



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

Rhône-Alpes Région

Risques couplés :

**La prise en compte des couplages entre phénomènes
naturels alpins et activités anthropiques**

—

Etudes de cas

Rédaction : V. Boudières, B. Einhorn, C. Peisser, J.-M. Vengeon

2012

Ce travail a bénéficié du soutien de la Région Rhône-Alpes



Sommaire

A	Problématique	P. 3
B	Objectifs du retour d'expériences sur études de cas	P.4
C	Méthodologie mobilisée et grille d'analyse	P.5
D	Les études de cas :	P.10
	Le glissement des Ruines de Séchilienne	P.11
	Les risques d'origine glaciaire en Rhône Alpes :	
	la poche d'eau du Glacier de tête Rousse et le glacier de Taconnaz	p.30
	Le réacteur de recherche de l'Institut Laue-Langevin vis-à-vis des risques sismiques et d'inondation	P. 44
E	Conclusions, discussions et perspective	P.54



A Problématique et choix de la méthode

Problématique post-Fukushima : besoin d'approche transversale

La problématique des risques couplés s'inscrit dans un contexte « post Fukushima », catastrophe caractérisée par le couplage entre différents types d'aléas et différentes formes de vulnérabilités. Plus que l'enchaînement des événements, cette catastrophe met en lumière le manque d'approche globale de ce type d'évènements potentiels de grande ampleur. En effet, ces risques couplés renvoient à des potentiels de pertes et de dommages importants et complexes. Cette complexité résulte de la multiplicité des enjeux exposés et de la combinaison intime de leurs différentes vulnérabilités avec les différentes sources et processus de dangers. La caractérisation de ce type de risque est par conséquent rendue délicate par la spécificité des dangers potentiels et l'incertitude associée à leur couplage, mais aussi par la redéfinition de la vulnérabilité associée. Alors que l'action préventive classique se caractérise en grande partie par des approches sectorielles, une catastrophe telle que Fukushima pousse à s'interroger sur des approches plus transversales, à même de mieux appréhender les processus de couplages sur un territoire donné.

Diversité des approches analytiques : un corpus en cours de construction

Cette thématique des risques couplés ne constitue pas encore une approche spécifiquement formalisée et partagée sur un plan scientifique comme opérationnel.

Sur un plan analytique, des approches de type systémique ou multi facteurs se développent pour améliorer la prise en compte de différents paramètres interdépendants au sein d'un même système. Ces méthodes sont utilisées et adaptées pour l'analyse des univers et systèmes complexes, caractérisés par de l'incertitude et de l'instabilité, ce qui est le cas des risques couplés.

Citons ainsi par exemple la « Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnements dans les Systèmes » (MADS), issue de travaux menés depuis les années 1980 par le département Hygiène-Sécurité-Environnement de l'IUT de Bordeaux en collaboration avec des ingénieurs du CEA. Développée initialement dans le domaine de la sécurité des installations puis dans le cadre plus transversal de la « science du danger », cette méthode projette de prendre en compte la défaillance d'un processus qui renforce le danger et provoque des événements non souhaités parmi les autres processus du système.

Dans le champ spécifique des risques naturels, citons aussi les travaux sur les approches multi-aléas, tendant vers des modèles multirisques (Kappes and al, 2012). Ces modèles visent la visualisation et la quantification de plusieurs phénomènes destructeurs sur un espace à enjeux donnés, outils permettant de développer des stratégies globales et non sectorielles de réduction du risque. Toutefois ces approches restent pour le moment à l'état d'expérimentation et sont essentiellement focalisées sur les couplages entre processus naturels.

A l'interface entre les risques naturels et les risques technologiques, la thématique des risques NATECH (NATurel-TECHnologique) a été identifiée dès les années 2000, avec l'émergence de réflexions, de travaux et d'outils.. Cette problématique a été l'occasion d'un récent Workshop de l'OCDE en 2012 : OECD Workshop on Natech Risk Management (Natural-hazard triggered technological accidents). L'INERIS qui développe des approches de type diagnostic dans ce domaine propose la définition suivante du terme Na-Tech : "*l'impact qu'une catastrophe naturelle peut engendrer sur tout ou partie d'une installation industrielle – impact susceptible de provoquer un accident, et dont les conséquences peuvent porter atteinte, à l'extérieur de l'emprise du site industriel, aux personnes, aux biens ou à l'environnement*".



Le choix de la méthode par « étude de cas »

Bien que répondant à une réalité empirique perceptible depuis un certain nombre d'années, le développement d'approches d'analyse et d'identification des couplages entre phénomènes, sites ou situations dangereux impliquant plusieurs facteurs ou plusieurs aléas reste problématique, spécifique et non encore généralisable. Le PARN a donc choisi de contribuer à défricher ce champ complexe en travaillant, à l'échelle de Rhône-Alpes, sur des cas concrets de situations de risques caractérisables par un ou plusieurs couplages impliquant différents aléas naturels qui menacent différentes formes d'activités sensibles ou des vulnérabilités spécifiques.

B Objectifs du retour d'expériences sur études de cas

Dans le cadre de ce travail exploratoire, nous proposons une approche inductive de l'analyse de la problématique des risques couplés à travers l'étude de trois cas connus du PARN. Ces trois études de cas doivent nous éclairer sur la manière dont cette problématique du couplage évolue, et sur les enjeux transversaux tant scientifiques et techniques que sociétaux qu'elle sous-tend. En effet, plutôt que de statuer préalablement sur la définition, les caractéristiques, le périmètre des « risques couplés » (ce à quoi nous tenterons de contribuer en conclusion), nous nous sommes appuyés sur les connaissances, les pratiques et les préoccupations historiques et actuelles des scientifiques et des gestionnaires, pour tenter de monter en généralité à partir des cas d'étude présentés.

Bien qu'offrant une importante diversité de problématiques, tous les cas d'études présentés ont la particularité de considérer le phénomène naturel comme événement initiateur d'un événement dangereux complexe. Ce choix est cohérent avec le champ thématique du PARN, positionné dans le champ de la prévention des risques naturels.

La première étude de cas concerne un risque historique et emblématique : les ruines de Séchilienne pour lequel nous procéderons à une relecture diachronique (« au fil du temps ») des couplages entre processus géophysiques, hydrauliques et sociétaux.

La seconde étude de cas concerne un risque de type émergent, mais non moins emblématique : les risques d'origine glaciaire et périglaciaires. Nous nous livrerons à une analyse des couplages entre phénomènes naturels en jeu, à travers deux exemples : la poche d'eau du glacier de Tête Rousse en amont de Saint Gervais et le glacier de Tacconnaz, dans la vallée de Chamonix.

Enfin, la troisième étude de cas concerne le couplage entre le risque nucléaire et deux risques naturels (sismique et inondation), avec l'exemple du réacteur de recherche de l'Institut Laue-Langevin, sur le polygone scientifique de Grenoble.



C Méthodologie mobilisée et grille d'analyse

Compte tenu de la démarche retenue, à savoir une approche inductive, plutôt que déductive, la méthodologie se base sur de l'observation dans un but de généralisation.

Bien plus que tester telle ou telle hypothèse, ce travail repose davantage sur la comparaison, la confrontation, la distinction à partir d'éléments à priori discriminants, considérés comme explicatifs ou révélateurs.

A ce titre, le choix du terrain, en l'occurrence des cas d'études est important. Ensuite, la définition du problème, à travers une trame de questionnement applicable au terrain constitue la modalité d'analyse pour confronter les données de terrain.

Enfin, traiter et interpréter les résultats par la description, mais aussi la généralisation permettra de mieux cerner la problématique des risques couplés, tout en faisant émerger de nouveaux questionnements et de nouvelles hypothèses.

Ainsi, 4 étapes méthodologiques sont identifiables :

- **Identification et choix des cas d'étude**
- **Définition de la grille d'analyse et des questionnements associés**
- **Description, interprétation des données (issues des cas d'études)**
- **Montée en généralité, questionnements et ouverture**

1) Identification et choix des cas d'étude

Pour identifier et stabiliser les cas d'études, le PARN s'est essentiellement appuyé sur son domaine de compétence et sur les travaux qu'il a été amené à faire sur différentes scènes de risques alpines. Ainsi, le PARN s'est spécifiquement cantonné aux situations de risques couplés dans lesquelles :

- le ou les phénomènes naturels sont les éléments initiateurs d'un processus dangereux.
- Le PARN est ou a été impliqué sur un plan technique (cas d'étude connus du PARN¹),

Sur ce dernier point, citons la nature des implications du PARN :

Risques associés au glissement des ruines de Séchilienne :

- Participant à l'étude de vulnérabilité (1995-97)
- Participant au projet ANR SLAMS (2009-2013)

Risques associés au glacier de Taconnaz et à la poche d'eau du glacier de Tête Rousse :

- Organisateur d'un retour d'expérience sur le glacier de Tête Rousse, projet Adapt'Alp (2011)
- Organisateur du séminaire technique sur les risques d'origine glaciaire et périglaciaire (2012) (MEDDE)
- Rédaction d'un plan d'action scientifique et technique sur les risques d'origine glaciaire et périglaciaire (MEDDE)

Aléas naturels et réacteur de recherche de l'Institut Laue-Langevin

- Analyse du rapport : « RHF° 399 Evaluation Complémentaire de la Sûreté au regard de l'accident de Fukushima »

¹ à l'exception de la dernière étude de cas sur le réacteur nucléaire de recherche ILL, qui constitue une démarche exploratoire nouvelle



- Démarche d'entretien spécifique auprès des gestionnaires de la sécurité du site de l'ILL (V. Caillot, Ingénieur sûreté ILL) : entretien et validation du document, novembre-décembre 2012.

2) Définition de la grille d'analyse et des questionnements associés

Dans une optique comparative et discriminante, nous mobiliserons une grille d'analyse spécifique à la problématique des couplages pour l'ensemble des cas d'étude.

Cette grille, synthétisée dans le tableau suivant, permet de balayer différents types de questionnements relatifs à la problématique des couplages et ce, quelque soit le type de configurations étudiées (inédit, ou sur travaux déjà réalisés) et l'approche retenue (diachronique, synchronique). Elle recense des éléments à la fois de sciences dures et de sciences humaines et sociales, articulés sur deux axes principaux et déclinés en Items spécifiques.

- **Axe 1 : Dimensions associées aux risques couplés** : descriptions, caractéristiques, couplages et problématiques en jeu.
- **Axe 2 : Mode de prise en compte des risques couplés** : nature de l'expertise, modes d'action préventifs

Le tableau ci après reprend les 2 axes en précisant les items associés à chacune des dimensions des axes.



Axes de questionnement	AXE 1 : Dimensions associées aux risques couplés				AXE 2 : Mode de prise en compte des risques couplés					
	Description du risque (menace (s) X enjeu (x))	Description du ou des couplages en jeu	Impacts sur la caractérisation de la vulnérabilité Pour quelle échelle de temps	Type d'approche du risque	Moyens d'identification du risque	Moyens techniques et scientifiques	Type d'expertise	Action préventive	Communication sur le risque	Evolution récente de cette prise en compte
Cas d'étude										
Ruines de Séchilienne										
Glacier de Tête Rousse										
Glacier de Taconnaz										
Aléas naturels sur le réacteur nucléaire ILL										

Grille synthétique d'analyse commune à chacun des cas d'étude

Une fois ces 2 axes identifiés et les Items associés précisés, nous avons défini pour chacun des items une série de questionnements détaillés. La grille de questionnement présentée ci après décline l'ensemble des interrogations qui ont permis de balayer les cas d'études.

