaptation de la gestion des risques naturels en Savoie – Anne LESCURIER (CG73, Service Risques naturels)

Cette intervention présente les constats effectués par le service Risques naturels du Conseil Général de la Savoie sur l'évolution récente des aléas naturels qui affectent son réseau de routes départementales (Fig. 23). Ces constats ont trait à l'appréciation des effets possibles du réchauffement climatique sur ces phénomènes naturels observés, ainsi qu'à des retours d'expérience en matière de gestion de crise.

Le service Risques Naturels du CG73

Le Conseil Général de la Savoie est un réseau routier de montagne (dont 1000 km sont situés à plus de 1000 m d'altitude) avec un parc d'ouvrages de protection contre les risques naturels importants et varié, et subissant un trafic important (300 000 lits touristiques en Tarentaise).

Il a mis en place une organisation importante :

- Une veille permanente 24h/24 et un Centre d'Information et de Gestion du Trafic
- Un service « Risques Naturels » au sein de la Direction des Routes
- Un réseau d'experts et d'entreprises d'astreintes, susceptibles d'intervenir dans les 2h
- Un réseau de stations nivo-météorologiques et de détecteurs de mouvements
- Des processus décisionnels et des consignes (fiches Vademecum)
- Des PIDA (Plan d'Intervention de Déclenchement d'Avalanches) et des procédures spécifiques à certains sites à risques identifiés
- Un SIG des zones à risques et des ouvrages de protection
- Un observatoire des Risques Naturels

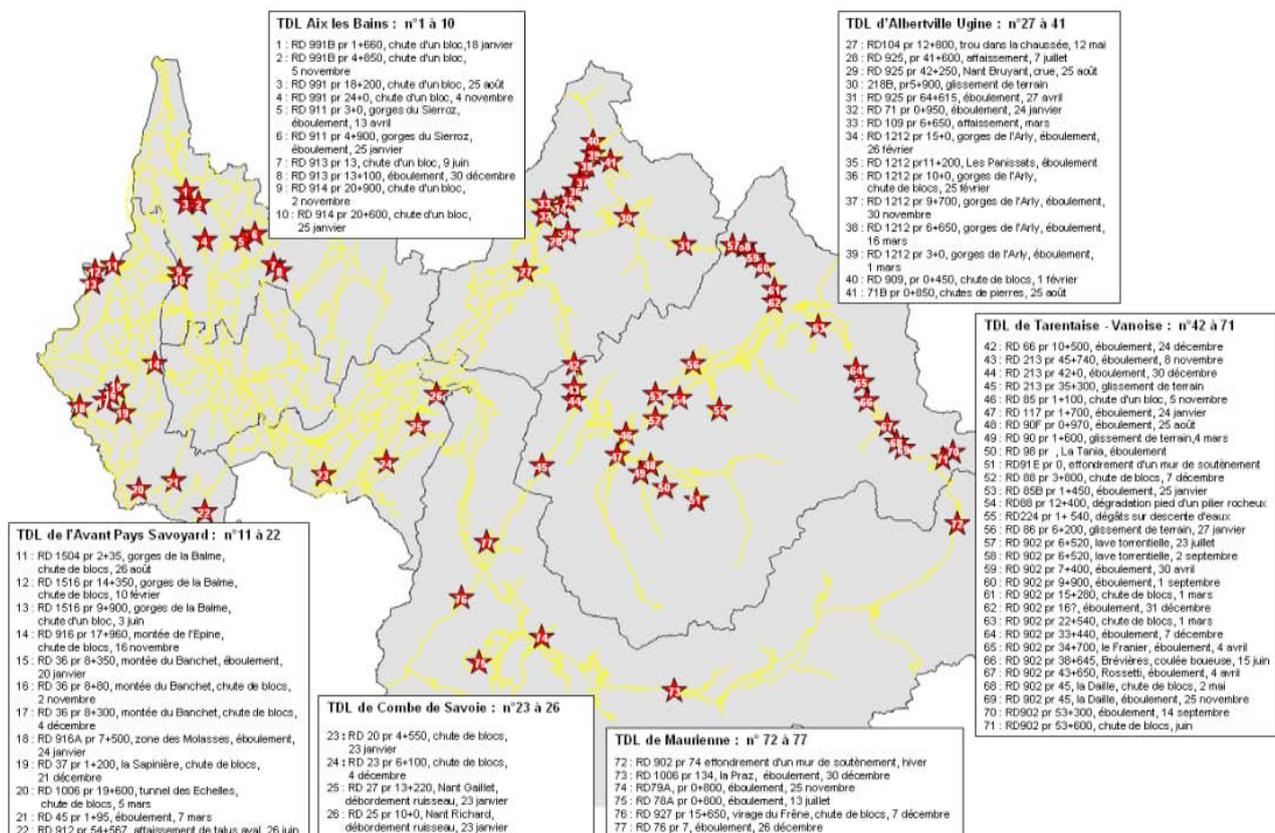


Fig. 23. Evénements naturels 2009 avec atteinte à la route

La protection des usagers vis-à-vis des risques naturels mobilise un budget conséquent (6,99 M€ pour 2010), qui s'appuie sur des budgets spécifiques :

- Un programme « Fond d'interventions d'urgence » (1,100 M€/ an)
- Un programme « Protection contre les risques naturels » (2,980 M€/ an)
- Un programme « Protection contre les risques avalancheux » (0,880 M€/ an)
- Un programme « Plan Qualité Routes RN et ex RN » (0,900 M€)
- Un programme « Plan Qualité Routes RD » (1,130 M€)

En Savoie, tous les événements qui se produisent sur les routes du réseau départemental font l'objet d'une information au centre de gestion centralisée (OSIRIS) basé à Albertville, qui les répercute aux différents acteurs en charge de la gestion de crise (Conseil Général, SDIS, services de police, etc.), en coordination avec la Protection Civile, qui met à disposition du personnel et du matériel (hélicoptères). La présence d'un coordonnateur dans chaque vallée permet également d'assurer une bonne coordination dans la gestion d'urgence (organisation de l'hébergement des personnes, décisions de réouverture temporaire d'une route pour désenclaver des usagers...). Le savoir faire et l'organisation de ces différents acteurs sont le fruit d'une longue expérience en matière de gestion de crise liée aux aléas naturels. De ce point de vue, « le changement climatique ne devrait pas modifier grand-chose ».

Les processus décisionnels sont basés sur 2 types d'analyse bien formalisés :

1- Classification des sites à risques

Les sites à risque sont classés par niveau d'exposition pour l'utilisateur, de N1 (exposition forte) à N4 (exposition faible) ; N est fonction de :

- l'Aléa (donné par un Bureau d'Etude ou le Service Risques Naturels)
- la Fréquence (donnée par les agents du territoire concerné)
- l'Enjeu (basé sur la hiérarchisation du réseau)

2-Classification de l'état du patrimoine ouvrages de protection

Les ouvrages de protection sont classés par niveau d'urgence de remise en état :

- Niveau d'urgence 1 - MAUVAIS (ouvrage non fonctionnel ou qui fonctionne partiellement très en dessous de sa capacité d'origine)
- Niveau d'urgence 2 - PASSABLE (ouvrage fonctionnel ou partiellement fonctionnel mais qui nécessite d'intervenir relativement rapidement pour ne pas évoluer en niveau 1)
- Niveau d'urgence 3 - MOYEN (ouvrage fonctionnel, mais qui mériterait quelques améliorations)
- Niveau d'urgence 4 - NEUF (ouvrage neuf ou en excellent état)

Impacts les plus fréquents constatés de l'évolution climatique sur les aléas naturels en Savoie

Malgré les moyens importants mis en œuvre pour la gestion quotidienne des risques naturels, les services du département ont des difficultés croissantes pour faire face à des phénomènes « qui surviennent de plus en plus hors saison et avec des intensités de plus en plus marquées ». Les évolutions constatées sont les suivantes :

- Variations très importantes des températures dans un laps de temps très court.
- Brutalité des événements climatiques (pluies diluviennes, périodes de gel/dégel intenses) pouvant être très localisés et de ce fait très difficiles à prévoir.
- Recrudescence des événements de type chutes de blocs, y compris en hiver (70 événements sur l'année en 2009, 70 événements à mai 2010).
- Intensification des crues torrentielles (plusieurs phénomènes en 2010 : Valloire, Pralognan, Champagny).
- Recrudescence des glissements superficiels (ex. : montée au col de la Madeleine), mais pas d'évolution notable concernant les glissements profonds.
- Modification des périodes d'occurrence des coulées de neige provenant des talus routiers, qui surviennent de plus en plus en plein hiver (alors qu'elles se produisaient plutôt à partir du mois de mars auparavant, en période de fonte des neiges).

Impact sur les crues et laves torrentielles

Crues torrentielles des vallées de Pralognan et de Champagny le 12 juillet 2010

Suite à des précipitations violentes et très localisées (~78 mm d'eau cumulés sur 24h, et probablement plus concentrés dans le temps) combinées à une fonte tardive, de nombreux débordements torrentiels se sont produits dans les vallées de Pralognan et de Champagny (Fig. 24). Ceux-ci ont entraîné une coupure de la circulation sur les deux axes (vers 17 h) jusqu'au lendemain matin (vers 8 h). La prévision du phénomène pluvieux s'est révélée défailante malgré un réseau de stations météorologiques assez dense (EDF / Flowcapt).



Fig. 24. Crues torrentielles du 12 juillet 2010

En revanche, la crise a été gérée avec une réactivité satisfaisante (survol en hélicoptère, information et prise en charge des usagers bloqués, hébergement des personnes). Le coût des interventions s'élève à 220 k€ Suite à ces crues, il a été décidé d'améliorer les passages à gué existants.

Coulées de boue mélangées à des blocs et à de la glace sur la route d'accès à La Giétaz (RD909) le 6 décembre 2010

Cet événement s'est produit après un épisode de froid et des chutes de neige importantes le 1^{er} décembre, suivi d'un réchauffement le 6 décembre accompagné de précipitations violentes très localisées, plus fortes que celles annoncées par Météo-France, avec 80 mm en 24h (évalués d'après le suivi de l'évolution des précipitations sur la station Flowcapt de l'Arly) contre 40 mm annoncés. De surcroît, la prévision locale annonçait des coulées de neige et non des coulées de boue (Fig. 25). La survenue d'un tel phénomène à cette époque de l'année est assez atypique sur les derniers 10 ans.



Fig. 25. Coulées boueuses sur la route d'accès à La Giétaz (RD909) le 6 décembre 2010

Ces coulées ont entraîné une coupure de la circulation, isolant La Giétaz et Flumet jusqu'au lendemain. Une réouverture partielle placée sous vigies pendant une semaine a permis aux entreprises de remettre la route en état pendant la journée en procédant à la fermeture de l'axe pendant la nuit. Ce dispositif a nécessité une gestion de l'information efficace au moment de la fermeture pour avertir les usagers, en particulier les transports scolaires (hébergement de quelques scolaires la première nuit puis mise en place d'une déviation). L'information aux usagers s'est effectuée via les relais habituels OSIRIS (www.savoie-route.com) et la radio locale France Bleu Pays de Savoie.

Impact sur les mouvements de terrain et les éboulements

Glissements superficiels le long de la RD213, accès au col de la Madeleine, les 29 et 30 mai 2010



Fig. 26. Glissements superficiels le long de la RD213, accès au col de la Madeleine, les 29 et 30 mai 2010

Il s'agit là encore de précipitations violentes et très localisées, avec un cumul de 78mm en 24h, combinées à une fonte tardive, dont la prévision a échoué malgré l'accès à un réseau de stations météorologiques assez dense (abonnement au réseau météorologique d'EDF composé de 13 stations + 7 stations Flowcapt). Ces fortes pluies ont déclenché des glissements superficiels, qui ont entraîné une coupure totale de la circulation pendant 5 jours, puis un alternat. Visuellement, on se rapproche de dégâts tels que ceux observables aux Antilles (Fig. 26), avec des versants ruisselant dans leur intégralité, de très nombreuses ruptures de talus, ainsi que des coulées de boue empruntant les routes, avec des dégâts aux chaussées sur plusieurs kilomètres. Le coût des interventions est de 110 k€

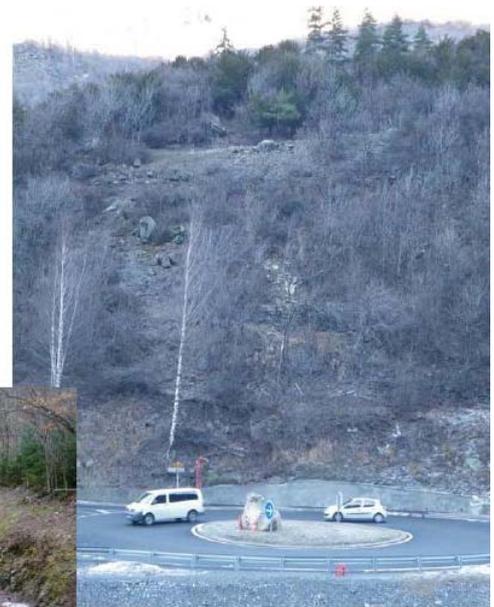
Suite à ces événements (et aux crues torrentielles du 12 juillet 2010), la décision a été prise d'équiper toutes les stations Flowcapt (initialement destinées à suivre le transport de neige par le vent) avec des pluviomètres pour **intensifier le réseau de surveillance et améliorer la couverture des secteurs connus pour être les plus critiques**, ce qui constitue une des réponses identifiées pour mieux se préparer à faire face à ce type de phénomènes.

Recrudescence de chutes de blocs et d'éboulements fin décembre / début janvier 2011 (gel/dégel intense...)

Le nombre d'interventions effectuées sur cette courte période pour des problèmes de chutes de blocs s'élève à une trentaine, « ce qui ne s'est jamais vu depuis 10 ans », avec des blocs de taille relativement importante, dont certains ont atteint et endommagé la route (Fig. 27). Dans le cas de la route du col du Chat (RD914a), l'éboulement a provoqué une trouée dans le paysage, avec des blocs d'une taille supérieure à 10 m³ qui ont atteint la chaussée dans une zone non répertoriée comme étant à risque fort. Le sentiment est que « sur ces 10 dernières années, les phénomènes de chutes de blocs liés à des actions de gel/dégel sont bien connus, mais pas avec cette intensité là ».



Fig. 27. Exemples de chutes de blocs sur des routes en Savoie en janvier 2011



RD76 Montgellafrey 10/01/11

RD914a col du Chat 09/01/11

RD1006 Orelle 16/01/11

Impact sur les avalanches et les coulées de neige

On n'observe pas d'évolution évidente sur les avalanches. En revanche, les coulées de neige qui se produisaient souvent autrefois au mois de mars / avril se produisent maintenant « un peu à toutes les périodes, dès qu'on a un phénomène de gel/dégel ». Une des réponses apportées pour se prémunir de ces phénomènes est la **multiplication des trépieds** (Fig. 28).



Fig. 28. Ouvrages de protection contre les avalanches (Tignes)

Risques associés aux lacs glaciaires : la vidange du lac de Rochemelon (Haute Maurienne)

Ce lac présentant deux verrous (un verrou glaciaire côté français, un verrou rocheux côté italien) avait été suivi de 2001 à 2003 dans le cadre du projet *GLACIORISK* (recensement des glaciers à risque pour les activités humaines), parce qu'il avait été identifié comme présentant un risque de vidange brutale. Les enjeux exposés en aval côté français sont les villages de Bessans, Lanslevillard, Lanslebourg et Termignon. Les débits pouvant résulter de la rupture du verrou glaciaire ont été évalués supérieurs à ceux d'une crue centennale.

Le risque de vidange brutale par rupture du verrou glaciaire a été suspecté fin août 2004 par les scientifiques qui l'avaient étudié, et une reconnaissance de terrain fut mise en œuvre. Le 30/09/04, la hauteur de la revanche n'était plus que de 30cm ! Des travaux conduits par le RTM ont alors été engagés pour supprimer le risque de vidange brutale (Fig. 29). Une 1^{ère} opération de pompage a été mise en œuvre à l'automne 2004 pour ramener le niveau du lac à une cote acceptable (abaissement du niveau du lac de 6 m) et une 2^{ème} opération a été réalisée en 2005 pour vidanger le lac, avec la création d'une bédrière par amorce à l'explosif, puis siphonage. Le coût total des opérations s'élève à 390 k€ TTC (le Conseil Général de Savoie a participé financièrement à ces travaux). A. Lescurier attire l'attention sur le fait que **plusieurs glaciers à risques ont été répertoriés au cours du projet GLACIORISK, mais qu'on ne dispose pas d'information sur leur évolution actuelle.**



Fig. 29. Étapes successives de la vidange du lac glaciaire de Rochemelon en 2004 et 2005

Pistes de réflexion

- Renforcer les **moyens de suivi des événements météorologiques** pour mieux anticiper les phénomènes localisés.
- Recenser et s'appuyer sur des **bases de données**, outils indispensables pour comparer et savoir statistiquement quand une situation devient problématique (sur la base de l'expérience acquise au cours de situations similaires).
- Améliorer la **réactivité** à défaut de la prévention (certains phénomènes resteront imprévisibles).

6. Adaptation de la gestion des risques naturels en Isère – Valentin LE BIDAN (CG38, Service des routes)

Le service des routes du Conseil Général de l'Isère ne gère pas les risques naturels mais il est gestionnaire d'un réseau routier d'environ 5000 km de linéaire sur des reliefs présentant un caractère montagneux sur la moitié sud de son territoire, qui à ce titre constitue « un bon baromètre » de l'activité des aléas naturels sur le département : inondations (qui concernent peu les routes départementales), crues et laves torrentielles, mouvements de terrain et avalanches.

Le constat fait depuis quelques années est une **augmentation de l'intensité des phénomènes météorologiques**, comme l'illustrent les exemples suivants.

Lors de la sécheresse exceptionnelle de l'été 2003, des **incendies de forêt** se sont produits sur des versants des massifs de la Chartreuse (incendie du Néron) et du Vercors (au mont Barret). L'incendie du mont Barret à la sortie des gorges de la Bourne (Fig. 30) n'a pas eu d'impact immédiat sur la route départementale, mais on en mesure aujourd'hui les conséquences sur le couvert végétal et sur les phénomènes gravitaires, avec de nombreuses chutes de blocs rocheux dans le village et sur la route



Fig. 30. Incendie du mont Barret (Vercors), été 2003



Fig. 31. Crues de la Valdaine en juin 2002

Les crues violentes et très localisées de la Valdaine en juin 2002 ont été un désastre pour le réseau routier (Fig. 31), et des traces de cet événement subsistent dans le paysage encore aujourd'hui

On observe des amplitudes thermiques importantes sur des laps de temps très restreint, ce qui paraît être un phénomène assez général (également constaté en Savoie). En conséquence, on a une augmentation apparente des **phénomènes de type érosif**, avec des épisodes de ruissellement qui entraînent une érosion importante des talus routiers.

Les événements de ce type autrefois considérés comme exceptionnels deviennent communs. Confronté de manière croissante aux problèmes de gestion des dommages sur son réseau, le service des routes du CG38 conclut à la nécessité de **revoir le seuil du caractère exceptionnel** de ces phénomènes.

La politique de gestion en cours d'élaboration au service des routes **prévoit notamment de fonctionner en mode dégradé** (de la même façon que lors du déneigement d'une route, on privilégie le rétablissement des accès les plus stratégiques avec un fonctionnement en mode dégradé pour les accès à enjeux moindres). Ce type de fonctionnement devra être **associé à une communication spécifique auprès des usagers**. Cela s'inscrit également dans un contexte politique où « on nous demande de faire mieux avec moins, donc on n'a pas le choix ».

À ce titre, pour le gestionnaire des routes, le changement climatique n'est **qu'une incertitude parmi d'autres**, qui s'ajoute aux incertitudes financières et aux incertitudes sur la façon dont le risque est perçu par la population et par les médias, et il estime que « ces incertitudes déjà existantes évoluent plus vite que l'aléa climatique en lui-même ».

Il faut adapter notre niveau d'exigence en termes d'investissements (« aujourd'hui on s'oppose à certains bureaux d'études et on accepte de ne pas traiter certains phénomènes sur certains itinéraires »), et travailler à l'optimisation des techniques de traitement et de suivi des phénomènes (sur le même principe que « faire mieux avec moins »).

Il faut mettre en place un **suivi rapproché des événements** (fréquence, intensité) : « la jurisprudence est très claire là-dessus, il faut disposer d'un observatoire le plus fiable et exhaustif possible des événements sur notre réseau ». Le travail est en cours sur cet aspect dans le but, à terme, de corréler ces événements avec les conditions météorologiques qui les ont provoqués, dans une optique d'amélioration de la prévision.

Jusqu'ici, les interventions du service étaient essentiellement curatives : « on attendait la survenue des événements pour intervenir ». Les orientations actuelles visent à développer des **approches plus préventives**, par exemple en fermant des itinéraires en cas de désordres importants annoncés, d'où la nécessité de disposer de données météorologiques pertinentes et actualisées (celles-ci existent dans une certaine mesure, mais « on n'y a pas forcément accès »).

V. Lebidan nuance le propos de J. Liévois sur l'importance des références temporelles différentes qui existent entre les différents acteurs. Il considère que malgré la difficulté pour les décideurs politiques confrontés à leurs échéances électorales de porter une vision et une **stratégie à long terme** en matière de gestion des risques naturels, « au moment de l'événement, le pas temporel est le même pour tout le monde ».

Dans le cas de la tempête Xynthia, « on disposait de cartes dépressionnaires, on avait prévu l'intensité du vent, on connaissait également les coefficients de marée et la hauteur des digues, et de plus, il y avait eu un événement précédent une dizaine d'année auparavant, mais il n'y a pas eu d'alerte ! Donc même si l'on dispose des données, si on n'a pas **une coordination et un niveau de veille suffisants**, on passe à côté... ».



Un autre exemple, plus local, est celui de la Combe des Torches sur la RD 1091 (Fig. 32), qui relie Grenoble à Briançon et est donc une route à fort enjeu. Ce couloir est connu pour produire des événements de type lave torrentielle (qui atteignent la route de manière récurrente) et des avalanches (ces phénomènes atteignent l'infrastructure routière de façon exceptionnelle, aucune avalanche n'étant descendue jusque là depuis 1946). Une lave torrentielle importante s'est produite en juillet 2010 suite à des précipitations d'intensité exceptionnelle, avec un surcreusement du talweg. Après cet événement, un épisode avalancheux a atteint la route en décembre 2010, faisant suite au premier épisode neigeux de la saison, qui a donné des précipitations importantes mais non exceptionnelles. Sur ce site, le risque avalancheux n'était pas pris en compte jusqu'ici et va devoir être reconsidéré à la hausse, avec la nécessité pour le CG38 d'engager un programme de sécurisation de la zone. Comme le montre cet exemple, **on s'attend désormais à voir certains sites réagir de manière plus intense et plus rapides aux événements météorologiques**.

Fig. 32. La Combe des Torches (Isère)

Remarque

C. Peisser : Les différentes présentations font ressortir un certain nombre de points communs, mais également des orientations quelque peu différentes d'un territoire à l'autre, qui pourront être de nouveau abordés lors des discussions. En particulier on a entendu plusieurs fois mentionnée l'importance de la **réactivité en cas de survenance d'un événement non prévu**, puisque l'on est confronté de plus en plus à des événements qui étaient classés comme exceptionnels, et qu'on se retrouve ainsi de plus en plus souvent en situation de crise.

7. L'expérience des services de secours en Haute-Savoie – Pascal STRAPPAZZON (SDIS 74)

P. Strappazzon, sapeur pompier au Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) de Haute-Savoie, est spécialisé dans le secours en montagne, mais témoigne également de l'organisation de la gestion de crise dans son service.

En matière de veille, de prévision et d'intervention, les SDIS travaillent en étroite collaboration avec les autres services impliqués dans la gestion de crise au niveau du département (RTM, Préfecture, Conseil Général, etc.), ce qui leur donne la capacité d'intervenir de manière préventive, comme ce fut le cas par exemple lors de la vidange de la poche d'eau du glacier de Tête-Rousse pendant l'été 2010, avec la mise en place d'un dispositif préventif d'alerte et d'évacuation de la population, suite à une étude approfondie entreprise sur cette poche d'eau (cf. présentation de C. Vincent).

L'organisation des services de gestion des risques doit garantir le positionnement rapide des services de secours en cas de catastrophe. Pour la gestion d'urgence, le SDIS s'appuie sur les équipes en place dédiées aux différents types d'aléa naturel, ainsi que sur les techniciens (RTM, etc.) pour organiser la prévention. Son point fort est la **réactivité** de ses équipes, qui sont en particulier capables d'intervenir dans des environnements difficiles d'accès pour porter assistance aux victimes en montagne. Le SDIS comporte aussi un service spécialisé dans la prévision et la prévention, notamment concernant les mouvements de terrain et les avalanches.

D'après l'expérience du SDIS, l'incidence du réchauffement climatique sur les avalanches n'est pas flagrante.

Un fait marquant est le déclenchement d'une plaque sur le glacier du Ruan (commune de Sixt-Fer-à-Cheval) le 31 août 2009, où l'effondrement d'un pan de glace et/ou de névé décroché du socle rocheux a emporté 6 alpinistes, faisant 2 morts. Aucun événement semblable n'était connu sur ce glacier « en fin de vie », et il paraît donc tout à fait exceptionnel. J. Liévois mentionne le rapprochement qui a été fait entre cet événement et celui qui s'est produit en décembre 2002 sur le glacier du Cheval Blanc, situé non loin, où un compartiment de glace a brutalement glissé sur une dalle rocheuse et s'est transformé en aval en une lave torrentielle.

Enfin, en 20 ans de pratique, P. Strappazzon qui est aussi guide de haute montagne signale qu'il a dû rajouter une longueur de corde (50m) sur les voies d'escalade qu'il a équipées sur des parois démarrant d'un glacier.

8. Discussion générale (part 1)

F. Gillet : Déjà aujourd'hui il existe beaucoup d'incertitudes en matière de connaissance des aléas ; le changement climatique ajoute un degré de plus dans les incertitudes ; cela pose le problème de savoir comment gérer ces incertitudes encore mieux qu'on ne le fait aujourd'hui.

Là-dessus s'ajoute, de façon plus ou moins indépendante des aléas, le problème des vulnérabilités, non seulement la vulnérabilité physique (des personnes, des bâtiments, des entreprises) mais aussi les vulnérabilités fonctionnelles des établissements qui reçoivent du public (hôpitaux, écoles), les vulnérabilités de tous les réseaux (qui peuvent poser des problèmes insurmontables quand ils sont désorganisés, notamment dans les lieux à forte concentration de population) et les vulnérabilités organisationnelles. Avec le changement climatique il faut se préoccuper plus qu'on ne l'a fait aujourd'hui de ces vulnérabilités et en terme de gestion de savoir comment les réduire, ou au moins les stabiliser, alors que dans les faits elles augmentent en permanence (nouveaux permis de construire...). Il reste de gros progrès à faire quant à la connaissance de ces vulnérabilités.

L'événement de référence, sur lequel on cale les mesures de prévention et de protection, notamment pour les phénomènes récurrents, est la base des politiques de gestion des risques. Beaucoup d'experts disent aujourd'hui qu'on va vers plus de phénomènes extrêmes. Il faut donc peut-être s'apprêter à revoir l'événement de référence, mais aussi se préparer mieux à la gestion de crise, dans le cas où l'événement de référence est dépassé: il faut être capable de réagir de manière plus efficace. D'autre part, comment augmenter la résilience de la société face à ces phénomènes ?

Ce sont des questions transversales à tous les risques mais qui sont fondamentales car souvent trop peu appréhendées.

A. Lescurier repose le problème du seuil d'acceptabilité : il faut que les élus se positionnent clairement.

F. Gillet : Pour les phénomènes récurrents (crues, torrents, avalanches), la collectivité considère qu'il faut se protéger jusqu'à un certain niveau, l'événement de référence - souvent l'événement centennal - au-delà duquel la protection coûte trop chère ou est trop difficile à mettre en œuvre, alors que la population aimerait être mieux protégée. Il existe donc un compromis social, qui fait l'objet de discussions. En France il y a des règles nationales qui définissent l'événement de référence à prendre en compte ; selon les pays les règles varient mais restent au cœur d'une politique de prévention.

J.D. Rouiller : Pour illustrer la notion d'acceptation du risque, l'avalanche d'Evolène en février 1999 a donné lieu à une procédure judiciaire suite à la plainte déposée par un citoyen qui avait perdu une partie de sa famille lors de l'événement. Alors que les habitants du village qui avaient eux aussi perdu des membres de leur famille ne sont pas partis en procédure. Cela montre assez que la culture du risque des habitants locaux conduit à une plus grande « acceptation » des conséquences dramatiques d'une catastrophe naturelle. En plus du changement climatique, l'arrivée de plus nombreux citoyens sur des territoires de montagne pose de nouveaux problèmes de gestion.

I. Voyat : En Italie, cette culture du risque n'existe pas, même chez les locaux : la protection doit être assurée, le gestionnaire doit tout prendre en compte. La législation réagit toujours dans le sens de la population qui cherche un responsable. Même avec de l'information on a du mal à faire changer les comportements des adultes. Il vaut mieux viser l'éducation des enfants qui sont plus réceptifs (exemple du tri sélectif) : par exemple aux Etats-Unis - où il y a aussi cette culture d'aller en justice - les enfants sont formés à réagir en cas de crise (exemple d'une fille qui a su faire les bons gestes pour sauver son frère lors d'un accident domestique), comme au Japon en cas de séisme : importance de former les gens à la gestion de crise par des exercices pratiques.

9. Analyse des séries hydrologiques alpines – Michel LANG et Antoine BARD (Cemagref Lyon)

Ce travail, entrepris dans le cadre du WP4 du projet *AdaptAlp*, porte (1) sur la détection de tendances dans les séries de débits à l'échelle des Alpes et (2) sur l'utilisation de la modélisation climatique pour prévoir les tendances futures.

Détection de tendances dans les séries de débits à l'échelle des Alpes

Il s'agissait de collecter un nombre suffisant de longues séries d'observation de qualité pour pouvoir disposer d'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 auprès des partenaires du projet (Fig. 33).

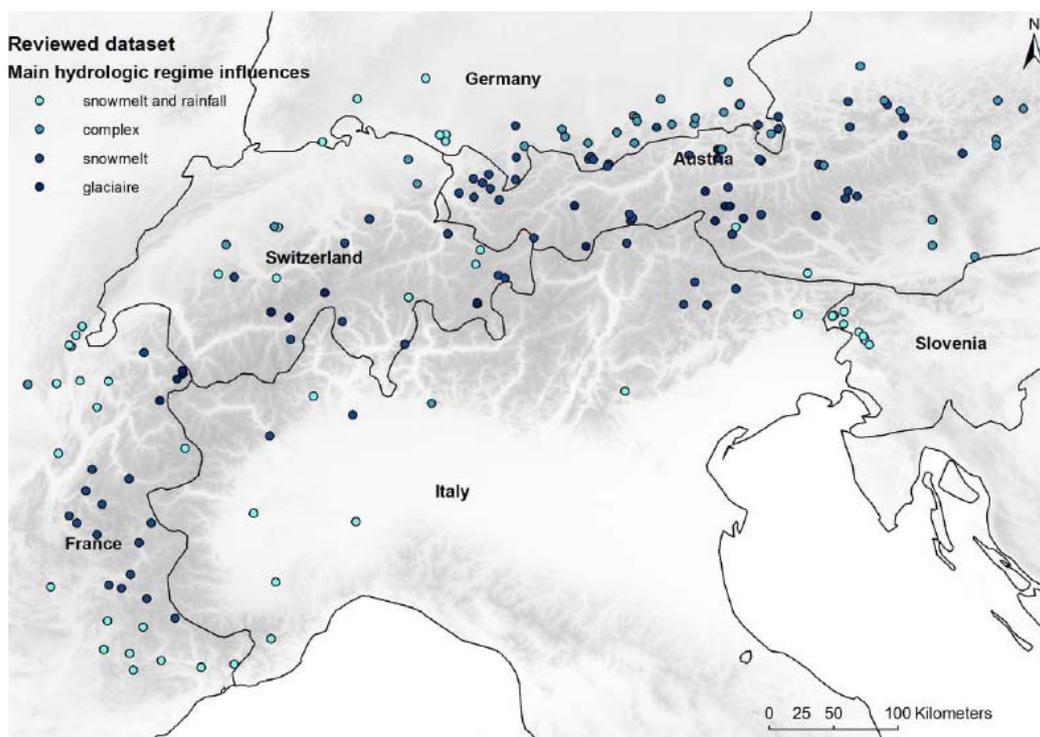


Fig. 33. Distribution des stations hydrométriques utilisées dans l'analyse des séries hydrologiques (WP4 AdaptAlp)

Plusieurs tests statistiques ont été conduits sur la base de données ainsi constituée, en utilisant la méthodologie déjà utilisée pour l'analyse des séries de débits des cours d'eau en France métropolitaine (thèse de Benjamin Renard, 2006). L'analyse a porté sur différents paramètres relatifs aux débits d'étiage et aux débits de crue. L'analyse des débits de crue a focalisé en particulier sur les débits de fonte.

L'analyse des maxima de débit ne révèle aucune tendance significative à l'échelle des Alpes. En revanche, la même analyse menée en fonction des types de régime hydrologique a mis en évidence des évolutions cohérentes et statistiquement significatives pour les régimes glaciaire et nival. Ces évolutions paraissent liées de manière étroite à l'évolution des températures observées, avec une date plus précoce de la fonte nivale et glaciaire.

Globalement et pour la majorité des cours d'eau considérés, on ne peut pas conclure à une augmentation significative de l'intensité ou de la fréquence des événements, ce qui ne veut pas dire qu'une tendance n'existe pas. En effet, il existe une **forte variabilité naturelle** et une tendance peut exister dans les séries sans que l'on soit capable de la détecter avec nos tests statistiques, la difficulté étant de la distinguer de cette variabilité au sein de séries fortement « bruitées ».

Discussion

R. Mayoraz : Nous baignons dans une ambiance médiatique selon laquelle il y a déjà une évolution en train de se faire, alors que c'est juste une idée. Or malgré le grand nombre de séries utilisées et de tests effectués, les données que vous avez rassemblées ne montrent pas de tendance. Est-ce que vous pensez qu'il y a un changement mais que vous n'arrivez pas à le décélérer, ou est-ce que vous pensez qu'il n'y en a pas ?

M. Lang : Justement, on ne peut pas se prononcer. Le fait de ne pas avoir détecté de tendance significative indique soit que le test n'est pas assez puissant pour la détecter, soit qu'il n'y a pas de tendance actuellement. Les mêmes tests utilisés sur les températures sont complètement concluants, par contre ce n'est pas le cas sur les précipitations et sur les débits. Seule l'analyse par type de régime montre des résultats très nets lorsqu'ils sont influencés par la température, avec des décalages saisonniers ou une augmentation des volumes. Ces résultats montrent en fait qu'il n'y a pas de réponse généralisée et qu'il faut considérer les choses au cas par cas. Une grande prudence s'impose en matière d'analyse des tendances, car on ne peut pas généraliser une tendance observée sur un seul exemple, mais c'est vraiment la répétition sur un jeu de données important qui permet de conclure ou non. Un autre aspect important réside dans la critique des données : quand on détecte des changements dans un jeu de données, on s'aperçoit qu'ils résultent de problèmes de métrologie dans une grande partie des cas

F. Gillet : Certaines publications parues récemment indiquent que la fréquence des crues centennales en Europe et en Suisse pourrait être multipliée par 2 voire par 5 d'ici la fin du siècle, d'après les résultats de modélisations extrapolant les observations existantes. Que pensez-vous de ces résultats ?

M. Lang : Un certain nombre de travaux récents (Dankers et Feyen, 2008, *J.Geoph.Res.* ; Allamano *et al.*, 2009, *Geoph.Res.Let*) concluent effectivement sur un risque de crue qui augmente à échéance de la fin du siècle. De façon générale, il faut insister sur le fait que les résultats des simulations à partir de modèles climatiques doivent être analysés en fonction de leur performance à reconstituer correctement le climat présent. Or on s'aperçoit que des biais existent, en particulier lorsque l'on raisonne sur des échelles hydrologiques de temps et d'espace bien plus fines que celles des modèles climatiques. Ceci est particulièrement sensible pour les crues. Un renforcement des collaborations entre hydrologues et climatologues devrait permettre de progresser dans les techniques de désagrégation entre modèle climatique et modèle hydrologique, et d'affiner les résultats actuels des simulations.

Utilisation des modèles climatiques pour la modélisation hydrologique

Les modèles climatiques contiennent de nombreuses incertitudes (en particulier sur les concentrations en CO₂ pris en compte dans les scénarios du GIEC). Une partie de ces incertitudes résulte des différences d'échelles spatiales et temporelles des modèles climatiques et les échelles à prendre en compte dans les modèles d'impact qui sont pertinentes pour les opérationnels.

L'échelle requise dépend aussi des phénomènes qu'on étudie. Par exemple, pour les températures si on raisonne à l'échelle mensuelle, on arrive déjà à avoir des informations intéressantes. Par contre, si on s'intéresse aux crues, on va forcément raisonner sur des pas de temps beaucoup plus fins, et il y a encore beaucoup de travail à fournir pour arriver à des informations pertinentes. De nombreux travaux de recherche portent sur les techniques de désagrégation spatiale, pour passer des sorties de modèles climatiques à des échelles pertinentes pour les modèles hydrologiques.

Pour l'instant, le principal résultat concernant l'hydrologie est que **le changement climatique augmente l'incertitude, et il faut apprendre à travailler avec cette incertitude supplémentaire, mais il ne remet pas en cause les différents volets utilisés pour gérer le risque inondation.**

Il s'agit simplement de voir comment intégrer ces questions sur l'incertitude dans le futur. En effet le sens du changement n'est pas si clair. Il dépend vraiment des régions ; il y a des tendances contrastées entre l'Europe du Nord et l'Europe du Sud, or les Alpes sont au carrefour de différentes influences, donc « le résultat final est loin d'être clair ». Certaines prévisions en dehors des Alpes comme par exemple sur le bassin de la Seine annoncent une diminution du risque inondation, « donc on n'est pas toujours dans un sens d'une aggravation du risque ». **En ce qui concerne les Alpes, il est difficile de se prononcer à l'heure actuelle, notamment en raison des difficultés rencontrées pour surmonter les problèmes d'échelles spatiales et temporelles déjà évoqués.**

Discussion

F. Gillet : « En ce qui concerne le régime océanique, de nombreuses études suggèrent une légère aggravation des pluies en hiver et à l'inverse des sécheresses beaucoup plus marquées en été. Ce résultat peut-il être considéré comme fiable ? ».

M. Lang : « Il faut déjà vérifier l'aptitude des modèles climatiques à reconstituer correctement le climat présent, or il reste beaucoup de travail à faire sur ce point. Dans l'état actuel des modélisations, on fait des corrections de biais pour corriger les erreurs des modèles du climat présent, puis on suppose que l'on peut répercuter ces corrections sur le climat futur, ce qui constitue une source supplémentaire d'incertitude ».

F. Gillet : « Par contre, dans des climats plutôt méditerranéens, l'augmentation de température risque d'induire une atmosphère plus active et des précipitations brutales plus marquées ».

M. Lang : « Mais modulo le fait qu'aujourd'hui on a du mal à prévoir les phénomènes intenses à échelle fine et à savoir précisément où ils vont se produire. On se trouve un peu à la limite des modèles climatiques, et de leur résolution spatio-temporelle actuelle.

Références

- Allamano, P., Claps, P., Laio, F. Global warming increases flood risk in mountainous areas, *Geophysical Research Letters*, 2009, Vol. 36, L24404, doi:10.1029/2009GL041395.
- Dankers, R., Feyen, L. Climate change impact on flood hazard in Europe: An assessment based on high resolution climate simulations, *Journal of Geophysical Research*, 2008, Vol. 113, D19105, doi :10.1029/2007JD009719.