1 Description du risque (menace (s) X enjeu (x)) : décrire canoniquement le risque sous ses différentes composantes

- Quelle description du ou des phénomènes naturels potentiellement dangereux et impactant ?
- Quelle description des enjeux (Bâti, infrastructure, humains, réseaux, ...) et si possible de leur vulnérabilité (exposition et sensibilités aux phénomènes décrits préalablement) ?

2 Description du ou des couplages en jeu : mettre en avant les types de couplages associés au risque ou au cas étudiés

- Quels couplages en jeu entre phénomènes (météo, hydro, nivo, géo,...) ?
- Quels Couplages en jeu entre phénomènes naturels et enjeux vulnérables (physiques, humains, industriels,...) ?

3 Impacts sur la caractérisation de la vulnérabilité : identifier et désigner en quoi penser les couplages appelle à une nouvelle caractérisation de la vulnérabilité (exposition et sensibilité).....ou pas

- Les enjeux sont t'il identifiables ?
- Les enjeux sont ils différents, recomposés selon leur nature (humain, physique, réseau,...) ?
- Leur vulnérabilité est elle caractérisable ? et si non pourquoi ?
- L'échelle de temps est elle une variable forte de la caractérisation de la vulnérabilité ? (le cas échéant illustrer avec deux scénarii) ?

4 Type d'approche du risque : questionner le type d'approche du risque usité (déterministe-probabiliste)

- Quel type d'approche du risque est mobilisé ?
- Existe-t-il des couplages (déterministe-probabiliste) et si oui pourquoi ?
- L'une d'elles présente-t-elle des limites ?

5 Moyens d'identification du risque : déterminer la manière dont le risque étudié est identifié

- Quel est le processus d'identification à la genèse de ce risque ?

6 Moyens techniques et scientifiques : déterminer l'état des moyens techniques, scientifiques existants pour l'étude, puis la gestion du risque étudiés :

- Quels sont les moyens techniques et scientifiques dévoués à la caractérisation de ce risque ?
- Quels sont les moyens techniques mobilisés sur la gestion de ce risque ?

7 Type d'expertise : déterminer la forme d'expertise si elle existe associée à ce type de risque

- Qui sont les experts ?
- Par qui sont ils sollicités ?
- Existe-t-il une commande d'expertise ?
- Comment procèdent-t-ils (expertise collective, expertise concurrentielle,...) ?
- Sur quels éléments (nature et source des travaux) se basent les conclusions de l'expertise ?
- A quoi sert l'expertise livrée (connaissance risque, surveillance, gestion du risque) ?

8 Action préventive : recenser et qualifier des actions préventives vis-à-vis du risque étudié

- Quelle action sur la connaissance du risque ?
- Quelle action en matière d'information préventive ?
- Quelle mesure d'aménagement du territoire (zonage, protection,... spécifiques ?
- Quelle surveillance et suivi ?
- Quelle mesure de réduction de la vulnérabilité ?
- Quelle mesure de préparation à la crise ?
- Quel retour d'expérience ?

9 Communication sur le risque : recenser et qualifier les modalités de communication sur le risque étudié

- Existe-t-il des modalités de communication spécifiques sur ce risque ?

10 Evolution récente de cette prise en compte : étudier les raisons et la manière qui ont conduit à penser ou repenser les risques en termes de couplage

- Quelles sont les évènements qui ont amené à penser cette problématique des couplages ?

Grille de questionnaire détaillée commune à chaque cas d'étude

Risques Couplés : La prise en compte des couplages entre phénomènes naturels alpins et activités anthropiques, études de cas



Les deux étapes suivantes, à savoir :

- **Description, interprétation des données (issues des cas d'études)**
- **Montée en généralité, questionnements et ouverture**

font dans un premier temps l'objet d'un travail individuel par cas d'études, puis collectif pour croiser les résultats et les points de comparaison, toujours dans une approche pluridisciplinaire, et ce afin d'embrasser l'ensemble des dimensions du risque.



D Les études de cas

Les études de cas qui vont suivre présentent des caractéristiques bien distinctes, ce qui constitue en partie leur richesse. Elles font état de modalités de couplage différentes : qu'il s'agisse de couplage entre phénomènes naturels, ou entre différents phénomènes naturels et activités anthropiques. Pour autant, quel que soit le cas, il s'agit de risques couplés appartenant à la catégorie des risques majeurs, caractérisée par une probabilité d'occurrence faible, mais une intensité forte si la ou les catastrophes venaient à survenir.

Les processus de couplage et les problématiques associés à ces couplages sont ici décrits à travers différentes perspectives complémentaires :

- Une analyse diachronique avec le cas des Ruines de Séchilienne. Le PARN s'inscrit ici dans une approche historique en mobilisant des études auquel il a participé. Il s'agira ici d'interroger, la thématique des couplages, sur le temps long, dans un processus autant scientifique, qu'opérationnel.
- Une analyse synchronique des récents développements sur la poche d'eau du glacier de Tête Rousse ou bien sur le réacteur de recherche de l'Institut Laue-Langevin vis-à-vis des risques sismique et d'inondation. Ce type d'analyse « à l'instant présent » permet de rendre compte de la manière dont cette thématique des couplages est aujourd'hui posée, discutée et prise en charge.
- Une remise en perspective dans un contexte d'évolution pour cas du glacier de Taconnaz. Ce cas n'est pas récent en termes de préoccupation de gestion, mais prend un caractère actuel, une fois mis en perspective d'une question plus globale liée au changement climatique et son impact sur ce type de risque.

Les Ruines de Séchilienne

Le risque associé à un éboulement en masse des « Ruines de Séchilienne » dans la vallée de la Romanche à environ 20 km en amont de Grenoble a été identifié depuis 25 ans comme un risque majeur. Les scénarios constitutifs de ce risque majeur impliquent une série de couplages possibles entre plusieurs types de risques d'origine naturelle, auxquels s'ajoute un risque d'origine anthropique : (i) un *risque géologique* d'éboulement en grande masse menaçant les enjeux directement exposés, et susceptible de former un barrage dans cette portion relativement étroite de la vallée, (ii) un *risque hydraulique* par inondation à l'amont de la retenue, et à l'aval par une onde de crue provoquée par la rupture éventuelle du barrage, et (iii) un *risque technologique* lié à un possible impact de cette onde de crue sur les activités industrielles situées en aval.

Pour faire face à ces risques, les pouvoirs publics ont mis en œuvre toute une série de mesures associant des travaux de protection, la mise en place d'un dispositif de surveillance, d'alerte et de secours, une procédure d'expropriation, ou encore la mobilisation d'un collège d'experts permanent. Du fait de ces caractéristiques et de l'importance des moyens consacrés à sa prévention, le cas du risque des « Ruines de Séchilienne » constitue un exemple emblématique de prise en compte des risques couplés.

Les risques d'origine glaciaire en Rhône Alpes

La poche d'eau du Glacier de tête Rousse

En 1892, la rupture brutale d'une poche d'eau du glacier de Tête Rousse affecta la commune de Saint Gervais (Haute-Savoie, France), causant 175 décès et d'énormes dégâts. Suite à cet événement, une galerie fut creusée afin de drainer la langue du glacier.

Suite à des études de vérification de cette galerie demandées par le RTM, les glaciologues du LGGE mirent en évidence une anomalie dans le glacier, qui après études complémentaires en 2009 s'avéra



être une poche d'eau de 60 000 m³ sous pression. En mars 2010, le LGGE alerta le préfet de la Haute-Savoie et le maire de St Gervais d'un risque possible de vidange brutale.

Une fois le risque confirmé, les autorités mirent en place un plan de sécurité en 2 volets : (1) des opérations de forage et pompage d'une part pour drainer artificiellement la poche d'eau et (2) dans le même temps un système de protection civile incluant un système d'alerte et un plan d'évacuation géré par le SDIS. D'après les études historiques de 1892, les gens disposaient de 10 à 30 minutes pour évacuer selon leur lieu d'habitation le long du torrent. La population - 3500 personnes concernées - était régulièrement informée par des réunions.

Les opérations de pompages, commencées le 10 août, s'achevèrent, début octobre 2010, sans avoir eu à déclencher le système d'alerte : 48 000 m³ d'eau avaient été évacuée et le risque éliminé.

Cet épisode, qui montre une très bonne collaboration entre scientifiques, services techniques et autorités, peut donc être considéré comme un exemple de bonne pratique de gestion intégrée des risques.

Mais la poche se remplit à nouveau en 2011 (16000 m³ pompés) puis en 2012 (environ 10 000m³) ; en octobre 2012 une partie du toit de la cavité s'effondre, et une seconde cavité est détectée. Ces évolutions du phénomène générateur de risque interrogent autant les scientifiques que les autorités sur les façons d'appréhender la gestion de ce type de risque.

Le glacier de Taconnaz

Le glacier de Taconnaz, dans la vallée de Chamonix, menace une zone habitée directement à l'aval.

Le premier risque provient des chutes de séracs. Celles-ci ne menacent pas en elles-mêmes directement des enjeux, mais elles peuvent, lorsque le manteau neigeux hivernal à l'aval de la chute est instable, déclencher une avalanche de neige et de glace et descendre jusqu'en bas de la vallée, comme ce fut le cas en 1988, 1999 et en 2006. Cette chute de séracs, le débit de glace, la fréquence et les volumes de glace mis en jeu, ont été et sont encore étudiés par des laboratoires de recherche dans le cadre de différents projets (Glaciorisk, GlariskAlp). Ces études ont permis d'intégrer le couplage d'aléa sérac/avalanche dans le dimensionnement du paravalanche qui protège les habitations.

D'autre part, dans le contexte de réchauffement climatique, la question du réchauffement de la base du glacier se pose. Si cette hypothèse se confirme (une étude sur le régime thermique du glacier est engagée dans le cadre du programme européen Acqwa), un risque de rupture brutale du glacier pourrait devenir préoccupant et remettre en question la gestion des risques de ce secteur.

Le réacteur nucléaire de recherche de l'Institut Laue-Langevin vis-à-vis des risques sismiques et d'inondation

L'Institut Laue Langevin, situé dans l'agglomération grenobloise, à la confluence de l'Isère et du Drac, possède un réacteur de recherche dont la vocation est scientifique et non de produire de l'énergie domestique. La production de neutrons ici réalisée permet des applications et des expérimentations dans le champ de la recherche en physique et chimie de la matière, mais aussi en biologie et en médecine. Avec ce cas d'étude, plusieurs sources de danger sont identifiables. Le danger provient intrinsèquement de l'activité nucléaire : fission au cœur du réacteur, avec circulation de neutrons (c'est la raison d'être de ce réacteur producteur de neutrons à but scientifique) qui peuvent activer des matériaux lors de leur parcours. Le danger est donc lié, outre le contrôle de la réaction, à une problématique de maintien de l'intégrité du cœur et d'étanchéité des circuits et des enceintes. En termes de risques couplés, ce cas d'étude est intéressant du fait qu'il existe potentiellement des phénomènes dangereux qui peuvent impacter cette activité nucléaire. Nous traiterons donc ici de l'exposition de cette installation nucléaire aux risques sismiques et d'inondation présents à l'échelle de la cuvette grenobloise.

Etude de cas :

Les Ruines de Séchilienne

1 Dimensions associées au risque (caractérisation)

1.1. Description du risque (menaces et enjeux)

Les phénomènes potentiellement impactants

L'ampleur des différents scénarios d'aléas et de risques envisagés au cours des 25 années de l'histoire de ce risque majeur varie en fonction du couplage – ou non – entre les différents phénomènes naturels et anthropiques mis en jeu.