10. Discussion générale (part 2)

J. Lievois : Nous sommes dans un bain médiatique qui ressasse « qu'on va vers plus de problèmes » ; il semble qu'on ne soit pas audible si on ne démontre pas qu'en effet on va vers plus de problèmes. Par exemple, on a le sentiment qu'il y a de plus en plus de chutes de pierres, mais il est difficile de le démontrer de manière statistique (hormis dans le cas des écroulements dans les zones à permafrost, [cf. *présentation de P. Deline, p. 64*]). Si l'on examine les carnets des agents qui relèvent ces phénomènes le long des linéaires routiers, on se rend compte surtout qu'il y a une augmentation de la sensibilité aux problèmes de chutes de pierres. Il faut donc constamment pouvoir faire le tri entre ce qui est dicté par l'ambiance médiatique et la réalité mesurée.

J.D. Rouiller : En Valais sur le réseau routier (2200km) les interventions pour les chutes de pierres tendent plutôt à baisser avec le temps. Cela pourrait être dû en partie à la multiplication des mesures de protection qui retiennent les pierres. Donc oui, il y a augmentation de la sensibilité, mais dans le même temps il y a augmentation de la réactivité des automobilistes qui grâce à leur téléphone portable préviennent rapidement les responsables en cas d'obstruction de la chaussée.

T. Arborino : Par rapport aux remarques sur l'hydrologie, cela confirme qu'aujourd'hui on peut difficilement donner de manière absolue une valeur au changement climatique. Il faut travailler sur des analyses de sensibilité et fournir une fourchette plutôt qu'un chiffre. Aux gestionnaires d'analyser les conséquences de l'incertitude ($\pm 10, 15, 20\%$), pour permettre aux politiques de choisir entre un projet qui protège totalement et un projet qui protège partiellement avec gestion du risque résiduel.

F. Gillet : On peut donner des valeurs assez précises en matière de température mais pas en termes de précipitations.

T. Arborino : Il serait important d'oser envisager un scénario « à l'allemande » en considérant qu'il pourrait être nécessaire d'augmenter les débits de projet de par exemple $+15\%$. Cependant on ne doit pas augmenter directement les valeurs de dimensionnement de 15% , mais plutôt analyser la conséquence sur le danger et sur la solution de ce potentiel $+15\%$: le scénario est calculé avec le chiffre de débit habituel mais, si le changement climatique entraîne effectivement une augmentation des débits, il doit pouvoir être pris en compte.

A. Lescurier : Les gestionnaires des risques n'ont pas forcément les moyens mettre en œuvre ce principe, surtout dans le contexte actuel de restrictions budgétaires. Si on applique une politique d'augmentation de seuil, il faudra dimensionner par rapport à ces seuils augmentés, ce qui coûtera forcément plus cher ; donc soit on réalisera moins d'ouvrages soit on va passer outre ce nouveau seuil. Dans le cas du risque sismique par exemple, il n'existe pas de département ou tout est dimensionné aux séismes...

T. Arborino : Attention au raccourci, qu'il faut casser à tout prix, du chiffre initial du débit et donc de l'ouvrage. Ce sont deux choses différentes. Il faut admettre l'incertitude et décider si oui ou non on construit l'ouvrage compte tenu de cette incertitude. On ne doit pas chaque fois construire. La voie de la construction pour se protéger, déjà contre les débits actuels, est une voie sans issue. La voie de la gestion territoriale est très prometteuse quand on n'a pas (assez) de moyens. Par exemple en Suisse on a multiplié par 4 les budgets au niveau fédéral, mais ce n'est toujours pas suffisant, il faudrait les multiplier par 10 pour suivre la tendance de l'augmentation des dangers [des dommages ?]. Alors comment faire pour gérer la vulnérabilité ? En Valais la réponse est légale : il existe une loi sur l'aménagement du territoire disant qu'on ne peut pas construire en zone de danger et une loi sur la construction disant que si on construit en zone de danger il faut un préavis de l'expert cantonal. Je donne 560 préavis par an pour des constructions en plaine, dont une bonne partie où on interdit la construction pour ne pas devoir toujours ajouter des ouvrages de protection et éviter cette inflation de la vulnérabilité qui vient davantage du fait qu'on laisse construire que du changement climatique.

D'autre part, pour protéger la population en attendant mieux (données plus fiables), on lie la possibilité de construire dans certaines zones dangereuses à la condition que la commune ait établi le plan d'intervention d'urgence et ait réalisé des exercices d'évacuation. La commune est alors bloquée territorialement, sauf si elle a fait l'exercice d'évacuation. La personne qui part avec ses pantoufles et sa radio pour être évacuée à la protection civile s'en souvient et a une meilleure réaction la fois suivante. Le Valais a cette force administrative.

F. Gillet : Pour aller plus loin sur ce point important de gestion du territoire : est-ce que, quand vous autorisez une construction sous condition (par exemple plancher surélevé), vous prenez en compte la crue centennale, l'événement classique, ou est-ce que vous tenez déjà compte aujourd'hui dans vos recommandations du changement climatique qui risque de modifier cette crue centennale (15% des Allemands) ? Comme on construit en général pour 100 ans au moins, il est peut-être important déjà d'anticiper. En termes de décision c'est un élément extrêmement significatif.

T. Arborino : En effet. Malheureusement on a déjà du mal à faire appliquer tout ce qui concerne les menaces actuelles (visible pour les crues historiques). On n'a donc pas pris l'option de modifier les seuils, car si on va trop loin dans la pression sur le territoire on perd toute crédibilité auprès des politiques (ex. si l'alarme se déclenche trois fois par an alors que la digue déborde tous les 50 ans). Dans cette gestion humaine du danger il faut tout de même coller à l'historique.

A. Lescurier : Pour les problèmes de chutes de blocs, on peut choisir d'avoir un niveau de sécurisation maximal ponctuellement ou choisir un niveau de sécurisation homogène sur tout un linéaire, puisque on ne peut pas payer une protection maximale sur tout le linéaire. En Savoie, la deuxième solution a été retenue, ce qui amène à diminuer à certains endroits le niveau de protection possible. Il s'agit d'une politique adoptée au niveau du département, partagée par les élus, mais qui n'est pas connue du public et qui soulève deux gros manques :

1- Devant un juge, le gestionnaire est seul pour défendre la politique choisie, il n'est pas appuyé par un critère d'acceptabilité (jusqu'où est-ce valable de protéger ?), qui ne peut venir que d'une directive nationale ;

2- Comment faire comprendre au citoyen qu'à tel endroit on ne met pas en œuvre toute la protection possible car sinon on ne peut pas traiter tout l'itinéraire qu'il emprunte chaque jour, et qu'il vaut mieux tout traiter avec un niveau de protection qui correspond au plus courant ?

F. Gillet : Au niveau suisse, pour la gestion des itinéraires routiers, s'est développée une procédure d'analyse économique pour définir des priorités entre les divers aménagements à réaliser compte tenu des finances disponibles ; c'est particulièrement important dans la discussion avec les élus ; la Confédération a défini des règles assez précises ; la France n'est pas allée aussi loin et a des progrès à faire.

V. LeBidan tempère le point de vue des citoyens : dans certaines régions, le risque est tout à fait accepté ; en Isère il y a des zones où ce sont les élus et les citoyens qui disent « arrêtez de bétonner la montagne », alors qu'il y a régulièrement des accidents (gorges de la Bourne) ; il faut s'imposer pour réaliser les travaux de sécurisation. Les gens comprennent bien les fermetures de leur route ; le problème vient plutôt de l'organisation de la société, des systèmes d'assurance : en France, sur ces questions particulières routières, pour être indemnisé il faut une condamnation.

I. Voyat : Est-ce qu'après un accident le citoyen garde le même point de vue ? En Italie, le citoyen est le premier à se plaindre qu'une zone est classée rouge ; mais quand il y a un accident c'est aussi le premier à se plaindre.

V. LeBidan : Les deux accidents mortels qui se sont produits dans la Bourne n'ont pas vraiment changé la perception des habitants ; pourtant dans les deux cas le Conseil Général est envoyé devant le tribunal. Dans le premier cas le tribunal a donné raison au CG, considérant que la route ne présentait pas un caractère de risque exceptionnel. L'incompréhension vient surtout de certains citoyens venus s'installer dans le Vercors.

11. Impact du changement climatique sur les risques d'origine glaciaire – Christian VINCENT (CNRS / LGGE)

On distingue trois types de risques d'origine glaciaire :

- les vidanges brutales de **lacs** proglaciaires ou supraglaciaires ;
- les chutes de **séracs** ;
- la rupture de **poches d'eau** intraglacière ou sous-glaciaire.

Ces phénomènes se caractérisent par le fait qu'ils sont rares et extrêmement destructeurs. On recense depuis 25 ans seulement quelques événements ayant nécessité des interventions (travaux de vidange) :

- 1985-1986 : lac d'Arsine (massif des Ecrins) ;
- 2001-2002 : lac du Belvédère (Mont Rose, Italie) ;
- 2004-2005 : lac de Rochemelon ;
- 2009-2010 : lac supraglacière à Grindelwald (Valais)
- été 2010 : poche d'eau du glacier de Tête Rousse

A la question de quels pourraient être les impacts du changement climatique sur les aléas glaciaires, on peut citer les deux effets suivants :

(1) impact sur la **formation des lacs proglaciaires**, qui se forment au front des glaciers en recul (sous l'effet du CC), comme le glacier d'Arsine où il a fallu abaisser le niveau du lac pour éviter un risque de rupture du barrage morainique ;

(2) impact direct sur la **stabilité des glaciers suspendus** (ex. : séracs de Tacconnaz), comme le suggèrent les mesures de l'évolution de la température en fonction de la profondeur du glacier effectuées depuis 1994 au Col du Dôme du Goûter, qui montrent qu'on observe un impact direct du réchauffement (Fig. 34) même à 4300m d'altitude.

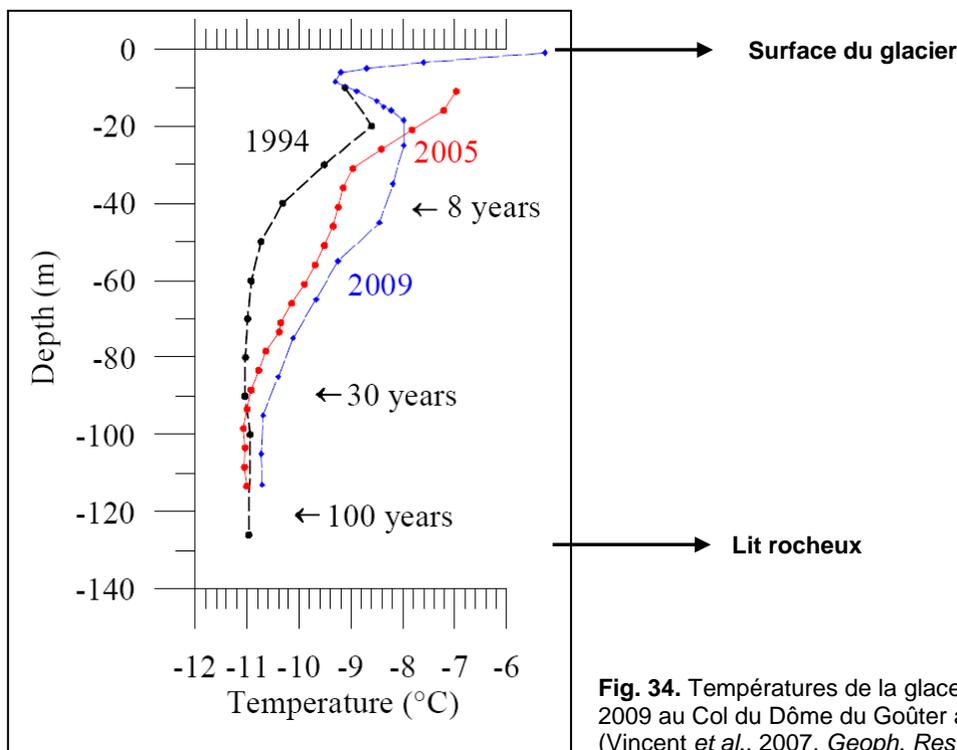


Fig. 34. Températures de la glace mesurées entre 1994 et 2009 au Col du Dôme du Goûter à 4300m d'altitude (Vincent *et al.*, 2007, *Geoph. Res. Let.*, updated).

Sur les autres types de risques d'origine glaciaire – poches d'eau et lacs supraglaciaires – l'impact est beaucoup moins évident et beaucoup moins clair, ce qui ne veut pas dire qu'il n'existe pas, car la relation entre ces phénomènes et l'évolution des paramètres climatiques est beaucoup plus indirecte.

Difficultés rencontrées pour la gestion des risques glaciaires

- les laboratoires de recherche étudient les risques en marge de leurs activités ;
- lorsque des phénomènes glaciaires générateurs de risques se manifestent, il faut réagir très rapidement à des situations imprévues (ex. : poche d'eau de Tête Rousse) ;
- ces phénomènes nécessitent des compétences géophysiques pointues et variées sur des phénomènes rares (ex: radar, sismique, résonance magnétique des protons, hydraulique, mécanique des milieux continus...), impliquant le plus souvent des approches multidisciplinaires, comme dans l'exemple de la poche d'eau de Tête Rousse (Fig. 35), où il a fallu réunir trois laboratoires (LGGE, LTHE et LGIT) et faire travailler ensemble des scientifiques qui ne se connaissaient pas ou très peu) ;
- l'analyse du risque nécessite une expérience, qui en matière de risques glaciaires reste assez limitée compte tenu de la rareté de ces phénomènes ;
- il y a généralement un manque de réactivité des pouvoirs publics (préfet, maires...) lorsque la situation n'est pas déclarée alarmiste, sans quoi il est très difficiles d'obtenir les moyens d'étudier le phénomène (ex. : Tacconnaz) ;



Fig. 35. Vidange artificielle de la poche par pompage entre le 25 août et le 15 octobre 2010

- même quand le risque est déclaré, et que des interventions sont planifiées pour diminuer le danger (gestion opérationnelle des risques), les moyens existants ne permettent pas toujours de mener en parallèle des recherches pour mieux comprendre ces phénomènes. Pourtant, c'est justement dans les situations du type de la « crise » du glacier de Tête Rousse qu'il faudrait mettre en œuvre les moyens nécessaires à la recherche, dans l'objectif d'acquérir l'expérience nécessaire à l'analyse du risque.

Recommandations générales : comment améliorer l'organisation/ l'efficacité de la recherche sur les risques glaciaires ?

- rapprocher les équipes qui ont des approches géophysiques variées, y compris des entreprises privées (réseau de compétences) ;
- mettre des moyens sur les diagnostics des risques potentiels sans attendre la situation de crise ;
- encourager et investir dans la recherche en parallèle de la gestion opérationnelle des risques, afin d'étendre les connaissances et de développer l'expérience sur l'analyse du risque. Dans le cas de la vidange du lac de Rochemelon, il aurait été profitable d'étudier les processus d'érosion de la glace par l'eau (Fig. 36), qui restent des phénomènes très mal connus, mais les financements nécessaires n'ont pas été obtenus.



Fig. 36. Etude des processus de l'érosion de la glace par l'eau

Recommandations sur l'amélioration des connaissances sur les risques glaciaires, afin d'améliorer les diagnostics

- Etude des processus de l'érosion de la glace ou d'une moraine par l'eau (débordement d'un lac proglaciaire ou supraglaciaire)
- Etude de l'ouverture d'un chenal intraglaciaire ou supraglaciaire (cas des poches d'eau ou des lacs)
- Résistance mécanique d'une langue glaciaire à la pression d'un lac ou d'une poche d'eau
- Rupture de séracs : étude des processus d'endommagement, étude de l'instabilité d'un glacier suspendu en cas de réchauffement basal
- Evolution du régime thermique d'un glacier (modèle thermomécanique) pour simuler l'évolution des poches d'eau ou simuler le réchauffement des glaciers suspendus (étude des processus de transferts d'énergie de la surface en profondeur, mesures de températures, conductivité...dans des forages, développement de modèle thermomécanique), pour chercher à répondre aux questions qui se posent pour la prévention du risque (ex. : séracs de Taconnaz ; Fig. 37) :
 - o est-ce que le glacier est froid ?
 - o quand est-ce que la glace basale pourrait atteindre le point de fusion et être déstabilisée ?
 - o que pourrait-il se passer dans ce cas ?



Fig. 37. Séracs de Taconnaz (vallée de Chamoni, Haute-Savoie)

- Il faut développer la connaissance géophysique sur les phénomènes, ce pour quoi les inventaires existants sont inappropriés car ils sont peu utiles à la compréhension des processus. Deux exemples de lacs supraglaciaires illustrent ce point de vue : le lac de Rochemelon, et celui du Belvédère (Mont Rose, Italie) :
 - o Le lac supraglaciaire du glacier de Rochemelon faisait partie de l'inventaire réalisé dans le projet européen *GLACIORISK* (inventaire des glaciers à risques portant notamment sur l'ensemble des Alpes). Ce projet s'est terminé en 2003, le lac de Rochemelon ne faisait plus l'objet d'aucun suivi l'année suivante. Le 31 août 2004, une visite de reconnaissance sur le

terrain a permis d'identifier (juste à temps) un risque de débordement du lac (Fig. 38), qui a été par la suite signalé dans un rapport à la préfecture (17 sept. 2004). Du point de vue de la connaissance de l'aléa, « l'inventaire n'avait pas servi à grand-chose ». En effet, tous les lacs qui se forment ne sont pas nécessairement « à risques ».



18 sept. 2004 (cliché L. Mercalli)



22 Août 2004
(cliché M. Caplain)

Fig. 38. Glacier et lac de Rochemelon

Août 2006 (cliché P. Macabiès)



Remarque d'A. Lescurier : L'inventaire a bien servi, le problème est dans le **manque de liaison** entre les résultats du projet *GLACIORISK* et leur **prise en compte par les gestionnaires**, « il manque un chaînon ».

- Dans le cas du lac du Belvédère (en 2001-2002), les chercheurs et gestionnaires italiens ont été pris au dépourvu dans le sens où, bien que la formation et l'extension étaient connues, les phénomènes de rétention de l'eau étaient inattendus (pas d'exutoire à la base du glacier) et restent par ailleurs inexpliqués. Ce sont bien ces phénomènes géophysiques qu'il faut élucider si l'on veut éviter des situations de crise similaires. Les inventaires qui concernent l'extension des lacs ont peu d'utilité sur la compréhension des mécanismes et le développement de tels aléas.

Discussion

J.-D. Rouiller : J'aimerais préciser l'utilisation du terme « géophysique », que vous utilisez d'après ce que j'ai compris pour parler de mécanismes souterrains, ce qui peut poser des problèmes de vocabulaire. Pour moi, dans le domaine des risques naturels (glissements, permafrost, etc.), la géophysique est avant tout un outil d'investigation (prospection électrique, sismique, etc.). Quand on parle de « compétences géophysiques pointues sur les phénomènes », étymologiquement ça se comprend, mais actuellement, le terme « géophysique » a pris un autre sens, c'est un moyen de prospection. Vous avez aussi parlé de « risque potentiel », alors que je pense que vous vouliez dire « aléa potentiel ». Un des grands problèmes, c'est le vocabulaire ! Il faut que nous parlions le même langage. On sait que « l'aléa » français est le « danger » des Suisses. Mais quand on parle de géophysique, est-ce que cela correspond à la notion de connaissance du sous-sol ?

C. Vincent : Non, nous utilisons par exemple le terme de « géophysique externe », qui comprend aussi la connaissance des processus en surface. Le terme « géophysique » regroupe les phénomènes physiques liés aux sciences de la Terre.

D. Richard : Pour revenir sur la **notion d'inventaire**, ça rejoint aussi les questions de vocabulaire, parce que le sens du terme « inventaire » est vaste : est-ce qu'on parle de base de données, de système

d'information, ou d'un système qui capitalise des informations sur les phénomènes ? Le projet *GLACIORISK* n'a pas complètement atteint ses objectifs de ce point de vue là, et je rejoins complètement l'analyse qu'en fait A. Lescurier. Ce n'est pas le principe de collecte et compilation des informations dans un système qui n'a pas marché, le problème est qu'il n'y avait pas d'organisation après le projet pour que cet inventaire soit maintenu à jour. On peut quand même évoquer des cas de bases de données ou de cartographie des phénomènes qui se sont avérés utiles sur la durée. Ainsi les inventaires apparaissent malgré tout utiles, notamment pour des acteurs publics qui ont à gérer des problématiques de programmation et d'affectation de moyens.

C. Vincent : De mon point de vue, ce n'est pas la priorité.

D. Richard : Par ailleurs, suite à l'analyse en retour qui avait été faite sur l'état de la connaissance et sur ce qui pouvait être utile aux gestionnaires en matière de prévention des risques d'origine glaciaire, la **question de la détection** avait été posée, et le cas de Tête Rousse l'a encore posée de manière encore plus marquée. Sur la question de la détection, quelle plus-value aurait le fait de disposer de moyens de détection précoce et anticipée des phénomènes glaciaires ? En d'autres termes, est-ce qu'une telle capacité de détection nous a manqué lors des précédentes « crises » (Arsine, Rochemelon, Belvédère) ?

A. Lescurier : Cette question m'interpelle. Dans le cas de Rochemelon, C. Vincent a dit qu'on aurait pu mettre en place un suivi et qu'on ne l'a pas fait, mais est-ce que vous avez fait remonter quelque chose à ce niveau là ? Il faut se remettre dans les conditions de l'époque : vous avez détecté le risque de débordement le 31 août 2004. Après une journée d'observations complémentaires mi-septembre, une réunion s'est tenue fin septembre à Modane avec le préfet, les gestionnaires français et italiens, etc. Suite à la présentation faite par les scientifiques, on a fait un calcul rapide avec Bruno Laili du RTM, qui a montré qu'à l'allure où évoluait le phénomène, on courrait à la catastrophe si on ne réagissait pas dans les quelques jours. Effectivement, lors de la visite du 30 septembre, la revanche de 1,5m constatée en août était passée à 30 cm. En cas de rupture brutale telle qu'annoncée par les scientifiques, le risque était celui d'une crue plus que centennale, qui aurait complètement inondé les routes et le village de Bessans. Dans une telle situation, la priorité du gestionnaire est de mettre en œuvre les moyens nécessaires pour réduire le risque. Par contre, il est envisageable de prévoir un **budget spécifique dans une enveloppe financière globale pour pouvoir assurer le suivi scientifique de façon plus précise**, mais pour autant, il faut que de leur côté les scientifiques fassent remonter leurs besoins en terme de moyens chiffrés. Est-ce que cette demande a été faite dans le cas de Rochemelon ?

C. Vincent : Oui. J'ai fait une demande dans ce sens via le RTM, mais je n'ai pas sollicité directement le Conseil Général ni le Ministère. On a pu faire des observations, mais on avait juste l'autorisation de monter en hélicoptère...

D. Richard : À mon avis il faut mettre en place des mécanismes différents, car je ne suis pas sûr que les gestionnaires de la crise apprécient beaucoup que les scientifiques viennent compliquer encore la gestion de ces situations.

F. Gillet : Une remarque par rapport à ce qu'a dit J. Liévois dans sa présentation. Vu le grand nombre d'intervenants sur les risques, on s'aperçoit que la difficulté à faire travailler ensemble ces différents acteurs et à prendre en compte le risque dans ses différents aspects représente vraiment un problème d'importance croissante et qui aujourd'hui n'est pas bien résolu. Les Suisses insistent plus que les Français sur la **notion de gestion intégrée des risques**, qui consiste à prendre dans leur ensemble les problèmes de prévention, de protection, d'alerte, de gestion de crise et de gestion post-crise par des retours d'expérience, et à faire mieux travailler ensemble les différents acteurs. L'exemple de Rochemelon montre les articulations nécessaires entre les scientifiques, les opérationnels, les politiques, etc.

A. Lescurier : Il faut tout de même rappeler qu'il y a un coordonateur parmi tous ces intervenants. En France, c'est la Protection Civile qui assure la coordination de la gestion de crise.

F. Gillet : Oui mais le problème qui se pose en France est celui de l'**articulation entre les services de prévention et les services de gestion de crise**. D'ailleurs, l'AFPCN a organisé récemment un colloque sur ce sujet particulier. Il faut souligner la coupure qui existe entre les services de l'Etat et les collectivités territoriales. Et les scientifiques sont encore en marge de ces dispositifs. Essayer de progresser vers une bonne articulation de tous ces éléments est sans doute une des questions importantes auxquelles on doit répondre aujourd'hui. Plus on aura d'événements difficiles à gérer, avec des grandes incertitudes, plus il nous faudra travailler sur cette organisation pour essayer de prendre en compte les problèmes de manière intégrée. Je pense qu'on reviendra sur ce point dans la discussion, parce que ce problème existe partout, avec des degrés variables, mais il paraît essentiel.

J.-D. Rouiller : Il faut nuancer le regard externe qu'on peut porter sur la gestion intégrée des risques en Suisse, qu'on considère parfois comme la panacée ou du moins en avance sur les autres pays, car tout de même une partie de l'Helvétie périphérique n'est pas tout à fait d'accord avec cette notion qui peut apparaître comme un « dada passager » des fonctionnaires fédéraux...

C. Peisser : On pourrait aussi avoir un éclairage de la Vallée d'Aoste, qui dispose d'inventaires assez complets des phénomènes d'origine glaciaire.

I. Voyat : Pour aller dans le sens d'A. Lescurier, le problème principal n'est pas celui de l'utilité des inventaires, mais celui de faire le lien avec les gestionnaires. Pour nous l'inventaire et l'historique de ces phénomènes sont des éléments de l'instrument « Cadastre des glaciers », qui depuis cette année comprend deux nouvelles sections sur les lacs glaciaires et sur les glaciers rocheux. Il est très important d'avoir les moyens de mettre à jour ce cadastre le plus régulièrement possible. Pour les lacs, on essaie de faire des vols systématiques au moins une fois par an pour détecter les changements. Ce qu'on vise est un **contrôle systématique et détaillé du territoire**. Par exemple, on fait maintenant appel aux guides de haute montagne pour effectuer des mesures de stabilité du manteau neigeux. On essaie ainsi d'investir sur des professions en prise directe avec les milieux de haute montagne pour faire des suivis plus systématiques, afin d'être en mesure de détecter au plus tôt les situations dangereuses.

F. Gillet : Pour la détection des poches d'eau, est-ce que le géoradar qui a été utilisé dans le cas de Tête Rousse peut être considéré comme un moyen facile à utiliser, ou est-ce qu'on est encore face à des inconnues importantes ?

C. Vincent : On a détecté la poche d'eau du glacier de Tête Rousse grâce à deux instruments : le géoradar et la résonance magnétique des protons (RMP) qui a permis de confirmer sa présence et de préciser son volume. Ce sont deux outils géophysiques qu'on peut mettre en œuvre sans trop de difficulté, mais qui nécessitent quand même beaucoup de temps. Pour le moment, **on ne peut pas couvrir tous les glaciers des Alpes avec ces outils. Cependant, les poches d'eau intraglacières ne se forment pas n'importe où**, et c'est peut-être sur ce point qu'il convient d'insister. On connaît assez bien la cause de la rétention de l'eau dans le glacier de Tête Rousse, car il s'agit d'un glacier polythermal : la langue du glacier est à température négative (-2°C) tandis que le glacier est tempéré dans sa partie haute. Ainsi, l'eau qui pénètre dans le glacier et atteint le lit rocheux se trouve piégée à l'intérieur du glacier. Il y a un signe très révélateur de cette particularité visible au front du glacier de Tête Rousse, où contrairement à la plupart des glaciers, il n'y a pas de torrent sous-glaciaire émissaire. C'est un indice important, mais pas infaillible pour détecter les poches d'eau, puisque par exemple dans le cas du glacier du Trient (Valais), des poches d'eau se forment régulièrement alors qu'il y a bien un torrent sous-glaciaire qui émerge du glacier.

C. Peisser : Est-ce que vous avez aussi une politique de surveillance systématique du territoire en Valais ?

J.-D. Rouiller : Je ne peux pas répondre à cette question parce qu'en tant que géologue cantonal gestionnaire des risques naturels, c'est toujours le sous-sol qui m'intéresse et pour moi le glacier c'est de la surface. En Valais, ce sont surtout les forestiers qui s'occupent de ça...

R. Mayoraz : Suite à *GLACIORISK*, le canton a identifié une trentaine de glaciers à risques en Valais, mais je ne sais pas s'ils font l'objet d'un suivi...

D. Richard : Cela conforte l'idée émise suite à une demande de retour d'expérience par le ministère de l'Ecologie au sujet des ressources en matière de gestion des risques d'origine glaciaire. J'avais suggéré de réfléchir à un système de gestion équivalent à la classification des sites sensibles aux avalanches (SSA). Un des critères pourrait être la vulnérabilité en aval de ces glaciers. On commence à disposer de moyens qui permettent d'investiguer de façon plus précise la présence ou pas de poches d'eau dans les glaciers, mais qu'il est impensable de généraliser à tous les glaciers ! Ce n'est peut-être pas la peine de focaliser sur les glaciers qui ne menacent pas grand-chose en aval, en tout cas pas en priorité. C. Vincent a évoqué des éléments qui pourraient éventuellement servir indices, même si ce sont des indices ténus et qui un par un ne sont pas autosuffisants, mais on pourrait réfléchir à une combinaison de ces indices pour établir des **critères de hiérarchisation de sites sensibles** à ces phénomènes glaciaires. Cela pourrait peut-être déboucher sur la capacité à mobiliser les outils techniques de plus en plus pointus qui sont développés pour affiner la prévision de ces phénomènes.

P. Deline : C'est en tout cas l'ambition du projet *GlaRiskAlp*, qui est en cours depuis une année dans le cadre du programme Alcotra France-Italie.

J.-D. Rouiller : En Valais il y a pas mal d'argent pour étudier les glaciers, de par la présence des sociétés hydroélectriques, parce que cela intéresse au premier chef leur activité économique. Elles sont finalement les mieux placées pour observer s'il y a des changements dans les régimes et les éventuels déplacements des écoulements à l'exutoire des glaciers...

I. Voyat : Sur le territoire de la Vallée d'Aoste, le géologue régional nous a demandé quels sont les endroits où l'on peut s'attendre à des risques et à surveiller en priorité. Nous avons simplement fait une liste des glaciers présents sur le territoire pour établir un classement de dangerosité sur la base du cadastre des glaciers, de la vulnérabilité et de l'historique des événements, que nous avons transmis au géologue.

A. Lescurier : Il y a un problème qui se dessine dans tout ça pour les financeurs. La démarche mise en œuvre à l'échelle de la Vallée d'Aoste n'est pas facilement transposable en France. Autrefois c'était l'Etat qui gérait ça au travers des missions régaliennes du RTM, et on sait qu'il est aujourd'hui de plus en plus problématique de les maintenir, or ces missions du RTM sont fondamentales, tout comme la recherche scientifique...

F. Gillet : C'est quand même l'Etat qui « dit le risque » en France, et cela reste une règle très générale.

A. Lescurier : Tout à fait, mais l'Etat prend de moins en moins en charge ce genre de démarche et cela pose un vrai problème, parce que faire une recherche sur les glaciers à risques comme celle évoquée par D. Richard constitue effectivement une solution, mais qui paye ? On en parle effectivement dans Alcotra, le projet ne dure que jusqu'en 2013...

I. Voyat : Dans le projet *GlaRiskAlp*, il y a tout de même un gros travail qui se fait sur le « cadastre des glaciers » côté français. En Vallée d'Aoste, ce travail a constitué la base du classement des glaciers dont j'ai parlé.

P. Deline : Oui parce qu'en France, on n'a pas d'inventaire de l'état actuel des glaciers, et un inventaire ne vaut que s'il est effectivement mis à jour.

A. Lescurier : Logiquement cet inventaire devrait faire partie des missions régaliennes que l'Etat avait transférées au RTM. Un inventaire qui ne vit pas ne sert à rien, mais un inventaire bien utilisé constitue normalement la base pour la mise en place de crédits sur telle ou telle problématique

F. Gillet : Est-ce qu'on pourrait imaginer pour les glaciers à risques un outil similaire à la Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalanches (CLPA) ?

D. Richard : Il s'agirait plutôt d'un outil de classification multicritères par niveaux de sensibilité au risque. Ce travail a été réalisé pour les avalanches (SSA) et a été financé par le ministère, mais c'est un travail assez lourd et coûteux. On réfléchit en parallèle à une même démarche pour les sites torrentiels. Par ailleurs, ce type de démarche soulève de nombreuses questions qu'on est en train d'aborder, comme savoir quel en est l'usage, quels sont les utilisateurs, comment communiquer là-dessus, à qui, etc.

Référence

Vincent, C., E. Le Meur, D. Six, P. Possenti, E. Lefebvre, and M. Funk (2007), Climate warming revealed by englacial temperatures at Col du Dôme (4250 m, Mont Blanc area), *Geophysical Research Letters*, 34, L16502, doi:10.1029/2007GL029933.

12. Impact du changement climatique sur les crues torrentielles – Didier RICHARD (Cemagref Grenoble)

Les écoulements torrentiels ont la caractéristique d'être constitués à la fois d'eau et de sédiments, et se caractérisent surtout par leur partie sédimentaire (composante solide).

La composante liquide

Concernant la partie « eau », les conclusions pour les torrents sont semblables à celles sur les rivières quant à l'impact du changement climatique : on ne détecte pas d'évolution notable dans un sens ou dans l'autre pour la partie liquide des crues des torrents.

Un point important est que le déficit de données hydrométéorologiques est sans doute encore plus criant pour les torrents que pour les bassins versants de plus grande taille. Un cas bien connu est celui des massifs qui entourent l'agglomération grenobloise, où un déficit de stations pluviométriques est constaté depuis déjà plusieurs années, et où aucun maître d'ouvrage potentiel n'a été trouvé jusqu'à présent. À ce titre, l'exemple de l'investissement effectué par le CG73 dans un petit réseau de pluviographes est encourageant [cf. *présentation A. Lescurier, p. 26*]. Le problème n'est pas simple, car dans une optique d'observation de l'évolution climatique, mettre en place aujourd'hui un nouveau réseau de mesure ne donnera des résultats exploitables qu'à long terme ; la décision n'est donc pas facile à prendre. Cependant, l'exemple des avalanches montre que c'est grâce à l'initiative de Mougin, il y a plus de 100 ans, que l'on dispose aujourd'hui de données d'observation relativement longues sur les avalanches, exploitables aujourd'hui pour l'analyse des effets du changement climatique...

La composante solide

Concernant la partie sédimentaire, dont les laves torrentielles sont principalement constituées (elles peuvent contenir jusqu'à 3 ou 4 fois plus de sédiments que d'eau), l'effet le plus notable (et d'ores et déjà observé) est l'apparition de nouvelles sources de sédiments mobilisables, en particulier consécutivement à la fonte du pergélisol dans certains secteurs. Ce phénomène est plus directement lié à l'évolution des températures, or c'est sur l'évolution des températures (moyennes) qu'on dispose des connaissances les plus précises. Il faut préciser que, hormis peut-être pour les risques d'origine glaciaire, ce sont les valeurs extrêmes plutôt que les valeurs moyennes qui risquent d'impacter les phénomènes générateurs de risques.

Il reste aussi des interrogations sur l'apparition possible de nouvelles sources de sédiments résultant du retrait des glaciers. Celles-ci ne présenteront peut-être pas des volumes de sédiments importants dans tous les cas, selon que le glacier se retire sur la surface rocheuse (bedrock) ou sur des matériaux mobilisables (moraine).

Sur le long terme, l'évolution de la couverture végétale pourrait également avoir un impact sur la capacité des cours d'eau torrentiels à mobiliser des sédiments, soit dans un sens (érosion accrue) soit dans un autre (effet stabilisant).

De manière générale, il reste difficile de prévoir une tendance dans l'évolution à venir de la fourniture en matériaux aux torrents. En effet, on peut imaginer des combinaisons diverses de processus, qui auraient des effets assez contraires, et qui pourraient déboucher sur des scénarios assez contrastés, hormis dans les situations où se produirait une mise à disposition massive de sédiments due à la fonte du pergélisol...

Discussion

J. Liévois : Pour l'aspect couverture forestière, on estime qu'en un siècle la zone de combat est remontée de 200m, ce qui est vraiment flagrant par exemple sur d'anciens clichés de la vallée de Chamonix.

F. Berger : On observe aussi une modification de la structure des étages de végétation, avec une remontée des essences : les feuillus remontent de plus en plus haut et repoussent les résineux. Comme les différentes essences ont des capacités de résistance différente, cela peut intervenir sur les problématiques de chutes de pierres, voire d'avalanches pour autant qu'il y ait toujours des zones de départ dans les même secteurs.

F. Gillet : Dans le domaine des incendies de forêt, on estime aller vers un accroissement des canicules, en nombre et en amplitude, avec des incidences immédiates sur les forêts. Cela pose le problème des forêts de protection et de l'accroissement de l'érosion. A-t-on des idées claires sur ce sujet ?

F. Berger : On reste dans l'expectative, car l'augmentation des canicules implique une modification de la composition en essences, mais on a du mal aujourd'hui à prévoir l'essence qui sera présente. Dans un « scénario catastrophe » présenté par l'INRA, d'ici un siècle le noisetier serait éradiqué de la zone alpine, ce qui peut jouer sur l'interception de l'eau ou l'arrêt des chutes de pierres. Mais l'augmentation des canicules implique-t-elle une augmentation réelle du nombre des incendies de forêt ? Les études sur les charbons de bois montrent qu'il semble assez constant. On rejoint donc la notion d'incertitude dans les différents modèles.

J. Liévois : D'abord un constat : sur certains secteurs où l'épicéa a été fortement favorisé, par exemple dans la cluse de Nantua, avec les stress hydriques liés aux épisodes de canicule l'épicéa a périclité à cause du bostryche ; pour autant le remplacement a eu lieu, des espèces feuillues se sont développées à la place. Sur l'aspect incendie, je rejoins le propos de F. Berger : des recherches historiques sur des sites comme le Chablais montrent que des incendies de forêts sont décrits au XVIIIe siècle, y compris sur des versants nord, alors qu'on était encore dans une période « plus froide ».

F. Berger : Le problème est plus d'ordre économique pour les forestiers, avec des modifications d'essences de production.

C. Peisser : En Valais et Vallée d'Aoste, prenez-vous en compte ces modifications de couverture végétale ?

J.D.Rouiller : À ma connaissance pas en Valais

R. Mayoraz : pour revenir au retrait des glaciers, par exemple dans la vallée de Chamonix, ils sont tous, à part la Mer de Glace, relativement raides et dans du granit : ce ne serait pas surprenant que les alimentations puissent changer...

D. Richard : Ma présentation se fait un peu en réaction à une façon trop systématique d'aborder ce sujet, du type « le retrait des glaciers va se traduire par un apport de sédiments massif ». Il faut nuancer un peu.

J. Liévois : Tout dépend de la géologie. Dans la vallée de Chamonix, un glacier nous pose souci, celui de la Griaaz, car il est dans une zone très broyée de schistes et de gneiss, en limite du trias, et en se retirant il libère ces matériaux déjà très broyés. Sous la Mer de Glace ou le glacier du Tour, le granit et la protogine sont compétents, lisses et ne risquent rien.

D. Richard : Il peut y avoir toutes sortes de combinaison de scénarios ; les crues torrentielles sont le résultat d'une imbrication de processus extrêmement variés dont certains peuvent jouer dans un sens opposé à un autre. Le retrait des glaciers sur des sols granitiques peut sans doute modifier le ruissellement, également peut-être se traduire par une distribution différente des ruissellements dans un bassin versant par rapport à un autre (il y a des communications entre bassins versants glaciaires qu'on ne connaît pas très bien, par exemple les trois torrents qui prennent leur source sous le glacier des Bossons).

De fait, même si on s'en réfère aux scénarios généraux les plus couramment cités, c'est-à-dire une augmentation moyenne de la pluviométrie en saison hivernale et une augmentation des sécheresses en période estivale, les crues en saison hivernales, peut-être plus nombreuses et plus fortes qu'avant, seront-elles plus fortes que celles qu'on connaît aujourd'hui au printemps ou été ? Si ce n'est pas le cas, cela ne change pas grand-chose à la façon de les appréhender. A l'inverse en été, les orages, peut-être plus rares, seront-ils pour autant moins violents qu'aujourd'hui ? Voilà les éléments à prendre en compte pour la gestion du risque torrentiel. De là à anticiper et considérer qu'il faut prendre en compte de nouvelles hypothèses sur les événements de référence... Ce terme d'événement de référence mériterait déjà qu'on revienne dessus.