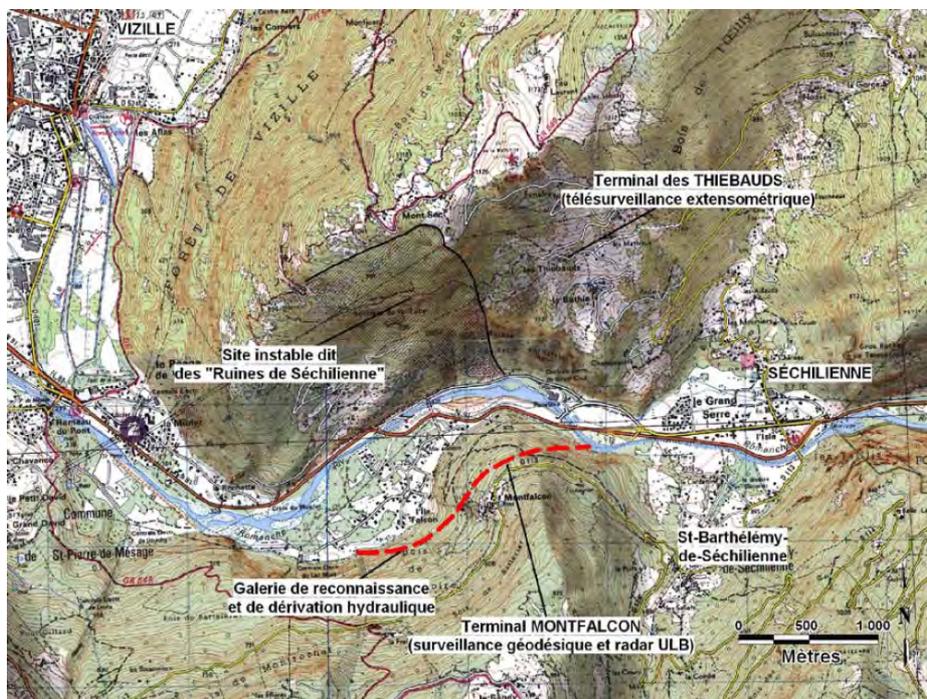


Fig. 1 : Plan de localisation (©SCAN25 IGN) du site de Séchilienne (source : CETE de Lyon, 2010)

Aléa géologique

Le mouvement de terrain des Ruines de Séchilienne affecte le versant sud du Mont Sec en rive droite de la Romanche entre les communes de Vizille et de Séchilienne, à l'extrémité sud du massif de Belledonne. Il se manifeste par une morphologie chaotique traduisant l'instabilité d'ensemble du versant (fig. 2).



Fig. 2 : Zone considérée dans les scénarios futurs d'éboulement en masse des Ruines de Séchilienne (source : Hergat 2003 - projet NEDIES)

Ce secteur est connu depuis longtemps par la population locale pour ses chutes de pierre, dont les témoignages historiques remontent au XVIII^e siècle, mais ce n'est qu'à la suite d'une recrudescence des chutes de blocs atteignant la route² en 1984-85 que ce versant instable est devenu une réelle préoccupation pour la puissance publique. Suite aux investigations géologiques menées sur le versant, il est rapidement apparu que ces chutes de blocs étaient liées à la réactivation d'un mouvement de terrain de grande ampleur mobilisant un volume de matériaux rocheux de plusieurs millions de m³, susceptible de barrer le cours de la rivière en cas d'éboulement en masse.

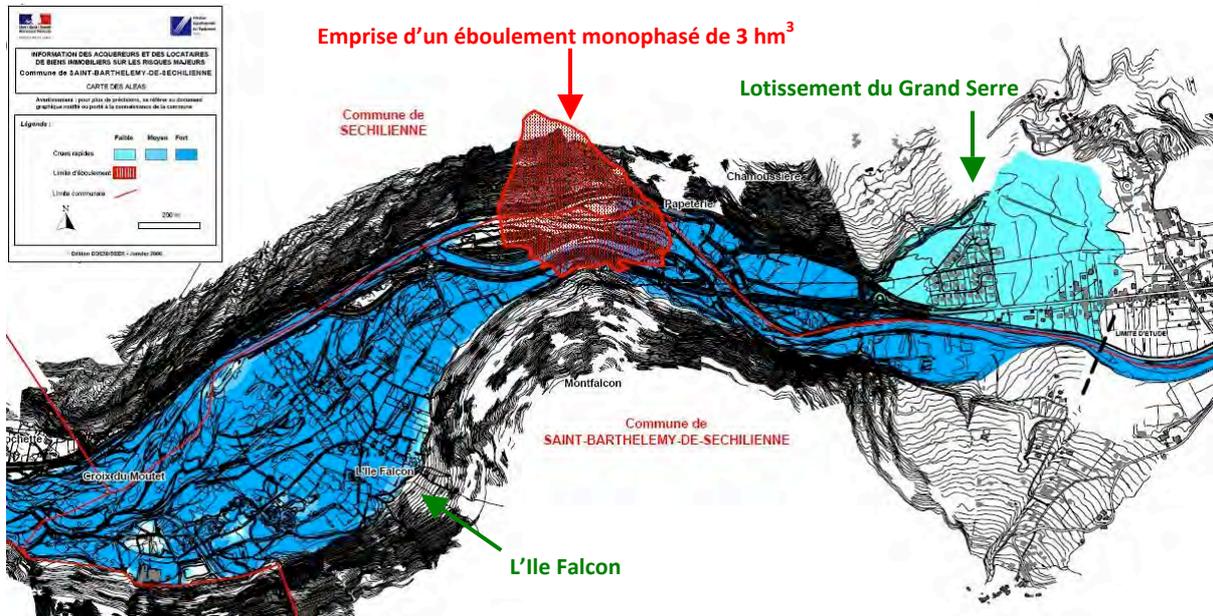


Fig. 3 : Carte des aléas du dossier d'information des acquéreurs et locataires (IAL) (modifiée)
Source : DDE38 (jan. 2006), en ligne sur le site internet de la préfecture de l'Isère

Aléa hydraulique

Un tel barrage provoquerait une inondation à l'amont sur les communes de Séchilienne et Saint-Barthélemy-de-Séchilienne (fig. 3), tandis que sa rupture plus ou moins brutale ou un éboulement secondaire dans le plan d'eau pourraient générer un sur-débit voire une vague de submersion dans la vallée. En fonction des paramètres d'entrée considérés, l'onde de crue ainsi formée pourrait affecter une portion plus ou moins étendue du territoire sur les communes de la basse vallée de la Romanche et du sud de l'agglomération grenobloise (fig. 4).

Aléa technologique

Les plateformes chimiques de Jarrie et Pont-de-Claix situées dans ces zones inondables comportent des installations industrielles classées (établissements SEVESO) qui produisent ou stockent certains produits dangereux (chlore, chlorure de méthyle, chlorure d'éthyle, phosgène, acide chlorhydrique...). L'ennoiement ou l'endommagement de ces sites pourrait entraîner un accident industriel à l'origine d'une pollution majeure de l'air et/ou de l'eau sur un périmètre dont l'étendue dépendrait de la nature et de l'ampleur des phénomènes en jeu.

Les enjeux exposés

La sécurité des personnes et des biens

L'ampleur des enjeux matériels et humains exposés varie là encore avec l'emprise des phénomènes impactants précédemment décrits. Les principaux enjeux matériels concernent le patrimoine bâti, les infrastructures (route, ponts...) et les réseaux (eau, électricité...). Sur les communes de Séchilienne et

² Ancienne RN 91, désormais RD 1091.



Différents couplages entre les phénomènes en jeu sont susceptibles d'intervenir dans la genèse de ce risque majeur :

- 1) les couplages entre les processus internes et externes qui contrôlent la stabilité du versant :
 - l'effet continu de la gravité sur l'équilibre des compartiments rocheux en mouvement,
 - l'effet de l'altération physico-chimique et des réorganisations internes du massif rocheux sur ses propriétés hydro-mécaniques,
 - l'effet des forçages externes induits par les précipitations et les séismes.
- 2) les couplages entre les phénomènes naturels et anthropiques potentiellement impactant :
 - effet de l'éboulement sur la rivière : déviation ou barrage,
 - effet de la rivière – en crue ou non – sur la stabilité du barrage (stabilité durable, érosion progressive ou rupture brutale),
 - effet de l'onde de crue produite par la rupture du barrage sur les usines chimiques situées en aval, possible événement initiateur d'un accident industriel.

La manière dont ces couplages sont considérés est fondamentale car elle va moduler la nature et l'emprise spatiale des aléas et des enjeux pris en compte, sur lesquels seront fondées les décisions concernant les plans d'alerte et de secours, les parades techniques, les règlements d'urbanisme et donc la stratégie globale de gestion du risque à long terme.

Or, du fait de ces couplages, la caractérisation des aléas potentiels requiert l'évaluation d'une multitude de paramètres physiques, tels que le volume de matériaux éboulés et la géométrie du dépôt, le volume d'eau piégé dans la retenue, le débit de la rivière en crue et son effet sur la tenue du barrage en lien avec les propriétés géomécaniques des éboulis formant le barrage (granulométrie, compaction), la hauteur et la vitesse de l'onde de crue, l'extension des zones inondées, ou encore la nature et la quantité de produit toxique relâché en cas d'accident industriel, la situation aérologique en cas de nuage toxique, etc. **L'incertitude associée à chacun de ces paramètres se propage à chaque étape de l'évaluation du risque et augmente ainsi de façon exponentielle.**

Cette incertitude « irréductible » est donc inhérente à la caractérisation de tels aléas couplés et ne permet pas d'évaluer le risque de manière fiable avec une approche déterministe classique. De plus, le caractère non reproductible de ces aléas « hors norme » les rend très difficilement probabilisables. Ces caractéristiques sont sources de difficultés particulières en matière de prise en compte et de gestion de ces risques couplés.

2 Mode de prise en compte des risques couplés

2.1. Actions en manière de connaissance du risque

Surveillance du site

Un système de surveillance a été mis en place en 1985 puis progressivement amélioré par le CETE de Lyon, qui assure cette surveillance de manière permanente pour le compte de l'Etat. Le suivi des déplacements de surface sur l'ensemble du versant permet de détecter les accélérations et d'éventuels changements de comportement du mouvement. L'objectif est de pouvoir anticiper les éboulements à court terme dans le cadre du plan de gestion de crise. Ce système constitue également une composante essentielle du dispositif d'expertise du risque (voir ci-après).

Le système comporte une station météo installée au Mont Sec munie de capteurs pluvio- et nivométriques, un réseau d'extensomètres mesurant l'ouverture de fractures dans la zone instable et des repères en surface permettant d'effectuer des mesures géodésiques par distancemétrie optique et radar depuis les terminaux des Thiébauds et de Montfalcon (fig. 1), ainsi que des mesures GPS. Les mesures sont réalisées avec une fréquence d'acquisition paramétrable et peuvent être effectuées en



continu en période de crise. Le système est automatisé (logiciel GeSSRI) pour permettre l'acquisition, l'archivage et la télétransmission des données, de manière redondante, au CETE de Lyon, où elles sont regroupées puis intégrées dans un SIG. L'ensemble des données (extensométrie, géodésie, inclinométrie, apport d'eau au sol, température) permet d'étudier l'influence des conditions météorologiques sur les mouvements de surface du versant.

Ce système de surveillance, souvent cité comme l'un des plus sophistiqués et des plus coûteux, contribue à faire de Séchilienne l'un des mouvements de terrain les plus instrumentés au monde.