F. Gillet : Une idée assez couramment avancée aujourd'hui est que l'on risque des événements extrêmes assez localisés. Pour les petits bassins versants, qu'ils soient torrentiels ou non (comme à Vaison-la-Romaine), cela pose le problème de crues rapides extrêmes. Y-a-t-il des éléments plus précis ?

D. Richard : Non. La population des crues torrentielles est déjà bien bimodale, avec effectivement des événements type 2005 ou 1987 qui sont le résultats de perturbations spatialement très vastes qui peuvent toucher l'Autriche, l'Allemagne, la Suisse et un bout de la France, mais à l'inverse aussi des événements violents et localisés : ce phénomène existe déjà. Je n'ai pas d'élément pour prévoir dans quelle proportion le rapport entre les deux peut évoluer.

F. Gillet : Aujourd'hui, dans les méthodes de gestion du risque torrentiel, on ne prend pas en compte d'événement exceptionnel plus qu'on ne l'a fait jusqu'alors ?

D. Richard : L'approche préventive du risque torrentiel se fait déjà à l'échelle du bassin versant, échelle de l'unité élémentaire. Si dans l'échantillon des données disponibles il y a des événements très localisés violents ils sont pris en compte

J. Liévois : Le principe est de concevoir l'aléa de référence centennal comme celui qui sera le plus dommageable (on revient sur la notion de dommages et de vulnérabilité) : face à différents scénarios de crues (orage violent d'été, une pluie de type cévenole en septembre, une grosse pluie de redoux en hiver), on regarde ce qui crée le plus de dommages

F. Gillet : Il s'agit donc d'une approche vulnérabilité.

J. Liévois : Oui. On essaie d'avoir en hydrologie « quelque chose qui nous convienne à peu près », avec tout ce que l'on sait d'incertitudes, et « on bâtit ce que l'on peut ».

D. Richard : La réponse d'un système torrentiel à un « forçage climatique », compte tenue de ces combinaisons de réponses liquides et sédimentaires, est plus variable que la réponse d'un bassin versant classique pluie/débit, a fortiori si ce bassin classique est plus grand. Donc il semble que la tendance liée à d'éventuels changements climatiques soient d'autant plus noyées dans la variabilité naturelle existante.

Pour revenir sur l'expression employée plus tôt, « le changement climatique ajoute un niveau d'incertitude », il ne s'agit peut-être pas d' « un niveau » mais d'une incertitude, qui peut être en fait masquée derrière un mélange d'incertitudes et de variabilité naturelle.

F. Gillet : Un autre phénomène intervient sur les petits bassins versants, indépendamment de l'intensité de la pluie, celui de la localisation exacte de la précipitation ; si au lieu d'être bien ciblée sur 1 bassin versant elle est à cheval sur deux bassins, les données du problème sont changées

D. Richard : C'est exact ; le stockage temporaire sous forme de neige intervient également, qui est lui-même susceptible d'être modifié par les alternances de redoux en moyenne altitude.

R. Mayoraz : D'autre part, les phénomènes observés aujourd'hui ne sont pas liés seulement au fonctionnement naturel des torrents : dans les années 70 de nombreux ouvrages de protection ont été construits, qui ont dans un premier temps très bien assuré leur fonction puis petit à petit se sont remplis et jouent moins bien leur rôle, voire cèdent : on a observé dans toutes les Alpes européennes dans les années 70 et 80 assez peu d'événements, alors qu'on observe aujourd'hui plus d'arrivée de sédiments, non parce que le climat se réchauffe mais parce que des ouvrages de protection n'ont pas été entretenus. Il est donc difficile de dégager une tendance due uniquement au climat, plusieurs éléments interviennent sans qu'on puisse dire lequel est prépondérant.

13. Discussion générale (part 3)

En bleu dans le texte : remarques ajoutées après l'Expert Hearing

A. Lescurier : D'après ce qui se dégage, un élément fort pour faire évoluer la réflexion est de **mieux stocker les données pour mieux les analyser**. Ce point me semble vraiment un axe d'amélioration important.

E. Bardou : Il faudrait acquérir une couverture Lidar à 1 point / m² jusqu'au sommet du bassin versant réactualisée tous les 5 ans. C'est un des seuls moyens pour évaluer efficacement les débris solides qui risquent d'être mobilisés, aussi bien que pour les glaciers.

F. Gillet : Quand on parle de données, il y a les données de pluie, mais aussi les données de débit, avec tous les problèmes posés autour des mesures des débits de torrents. C'est un point sur lequel on dit qu'il faut faire un effort, en particulier dans les petits bassins versants où on connaît mal les quantités de pluie et les débits : reste-t-on sur ce problème ou peut-on essayer d'être un peu plus précis en terme de recommandations ? Il s'agit d'un problème qui se manifeste un peu partout, sauf peut-être dans le Val d'Aoste, où l'on est passé d'un nombre réduit de pluviomètres à plus de 110... [cf. *présentation de H. Stévenin*, p. 3].

A. Lescurier : À mon avis, si on veut pouvoir se donner les moyens d'aller plus loin dans l'acquisition de données, **il faut absolument que les financeurs s'approprient le problème**, donc il ne faut pas qu'il reste au niveau des scientifiques ou des services techniques : en l'absence de financement pour des appareils de mesure, nous n'avancerons pas. Il faut donc parvenir à sensibiliser les élus
Parmi les préconisations, il y a tout un **travail de sensibilisation des élus**, pour qu'ils comprennent que « ça devient vraiment un phénomène de société » et qu'il faut qu'ils se l'approprient.
En tout cas pour le côté français, ce n'est plus à l'Etat de donner toute cette prospective, c'est peut-être aussi à la Région. Il faut peut-être revoir la façon dont sont financés les réseaux de mesure.

F. Berger : On tourne autour d'une notion qui est importante, qui est une **notion d'observatoire**, d'observatoire parfaitement instrumenté quelle que soit l'aléa concerné. Se pose alors naturellement la question du fonctionnement : « qui va payer ? », « quels types de données acquérir ? », « sur quel pas de temps ? », etc. Le Lidar est une technique émergente qui semble très prometteuse : effectivement, si on a les moyens d'acquérir des données Lidar tous les 5 ans au pas de 1m, la connaissance scientifique va faire de grands progrès dans de nombreux domaines.

Mais il est évident que le nombre de ces observatoires possibles est forcément limité. D'où la question de l'implantation : quelle surface de référence, ou du moins quel aléa de référence, ou quel secteur géographique va servir de référence ? Le débat au niveau des financeurs risque d'être assez intéressant (pourquoi l'observatoire est en Savoie et pas en Isère ? etc.). Il va donc falloir trouver un **réseau d'observatoires**, ce qui dépasse largement un territoire national. A mon avis la vraie question est là ; si on arrive à la résoudre, on résout beaucoup de problèmes liés aux questionnements sur les inventaires.

D. Richard : Par rapport à la problématique du changement climatique, l'idéal serait de parvenir à **décloisonner les réseaux**, c'est-à-dire à mettre en réseau les réseaux, parce qu'il en existe un certain nombre un peu partout, certains sur des unités spatiales très limitées, d'autres un peu plus lâches mais sur des unités spatiales plus larges (par exemple sur un département), d'autres encore d'ampleur nationale. Nous avons la chance d'avoir un organisme centralisé comme Météo-France, ce qui présente des avantages, mais néanmoins aussi des inconvénients.

F. Gillet : Il serait même intéressant de décloisonner les réseaux au niveau international, comme cela avait été entrepris dans le cadre d'un projet Interreg qui portait sur l'interconnexion des réseaux de mesure hydrométéorologique français et italiens. Les partenaires étaient essentiellement la région

Piémont côté italien et les deux gros opérateurs EDF et Météo-France côté français. L'idée était de mettre en commun les mesures en temps réel pour améliorer la prévision des phénomènes brutaux, afin de permettre d'une part aux Italiens de connaître les pluies en train de tomber en France dans le cas des flux d'ouest, et d'autre part de mieux anticiper les retours d'est dans les hautes vallées côté français. L'interconnexion de ces réseaux a été réalisée mais je ne sais pas si elle a été pérennisée par la suite.

H. Stévenin : Sur la base de ces accords établis il y a quelques années on s'apprête maintenant, dans le cadre du projet Alcotra *RiskNat*, à signer un accord entre Piémont et Vallée d'Aoste pour l'échange des données en continu de température, de pluie, de neige et peut-être aussi de vent. La Vallée d'Aoste a obtenu un financement pour augmenter le nombre de stations, ce qui a permis de doubler la densité du réseau. Mais ce financement est désormais coupé et nous cherchons à optimiser le réseau en enlevant certaines stations grâce à l'amélioration des connaissances sur la physique de l'atmosphère et la spatialisation des phénomènes : des stations sont retirées en basses vallées pour être installées en haut, afin de mieux comprendre ce qui se passe en altitude.

T. Arborino : On a vu qu'en Vallée d'Aoste une loi est sortie, qui oblige à prendre en compte le réchauffement climatique [cf. *présentation de H. Stévenin, p.3*]. On a entendu qu'il faut sensibiliser la politique pour avoir son soutien et son accord pour pouvoir faire cet observatoire qui semble être la bonne solution. Est-ce qu'en France il y a, par une directive européenne ou française, cette obligation de prise en compte des effets du CC... ? Est-ce que vous vous appuyez sur une base législative forte ou au contraire est-ce que vous devez construire ça tous seuls ? La grande différence est qu'on peut s'appuyer sur une tâche légale pour dire qu'elle est nouvelle et augmenter les ressources pour le faire.

Remarque : cf. projet de décret de transposition de la DI dans le code de l'environnement en France
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Projet-de-decret-relatif-a-l-20386.html>

Le projet de décret instituant la transposition en droit Français de la directive « inondation » (directive européenne 2007/60/CE du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation) ajoute un chapitre au code de l'environnement, qui mentionne la prise en compte du changement climatique dans l'évaluation préliminaire des risques d'inondation :

Art. R. 566-4: I - « Pour chaque bassin ou groupement de bassins délimité en application du I de l'article L. 212-1, l'évaluation préliminaire des risques d'inondation mentionnée à l'article L. 566-3 a pour but d'évaluer les risques actuels ou envisagés liés aux inondations. Elle est fondée sur les informations disponibles, tels des relevés historiques et des **études sur les évolutions à long terme, en particulier l'incidence des changements climatiques sur la survenance des inondations**, ou sur des informations pouvant en être aisément déduites ».

F. Gillet : En France un Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC) est en cours d'élaboration et devrait sortir dans quelques mois. De nombreuses discussions ont eu lieu, au sein de groupes de travail dans le cadre de la concertation nationale. Ceux ci ont élaboré des recommandations à partir desquelles sont proposées des mesures concrètes. Certains présents aujourd'hui (M. Lang) participent à la rédaction des ces mesures qui constitueront le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique. La question de l'acquisition des données nécessaires est un des éléments considérés.

Des mesures concrètes de mise en œuvre des recommandations du PNACC sont en cours d'élaboration...

M. Lang : Ce Plan, engagé en 2009, a fait l'objet de plusieurs groupes de travail. Nous en sommes actuellement à l'étape où il va falloir proposer des actions concrètes (nouveau cycle de réunions d'ici le mois de mai).

A. Lescurier : Dans les discussions que vous avez, l'acquisition de moyens de surveillance est importante, mais est-ce que la mise à disposition des données va se faire ?

M. Lang : Une des actions mentionnées est la mise en place d'un observatoire pour les longues séries qui pourront servir de référence pour le suivi climatique. Il reste à voir s'il va effectivement être mis en place ou non.

F. Gillet : Dans les recommandations, on trouve à la fois le développement de l'acquisition des données, mais aussi, du fait de l'existence de divers opérateurs producteurs et propriétaires de ces données, la **mise à disposition gratuite des données**.

C. Peisser : En Vallée d'Aoste, H. Stévenin a dit qu'ils s'appuient beaucoup sur les données des producteurs d'hydroélectricité. Est-ce que ces échanges de données sont faciles et gratuits ?

H. Stévenin : Oui parce que c'est un échange. On a financé le modèle hydrologique que nous avons développé ensemble et qu'ils espèrent utiliser pour la production « pour le jour après » ; en retour ils nous fournissent leurs données de débits. Pour nous c'est très important parce que beaucoup de nos torrents sont influencés par la production hydroélectrique et leurs données permettent de reconstruire les débits naturels, or c'est la base pour comprendre les effets du changement climatique.

F. Berger : Sur ces questions d'observatoire se pose la question du maillage du terrain sur lequel on veut travailler. On a peut-être des maillages différents selon qu'on s'adresse aux scientifiques ou aux techniciens. Il y a aussi la question des observateurs, c'est-à-dire des gens qui vont faire fonctionner ce réseau. Par exemple une notion intéressante a été développée en Slovénie où des réseaux de veilleurs sont mis en place, un peu comme le réseau de bénévoles de Météo-France. Il peut être intéressant de faire appel à des personnes qui ne sont pas des spécialistes mais qui sont capables de faire un certain nombre de relevés. Et puis il y a une question d'**harmonisation des données** (types de données et protocoles de mesure) pour qu'elles soient comparables entre les différents pays ou régions, et pour ça il y a beaucoup de travail...

H. Stévenin : Dans le cadre des échanges de données mis en œuvre dans le projet Alcotra *RiskNat*, nous devons spécifier les formats de données et les protocoles de mesure pour être en mesure de disposer de bases de données semblables.

Cependant, il me semble que la vraie question, c'est de savoir dans la gestion du risque si on peut évaluer de façon quantitative le changement climatique. Et ce serait très bien si on arrivait à une réponse « oui ou non ». Soit : « non, on ne le fait pas de façon quantitative » donc par exemple à une directive on répond « non, on ne peut pas le faire parce qu'il y a trop d'incertitudes cachées dans les variations naturelles, mais on réalise toute une série d'études et de recherches donc dans 30 ans ce sera possible... ». Ou bien, comme l'a par exemple proposé T. Arborino, on fait quelque chose de très simple, on décide un pourcentage de quelque chose, et on le met en œuvre à travers le concept de risque résiduel ; il faut alors avoir une stratégie forte parce que sinon nous serons confronté à de nombreux problèmes, entre autre de communication...

C. Peisser : Pour clore la discussion sur l'aspect acquisition de données – observatoires, il se dégage vraiment un consensus pour attirer l'attention des politiques, des décideurs, des financeurs. Maintenant, une fois qu'on a ces données, si on revient sur la gestion des risques qui nous préoccupe, on se base beaucoup sur les **phénomènes de référence**. On a le cas extrême des Bavarois qui ont d'un coup augmenté de 15% leur dimensionnement. Est-ce qu'il y a des cas dans vos services où vous avez déjà modifié le phénomène de référence ?

Commentaire (F. Gillet) : La prise en compte du changement climatique est inscrite réglementairement dans la loi sur l'eau depuis 2004 Bayerisches Wassergesetz, Art.43 à 50, (entre autre suite aux grandes crues de 2002 en Europe Centrale). Une majoration de 15% de la crue centennale calculée est recommandée pour le dimensionnement de nouveaux travaux de protection contre les crues. Il s'agit bien d'une recommandation, faite aux responsables des services inondation (Wasserwirtschaftsämter), qui émane d'une note interne du Ministère Bavarois de l'Environnement et de la Santé (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit).

Remarque de T. Loipesberger : cette valeur de 15% rentre dans la fourchette de tolérance que la précision des modèles hydrauliques peut atteindre.

I. Voyat : La question d'H. Stévenin rejoint le discours d'A. Lescurier.

A. Lescurier : En Savoie nous avons mis au point une politique budgétaire pour les risques naturels. Tout d'abord nous avons éliminé certains mots du vocabulaire : on ne dit plus « risque » mais « niveau d'exposition pour l'utilisateur ». Celui-ci est basé (1) sur l'aléa donné par les bureaux d'études et (2) sur l'enjeu que représente la route, qui correspond au niveau de hiérarchisation accepté par les élus (accès unique ou non, fréquentation de l'itinéraire). Ensuite nous utilisons la fréquence d'atteinte de la route : par exemple, un événement pouvant se produire de façon très fréquente mais n'atteignant la route que très rarement sera beaucoup moins pris en compte que des événements peu importants mais très fréquents.

Avec ces trois critères, nous avons déterminé 4 niveaux d'exposition pour l'utilisateur (de N1 le plus fort à N4) et nous avons fait voter une politique par nos élus : « en l'absence de crédits suffisants pour tout traiter, nous ne traitons que ce qui ressort en niveau N1 » ; cette politique est partagée par tout le monde. Cependant même pour la classe N1, les crédits ne sont pas suffisants pour traiter tous les sites ; donc sur un itinéraire tous les N1 sont d'abord recensés, puis sont à nouveau triés pour pouvoir rentrer dans les budgets. En conséquence, nous nous sommes aussi fixé comme politique de conserver le patrimoine. Cela implique qu'entre un aléa de niveau N1 menaçant le patrimoine (par exemple un glissement de terrain qui va emporter la chaussée) et un autre (par exemple une chute de blocs menaçant de tuer des usagers), nous choisissons de traiter le glissement même s'il a une probabilité d'occurrence moins forte que la chute de bloc. Cela a été écrit et partagé par les élus, l'idée étant d'être capable, en cas d'accident, de justifier devant un juge comment nos travaux sont orientés.

F. Gillet : Cet aspect se distingue de la question de l'aléa de référence. Il s'agit de la façon dont vous gérez le problème de la définition des priorités d'intervention. De plus, la notion d'événement de référence n'existe que pour les phénomènes récurrents liés aux précipitations (inondations et avalanches) et ne concerne pas les mouvements de terrain.

A. Lescurier : On peut tout de même trouver des approches de ce type utilisables pour les mouvements de terrain. Par exemple, nous allons traiter en priorité un glissement de terrain sur lequel nous devons « recharger en bitume » une à deux fois par an, car d'une part c'est un coût financier important et d'autre part en ajoutant du poids à la masse du glissement on accentue le problème (problèmes de marches, ect...). Par contre, un glissement sur lequel nous n'intervenons qu'une fois tous les 2 ou 3 ans sera forcément traité de façon moins importante. Donc il est tout de même possible de définir des paramètres pour orienter le traitement.

J. Liévois : De même pour les phénomènes de chutes de pierres : même s'ils ne sont pas directement liés à la météo, il y a des secteurs où l'on mesure des fréquences assez courantes, par exemple 4 ou 5 chutes de pierre sur 1km de linéaire, et d'autres secteurs à fréquence plus faible, une chute de pierre par kilomètre ... (F. Gillet : « une certaine répétabilité »).

A. Lescurier : Pour appuyer ce que dit J. Liévois, nous avons réalisé une base de données sur les ouvrages de protection et sur les sites à risques. Concernant les ouvrages de protection contre les chutes de blocs, chaque fois qu'un ouvrage est atteint et nécessite une intervention, il est ajouté à la base de données ; mais il manque actuellement un paramètre relatif à la **fréquence d'atteinte de l'ouvrage** pour être en mesure de produire des analyses statistiques permettant par exemple d'identifier les ouvrages qui sont atteints chaque année. C'est une notion très importante.

I. Voyat : Comme l'a aussi dit H. Stévenin, il est important d'essayer de **trouver une stratégie commune de réponse à la Directive Inondation**. Dans l'exemple évoqué par A. Lescurier, les élus ont validé cette politique. Pour nous, ce serait déjà un bon résultat si nous pouvions aller vers une

réponse commune à cette directive. Cette réponse pourrait être comme l'a dit H. Stévenin, du type « non, on ne peut pas faire ça », « oui on le fait indirectement », « on fait ce que font déjà les allemands »... Cela permettrait de valider ce qu'on peut faire ou non.

A. Lescurier : Nous avons essayé de nous mettre d'accord à l'échelle des départements de Savoie, Haute-Savoie et Isère, mais ... !

J. Liévois : On n'a pas abandonné non plus, on continue....

F. Berger : Entre la décision politique qui est votée et son acceptation par le public, avez-vous déjà des retours ?

A. Lescurier : Comme je l'ai dit, nos choix sont partagés par les politiques, mais les politiques n'ont pas répercuté sur les citoyens, donc ceux-ci ne sont pas informés de cette politique...