Auscultation et monitoring du site

Le CETE de Lyon assure également l'auscultation du site via :

- des observations morphologiques en surface effectuées lors de visites périodiques sur le terrain,
- des essais de laboratoires sur des échantillons prélevés in situ,
- une galerie de reconnaissance horizontale de 220 m creusée dans le versant en 1992-1993 pour mieux connaître la géologie du massif (nature des roches, fracturation, etc.),
- quatre forages verticaux creusés en 2009 et 2010⁴ pour compléter les reconnaissances géologiques et permettre la mesure des déformations de la roche (inclinométrie) et le suivi des variations de hauteur d'eau (piézométrie) jusqu'à 150 m de profondeur et l'enregistrement des évènements microsismiques (à 80 m de profondeur).

Le CETE produit mensuellement des rapports de suivi du site dans lesquels sont consignés l'ensemble des données d'observations et de mesures ainsi que leur interprétation. Ces rapports sont transmis aux pouvoirs publics (préfecture de l'Isère, DDT, MEDDE, Direction de la Sécurité Civile, DREAL Rhône-Alpes) et au collège d'experts (décrit plus loin).

Observations et recherches scientifiques

Des mesures complémentaires sont effectuées par d'autres organismes dans le cadre de leurs activités de recherche et d'observation :

- l'INERIS (Nancy) : géophones, inclinomètres, sondes de pression et balises GPS installés dans deux forages profonds et une galerie de reconnaissance,
- l'ISTerre (Grenoble) dans le cadre du service d'observation OMIV : stations sismologiques installées dans la zone instable et dans la galerie de reconnaissance en 2007-2008, réseau de polarisation spontanée en surface et dans la galerie de reconnaissance depuis 2005, campagnes temporaires de mesures géophysiques (polarisation spontanée, sismiques, électriques, électromagnétiques, bruit de fond sismique) et sismologiques,
- Géoazur (Nice) et le laboratoire Chrono-Environnement (Besançon) : campagnes de suivi hydrogéologique et géochimique (circulation d'eau en profondeur), approches hydromécaniques,
- le CEREGE (Aix-Marseille) : datation d'échantillons prélevés sur les escarpements rocheux pour reconstituer l'âge du déclenchement du mouvement (récemment évalué à 6400 ans).

Le site des Ruines de Séchilienne constitue un laboratoire naturel pour l'étude des mouvements de terrain de grande ampleur et a été investigué comme tel dans le cadre de nombreux projets de recherche à partir des années 1990. Dernier en date, le projet ANR SLAMS⁵, auquel participent les organismes précités, vise notamment à progresser dans la compréhension du comportement mécanique et hydrodynamique du versant à travers l'étude des couplages entre les processus agissant dans le massif rocheux (concernant donc uniquement l'aléa géologique).

Etudes techniques

La modélisation des multiples mécanismes en jeu exige une approche globale, transversale, pluridisciplinaire. De nombreuses études techniques ont été réalisées par le CETE, par la DDE et par

⁴ Ces sondages profonds avaient été préconisés dès 1992 par le comité national d'experts et par le CETE en 1993 (cf. § 2.2).

⁵ "Séchilienne Land movement: Multidisciplinary Studies from Hazard assessment to associated risk and consequences" (2010-2013), projet financé par l'Agence Nationale de la Recherche.



des bureaux privés dans le cadre de différentes missions d'expertise du risque et, plus récemment, dans le cadre du projet d'aménagement de la basse Romanche piloté par le Syndicat Mixte des Bassins Hydrauliques de l'Isère (SYMBHI) depuis 2007. La plupart des modèles utilisés dans ces études sont des modèles numériques, mais des études hydrauliques ont également été réalisées sur modèle réduits physique.

2.2. L'expertise du risque

Une relecture historique de la construction de l'expertise du risque de Séchilienne récemment produite dans le cadre du projet SLAMS (Decrop, 2012) permet d'en dégager les principales étapes depuis 1985, dont on fournit ici un résumé.

Initialement, l'alerte a été lancée en 1984 par un ingénieur géologue de la DDE et un enseignant-chercheur de l'Université de Grenoble (IRIGM), dans un rapport sur l'instabilité du versant transmis au CETE. Un réseau informel d'experts en géologie appliquée issus de ces trois institutions s'est alors constitué dans le but de mieux estimer l'ampleur du phénomène. Entre 1985 et 1989, le CETE a publié quatre rapports de synthèse, dans lesquels le volume maximal de la masse instable a été évalué successivement à 3, puis à 10, puis à 20 voire 30 millions de m³. Le scénario de *risque majeur* combinant aléa géologique, aléa hydraulique et risque industriel, énoncé dès le rapport de 1987, a été étayé par les résultats d'études hydrauliques remises par la SOGREAH en 1989.

Suite à l'envolée du coût global des études et de la surveillance, relevée par un rapport de la DDE en 1990, le Ministère de l'Environnement a mandaté un **premier comité national d'experts** en 1992, dans le but de stabiliser l'expertise. Ce comité constitué de membres du LCPC, du BRGM et d'un universitaire a validé les études précédentes et a fourni pour la première fois un horizon temporel sous la forme de scénarios en 3 phases : (i) un éboulement d'un volume de l'ordre de 3 hm³ qualifié de « probable » à court terme (3 ans), (ii) une deuxième phase mobilisant 3 à 10 hm³ conduisant au barrage de la vallée, « hautement probable » mais à l'échéance incertaine, et (iii) un éboulement majeur de 20 à 30 hm³ susceptible de barrer la vallée, plus hypothétique mais « possible à moyen ou long terme ». Il a également produit des recommandations, préconisant le développement du système de surveillance déjà proposé par le CETE, le lancement d'un programme de recherche scientifique sur le mécanisme du mouvement incluant des sondages profonds (proposition non retenue à l'époque), l'approfondissement des études hydrauliques et l'étude des parades techniques proposées par le CETE et le DDE (tunnels hydraulique et routier permettant de vidanger la retenue à l'amont du barrage et de maintenir la circulation même en cas d'éboulement important).

Dans son rapport de 1993, le CETE a présenté trois familles de scénarios d'éboulement, plus détaillés que les précédents (mais sans indication temporelle). Ces scénarios s'appuyaient sur l'interprétation des données de surveillance, qui faisaient apparaître des épisodes d'accélération de l'ouverture des fractures en surface traduisant le basculement progressif du massif et le développement du mécanisme de rupture, préparatoire à une première phase d'éboulement en masse considérée comme probable à brève échéance. Ce rapport abordait aussi les questions de la vulnérabilité et des mesures à prendre pour protéger la population locale.

Jusqu'ici cependant, l'expertise du risque majeur tel qu'annoncé à la fin des années 1980 demeurait très partielle. D'une part, elle avait été consacrée essentiellement à la caractérisation de l'aléa géologique, au détriment des aléas secondaires (les études hydrauliques n'ayant pas été affinées comme le recommandait le comité national d'experts, et le risque chimique n'ayant fait l'objet d'aucune étude de danger). D'autre part, elle avait très peu investi la question de la vulnérabilité, pourtant devenue centrale dans la gestion du risque. En effet, depuis le gel de l'urbanisation sur l'Île Falcon fin 1985, la population se trouvait bloquée sous le risque, dans une situation de véritable crise



sociale. De plus, l'annonce du risque entravait les perspectives de développement pour une grande partie du territoire de la basse vallée de la Romanche.

Pour mieux prendre en compte l'ensemble de ces aspects et avancer vers une sortie de crise, la DDE sous l'impulsion de son nouveau chef de service a alors pris l'initiative de mettre en place et de piloter un dispositif d'expertise pluridisciplinaire (géologie, hydrologie, hydraulique, droit, économie, urbanisme, histoire, géo-informatique) dans le cadre de « **l'étude de vulnérabilité** » coordonnée par le PGRN⁶ entre 1995 et 1997. En plaçant la vulnérabilité (et non plus l'aléa) au cœur de l'expertise, celle-ci a proposé une stratégie de contournement de l'incertitude consistant à s'intéresser aux hypothèses les plus pénalisantes (et non plus seulement aux hypothèses les plus probables) pour identifier un scénario de référence dit de « risque inacceptable » permettant de justifier les parades permettant de s'en prémunir et de les rendre socialement acceptables. Considérant un éboulement de 5 à 7 Mm³ comme l'hypothèse la plus pénalisante (ce volume étant suffisant pour barrer la vallée mais risquant de produire un barrage relativement fragile), l'étude a abouti à deux propositions : (1) l'expropriation préventive de l'Île Falcon, en prévoyant un accompagnement social auprès des particuliers et des collectivités concernées (échelonnement dans le temps, procédure amiable, programme de réinstallation sur le territoire des communes, projet d'aménagement urbain) et (2) la réalisation du double tunnel (hydraulique et routier) déjà préconisé, pour lequel elle fournissait une évaluation économique de type coût / avantage et des spécifications techniques (cette solution n'a finalement pas été retenue : cf. § 2.3). Malgré l'ambition de l'étude de vulnérabilité d'élaborer dans la transparence une solution socialement acceptable, les collectivités locales concernées, qui n'avaient pas été associées à la démarche, en ont rejeté les conclusions.

Au cours de cette période, trois propositions d'expertise alternative ont été faites. En 1996, un géologue universitaire qui travaillait déjà sur le mouvement de Séchilienne avant même le lancement de l'alerte a proposé une interprétation très différente de celle de l'expertise officielle, tirée de ses propres observations, prévoyant un éboulement progressif plutôt qu'en masse. Cette idée fut également avancée la même année par un bureau d'étude privé, qui considérait peu fiable le diagnostic établi par l'expertise en raison de l'incertitude sur le mécanisme de rupture, et proposait d'effectuer des investigations complémentaires (mesures en forage et essais de pompage) pour mieux connaître la géométrie des terrains en profondeur. Ces propositions furent ignorées par le comité d'experts en place. Dans le même temps, une autre solution alternative concernant cette fois les parades fut proposée par le BRGM, qui souhaitait engager des études complémentaires pour évaluer la faisabilité d'un abattage contrôlé de la masse instable, mais cette proposition fut jugée irréaliste par le comité d'experts et le BRGM a fini par se rétracter.

Après l'annonce du risque majeur et malgré la certitude affichée dans les études et rapports d'expertise entre 1985 et 1995 qu'un éboulement important allait bientôt se produire, les incertitudes liées à la scénarisation de ce risque dans le temps demeuraient trop importantes pour permettre aux pouvoirs publics de trancher entre les différentes options envisagées pour protéger la population locale (cf. § 2.3). En 2000, la Direction de la Prévention des Pollution et des Risques (DPPR) a confié à Marc Panet (ingénieur des Mines) la mise en place d'un nouveau collège d'experts, constitué des deux experts du LCPC précédemment impliqués dans l'expertise⁷ et de trois experts étrangers (suisse et italiens), avec pour mission de produire une nouvelle expertise de l'aléa géologique et de fournir des hypothèses de scénarios d'éboulement à court et à long terme.

Le premier rapport du collège d'experts « **Panet** » (2000) a donné une nouvelle interprétation des données disponibles en revoyant sensiblement à la baisse les scénarios d'éboulement envisagés : (i) le scénario présenté comme « *le plus évident* » à court terme (10 ans) est la poursuite de l'évolution

⁶ À l'époque « Pôle Grenoblois d'études et de recherche pour la prévention des Risques Naturels », aujourd'hui PARN.

⁷ Jean-Louis Durville et Louis Rochet, restés impliqués dans les phases ultérieures de l'expertise (voir ci-après).



observée historiquement sur le site, avec « *des ruptures de masses rocheuses par basculement n'excédant pas un volume de quelques centaines à milliers de m³* », l'éboulement en masse de toute la zone active (évaluée à 2,2 hm³) étant considéré comme également envisageable, (ii) un éboulement de plusieurs millions de m³ restait envisagé à plus long terme, un éboulement de 20 à 25 hm³ étant cependant jugé « *très improbable* » à court terme et « *peu probable* » à moyen terme (10 à 100 ans) et un éboulement de 100 hm³ « *quasiment impossible* ». Ce rapport recommandait le maintien et le développement des dispositifs de surveillance et d'auscultation. Il signalait également l'intérêt d'un suivi microsismique des déformations du versant.

Le 2nd rapport « **Panet II** » (2003) avait pour objectif de réexaminer les scénarios d'éboulement à court terme en précisant, « *à la lumière des données nouvelles acquises sur le site, les infléchissements éventuels à apporter aux conclusions présentées en 2000 par le précédent collège international d'experts*⁸ ». Il s'agissait en particulier de confronter plusieurs méthodes d'évaluation de la propagation et de l'extension des éboulis⁹. Retenant quatre scénarios d'éboulement mettant en jeu tout ou partie de la zone frontale, d'un volume enveloppe réévalué à 3 hm³ (en place) au maximum, le collège d'expert concluait que le scénario « *le plus probable* » à court terme était un éboulement en plusieurs phases, ne formant pas de barrage, mais risquant de recouvrir la Romanche et la RN 91 sous quelques mètres d'éboulis. Seul un éboulement de la zone frontale en une seule fois (scénario le plus pénalisant) serait à même de former un barrage de faible hauteur (cote 336 m), en recouvrant le lit de la rivière sur une épaisseur pouvant localement dépasser 15 m et la RN 91 sur une épaisseur pouvant aller jusqu'à 5 m. Sur la base des simulations effectuées, il recommandait la prolongation du merlon de protection vers l'est pour limiter la propagation de l'éboulement.

Sur la base de ces nouvelles conclusions, un plan d'action global « Ruines de Séchilienne » a été engagé par le préfet de l'Isère en 2004¹⁰, conduisant notamment à une révision des parades hydrauliques et routières préconisées dans les précédentes phases de l'expertise. L'Etat a alors chargé conjointement l'Inspection Générale de l'Environnement (IGE) et le Conseil Général des Ponts et Chaussées (CGPC) de « *proposer les stratégies d'intervention à moyen et long terme et définir à cet effet les études à entreprendre pour préciser les risques et les parades techniques, et notamment leur efficacité, leur coût et leur délai de mise en œuvre* ». Cette mission d'étude et de proposition, composée d'ingénieurs généraux des P&C et du GREF, était assistée par un panel d'experts extérieurs rassemblés dans un Groupe d'Appui et d'Expertise Scientifique (GAES). La mise en place de ce groupe de travail pluridisciplinaire et l'audition de nombreux acteurs locaux ont permis un renouvellement et une certaine ouverture de l'expertise.

La mission a remis ses conclusions et propositions dans le rapport dit « **Huet** » (2005). Des scénarios de risque ont été bâtis en faisant appel à une cascade de modèles : (1) modèle d'éboulement, (2) modèle de propagation de l'éboulement, (3) modèle de concomitance crue/éboulement, (4) modèle de durée de rupture du barrage, (5) modèle de propagation de l'onde de crue, (6) modèle de dommages en amont et (7) modèle de dommages en aval (fonction d'endommagement). Quatre scénarios d'aléas correspondant à des éboulements de volume croissant ont été définis à partir des scénarios court terme et long terme décrits dans les rapports « Panet », auxquels ont été ajoutés deux scénarios intermédiaires à moyen terme. Pour chacun de ces scénarios, les paramètres suivants ont été pris en compte : volume de matériaux éboulés, cote du barrage formé, volume d'eau dans la

⁸ La composition de ce collège ayant été légèrement modifiée avec l'apparition d'un nouvel expert géologue (P. Desvarreux de la SAGE) et la disparition des deux experts italiens.

⁹ En comparant les résultats de deux méthodes de modélisation – celles de Rochet&Rochet et du CETE Méditerranée – aux approches empiriques tirées de la littérature mises en œuvre par le CETE de Lyon.

¹⁰ Voir le Plan d'Action Stratégique des Actions de l'Etat en Isère (PASSED) et le compte-rendu de la commission CLAIRS du 1^{er} décembre 2005.



retenue, débit de l'onde de crue induite par l'effacement du barrage, hauteur et vitesse de l'eau à l'arrivée de l'onde de crue¹¹.

Ces travaux ont permis d'aboutir à une première approche économique du bilan coût / avantage des parades, basée sur une approche probabiliste des aléas géologiques (probabilité subjective, à dire d'expert) et hydrauliques (loi de probabilité fréquentielle pour les débits de crue) et sur une évaluation du potentiel de dommages au patrimoine (constructions, infrastructures) et de perte économique (exploitation).

Au final, la mission a recommandé : (1) de réaliser sans délai la déviation routière sur le versant rive gauche ; (2) de constituer la maîtrise d'ouvrage et de poursuivre les études techniques préalables à la réalisation des parades hydrauliques : travaux de contention à l'aval (casiers d'inondation et renforcement des digues) et/ou galerie(s) de dérivation hydraulique. En revanche, la réalisation d'un tunnel routier a été évaluée non rentable à brève échéance. Le coût global des parades préconisées était alors estimé à environ 100 M€.

Dans son 3^{ème} rapport « **Panet III** » (2009), le collège d'experts a livré les conclusions suivantes : La probabilité d'un éboulement monophasé est jugée très faible à court terme, l'état des connaissances sur le site résultant des investigations et des mesures conduisant plutôt à prévoir plusieurs éboulements partiels successifs de la zone active (3 hm³), qui pourrait être progressivement « vidée » d'ici 20 à 30 ans, voire plus. Ces éboulements partiels « *ne devraient pas former un véritable barrage du lit de la Romanche et ne devraient donc pas entraîner de risque hydraulique, à l'amont comme à l'aval* ». Après l'éboulement de la zone frontale, le versant devrait conserver une évolution similaire à celle qui a été observée sur cette zone frontale, avec « *la déstabilisation progressive de masses rocheuses en arrière de cette zone, aboutissant à des ruptures successives s'étalant sur quelques décennies* ». L'éboulement de volumes significativement supérieurs 3 hm³ est jugé « *hautement improbable* » au cours des 50 prochaines années. Le maintien du système de surveillance sur plusieurs dizaines d'années est recommandé.

De plus, les études complémentaires nécessaires à la réalisation des parades réalisées dans le cadre du plan d'aménagement du SYMBHI et de la préparation du PPRI Romanche aval (cf. § 2.3) ont conduit à une profonde révision des aléas hydrauliques envisagés :

- Les études hydrologiques et hydrauliques d'EDF et d'Hydrétudes ont conduit à revoir fortement à la baisse le pic de crue centennale de la Romanche, évalué à 550 m³/s (contre à 880 m³/s auparavant). Par ailleurs, selon un raisonnement de type expert, le collège « Panet III » a attribué une probabilité très faible à l'hypothèse d'une concomitance de l'éboulement avec une crue majeure de la Romanche.
- Une étude sur modèle réduit physique (analogique) menée par la CNR (2008) a conduit à écarter le risque de rupture du barrage en privilégiant un scénario d'érosion progressive à celui d'un effacement brutal, le sur-débit très en-deçà des scénarios d'aléa considérés dans les études hydrauliques antérieures à 2007.

Par ailleurs, une nouvelle étude (Rochet & Rochet) commandée par le collège « Panet » a conclu que les nouveaux éboulements attendus à moyen ou long terme après la rupture de la zone frontale se feraient principalement en aval du barrage et n'auraient donc quasiment aucun impact sur celui-ci.

Ces nouvelles conclusions ont été reprises dans le cadre de la mission d'expertise confiée par le CGEDD en 2009 à trois ingénieurs des P&C pour « *reprendre les analyses et conclusions du rapport [Huet] concernant l'opportunité des parades à envisager, à la lumière des nouvelles expertises du collège d'experts, du SYMBHI et de la CNR* ». Cette mission s'est donc attachée à « *actualiser, voire modifier les conclusions* » de la précédente mission, pour finalement formuler les

¹¹ Les données hydrauliques utilisées reposaient sur des études préexistantes, en particulier celles menées par SOGREAH dans les années 1990 concernant le débit de l'onde de crue générée par la rupture du barrage, et sur des études commanditées par la mission (calcul par EDF des débits de crue centennale et décennale de la Romanche).



recommandations suivantes dans le rapport « **Durville** » (2010) : (i) réaliser la déviation routière sur le versant opposé ; (ii) prendre en compte sur-débit 50 m³/s dans le PPRI pour intégrer les conséquences éventuelles d'un éboulement (en revanche, la galerie de dérivation hydraulique est jugée non nécessaire à court terme) ; (iii) poursuivre l'observation du massif et de l'hydrologie des bassins versants de la Romanche.

Enfin, concernant l'éventualité d'un accident industriel, la situation ne semble guère avoir beaucoup évolué au cours des dernières années. En effet, les missions d'expertise qui se sont succédé depuis 20 ans se sont limitées à la caractérisation des aléas naturels (géologique et hydraulique), tandis que la caractérisation du risque technologique était traitée par les exploitants en charge de la sécurité des exploitations, y compris vis-à-vis des risques naturels. Il existe donc une apparente déconnexion entre les acteurs en charge des différents aspects du risque.

2.3. Action préventive

Parades techniques

L'aléa géologique ne peut faire l'objet de mesures de protection « active ». En effet, compte tenu de l'ampleur de la masse rocheuse en mouvement et de la complexité de son fonctionnement hydro-mécanique, il n'est pas possible d'agir directement sur le versant pour en atténuer l'instabilité (par exemple par des travaux de drainage) et moins encore pour la supprimer (solution de type « abatage contrôlé » un temps envisagée par le BRGM).

Les premiers travaux de protection « passive » ont été mis en œuvre par l'Etat en 1985-1986 avec la déviation de l'ancienne RN 91 en rive gauche, la construction d'un merlon et la déviation de la Romanche à l'arrière de ce merlon. Mais dès 1988, ces mesures de protection sont apparues dépassées par les nouvelles hypothèses d'éboulement en masse (2 à 10 hm³ en une seule fois), le merlon n'offrant une protection efficace que pour des volumes réduits.

Les travaux de déviation de la RD1091 sur le versant opposés préconisés dans les rapports « Huet » (2005) et « Durville » (2010) ont finalement commencé en 2012 et leur achèvement est prévu à l'automne 2014. Ils sont financés par le Conseil général de l'Isère et l'Etat.

Concernant les parades hydrauliques, la réalisation de la galerie de dérivation proposée par l'étude de vulnérabilité puis préconisée par la mission « Huet » avait été reportée par les pouvoirs publics¹². Elle posait problème à la fois en raison de son coût et de l'impact probable des mesures proposées sur l'espace foncier, qui risquaient de provoquer une opposition locale encore plus forte que celle suscitée par l'expropriation du hameau de l'île Falcon. Cette solution n'apparaît plus nécessaire aujourd'hui dans le cadre des parades à court terme du plan d'aménagement actuel, bien qu'elle reste envisageable à long terme (rapport « Durville » 2010). Les dispositifs de contention sous forme de casiers d'inondation sont eux aussi abandonnés, mais des travaux de confortement des digues¹³ sont mis en œuvre dans le cadre du projet d'aménagement de la basse Romanche (voir ci-dessous).

Réduction de la vulnérabilité

Expropriation préventive

¹² Toutefois, une galerie de reconnaissance géologique et de dérivation hydraulique de la Romanche longue de 2 km a été creusée entre 1999 et 2000 sous le versant opposé (fig. 1). Cette galerie permet d'évacuer un débit de l'ordre de 50 m³/s.