F. Berger : Je ne vous souhaite pas la catastrophe qui entraîne des conséquences allant jusqu'au tribunal, mais il serait intéressant de voir s'il y a un accord ou au contraire un désaccord entre la décision du politique et le vécu de l'utilisateur.

I. Voyat : Et si nous pouvons justifier de points communs entre les différents pays / différentes régions, cela peut sûrement renforcer l'acceptation d'une telle politique.

V. Lebidan : Oui mais il existe des différences majeures entre la France, l'Italie et le Valais : en France, au niveau du Conseil Général (département) vous avez affaire à un gestionnaire de route, qui gère les infrastructures mais ne gère pas les risques en général, donc n'est pas représentatif de ce qui peut se faire sur le territoire. Ce sont les services de l'Etat qui devraient être l'interlocuteur, mais il y a quelques années un certain vide a dû être comblé par les collectivités locales : ce sont autant de cultures du risque qui se développent localement mais qui n'ont pas forcément de cohérence entre elles.

I. Voyat : Il ne s'agit pas non plus de trouver une méthodologie commune pour les différents pays, mais au moins de s'entendre de façon cohérente entre gestionnaires des risques : « on ne peut pas répondre à telle question » ou « oui on peut le faire, et de quelle façon... ».

F. Gillet : D'après ce qui a été exposé, il n'y a pas de réponse effectivement valable pour tous les types de risque, mais l'exemple en matière de gestion des routes est intéressant. D'ailleurs je ne suis pas sûr que les modalités de gestion soient fondamentalement différentes entre les différents pays.

V. Lebidan : Par exemple, pour la gestion des risques sur le réseau routier de l'Isère, on aborde plutôt le problème par la vulnérabilité, c'est-à-dire en termes de valeurs seuil, faut-il les reculer ou non ? Sur certains axes à enjeu fort on va plutôt chercher à augmenter la valeur seuil pour gagner une marge de sécurité (« ceinture et bretelles »). Pour d'autres, on sait que de toute façon on n'investira pas tant qu'il n'y a pas d'événement, car plus on recherche les risques plus on les voit, plus il y a de choses écrites donc plus on s'engage. Or aujourd'hui encore une fois un gestionnaire de patrimoine routier prend plus de risques à installer un ouvrage qu'il va avoir du mal à entretenir – faute de moyens – plutôt que d'informer, de signaler et de prendre les mesures qui s'imposent en cas d'accident.

F. Gillet : Sur la question des données, on a parlé des données qui concernent essentiellement les aléas, par contre aujourd'hui, au moins en France, **l'acquisition des données concernant les vulnérabilités dans leurs diverses formes est encore très difficile**. De nombreuses informations existent mais réparties dans des endroits différents : il reste de gros progrès à faire pour collecter ces informations qui vous sont utiles pour la gestion du risque et des vulnérabilités. Dans les recommandations générales en matière d'acquisition de données, je mettrai volontiers un chapitre sur les différentes

formes de vulnérabilité : c'est de plus en plus important en termes de gestion de risque, et ce que vous dites là-dessus renforce ce point de vue.

V. Lebidan : En France, les Conseils Généraux ont à la fois une mission de gestion des routes mais aussi une mission sur les établissements recevant du public, sur les collèges, sur les transports routiers ; entre directions on a beaucoup de mal à se faire circuler les données.

F. Berger : Sur ce point il y a un vrai problème d'accessibilité à la donnée, avec aussi le risque qu'il y ait un affichage d'exposition au risque d'un usager sur une structure donnée. Certains services disposent effectivement de sources d'information très importantes pour les scientifiques, par exemple la fréquence d'atteinte. Ces données offrent une autre fenêtre de lecture du phénomène pour caler les modèles, calibrer tout un tas de choses. Mais sont-elles véritablement du domaine public ?

A. Lescurier : En Savoie par exemple, nous avons deux bases de données : une base « ouvrages » et une base « risques ». La base « ouvrages » est partagée par les territoires, la base « risques » pas encore et je ne sais pas si elle le sera un jour, car elle contient toutes les études réalisées à ce jour, qui ont été scannées. En ouvrant un SIG et cliquant sur une zone rouge, on a accès à des fenêtres « photos », etc., et « études » ; or les études contiennent des éléments qui intéressent les scientifiques, mais aussi des textes qui mentionnent qu'il faut intervenir dans l'année : si l'intervention n'a pas eu lieu, « on est mal » ! Il y des **questions de responsabilité**.

T. Arborino : Si l'on revient sur la question de savoir s'il faut changer la valeur seuil, il est important de distinguer cette valeur en fonction de ce qu'on veut protéger. Par exemple on protège des ouvrages contre des crues de référence différentes, on peut choisir de protéger les ouvrages les plus chers avec une marge de sécurité (« ceinture et bretelles ») ou normalement (« ceinture »). Donc par rapport à la question du CC, il ne s'agit pas de choisir une crue de référence différente, mais de se poser la question de savoir si la crue de référence par ex. T100 est différente, ce qui laisse de côté tout un pan de la discussion sur la vulnérabilité, sur le risque et sur le lien entre l'hypothèse hydrologique sur l'aléa et le choix du niveau de protection. Pour moi la question principale est donc celle du **niveau de protection** plutôt qu'une logique liée à la question du réchauffement climatique, qui ne doit intervenir qu'en seconde ou troisième étape, pas en première... Si on s'attaque à la première étape logique de savoir si la crue de référence change, la question a été posée mais d'un autre côté on n'a jamais changé une statistique ou un débit de dimensionnement à cause du réchauffement climatique pour la simple et bonne raison qu'on se rend compte quand on ajuste nos droites de Gumbel, quand on fait nos modèles stochastiques de prévision des crues, qu'on a des incertitudes absolument gigantesques sur la perméabilité des sols, sur la composition du bassin versant, sur la concomitance des pointes de crue avec le déplacement des événements pluviométriques, et dans le cas du haut Rhône où le bassin versant est fortement anthropisé avec des ouvrages qui retiennent les crues, qui font qu'on arrive à une incertitude très importante sur les débits de crue. On tire une droite de régression par exemple en prenant la médiane de ces valeurs et on abandonne l'idée de dire qu'on va augmenter encore... parce qu'on a une incertitude supplémentaire. L'incertitude climatique aujourd'hui à mon avis se noie dans les autres et il n'y a pas de changement à faire – à ma connaissance ça ne s'est jamais fait – sur les débits seuil à cause du CC, pour une raison déjà évoquée, c'est qu'on n'est pas capable de la mesurer. Pour moi c'est ça la première question. On nous demande de le faire, pour moi c'est englobé dans les incertitudes, par contre il faut un énorme **système de gestion des incertitudes**, et là on tombe dans le deuxième pan qui est l'analyse de la vulnérabilité, choix intelligent des valeurs de référence, pour pouvoir dimensionner correctement les ouvrages ;

F. Gillet : Par contre la question des tendances d'évolution se pose, notamment au niveau de l'acquisition des données et de leur exploitation : si effectivement on peut déterminer des tendances précises, y a-t-il lieu, non pas tout de suite mais dans un délai d'un certain nombre d'années, de modifier cet aléa de référence ? Nous n'en sommes pas là aujourd'hui.

T. Arborino : Mais une recommandation importante serait d'augmenter le monitoring pour pouvoir finalement donner des valeurs ou non ; notre réponse de scientifique serait de dire aux politiques qui demandent d'intégrer cette nouvelle variation : « je ne peux pas normer cette variation aujourd'hui, donc par acquis de conscience on va continuer comme avant, mais avec des **logiques de gestion des risques résiduels beaucoup plus puissantes et implémentées**, par contre en parallèle on met en œuvre un système de mesure qui va permettre de vous donner la réponse dans 20 ans ».

A. Lescurier : C'est bien ça : nous ne sommes pas en mesure de répondre aujourd'hui, il faut donc s'équiper pour acquérir plus de donnée.

J. Liévois : Dans le domaine des avalanches on dispose de données depuis plus d'un siècle. Est-ce qu'il y a des tendances observées depuis ? [= > *Présentation de N. Eckert, p. 61*].

14. Impact du changement climatique sur les avalanches – Nicolas ECKERT (Cemagref Grenoble)

1. Le lien avalanche-climat

Les avalanches sont des phénomènes **contrôlés de façon assez directe par les conditions météorologiques (chutes de neige récentes, métamorphisme du manteau neigeux, etc.)**, et donc **potentiellement par le climat**. A l'extrême, si un jour il n'y a plus de neige du tout dans les Alpes, il n'y aura plus d'avalanches! L'évolution des paramètres météorologiques qui contrôlent les avalanches devrait donc logiquement se traduire par une évolution perceptible des phénomènes avalancheux. **La nature et l'intensité de la réponse de l'activité avalancheuse au changement climatique sont importantes pour la gestion du risque, mais aussi, en retour, pour renseigner sur l'évolution du climat** dans des zones où il existe moins d'observations météorologiques directes.

Cependant, leur mise en évidence et leur quantification sont difficiles pour différentes raisons :

- Il est nécessaire de disposer de séries de données aussi longues et homogènes que possible, c'est-à-dire **d'un observatoire de l'activité avalancheuse**. Malheureusement, la collecte d'observations sur les avalanches est relativement difficile en raison de la difficulté d'accès et de la dangerosité éventuelle des sites avalancheux.
- Il existe différents types d'avalanches en fonction de leurs régime d'écoulement (dense/aérosol), du type de déclenchement (avalanches de plaque par exemple) ou du type de neige (sèche/humide). De plus, différentes variables sont utilisées pour les caractériser (nombre d'occurrences, distances parcourues, volumes de neige mobilisés, etc.). En raison de cette diversité, **la réponse à la question « quel impact du changement climatique sur les avalanches » ne peut pas être unique**.
- Le manteau neigeux est stable ou instable pour des gammes de paramètres apparemment très comparables, et des facteurs de contrôle tels que la température peuvent influencer la stabilité dans des sens opposés.
- **Différentes échelles spatiales et temporelles imbriquées sont à prendre en compte**. Par exemple, on peut examiner les données à l'échelle annuelle ou au contraire sur des échelles de temps beaucoup plus courtes, plus pertinentes pour la prévision et pour la gestion du risque avalancheux.
- L'extraction d'un signal temporel dans des séries de données d'avalanches n'est pas un problème statistique simple. Elle requiert la mise en œuvre de méthodes sophistiquées de détection de tendances qui ne sont pas forcément linéaires. Outre le **besoin identifié d'améliorer nos capacités d'observation**, il est donc également **nécessaire de poursuivre le développement de méthodes adaptées, et de disposer des moyens humains pour le faire**.

2. Quelques résultats importants

Pour palier l'absence de données directes, on peut utiliser des données indirectes (« fossiles »), essentiellement issues d'observations géomorphologiques (dendrochronologie et lichénométrie), qui permettent d'obtenir des informations intéressantes sur les avalanches passées, certes un peu frustes mais sur de longues périodes. **Par exemple, ces approches indiquent qu'au Petit Âge Glaciaire, des avalanches majeures se sont produites à des endroits où elles ne se sont plus produites durant les dernières décennies, ce qui tendrait à confirmer l'existence d'un certain contrôle de l'activité avalancheuse par le climat**.

D'autres résultats sont issus de simulations de l'évolution du manteau neigeux, aussi bien sur les périodes récentes que dans des scénarios de changement basés sur des projections climatiques. Ils indiquent des modifications, principalement à basses et moyennes altitudes, dans les caractéristiques du manteau neigeux, à la fois en quantité et en qualité, en lien avec le réchauffement. La conséquence principale pour l'activité avalancheuse serait **l'augmentation de la proportion d'avalanches de neige humides par rapport aux avalanches de neige sèche**. Ce résultat pourrait avoir des conséquences pour la gestion du risque, car le type de neige intervient dans le régime d'écoulement et ainsi dans les distances que parcourent les avalanches.

En ce qui concerne les données directes d'avalanches, la France est bien servie grâce à l'Enquête Permanente sur les Avalanches, véritable observatoire maintenu par les agents de l'ONF et du RTM depuis le tout début du vingtième siècle. Le Cemagref travaille depuis plusieurs années à l'analyse de ces observations, surtout sur la période post seconde guerre mondiale où les observations sont plus continues et homogènes. **Cette analyse n'a pas permis de détecter de tendance significative constante** sur l'ensemble de la seconde moitié du XXe siècle **dans le nombre d'avalanches observées** chaque hiver. 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.

L'augmentation relative de l'activité avalancheuse sur la période 1960-1980 pourrait correspondre à des hivers plus rigoureux, par ailleurs bien documentés par d'autres indicateurs climatiques. Le « recul des avalanches » observé dans les années 1980-2005 s'inscrit quant à lui dans une période de réchauffement marqué. Par contre, depuis 2005, même si le recul manque et qu'il peut s'agir d'un « effet de fenêtre » (une tendance est toujours relative à la durée de la période sur laquelle on l'observe), on observe à nouveau des hivers plus froids avec davantage d'avalanches d'intensité importante, notamment lors des crues avalancheuses de décembre 2008 dans les Alpes du Sud et en Haute Maurienne qui ont occasionné des évacuations et des perturbations du trafic routier. Des travaux sont actuellement en cours avec Météo France pour tenter de mieux comprendre ces évolutions et les relier directement aux évolutions du manteau neigeux à l'échelle hivernale.

Pour conclure, on peut dire que le « contrôle climatique » de l'activité avalancheuse sur le temps long commence à être assez bien documenté, même si il s'agit d'une thématique de recherche encore émergente dont les résultats doivent de ce fait être regardés avec prudence. En revanche, en ce qui concerne l'évolution des épisodes plus courts d'activité avalancheuse intense, et en particulier leur réponse aux précipitations hivernales plus fortes postulées par les modèles climatiques sous scénarii de changement, on a quasiment pas d'élément de réponse pour l'instant et le problème est très certainement plus complexe.

Discussion

F. Gillet : À l'heure actuelle, on observe (notamment à partir des mesures faites au Col de Portes, près de Grenoble - France) une diminution de l'enneigement à basse altitude depuis une quarantaine d'années environ, tandis qu'il n'y a semble-t-il pas beaucoup d'évolution à plus haute altitude (à partir de 2000m environ), ce qui semble se traduire par moins d'avalanches à basse altitude. Est-ce que cela induit une adaptation dans la gestion du risque ?

J. Liévois : Tout dépend aussi du pas de temps de gestion considéré, selon qu'on considère le pas de temps de la gestion quotidienne du risque d'avalanche sur les pistes ou bien le pas de temps de la gestion en terme d'aménagement du territoire, qui demande une fenêtre temporelle beaucoup plus large pour pouvoir prendre des décisions. L'aménagement du territoire a des implications très fortes en terme de valeur du foncier, et la tentation est vite grande de faire des extrapolations à partir d'une petite fenêtre d'observation pour en tirer des bénéfices sur la valeur du foncier et satisfaire les

propriétaires dont les terrains seraient rendus constructibles ! La difficulté est de faire comprendre aux décideurs que ce n'est pas parce qu'on a cru observer - et encore seulement dans les premières phases - une diminution de l'extension maximum des avalanches depuis les années 1980, qu'on peut lever la garde en terme d'urbanisme. Quand on construit une maison ce n'est pas pour 15 ans !

F. Gillet : Si je pose la question, c'est parce qu'elle a déjà été soulevée par un certain nombre de communes depuis quelques années, peut-être plus particulièrement dans les Alpes du Sud que dans les Alpes du Nord, en considérant qu'avec le réchauffement climatique il n'y a plus d'avalanches à basse altitude et que cela autorise la construction... Ce n'est donc pas une question hypothétique et la réponse de J. Liévois est importante, car il est nécessaire d'expliquer pourquoi aujourd'hui il faut faire attention... Même si les élus sont un peu plus prudents depuis les récentes grosses crues avalancheuses dans les Alpes du Sud (Décembre 2008 dans le Queyras et le Mercantour – à vérifier), de fait c'est une question qui est posée sur le terrain.

N. Eckert : Cela rejoint un peu la différence entre le climat et la météorologie, ou entre activité avalancheuse à l'échelle hivernale et cycles d'activité intense plus courts. En terme de climat, si le réchauffement se poursuit on peut postuler sans trop de difficulté qu'il y aura sans doute moins d'avalanches à basse altitude. Il n'empêche que lors d'épisodes froids et très neigeux, même très ponctuels, les avalanches vont se déclencher à basse altitude comme elles se déclenchaient avant. Par exemple, cet hiver, avant Noël, des randonneurs à ski se sont tués au col du Coq (massif de la Chartreuse) vers 1400m d'altitude, dans ce que les grenoblois considèrent quasiment comme leur jardin, et il est fort possible que ce genre d'événement puisse encore se produire dans 100 ans même si le couvert neigeux moyen devient très faible à cette altitude...

T. Arborino : **On essaie d'analyser les conséquences d'une tendance générale, mais les séries présentent des variations**, avec des pics au-dessus ou en dessous des valeurs moyennes. Quand on dit qu'il n'y aura peut-être plus de neige à un horizon de 100 ans, ce sera peut-être juste en moyenne pour les mesures à venir au cours des 100 prochaines années, mais il y aura toujours des événements au-dessus de la moyenne.

J. Liévois : Il y a une grande différence entre une tendance et un événement. Bien qu'on puisse constater, à un endroit donné, que globalement les avalanches vont moins loin, il n'en demeure pas moins qu'à l'échelle du siècle il y aura toujours des phénomènes exceptionnels... Se pose alors la **question de l'acceptation du risque résiduel, et de « qui fixe le seuil ? »**.

F. Gillet : Et même dans le cas des avalanches, on peut imaginer des phénomènes plus marqués liés à des précipitations plus importantes, et même si ce n'est qu'une hypothèse, on ne peut pas la mettre de côté.

15. Écroulements rocheux et dégradation du permafrost en haute montagne – Philip DELINE (Laboratoire EDYTEM, CNRS/Université de Savoie)

L'étude de la relation entre les éboulements rocheux en haute montagne et la dégradation du permafrost sous l'effet du changement climatique doit prendre en compte trois problèmes spécifiques :

- Le permafrost étant un état thermique, sa présence ne peut pas être attestée simplement « à l'œil nu » contrairement à celle des autres phénomènes de haute montagne (glaciaires, avalancheux, torrentiels, etc.), en particulier dans les parois rocheuses (alors que les formations superficielles peuvent présenter des formes qui témoignent de la présence du permafrost, telles que les glaciers rocheux). La prise en compte du permafrost implique tout d'abord de préciser sa localisation, sa distribution en profondeur et son évolution dans le temps.
- Il s'agit ensuite de préciser la relation entre l'occurrence des écroulements et l'éventuelle dégradation du permafrost (qui se manifeste en particulier par la mise au jour et/ou la fonte de la glace présente dans les fissures des parois rocheuses).
- Concernant les écroulements eux-mêmes, il convient de déterminer si ces phénomènes sont plus fréquents aujourd'hui que par le passé et si leur magnitude augmente ou non, en tenant compte des possibles biais qui pourraient résulter de l'intérêt croissant qu'on leur porte et de l'amélioration continue des moyens d'observation.

1. Reconstitution des écroulements passés depuis 150 ans dans le massif du Mont-Blanc

Le laboratoire EDYTEM travaille sur ces thèmes de recherche à partir des observations et des analyses menées depuis plusieurs années dans le massif du Mont-Blanc. L'une des méthodes employées pour l'étude des écroulements en haute montagne qui permet de s'affranchir des possibles biais d'observation est l'utilisation non pas des seuls témoignages historiques mais des photographies. Cette méthode a été mise en œuvre sur deux secteurs pour lesquels le large corpus de photographies historiques disponible offre une couverture temporelle à peu près continue depuis 150 ans : la face ouest des Drus et le versant nord des Aiguilles de Chamonix. Ces clichés (plusieurs centaines) permettent de remonter jusqu'à 1860, période de l'avènement de la photographie de montagne, qui correspond à la fin du Petit Âge Glaciaire.

L'observation et la comparaison de ces photographies complétées par des mesures de terrain ont permis de répertorier une cinquantaine d'événements depuis la fin du Petit Âge Glaciaire jusqu'à aujourd'hui. Ces événements se sont produits pour l'essentiel au cours des soixante dernières années, avec des volumes variables, de plusieurs centaines à plusieurs centaines de milliers de m³.