¹³ Digue de Péage de Vizille, de Vizille, Jouchy, Amont du Pont, La Touche, Lotissement du Moulin, Champ sur Drac.



Sur le hameau de l'Île Falcon directement exposé à l'éboulement, l'urbanisation a été gelée par arrêté préfectoral en vertu de l'article R 111-3 du code de l'urbanisme (périmètre inconstructible) en décembre 1985, suite à la présentation du premier rapport du CETE. L'expropriation préventive des 90 habitations a été décidée début 1997 (avant la fin de l'étude de vulnérabilité et indépendamment de ses conclusions). Elle a suscité une vive opposition de la part d'une partie des habitants. Grâce à la prise en compte de ces tensions par la DDE et la préfecture, un délai de 5 ans a été accordé par l'Etat pour mettre en œuvre la mesure. L'expropriation des derniers habitants récalcitrants s'est achevée – de force – courant 2011.

Schéma d'aménagement de la basse Romanche et Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI)

Le PPRI *Romanche aval* instruit par la DDE et le projet d'aménagement *Séchilienne – Moyenne et Basse Romanche* du SYMBHI ont été élaborés conjointement dans l'objectif de protéger les lieux habités des communes concernées¹⁴ contre une crue centennale de la Romanche conjuguée aux conséquences d'un risque d'éboulement à court terme des Ruines de Séchilienne. Prescrit une première fois en août 2005 dans le cadre du plan d'action lancé par le préfet en 2004, mais non abouti, le PPRI a été prescrit à nouveau en février 2011 et a été finalement approuvé en juillet 2012. Se fondant sur les nouvelles conclusions de l'expertise géologique et sur les nouvelles études hydrauliques disponibles (cf. § 3), il intègre un sur-débit de 50 m³/s pour prendre en compte l'effet éventuel d'une vidange progressive du barrage formé par un éboulement en masse à Séchilienne.

Plan de Prévention des Risques Technologiques (PPRT)

Le PPRT lié à la plateforme chimique de Jarrie a été approuvé par le préfet en décembre 2010 (sa révision a été prescrite en décembre 2011). Dans le projet de PPRI Romanche-aval élaboré en 2006, des secteurs importants de Jarrie, dont une partie de la plate-forme de Jarrie, étaient inondables, mais suite à l'actualisation du PPRI il ressort que « pour l'aléa de référence de fréquence centennale retenu, la plate-forme de Jarrie n'est plus inondée par La Romanche en dehors du parking réservé au personnel situé au sud de la plate-forme » (note de présentation du projet de PPRT, août 2010). De même, la plateforme de Pont-de-Claix située en aval n'est plus concernée par le risque de Séchilienne.

Préparation à la crise

Le plan d'alerte repose essentiellement sur les données mesurées en continu par le système de télésurveillance déployé sur le versant (§ 2.1). En cas de dépassements de seuils prédéfinis (mais paramétrables), les géologues et ingénieurs du CETE en charge du suivi du site reçoivent automatiquement une alerte envoyée par le système GeSSRI sur leur téléphone portable. Ce plan comporte quatre niveaux croissants d'alerte : (1) *pré-alerte*, (2) *vigilance renforcée*, (3) *préoccupation sérieuse* et (4) *danger imminent*. Les phases de *pré-alerte* et de *vigilance renforcée* sont décidées principalement sur des critères cinématiques, météorologiques ou sismiques. A partir de la *vigilance renforcée* le CETE de Lyon informe le collège d'experts et la DDT38, qui transmet à son tour l'information à la préfecture (SIDPC), et une phase de pré-alerte interne aux services du MEDDE est déclenchée. En phase de *préoccupation sérieuse*, le Plan de Secours Spécialisé (PSS) peut être déclenché sur décision du préfet pour mettre en place une cellule de crise et des mesures de sécurités.

Le PSS a été approuvé par le préfet fin 2004 et aussitôt diffusé aux maires des huit communes concernées, en vue de sa déclinaison dans leurs Plans Communaux de Sauvegarde (PCS). Il prévoit la fermeture de la route, la mise en place des déviations et l'alerte des populations par les services municipaux. Le délai d'anticipation annoncé serait de 2 à 5 jours avant un éboulement majeur. Tout

¹⁴ Communes de Saint-Barthélémy-de-Séchilienne, Séchilienne, Saint-Pierre-de-Mésage, Notre-dame-de-Mésage, Montchaboud, Vizille, Champ-sur-Drac et Jarrie.



le système repose donc sur l'hypothèse que des signaux précurseurs permettront d'anticiper un éboulement en masse. Mis à jour en 2006, ce PSS reste basé sur l'ancien scénario court terme combinant un éboulement de 3 millions de m³ avec une crue centennale de la Romanche. Il doit donc être révisé au regard des nouveaux scénarios d'aléas envisagés.

Dans le cadre des PCS, certaines communes (Séchilienne, Jarrie, Pont-de-Claix) ont réalisé des exercices de sécurité civile reposant sur des simulations de situations de crises dues à un nuage de poussière provoqué par l'éboulement, à une inondation de la Romanche, ou encore à un accident industriel dans une des usines chimiques situées à l'aval.

Le risque hydraulique associé au risque d'éboulement des Ruines de Séchilienne a été notifié par la DRIRE aux industriels en 1998 et 2000 et certains d'entre eux, comme la société Arkéma Jarrie, l'ont pris en compte dans leurs Plans d'Organisation Interne (POI). Mais à ce propos, la mission « Huet » notait une « impression de flou » perçue auprès des industriels, et relevait leur non-implication dans le PSS.

2.4. Communication sur le risque

Information préventive et concertation

Un bulletin d'information publié par le CETE sur l'évolution du mouvement mesurée par le système de surveillance était diffusé au début des années 1990.

Depuis 1994, la « Commission Locale d'Analyse et d'Information sur le Risque Séchilienne » (CLAIRS) mise en place et pilotée par le préfet de l'Isère a pour fonction de diffuser régulièrement l'information auprès des élus locaux et des associations de riverains. Cette commission joue le rôle d'instance de concertation entre ces différents acteurs.

Le risque fait l'objet d'un affichage dans les documents d'information réglementaires (DDRM et DICRIM des communes exposées).

Il fait aussi l'objet d'une large couverture médiatique par les médias locaux (presse régionale...) et nationaux, qui relaient les informations officielles délivrées par les services de l'Etat et par les collectivités (en particulier lors des séances de la commission CLAIRS) à chacune des grandes étapes du dossier (parution des rapports d'expertise, mise en œuvre des mesures de prévention telles que l'expropriation ou les travaux de protection).

Les réunions publiques organisées dans le cadre de la procédure PPRI Romanche aval et du plan d'aménagement de la basse Romanche ont aussi été l'occasion d'une concertation autour des mesures de gestion du risque.

En revanche, comme on l'a vu, la question de la prise en compte du risque de Séchilienne ayant été évacuée dans le dossier de présentation du projet PPRT de Jarrie, d'après les documents disponibles sur internet, elle ne semble pas avoir été soulevée dans le cadre du Comité Local d'Information et de Concertation (CLIC) *Agglomération grenobloise et sud Isère*, qui associe des établissements de Jarrie (Cezus, Arkéma) et de Pont-de-Claix (Isochem, RhodiaOpérations).

Cette question a également été abordée lors du colloque fondateur du « Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions et des risques dans la région grenobloise » (SPPPY) organisé en avril 2010 (DREAL Rhône-Alpes, 2011).

Communication en temps de crise



La communication entre les différentes institutions en charge de la gestion de crise est organisée de manière à ce que les acteurs puissent bénéficier d'une information actualisée, fiable et homogène, en particulier dans le cadre du plan d'alerte (cf. § 2.3). En revanche, le problème de la gestion des fausses alertes pourrait constituer un point particulièrement délicat en cas de crises répétées.

3 L'évolution récente de la prise en compte des couplages

Comme on l'a vu dans la partie précédente, les nouveaux scénarios d'aléas qui se sont progressivement affinés au cours de la décennie 2000-2010 ont finalement conduit à revoir nettement à la baisse le scénario de risque majeur dans son ensemble (rapport « **Durville** », 2010). Ce changement de référentiel a ouvert la voie à une nouvelle scénarisation du risque à court terme, qui procède du découplage entre l'aléa géologique et l'aléa hydraulique, et de la mise à l'écart du risque industriel envisagés au départ.

Aléa géologique

L'histoire de l'expertise géologique du site de Séchilienne (Decrop, 2012) montre que l'hypothèse de « non événement » (effondrements par paquets successifs de volume modéré) est ainsi progressivement devenue l'hypothèse centrale au cours de la décennie 2000, alors qu'elle avait été rejetée par les tenants de l'expertise au cours des décennies précédentes où prédominait une vision catastrophiste, basée sur des scénarios alpins de rupture en grande masse (ex. : Valtelina en 1987).

Aléa hydraulique

Les protagonistes de la mission Huet (2005) considéraient que la rupture du barrage après surverse comme « *presque certaine, dans un délai probablement court, mais selon des modalités de rupture (déterminant le débit de vidange) inconnues* » (Badré et Huet 2006). Ils estimaient également que le risque d'un éboulement secondaire dans le lac formé par un premier glissement pouvait entraîner un raz de marée pouvant causer des dommages importants. Ces deux scénarios ont par la suite été complètement écartés sur la base des conclusions des études réalisées entre 2007 et 2009 pour le compte du SYMBHI et du collège d'experts.

Risque technologique

Au final, le risque technologique correspondant au scénario de risque couplé « risque naturel + risque industriel » est évacué des plans de prévention des risques (PPRI, PPRT). Il reste cependant pris en compte par certains acteurs comme la Sécurité civile (cf. entretiens SLAMS) ou les industriels (dans le POI Arkéma Jarrie présenté au colloque « NATECH » de Mulhouse ; Gayot, 2010).

4 Questions soulevées

L'histoire de la gestion du risque des « Ruines de Séchilienne » illustre les difficultés rencontrées par les pouvoirs publics en matière d'évaluation et de prise en compte des risques couplés, ainsi que le rôle central joué par l'expertise pour assoir la prise de décision face à des risques majeurs caractérisés par une forte incertitude.

Comme le souligne Hergat (2003), on ne dispose pas de méthodologie générale standardisée pour la gestion d'un tel risque majeur, qui excède les échelles d'intervention habituelles à la fois en terme de magnitude (plusieurs millions de m³) et de temps (5, 10, 20 ans et plus). Cette difficulté se retrouve dans le cas des risques sismiques et volcaniques, et plus localement dans celui des grands éboulements rocheux qui peuvent affecter les massifs subalpins (ex. du Mont Granier), qui pourraient menacer des zones fortement urbanisée au pied des falaises calcaires telles que celles du Vercors ou de la Chartreuse.



Dans le cas de Séchilienne, face aux scénarios « maximalistes » annoncés par les experts dans les années 1980-1990, l'application inconditionnelle du principe de précaution aurait conduit à geler l'urbanisation d'une grande partie de la vallée de la basse Romanche, voire de celle du Drac jusqu'à Grenoble, une telle mesure paraissant difficilement acceptable au regard de l'incertitude existant sur l'ampleur de la menace. Reste cependant la nécessité d'agir pour assurer la sécurité des usagers de la route et de la population résidant dans ces vallées.

Pour sortir de cette impasse, la stratégie de gestion mise en œuvre par les pouvoirs publics consiste à procéder par étapes, en parant au risque à court terme tout en conservant la possibilité de s'adapter aux évolutions ultérieures du versant et à ses conséquences dans la vallée. Il s'agit d'établir un compromis entre l'acceptabilité du coût socio-économique des mesures de prévention et l'acceptabilité du risque résiduel évalué par les experts.

Les décisions prises reposent sur l'élaboration de scénarios d'aléas construits pas à pas, en combinant l'expertise de différents spécialistes pour caractériser les aléas en jeu. Cette scénarisation permet de couvrir l'ensemble des composantes des risques couplés envisagés initialement :

- La menace gravitaire est gérée en déplaçant les enjeux exposés, sous forme d'un retrait stratégique (expropriation et déviation routière) qui peut être considéré comme une mesure « sans regret ».
- La menace hydraulique fait l'objet des parades hydrauliques programmées dans le cadre du plan d'aménagement de la basse Romanche et des règles d'urbanismes édictées dans le cadre du PPRI.
- La menace anthropique d'un accident industriel est évacuée par les nouveaux scénarios d'aléas.

La gestion du risque à court terme est ainsi rendue possible par le découplage des processus et des temporalités, basé sur le découpage en scénarios bâtis par l'expertise. Ces modalités de prise en compte du risque soulèvent plusieurs remarques et questions. En effet, malgré l'importance des moyens techniques et scientifiques déployés pour caractériser le risque, l'incertitude demeure importante et l'on peut s'interroger sur la légitimité de la nouvelle expertise : Comment les experts sont-ils nommés ? Quelle indépendance vis-à-vis des commanditaires ? N'accorde-t-on pas une confiance excessive aux résultats de cette expertise ? Est-on face à un système robuste ou rigide ? Plusieurs questions de la forme « Et si ? ... » peuvent ainsi être soulevées.

Scénario à court terme

Et si l'éboulement était provoqué par un séisme survenant sur la faille active qui traverse le massif de Belledonne ? Dans ce cas, il n'y aurait pas de signes précurseurs, donc pas d'anticipation possible, et le système d'alerte risquerait d'être mis en défaut. Les éboulements rocheux de grande ampleur causés par des séismes sont généralement provoqués par des séismes de forte magnitude, or à Séchilienne, on ne s'attend pas à ce qu'elle soit supérieure à 5-6. Cependant, même pour ces magnitudes modérées les mouvements de terrain induits par des séismes sont qualifiés de « fréquents » par certains auteurs (Ranguelov, 2003). L'activité sismique figure d'ailleurs parmi les critères d'alerte. En revanche, le scénario de déclenchement par forçage sismique n'est pas retenu par le collège d'experts, qui, s'il admet que la répétition d'événements sismiques pourrait produire un effet de fatigue, estime les périodes de retour des séismes d'intensité suffisante trop longues pour qu'il soit pris en compte (« Panet I », 2000). Par ailleurs, d'après un inventaire mondial de barrages naturels provoqués par des mouvements de terrain, seuls les séismes de magnitude > 7 déclenchent des mouvements entraînant la formation de barrage (Ermini et Casagli, 2003).

Et si, contrairement aux résultats des modélisations physiques effectuées par la CNR, un lac se formait et que le barrage rompaît de manière brutale ? Un tel scénario impliquant le couplage éboulement – barrage – rupture – onde de crue est crédibilisé par le nombre croissant de cas de rupture de barrages naturels connus au niveau international (exemple récent en Chine suite au séisme du



Wenchuan en mai 2008), bien que ce phénomène reste relativement rare dans les Alpes. Dans ce cas, les scénarios d'aléa pris en compte dans le PPRI et dans le projet d'aménagement du SYMBHI seraient dépassés. La question est alors : quelle prise en compte du risque résiduel ?

Scénarios à plus long terme

Comme on l'a vu, les parades techniques (hydrauliques, routières) et urbanistiques (PPRI) mises en œuvre reposent sur le scénario d'aléa géologique à court-terme. Or, même si les données de l'expertise semblent relativement stabilisées, les incertitudes ne sont pas totalement levées concernant le volume qui pourrait être mis en jeu à moyen et long terme (> 50-100 ans) et sur ses conséquences en terme d'aléa hydraulique. Ce point reste source de questionnement dans une perspective de développement durable des vallées alpines, qui suppose une vision intégrée à long terme.

Et si l'évolution du versant suite à l'éboulement de la zone frontale conduit finalement à mettre en jeu des volumes plus importants que prévus actuellement avec une forte probabilité de former un lac ? Les sondages profonds et les investigations géophysiques réalisées en 2009-2010 ont récemment permis de confirmer l'ampleur du volume de roche déconsolidée, évalué à environ 60 millions de m³ (Le Roux et al., 2011). A moyen ou long terme, le collège d'experts estime qu'on ne devrait pas être confronté à des volumes potentiels plus importants que celui mis en jeu par la zone active actuelle (3 millions de m³), mais cette conclusion pourrait être révisée à l'avenir si l'on assistait à une extension de la zone déstabilisée. C'est pourquoi la galerie de dérivation hydraulique pourra être remise à l'étude. Mais face à une telle situation, la question est de savoir si l'on disposera du temps nécessaire à la réalisation des études et des travaux avant l'éboulement.

Bibliographie

Missions d'expertise

Durville, J.-L., Huet, P., Madier de Champvermeil, P., Badré, M. 2005. *Le risque d'éboulement des Ruines de Séchilienne : quelles parades techniques ?*, Rapport CGPC/IGE, mars 2005, 112 p. (dit **rapport « Huet »**).

Durville, J.-L., Garnier, P., Picquand, J.-L. 2010. *Ruines de Séchilienne : mesures à prendre face aux risques*, Rapport CGEDD, janvier 2010, 42 p.

Panet, M., Bonnard, C., Lunardi, P., Presbitero, M. 2000, *Expertise relative aux risques d'éboulement du versant des ruines de Séchilienne*, Rapport du collège d'experts, remis au Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, daté du 4 décembre, 24 p. (dit **rapport « Panet I »**).

Panet, M., Bonnard, C., Desvarreux, P., Durville, J.-L., Rochet, L., *Versant instable des Ruines de Séchilienne*, Rapport du Collège d'experts, remis au Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, daté du 23 décembre 2003, 11 p. + carte (dit **rapport « Panet II »**).

Panet, M., Bonnard, C., Degoutte, G., Desvarreux, P., Durville, J.-L., Rochet, L., *Scénarios d'évolution du versant des Ruines de Séchilienne*, Rapport du collège d'experts pour le MEEDDAT, janvier 2009. (dit **rapport « Panet III »**).

Autres références bibliographiques

CETE de Lyon, 2010, *Ruines de Séchilienne. Rapport annuel de suivi du site. Avril 2009 - mars 2010*, Juin 2010, 84 p.



CNR, 2008, *Parades hydrauliques aux Ruines de Séchilienne. Étude des modalités de rupture du barrage naturel sur modèle réduit physique au 1/60^{ème}*, Rapport final, novembre 2008.

Decrop G., 2012, *Le risque des Ruines de Séchilienne – 1985/2012. L'histoire de sa construction scientifique et technique, de sa gestion opérationnelle et du sort des populations concernées*. Rapport dans le cadre du projet SLAMS, 63 p.

DREAL Rhône-Alpes, 2011, *Prévention des risques et protection de l'environnement dans la région grenobloise*. Actes du colloque du Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions et des risques dans la région grenobloise (SPPPY), 30 avril 2010.

Ermini et Casagli, 2003, *Prediction of the behaviour of landslide dams using a geomorphological dimensionless index*. Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 28, 31-47.

Gayot, K., 2010, *Arkema Jarrie – Risque Séchilienne*, Colloque NATECH, Mulhouse, 21 octobre 2010.

Gillet F. et Vengeon J.-M., 2004, *Les Ruines de Séchilienne*, Journée d'information au Conseil général de l'Isère, juin 2004.

Hergat R., 2003, *The case study of Les Ruines de Séchilienne landslide, France: Crisis management*, in: Harvász, J. (ed.), *Lessons Learned from Landslide Disasters in Europe*, European Commission, 2003, EN 20558 EN, p. 57–66.

Le Roux O., Jongmans D., Kaperski O., Schwartz S., Potherat P., Lebrouc V., Lagabrielle R., Méric O., 2011, *Deep geophysical investigation of the large Séchilienne landslide (western Alps, France) and calibration with geological data*. Engineering Geology, Vol. 120, pp.18-31.

Préfecture de l'Isère, 2004, *Plan d'Action Stratégique des Actions de l'Etat en Isère (PASED)*, 29 septembre 2004.

Ranguelov, B., 2003, *Classification and Description of the Secondary Effects Accompanying Earthquakes with Different Magnitudes*, NEDIES Report, 6 p.

SOGREAH, 1999, *Etude hydraulique complémentaire des conséquences de la rupture de l'éboulement de Séchilienne*. Rapport d'étude [maître d'ouvrage : DDE de l'Isère], nov. 1999.

Principales sources sur internet

Site web « Versant de Séchilienne » géré par le CETE de Lyon, hébergé par le MEDDE
www.versant-sechilienne.developpement-durable.gouv.fr/

Page web de la préfecture de l'Isère consacrée au mouvement de versant de Séchilienne (rapport « Huet » et comptes-rendus de la commission CLAIRS)
www.isere.pref.gouv.fr/Politiques-publiques/Securite-protection-des-populations/Risques-naturels/Ruines-de-Sechilienne

Site web du SYMBHI consacré aux Ruines de Séchilienne
www.symbhi.fr/10950-les-ruines-de-sechilienne.htm

Site web de l'OMIV consacré au mouvement de versant de Séchilienne
<http://omiv.osug.fr/SECHILIENNE/index.html>

Dossier en ligne de l'IRMa sur les Ruines de Séchilienne
www.irma-grenoble.com/05documentation/04dossiers_numero.php?id_DT=1

Page web du PPRT de Jarrie sur le site « CSS / CLIC & PPRT de Rhône-Alpes »
www.pprtrhonealpes.com/pprt/fiche/24/pprt-jarrie-arkema-et-cezus.html



Glossaire des sigles

BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CEREGE	Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement
CETE	Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement
CGEDD	Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable
CLAIRS	Commission Locale d'Analyse et d'Information sur le Risque Séchilienne
CNR	Compagnie Nationale du Rhône
DGPR	Direction Générale de la Prévention des Risques
DDRM	Dossier Départemental sur les Risques Majeurs
DICRIM	Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs
DPPR	Direction de la Prévention des Pollution et des Risques (<i>aujourd'hui DGPR</i>)
GeSSRI	Gestion de la Surveillance des Sites Rocheux Instables
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
ISTerre	Institut des Sciences de la Terre
MEDDE	Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie
OMIV	Observatoire Multidisciplinaire des Instabilités de Versants
PPRI	Plan de Prévention des Risques d'Inondation
SIDPC	Service Interministériel de Défense et de Protection Civiles
SYMBHI	Syndicat Mixte des Bassins Hydrauliques de l'Isère

Etude de cas :

Les risques d'origine glaciaire en Rhône Alpes

La poche d'eau du Glacier de tête Rousse et le glacier de Taconnaz

Cette étude est un peu plus large qu'une étude de cas au sens propre puisqu'elle présente les couplages mis en jeu dans les phénomènes d'origine glaciaire et périglaciaire, de façon générique dans un premier temps puis dans un second temps plus en détail sur 2 cas particuliers : la poche d'eau sous-glaciaire du glacier de Tête Rousse (commune de St Gervais les Bains, 74), et les chutes de séracs du glacier de Taconnaz (communes de Chamonix et les Houches, 74).