Cette analyse a permis de mettre en évidence deux périodes principales qui se caractérisent par une fréquence accrue des écroulements : une première période à la fin des années 1940 et au début des années 1950, puis une seconde à partir des années 1980.

La première période présente une activité qu'on ne retrouve pas au cours des périodes antérieures, puisque pendant près d'un siècle, depuis la fin du Petit Âge Glaciaire jusqu'au milieu du XXe siècle (1947 pour les Aiguilles de Chamonix et 1950 pour les Drus), pratiquement aucun éboulement ne s'était produit – mis à part un petit écroulement au Drus déclenché par un séisme en 1905.

La fréquence des écroulements a ensuite très fortement diminué au cours des années 1970, avant d'augmenter à nouveau jusqu'à atteindre une fréquence particulièrement marquée au cours des deux dernières décennies, en particulier dans le secteur des Aiguilles de Chamonix (où le nombre d'événements est plus important) mais aussi sur la face ouest des Drus (avec une augmentation des volumes liée à la succession d'événements qui ont conduit à l'écroulement du pilier Bonatti en juin 2005 ; Fig. 39).

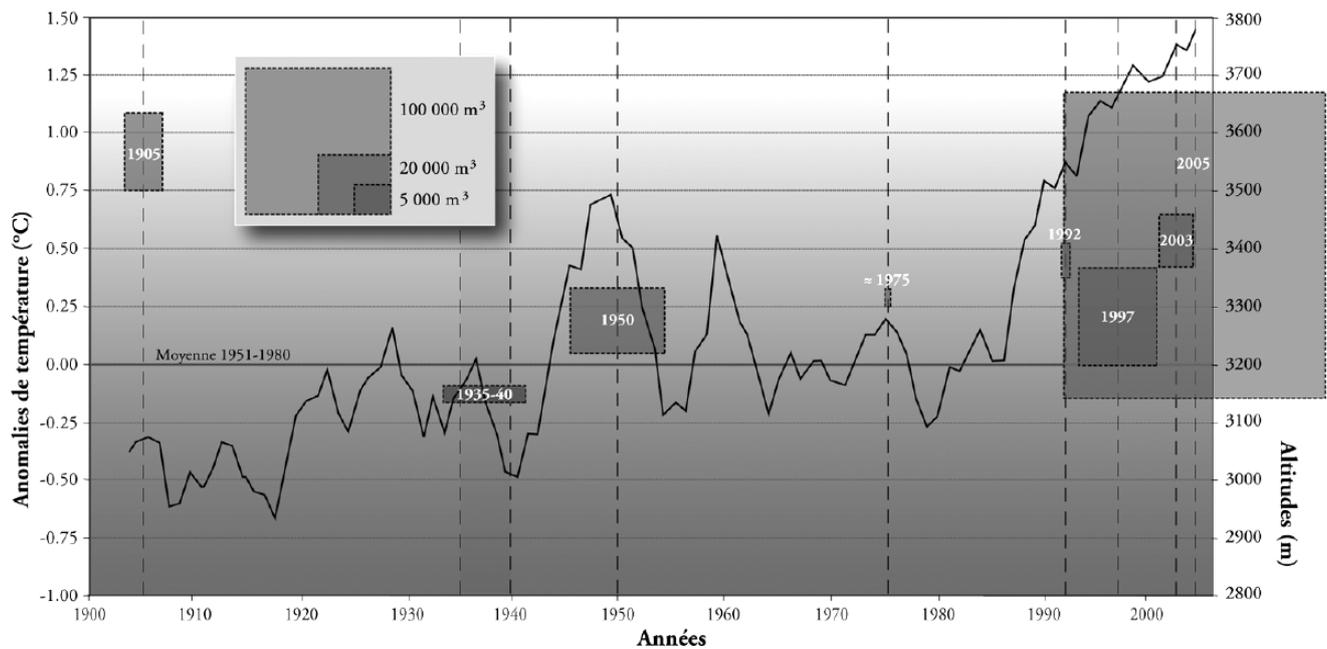


Fig. 39. Évolution de la température moyenne annuelle de l'air dans les Alpes et du volume et de la fréquence des écoulements rocheux dans la face ouest des Drus entre 1905 et 2005. Les quadrilatères en tireté représentent les différents écoulements (Ravel et Deline, 2008).

Il y a donc une **forte corrélation entre l'occurrence de ces événements depuis 150 ans et les périodes les plus chaudes observées à Chamonix** au XXe siècle (l'été et l'année 1947 étant le second été le plus chaud – après celui de 2003 – et l'année la plus chaude enregistrés depuis 1934) et au début du XXIe siècle, en particulier au cours des deux dernières décennies qui présentent la plus forte augmentation des températures moyennes (Fig. 40).

2. Etude des écoulements actuels

Cette approche sur photographies est complétée par un **réseau d'observateurs** constitué de guides et de gardiens de refuges, mis en place depuis 2005 en collaboration avec les collègues valdôtains dans le cadre du projet Alcotra *PERMAdataROC* et qui se poursuit dans le cadre du projet Espace Alpin *PermaNET*. L'intérêt d'un tel réseau d'observation provient de son caractère systématique et repose évidemment sur sa pérennité. Ce réseau est pleinement fonctionnel depuis 2007 sur les versants français (chamoniard) et italien du massif du Mont Blanc.

Entre 22 et 72 événements se sont produits chaque été entre 2007 et 2009 – une trentaine d'événements non encore analysés ont été répertoriés pour 2010. Là encore, on observe une étroite correspondance entre l'occurrence de ces écoulements et les périodes chaudes (par exemple entre le 10 août et début septembre en 2009, et pendant les trois premières semaines de juillet 2010).

En outre, l'exploitation de l'imagerie satellitaire (SPOT) de l'été 2003 a permis de relever 182 écoulements sur l'ensemble du massif dont 152 situés dans le secteur couvert par le réseau d'observateurs, c'est-à-dire deux fois plus qu'au cours de l'année 2009 très active.

Bien que la série d'observation soit assez courte, on retrouve donc pour un **pas de temps beaucoup plus court** la relation mise en évidence sur les derniers 150 ans entre l'occurrence des écoulements en haute montagne et les conditions climato-météorologiques dans lesquelles ils s'inscrivent.

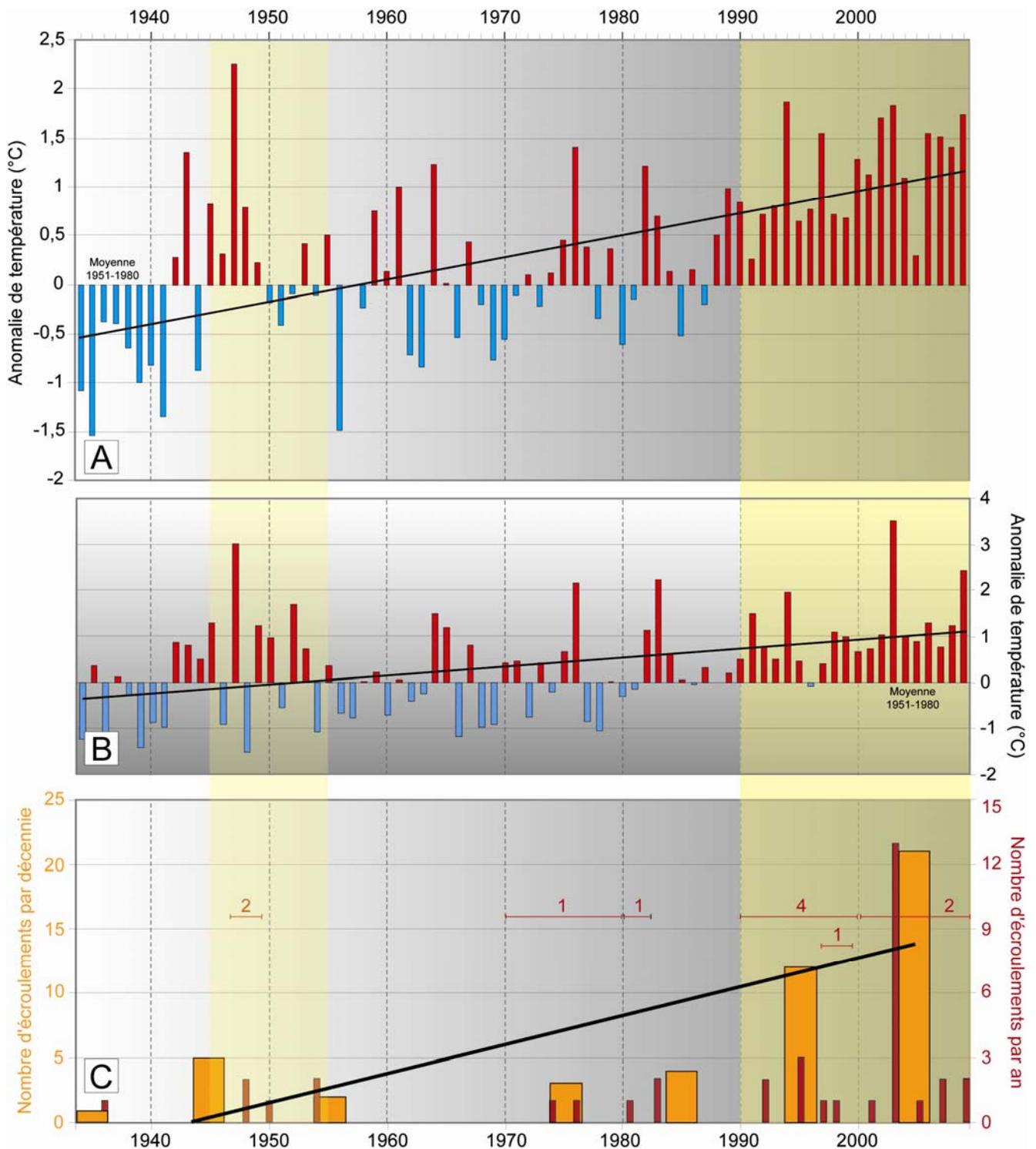


Fig. 40. Evolution comparée du climat à Chamonix-Le Bouchet (1040 m) et des écoulements rocheux de la face ouest des Drus et du versant nord des Aiguilles de Chamonix (données météorologiques : Météo-France). **A** : anomalie des MAAT par rapport à la moyenne 1951-1980 ; **B** : anomalie des températures moyennes des trois mois les plus chauds (juin-juillet-août ou juillet-août-septembre) par rapport à la moyenne 1951-1980 ; **C** : nombre d'écroulements par an et par décennie. Traits noirs : tendances (régressions linéaires, décennale pour C) ; barres avec nombre en C : écoulement non datés précisément (Ravanel, 2010).

Par ailleurs, ces observations sur ces pas de temps séculaire et annuel sont complétées par des relevés par laser-scanning effectués dans l'ensemble du massif avec une périodicité annuelle sur une douzaine de parois type dont certaines sont équipées de capteurs de température de la roche. Ces relevés permettent de repérer les secteurs affectés par des écoulements et d'évaluer leur volume en vue de mieux comprendre ces processus et leurs relations avec l'évolution des températures mesurées sur les parois.

L'ensemble de ces observations s'articule avec une étude du permafrost lui-même développée sur le site de l'Aiguille du Midi dans le cadre du projet *PermaNET*, qui comprend notamment des mesures en continu des températures dans la roche pour étudier leur réponse au forçage climato-météorologique aux différents pas de temps.

Références bibliographiques

Ravanel L., 2010. *Caractérisation, facteurs et dynamiques des écroulements rocheux dans les parois à permafrost du massif du Mont Blanc*. Thèse Université de Savoie, 326 pp.

Ravanel L., Deline P., 2008. La face ouest des Drus (massif du Mont-Blanc) : évolution de l'instabilité d'une paroi rocheuse dans la haute montagne alpine depuis la fin du petit âge glaciaire. *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 4, 261-272.

Discussion

C. Peisser : Il est intéressant de constater que, contrairement aux autres types de phénomène pour lesquels on n'observe pas véritablement de tendance nette, il y a dans le cas présent une corrélation qui semble assez évidente avec l'évolution des températures, qui est aussi le seul paramètre météorologique présentant une tendance univoque dans les Alpes. Peut-on dire que l'augmentation des températures implique une augmentation de la fréquence et de l'intensité de ces phénomènes ?

P. Deline : Oui concernant la fréquence, mais nous ne disposons pas encore d'assez d'éléments quant à l'intensité.

J. Liévois : C'est quand il fait chaud que les cailloux tombent ! Mais ce n'est pas parce qu'il y a une tendance moyenne au réchauffement climatique qu'il y a plus de chutes de blocs...

F. Berger : Pour apporter un élément d'information dans le domaine des chutes de pierres en général (pas spécifiquement en haute montagne), le Cemagref a réalisé une analyse des fiches événement produites par le service RTM de Haute-Savoie depuis 1989, tous secteurs et gammes d'altitude confondus. Malgré les biais que ce type d'analyse peut comporter du fait du facteur humain (variabilité de la sensibilité des observateurs et du taux de remplissage des fiches), deux dates qui présentent une rupture de pente dans la « tendance » observée entre 1989 et 2006 ressortent clairement : l'année 1999 (caractérisée par un hiver assez froid) et l'année 2003 (l'année de la canicule), pour lesquelles on observe un nombre accru de fiches événements, laissant supposer l'existence d'un lien de cause à effet entre le facteur climatique et l'augmentation du nombre de fiches. Par contre, le volume unitaire de ces événements reste le même et **c'est donc la fréquence du phénomène qui varie, plutôt que son intensité**. En matière de gestion préventive des risques de chutes de pierres, cette évolution pose donc la **question de la fréquence du phénomène de référence** (plutôt celle de son volume) à prendre en compte pour dimensionner les structures de protection.

F. Gillet : Il faut souligner la différence entre ces zones qui ne sont pas à température moyenne négative et les Drus ou les Aiguilles de Chamonix qui sont des secteurs à permafrost et qui présentent une sensibilité particulière aux vagues de chaleur, du fait de la fonte de la glace présente dans les fissures qui contribuait à leur cohésion.

A. Lescurier : On peut cependant remarquer qu'une grande partie des éboulements observés sur les routes provient de zones affectées par les phénomènes de gel-dégel.

R. Mayoraz : Il s'agit de phénomènes très différents ! On a vu qu'en Suisse les années 2003, 2004 et 2005 ont plutôt connu une diminution du nombre de chutes de pierres dans les zones situées à « basse altitude », tandis que dans les zones de permafrost on a observé une augmentation des instabilités dans

les parois rocheuses (chutes de blocs) et les formations superficielles (fluage des glaciers rocheux) au-dessus de 3200-3300 m d'altitude. Il est donc **fondamental de toujours bien préciser de quel type de phénomène on est en train de parler** lorsqu'on présente ce type de résultats.

F. Berger : En effet et cela rejoint les problèmes de communication entre les résultats repris éventuellement de manière simpliste par les décideurs politiques et l'interprétation qu'en donnent les scientifiques au regard de la qualité des observations et de la nature des données disponibles.

F. Gillet : Il serait intéressant de relier les observations évoquées par F. Berger avec les situations météorologiques pour mieux analyser l'effet des alternances gel-dégel en fonction de l'altitude et mettre en évidence les facteurs prépondérants dans le déclenchement des chutes de pierres.

F. Berger : Cela rejoint le problème de mise à disposition des données...

J. Liévois : On constate (même si on a encore du mal à le quantifier) que plus les périodes de gel sont longues, plus on aura de chutes de pierres au moment du dégel. Il est possible que les chutes de pierre aient été plus nombreuses à la suite d'hivers particulièrement rigoureux ayant causé de longues périodes de froid, comme ce fut le cas au printemps qui a suivi l'hiver 2004-2005 au cours duquel on a connu une période très froide avec des températures de l'ordre de -10°C pendant 6 semaines.

F. Gillet : La durée des vagues de froid est en effet un paramètre très important : plus elles sont longues et plus l'onde de froid pénètre en profondeur, ce qui permet de mobiliser des volumes plus importants lors du dégel.

P. Deline : À ce propos, le volume des écroulements observés dans le massif du Mont-Blanc est très variable, jusqu'à $260\,000\text{ m}^3$ en juin 2005 aux Drus. D'autres événements importants se sont produits dans la période récente, en particulier dans ce massif. Par exemple, un très gros écroulement s'est produit sur son versant italien dans le secteur de la Brenva le 18 janvier 1997, c'est-à-dire au cœur de l'hiver à un moment exempt d'alternance gel-dégel. Les profondeurs de niche d'arrachement, de plusieurs dizaines de mètres, peuvent être éventuellement reliées à une dégradation lente du permafrost en profondeur, sur lequel on n'a pas de connaissances bien établies pour le moment, mais simplement des hypothèses sur l'effet de la circulation d'eau en profondeur, qui permettrait l'advection rapide de chaleur et pourrait avoir des effets déstabilisants importants. Ainsi, dans le cas beaucoup plus récent de l'écroulement du 24 décembre 2008 du Mont Crammont près de Courmayeur, où un volume de plus de $500\,000\text{ m}^3$ est descendu jusqu'à la Doire, cet écroulement s'est produit sur un versant qui culmine à 2650 m d'altitude seulement (la niche d'arrachement est située entre 2400 et 2650 m d'altitude), dont on ne pensait pas a priori qu'il pouvait contenir un permafrost – malgré son exposition nord. Cependant sa modélisation réalisée avec l'Université de Zurich suggère que, du fait de la grande inertie thermique et de la sortie récente (à l'échelle géologique) du Petit Âge Glaciaire, la température de la roche est probablement de -1° à -2°C à l'emplacement de la niche d'arrachement. Cette température à la limite du « permafrost chaud » pourrait expliquer le déclenchement de cet écroulement à cet endroit, alors que l'analyse géomorphologique des cordons morainiques d'âge tardiglaciaire situés au pied de la paroi et conservés pendant tout l'Holocène montre qu'aucun autre écroulement d'un volume du même ordre ne s'est produit dans ce secteur depuis 12 000 ans .

J.-D. Rouiller : En 2003 « ce sont de gros paquets qui sont partis », parce que de la glace située dans des fissures assez profondes a fondu, tandis que lors d'un été normal, l'onde de chaleur n'a pas le temps d'atteindre cette profondeur. Ainsi au Cervin où les petits écroulements sont récurrents, le compartiment rocheux qui s'est décroché cet été là fut comparativement énorme. On peut donc probablement conclure que plus les étés seront chauds plus il y aura d'éboulements de grande importance.

P. Deline : Oui, typiquement la couche active mesurée en Suisse par le réseau PERMOS entre 3000 et 3500 m d'altitude s'est approfondie de 0.5 m – voire parfois de plusieurs mètres – en 2003 par rapport aux autres années !

16. Discussion générale (part 4)

C. Peisser : Après avoir fait le tour des différents phénomènes naturels, il serait maintenant important de revenir sur quelques points importants abordés en cours de discussion et d'en tirer des recommandations pour les décideurs, les financeurs, les gestionnaires en général.

T. Arborino : Un point n'a pas encore été abordé, celui de la ressource en eau. L'augmentation des températures a tendance à modifier les débits d'étiages. Or la tendance des stations de ski est à produire plus de neige artificielle, avec création de retenues, d'où la question des débits réservés dans les rivières et des conflits d'usage entre l'eau affectée à la production de cette neige et la distribution d'eau potable. Sans être spécialiste de cet aspect je tiens à signaler le problème très étroitement lié au changement climatique.

J.D. Rouiller : À propos de l'usage de neige artificielle, on observe en Valais, sûrement de la même façon qu'ailleurs, que les pistes enneigées artificiellement fondent presque un mois après les autres. Dans certains endroits cela commence à poser des problèmes pour les chalets situés à l'aval de ces paquets de neige tardive : les terrains deviennent très humides, presque marécageux et risquent à terme de causer des situations d'instabilité.

F. Gillet : Parmi les questions qui méritent d'être retenues, il y a celle de l'événement de référence, qui sert de base à beaucoup de politiques de prévention et de protection, et celle de la gestion du risque résiduel. Dans un contexte de changement climatique, le risque d'avoir des phénomènes extrêmes plus fréquents existe. Si un événement dépasse l'événement de référence contre lequel on s'est protégé, comment s'organise-t-on pour gérer le risque résiduel ? Sur le terrain, y a-t-il des mesures prises dans ce sens-là ?

T. Arborino : Pour ce qui concerne les inondations, nous prévoyons/gérons le point faible du système, nous le fabriquons s'il le faut : la clé de cette gestion du « cas de surcharge » est d'éviter d'avoir un niveau de protection uniforme. Lorsque le débit de référence est dépassé, le point faible est le premier à déborder mais il est renforcé pour ne pas complètement lâcher et créer par exemple une vague d'inondation. Nous disposons de modèles numériques, physiques pour dimensionner des outils pragmatiques qui ont déjà été mis en œuvre à différents endroits. Il s'agit typiquement en Valais des mesures de type « seuil déversant » ou « digue fusible » avec derrière un territoire qui peut être inondé. Un point important de notre politique est que le risque résiduel est cartographié : ces zones volontairement inondable, qui étaient avant cartographiées en rouge, le sont aujourd'hui en strié jaune et blanc qui signifie le risque résiduel. Cette zone présente souvent des conflits avec des concentrations de personnes ; on peut alors aligner un deuxième élément de protection, que nous appelons « arrière-digue », une digue secondaire qui est souvent une voie de chemin de fer ou une route existante qu'il suffit de surélever et qui permet de limiter les dégâts liés au risque résiduel. Ce risque résiduel est géré dans le système d'intervention d'urgence, en vérifiant que le débordement a bien lieu au bon endroit, en installant des sacs de sable dans les passables inférieurs, en organisant l'évacuation des personnes en fonction de cette nouvelle cartographie qui prévoit le cas de surcharge. Lors d'un début de débordement, la période de retour de l'événement a alors peu d'importance puisque la population est prête à évacuer, les pompiers et la protection civile savent quoi faire.

F. Gillet : Ces mesures sont très intéressantes. Mais pour préciser, elles ne sont efficaces que jusqu'à un deuxième niveau qui, s'il est dépassé, les rend inopérantes ou nettement moins efficaces et implique à nouveau une gestion de crise avec organisation des secours et de l'évacuation.

T. Arborino : C'est toujours vrai, toujours combiné. Les ouvrages de protection primaires et secondaires, la cartographie du risque/gestion territoriale et l'intervention d'urgence sont les 3 piliers de la gestion intégrée. On peut alors faire délibérément le choix de se protéger seulement contre la crue

cinquennaire, en renforçant les systèmes de protection secondaire et d'intervention d'urgence, plutôt que d'augmenter encore le niveau de l'événement de référence. Le choix reste ouvert.

F. Gillet : Comment fonctionne l'articulation entre les services qui gèrent les systèmes de prévention/protection et les services qui gèrent l'urgence ? En France par exemple on constate que cette articulation n'est pas toujours des meilleures.

T. Arborino : Il y a aussi des difficultés, mais notre solution est la suivante : quand nous faisons une demande de diagnostic/solution à un bureau spécialisé, nous lui demandons à la fois la carte de dangers, le concept de protection et le plan d'intervention d'urgence. En demandant les trois produits simultanément, c'est un cerveau unique qui conçoit tout et assure donc la cohérence de l'ensemble ; il ne reste plus qu'à transférer le tout à la commune qui gère le plan d'intervention d'urgence.

J.D. Rouiller : Deux points de précisions : (1) Ces études sont gérées par le spécialiste cantonal du danger en question (hydrologue, géologue cantonal), (2) En Valais la Protection Civile est responsable de la mise en œuvre et de l'intervention des états majeurs de crise, mais toujours avec l'appui du spécialiste cantonal du phénomène impliqué.

D. Richard : Le « concept de protection » inclut-il la réglementation du sol ?

T. Arborino : Non, cet aspect est plutôt lié à la carte de danger.

D. Richard : Oui, en Valais la filiation est sans doute beaucoup plus directe entre la « carte d'aléa », selon la terminologie française, et la gestion du territoire, qui est en France davantage du ressort de la commune.

T. Arborino : Nous avons également la chance de pouvoir éditer des directives, comme on vient de le faire pour les trois dangers naturels – la neige, les dangers géologiques, les inondations - Nous montrons quel est le préavis type que nous pouvons donner à la construction, en tant qu'organe compétent ; nous informons la commune et les propriétaires du préavis qu'ils recevront s'ils veulent construire en zone rouge exposée à un des dangers.

F. Gillet : S'agit-il d'un avis ou d'une contrainte ?

T. Arborino : Il s'agit d'un avis non liant....auquel personne n'ose déroger !

J.D. Rouiller : Nous donnons seulement un avis, c'est la commune qui est chargée de le faire appliquer puisqu'elle est responsable de la sécurité des biens et personnes.

T. Arborino : C'est bien la même chose en France, le maire a le droit de passer outre mais il en assume l'entière responsabilité.

J. Liévois : Non, ce n'est pas tout à fait la même chose. Même si le maire est responsable de sa commune, le préfet conserve un contrôle de légalité qui lui permet de supplanter les décisions du maire, ce qu'il fait chaque fois qu'il l'estime nécessaire.

F. Gillet : De plus, en France le Plan de Prévention des Risques a valeur de servitude d'utilité publique et est annexé aux documents d'urbanisme.

J. Liévois : Il s'agit d'une affectation de l'Etat qui se surimpose au Plan Local d'Urbanisme, ce dernier document devant être mis en conformité avec les décisions de l'Etat.

T. Arborino : Dans le même ordre d'idée, par rapport à la question de l'information à la population et la difficulté de faire passer les messages, un jugement du Tribunal Fédéral nous impose pour les projets de zones de danger la mise à l'enquête publique, avec possibilité d'opposition, ce qui engendre des débats publics importants.

J.D. Rouiller : Il s'agit d'une jurisprudence issue d'un propriétaire valaisan dont le terrain avait été classé en zone bleu : et a recouru jusqu'au tribunal fédéral. Cette dernière instance nationale en matière de recours a statué, comme à son habitude, sur la forme plutôt que sur le fond. Il a rappelé que le fait de pouvoir s'opposer à une décision administrative qui le lèse est un droit fondamental du propriétaire et a ainsi obligé le Canton à devoir engager la procédure de mise à l'enquête publique pour toute action administrative pouvant léser un tiers. Depuis ce jugement toutes les cartes de danger sont soumises à enquête publique et deviennent de ce fait ZONES de danger qui, une fois levées toutes les oppositions, sont en force.

F. Gillet : En France en matière d'information, non seulement tous les Plans de Prévention des Risques, comme d'ailleurs les documents d'urbanisme (PLU), sont systématiquement soumis à enquête publique, mais en plus le maire d'une commune soumise à des risques (environ 12 000 sur 36 000) a obligation d'informer régulièrement les habitants (environ tous les 2 ans). Cette obligation (loi de 1987, modifiée depuis) permet aux nouveaux arrivants d'être informés au même titre que ceux qui avaient pu participer à l'enquête.

J. Liévois : Cela va même plus loin, puisque il y a obligation, au moment de l'acquisition ou de la location d'un bien, de porter le risque à connaissance : le propriétaire ou le notaire doit informer le locataire / l'acquéreur des phénomènes naturels qui concernent ou ont concerné le bien ; ceux-ci doivent apparaître sur l'acte notarié. Cette règle s'applique jusque dans les de campings, où le propriétaire doit afficher l'exposition aux risques pour les vacanciers louant un emplacement.

F. Gillet : Cette réglementation n'est pas liée au changement climatique, mais on pourrait imaginer donner le même type d'information si on avait des hypothèses fiables en matière d'évolution ; ce n'est pas le cas aujourd'hui car on ne dispose pas d'élément suffisamment précis.

J. Liévois : Cet aspect est important, car nous avons l'impression – sans pouvoir le mesurer - que cela renforce le sentiment du citoyen que le risque est une affaire d'Etat, au détriment du sentiment de responsabilité individuelle.

T. Arborino : Sur le thème du risque résiduel, des changements vont être introduits par la Directive Inondation. Il faudra s'intéresser à 3 aléas : faible, moyen, fort, le moyen étant relatif à la crue centennale. On va donc s'intéresser à des crues plus fortes que celles envisagées aujourd'hui, ce qui renverra forcément à la notion de risque résiduel. D'autre part il y a l'obligation de mettre en place des plans de gestion, autour desquels on peut espérer qu'il y ait une meilleure concertation. Les premiers plans sont en cours, ils devront être achevés fin 2015 ; l'intérêt est qu'ils devront être réactualisés tous les 6 ans. La Directive dit clairement qu'il faudra prendre en compte le changement climatique.

F. Gillet : L'actualisation est effectivement un point très important. La Directive prévoit également de cartographier l'« événement exceptionnel ». Que va-t-on cartographier ? L'événement historiquement connu, mais qui est déjà pris en compte normalement en matière d'inondation s'il est supérieur à la crue centennale, ou un événement au-delà ? Ce point n'est pas clair.

T. Arborino : Les méthodologies sont en cours de discussion.

J. Liévois : Ce n'est que dans la zone inondable. En France on parle couramment de l'événement de référence centennal, mais ce n'est dans les textes que pour les problématiques d'inondation. Nous avons essayé d'insérer un élément dans ce sens pour les avalanches, mais ça n'a pas été très loin. Ce

point nous ramène encore à une question qui a été abordée plusieurs fois : qui – quelle instance - décide du seuil au-delà duquel on passe à du risque résiduel ? Pour l'instant les autorités laissent les juges décider au coup par coup, souvent en fonction du niveau d'atteinte de la victime et non pas en fonction d'un référent général.

A. Lescurier : C'est la situation en France, mais comment cela se passe-t-il en Suisse et en Italie ?

T. Arborino : En Valais nous avons volontairement fixé « une limite floue », entre 100 et 300 ans, au-delà de laquelle le risque devient résiduel. Nous pensons qu'une limite nette serait fautive : si on envisage un seuil fixe entre la crue de référence et le risque résiduel, et qu'on conçoit un ouvrage pour cette crue de référence, la courbe de risque est à zéro dégât jusqu'à la crue de référence et explose juste derrière, ce qui est absurde. Il faut une courbe du risque « plate » derrière : il faut pour cela expliquer aux gens qu'on ne connaît pas précisément cette valeur seuil contre laquelle on doit se protéger et au-delà de laquelle on peut prévoir le pire sans tout mettre en œuvre. On peut encore jouer sur le risque résiduel ; si on choisit la crue centennale comme événement de référence au lieu de Q150, Q200... parce qu'on veut un ouvrage un peu moins cher, on peut placer du résiduel à Q101.

A. Lescurier : « Vous » représente qui, le Valais, l'échelon national... ?

T. Arborino : Il s'agit toujours de l'échelon national.

F. Gillet : De la même façon en France, c'est bien l'Etat qui définit les événements de référence.

J. Liévois : Pour chaque Plan de Prévention des Risques, le préfet approuve l'événement de référence pris en compte. Même si le préfet représente l'Etat, la décision n'est pas unique. Même au sein d'une même commune, l'événement de référence peut changer en fonction du type d'aléa. Souvent l'événement centennal est retenu pour les inondations, mais un événement supérieur pour les chutes de pierres.

C. Peisser : Cette notion de risque résiduel paraît un élément fondamental du débat, avec une double problématique : d'une part celle de la valeur seuil (où la fixer ?), d'autre part celle de l'instance habilitée à fixer cette valeur (les politiques doivent-ils se positionner clairement ?). Cela semble être déjà le cas en Suisse, c'est sans doute moins clair en France et en Italie.

T. Arborino : Un point de précision : en Suisse se sont les services techniques qui le fixent, pas les politiques. Les directives des techniciens responsables fédéraux ont force de règle.

Conclusion de la journée : essai de synthèse des points importants – Carine PEISSER (PARN)

- Besoin constant d'**acquisition de données**, avec les notions d'observatoire, de suivi (mise à jour) et de mise à disposition (et de mutualisation) des données concernant aussi bien les aléas que les vulnérabilités.
- Besoin d'un **lien étroit entre scientifiques et gestionnaires**, notamment via des journées d'échange.
- Besoin d'un **positionnement clair des gestionnaires et des décideurs** :
 - sur les moyens qu'ils sont prêts à mettre en œuvre pour l'acquisition des données,
 - sur la question du risque résiduel,
 - sur la question de l'acceptabilité.
- Le changement climatique ne fait qu'ajouter des incertitudes aux incertitudes déjà existantes du fait de la variabilité des phénomènes naturels, et renforce la **nécessité « d'apprendre à vivre avec l'incertitude »**, ce qui renvoie aux **notions de risque résiduel et d'acceptabilité**.
- Les progrès en matière d'acceptabilité du risque passeront probablement par un renforcement de la **diffusion d'information auprès des collectivités et de la population** (=> discussion) :
 - F. Gillet : Les politiques de gestion des risques sont mises en œuvre par des structures publiques, mais dans bien des endroits la population n'est pas vraiment impliquée. Comment mieux impliquer les citoyens et faire en sorte qu'ils réagissent en cas d'événements vraiment grave ? Aujourd'hui dans la plupart des cas, les citoyens ne savent pas quel comportement adopter et ne se préoccupent pas de savoir s'il faut qu'ils fassent quelque chose (mis à part ceux qui connaissent des inondations répétitives, qui commencent à savoir comment réagir). Donc si l'on pense qu'on va vers une plus grande fréquence d'événements extrêmes qui risquent d'être dommageables, il est nécessaire de traiter cette question d'une manière plus approfondie qu'on ne l'a fait jusqu'alors.
 - C. Peisser : De ce point de vue l'aspect « **éducation** » apparaît fondamental pour permettre de maintenir la culture du risque en montagne [*cf. remarques d'I. Voyat le matin*].
 - A. Lescurier : Les citoyens sont préparés aux événements lorsqu'ils les subissent régulièrement (ex. des cyclones aux Antilles, qui se produisent plusieurs fois par an).
 - J. Liévois : La question qui se pose est celle de la préparation aux événements les plus rares, comme dans le cas du Grand Bornand en 1987 où les morts sont des personnes qui voyant l'eau monter progressivement dans le camping se sont enfermées dans leur caravane au lieu d'évacuer, ou encore dans le cas d'une personne qui voyant une coulée de boue arriver sur sa maison a fermé les volets et s'est réfugiée dans son lit... Les nombreux exemples de ce type montrent qu'il y a là un problème d'éducation.
 - F. Gillet : Dans le cas de la tempête Xynthia, les gens étaient bien prévenus qu'il y avait un risque de tempête, clairement annoncé par Météo-France, par contre le risque d'inondation n'a pas été annoncé, or c'est l'inondation qui a entraîné des morts par noyade. L'annonce du risque d'inondation n'était pas de la responsabilité de Météo-France, car en France c'est le SCHAPI qui est chargé de la prévision hydrologique et hydraulique (sur les cours d'eau). Depuis cette catastrophe, et comme ce phénomène est susceptible de se reproduire, Météo-France a la responsabilité d'annoncer aussi le risque de submersion marine.

- Rq : Ça n'aura d'effet que si les gens apprennent à nager !
- V. Lebidan : Il y a une suite à Xynthia, car l'après-événement a été géré de façon calamiteuse. Il reste toujours des maisons exposées qui vont rester en place, donc là l'Etat a perdu à peu près 20 ans de crédibilité en matière de gestion des risques.
- J.-D. Rouiller : En Suisse, ce n'est pas MétéoSuisse mais une division de l'OFEN qui s'occupe de la prévision hydrologique, ce sont deux métiers différents.
- T. Arborino : Pour revenir sur la question de l'implication de la population dans la gestion du risque, je pense qu'on devrait réfléchir à la possibilité d'informer systématiquement la population sur les règles en cas de danger quand on donne la carte de dangers : associer information sur la carte des dangers et les règles face au danger.
- F. Gillet : En France, dans les communes dotées d'un PPR le maire a l'obligation de mettre en place un Plan Communal de Sauvegarde (PCS), qui définit les mesures à prendre et notamment les règles à appliquer par les citoyens au niveau individuel.
- J. Liévois : Le PCS s'accompagne de Plans Particuliers de Mise en Sécurité (PPMS) pour mettre en sécurité les élèves et le personnel dans les établissements scolaires, et ce dispositif paraît prometteur dans la mesure où c'est par les enfants qu'on va pouvoir progressivement amener à un changement culturel et à l'adaptation de la société.
- J.D. Rouiller : Il faut souligner le **rôle des médias**. En France, les techniciens et les politiques communiquent entre eux, mais la population ne le sait pas. Ça se passe différemment en Suisse, où les techniciens communiquent directement avec la presse ce qui permet plus facilement de faire passer et de répéter des messages au gré des circonstances. C'est aussi très efficace pour imager la politique de gestion des risques.
- F. Berger : Je crois qu'il est important de faire comprendre à la population qu'elle a **des droits et des devoirs**. « Oui elle a le droit d'attaquer la carte de dangers au tribunal, mais elle a le devoir de se comporter correctement, en informant les autres en cas de survenue de phénomènes anormaux et en adoptant le comportement qui convient. En termes de communication, un exemple intéressant est celui du Japon où tout nouvel arrivant reçoit nominativement et avec accusé de réception la carte de dangers du secteur où il habite et une information sur le système d'évacuation en cas de problème.
- D. Richard : J'ai trouvé très intéressante l'idée évoquée par T. Arborino (dans sa présentation de la démarche suisse) de **coupler au point de le faire réaliser dans le même élan et par le même bureau d'études le PPR (qui réglemente l'occupation du sol) et le PCS (qui définit les modalités de réaction)**, en particulier dans un contexte d'adaptation aux effets du changement climatique, parce que la voie permettant de réduire la vulnérabilité (jusqu'ici explorée plutôt du côté de la gestion territoriale) consiste à considérer la vulnérabilité de manière très globale, et qu'une organisation plus adaptée des secours et de la gestion de crise contribue à réduire la vulnérabilité : on est vulnérable à une mauvaise organisation...

Glossaire des sigles et acronymes

Organismes et outils

AFPCN	Association Française pour la Prévention des Catastrophes Naturelles
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières (<i>France</i>)
Cemagref	Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et Forêts (<i>France</i>)
CG38	Conseil Général de l'Isère (<i>France</i>)
CG74	Conseil Général de la Savoie (<i>France</i>)
CLPA	Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalanches (<i>France</i>)
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique (<i>France</i>)
CREALP	Centre de Recherche en Environnement Alpin (<i>Suisse</i>)
EDF	Electricité de France
EDYTEM	Environnements DYNAMiques et TERRitoires de Montagne
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique (<i>France</i>)
LGGE	Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement
LTHE	Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie en Environnement
LGIT	Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique ²
MNT	Modèle numérique de terrain
PC Osiris	Sites d'informations routières en Savoie
PIDA	Plan d'Intervention de Déclenchement d'Avalanches (<i>France</i>)
PLU	Plan Local d'Urbanisme (<i>France</i>)
PNACC	Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (<i>France</i>)
PPR	Plan de Prévention des Risques (<i>France</i>)
PZAE	Plan des Zones Exposées aux Avalanches (<i>France</i>)
PZERN	Plan des Zones Exposées aux Risques Naturels (<i>France</i>)
RAVA	Région Autonome Vallée d'Aoste
RD	Route Départementale (<i>France</i>)
RMP	Résonance Magnétique des Protons
RTM	Restauration des Terrains en Montagne (<i>France</i>)
SDIS	Service Départemental d'Incendie et de Secours (<i>France</i>)
SIG	Système d'Information Géographique
SSA	Sites Sensibles aux Avalanches (<i>France</i>)
VdA	Vallée d'Aoste
ZERMOS	Zones Exposées à des Risques liés aux MOuvements du Sol et du sous-sol (cartes des)

Projets de recherche

<i>AdaptAlp</i>	“Adaptation to Climate Change in the Alpine Space” (2008-2011)
<i>GLACIORISK</i>	“Survey and prevention of extreme glaciological hazards in european mountainous regions” (2001-2003)
<i>GlaRiskAlp</i>	"Risques glaciaires dans les Alpes occidentales" (2010-2013)
<i>IFFI</i>	Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (inventaire italien des mouvements de terrain)
<i>PERMAdataROC</i>	"Permafrost – éboulements - risque glaciaire" (2005-2008)
<i>PermaNET</i>	“Longterm Permafrost Monitoring Network” (2008-2011)
<i>RiskNat</i>	"Gestion en sécurité des territoires de montagne transfrontaliers" (2009-2012)

² Désormais « Institut des Sciences de la Terre » (ISTerre)