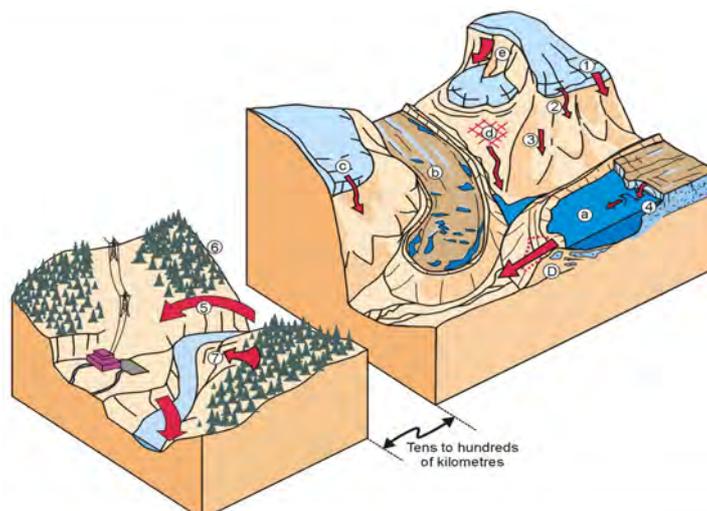
1 Dimensions associées aux risques couplés

1.1. Description du risque (menaces) X enjeu (x) :

Les phénomènes potentiellement impactant

Les phénomènes d'origine glaciaire et périglaciaire recouvrent une grande variété de processus naturels : Rupture ou vidange brutales de lacs glaciaires et périglaciaires, Vidange de poches d'eau intra-glaciaires, Chutes de séracs, Ruptures de glacier pour les glaciers dits « blancs », Déstabilisation de glaciers rocheux, déstabilisation de parois rocheuses par dégradation du permafrost ou par retrait glaciaire (voir Document préparatoire au séminaire technique ROGP, PARN 2012).

Leurs manifestations à l'aval sont également très variées, d'autant que les interactions entre différents phénomènes et les relais de processus tant dans l'espace que dans le temps sont courants : phénomène torrentiel brutal non lié à un événement météorologique (pour les ruptures ou vidanges de lac et poches d'eau, naturelles ou elles-mêmes déclenchées par un éboulement), avalanches de glace (chute de séracs ou rupture de glacier), avalanches de neige non liée à un phénomène météorologique (déclenché par une chute de sérac, de glacier ou blocs rocheux).



La variété des phénomènes d'origine glaciaire et périglaciaire et leurs conséquences (d'après Reynolds, 2002).

Cas de Tête Rousse :

Le glacier de Tête-Rousse, situé dans le massif du Mont-Blanc à environ 3 200 mètres, fait l'objet d'une surveillance particulière depuis de nombreuses années.

Le 12 juillet 1892, une poche d'eau d'environ 80 000 m³ accumulée dans le glacier s'est vidangée brutalement. Le volume d'eau, charriant de nombreux matériaux, s'est transformé en une gigantesque lave torrentielle de 30 mètres de hauteur et d'un volume final de plus d'un million de mètres cubes. Cette catastrophe a causé la mort de 175 personnes environ et a provoqué d'importants dégâts aux thermes de Saint-Gervais-les-Bains, dans la plaine du Fayet et à Bionnay.

Fin 2009, une poche d'eau de 60 000 m³ sous pression est mise en évidence sous le glacier. Les scientifiques alertent les autorités sur un risque de vidange brutale de la poche qui pourrait engendrer une catastrophe similaire à celle de 1892.

Grâce à d'importants travaux de pompage, la poche est vidée progressivement (48 000 m³ évacués) et le risque éliminé fin 2010.

Mais la poche se remplit à nouveau en 2011 (16000 m³ pompés) puis en 2012 (environ 10 000m³) ; La cavité d'origine se rétrécit à chaque pompage par pression de la glace, mais en octobre 2012 une partie du toit de la cavité s'effondre, et une seconde cavité est détectée.



Glacier de Tête Rousse et cavités de 1892 (C. Vincent)

Cas de Tacconnaz

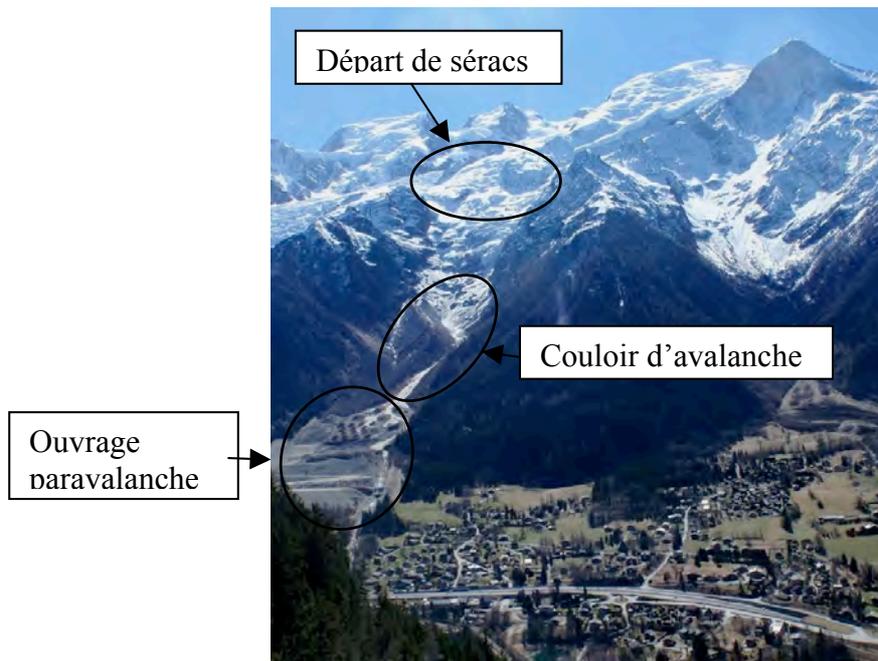
Le glacier de Tacconnaz s'étend du Dôme du Goûter (4300 m) jusqu'à 1700 m environ à l'amont du village du Nant. Globalement orienté au nord, il est scindé en deux parties : une zone supérieure d'accumulation et la langue inférieure. Ces 2 parties sont séparées par une chute de séracs d'une largeur de 600 à 700 m et d'une hauteur maximum de 100 m. Cette rupture de pente engendre des écroulements de séracs sur la langue inférieure du glacier.

Au cours de la saison estivale, ces écroulements sont sans conséquence car cette zone n'est pas fréquentée par les touristes ou les alpinistes.

En revanche, durant la saison hivernale, lorsque les accumulations de neige sur la langue glaciaire terminale sont importantes, les chutes de séracs sont susceptibles de déclencher des avalanches de neige très importantes et cette masse de neige et de glace peut parcourir toute la langue terminale et terminer sa course sur le cône de déjection du torrent entre 1300 et 1000 m d'altitude selon l'ampleur du phénomène (qui peut atteindre le million de m³ en un ou plusieurs événements le même hiver). L'avalanche peut ainsi atteindre les zones habitées de la vallée, comme ce fut le cas en 1988, 1999 et en 2006. L'examen des dépôts de l'avalanche a montré, à chacun de ces événements, des proportions très significatives de glace.

D'autre part, avec le réchauffement très marqué des glaciers froids de haute altitude, observé au cours des deux dernières décennies (Vincent et al., 2007), de nouvelles interrogations et inquiétudes sont apparues sur la stabilité de la zone de séracs de Tacconnaz : si le glacier de Tacconnaz évolue vers

un stade de glacier tempéré (température de 0° à sa base) il pourrait être destabilisé sur une surface importante et une rupture en masse du glacier pourrait se produire.



Le glacier de Taconnaz et l'ouvrage paravalanche (photo RTM74)

Les enjeux et leur vulnérabilité

Dans le cas général des ROGP, les enjeux ne sont pas situés à proximité immédiate de la source des phénomènes potentiellement impactants. La distance est souvent importante, tant horizontalement (plusieurs kilomètres ou dizaines de kilomètres) que verticalement (dénivelés de plusieurs centaines de mètres à plusieurs milliers de mètres).

Cas de Tête Rousse

L'analyse de la zone d'impact et des enjeux qu'elle contient a été menée par le SIDPC74, sur la base de l'impact géographique de la catastrophe de 1892.

La zone d'impact comprend :

- Dans sa partie haute, la voie d'accès au Mont-Blanc, avec des implications fortes notamment en été lors des fortes fréquentations par les alpinistes ;
- De très nombreuses habitations individuelles et collectives répartis au long du versant (hameau du Biollay le plus à l'amont) et dans la vallée, avec une densification importante de l'habitat individuel et collectif, surtout au Fayet ;
- 20 ERP, dont 2 de 2^e catégorie (entre 700 et 1500 personnes), la gare terminus TGV, les thermes ;
- Des petits barrages hydro-électriques ainsi qu'un gazoduc, qui auraient peu d'impact sur le phénomène ;
- Des voies de circulation : voie ferrée (TGV en hiver, jusqu'à 800 personnes par train), autoroute A40, des routes départementales qui constituent un axe international (avec l'A40) vers l'Italie.

Le nombre total de personnes potentiellement impacté a été estimé à 5000.

La vulnérabilité des populations est importante puisque la propagation de l'onde de crue en cas de rupture brutale de la poche est très rapide : temps avant arrivée de la lave torrentielle estimé d'environ 10 minutes pour hameau de Bionnay, 30 min pour la plaine du Fayet.

Cas de Taconnaz



Les enjeux sont principalement situés sur le cône de déjection et sont répartis entre deux communes, Chamonix-Mt Blanc et les Houches. Il s'agit d'une part d'enjeux d'urbanisme (chalets individuels + Hotel Novotel), d'autre part du réseau de transport (voie rapide RN205, unique accès à la vallée de Chamonix par le côté français).

Des avalanches de neige/glace ont déjà provoqué dans le passé des dégâts matériels sans victime : chalets, télési...
...

Ces enjeux ont aujourd'hui encore tendance à continuer d'augmenter : construction de nouveaux chalets à l'aval du paravalanche, augmentation du trafic routier sur la RN205.

Deux types de réduction de la vulnérabilité ont été engagés : réalisation d'un paravalanche de très grandes dimensions en amont des habitations d'une part (travaux augmentés par étapes depuis 1986), documents d'urbanisme réglementant les constructions dans le secteur d'autre part (1^{er} PER approuvé en 1992), + PCS en 2004.

Pour le paravalanche, de nouveaux travaux ont été décidés suite au débordement du dispositif en 1999 et 2006. Le dimensionnement actuel du paravalanche a été établi pour le scénario de référence de deux avalanches successives de neige dense, chacune d'occurrence centennale. Compte tenu de la morphologie du site, ce scénario aboutit déjà à un ouvrage exceptionnel, très atypique et même unique en France, qui a fait l'objet de développement de modèles spécifiques (modélisation physique des tas freineurs, modélisations numériques, Naïm et al, 2010. La réalisation des derniers tas freineurs de 7,5m de haut et le rehaussement de la digue frontale de 14 à 25m préconisés est toujours en cours.

1.2 Description du ou des couplages en jeu :

Une des spécificités des ROGP tient à la multiplicité des possibles effets cascade dans une chaîne complexe de processus. Contrairement à l'essentiel des types d'aléas naturels que l'on a l'habitude de gérer, ils nécessitent la prise en compte intégrée **d'aléas couplés, dont la caractérisation est complexe** et mal définie jusqu'à présent.

Les processus peuvent interagir entre eux et avec d'autres parties du système géomorphologique. Des « scénarios du pire » sont possibles et se sont déjà produits. Les principales catastrophes ont résulté d'effets cascade plutôt que d'un phénomène unique. Par exemple une avalanche de glace ou un écoulement rocheux qui tombe dans un lac produit une onde qui peut mener à la rupture du barrage morainique, entraîner une vidange brutale et une lave torrentielle, qui peut elle-même faire barrage sur une rivière en aval.

Ex1 : Lac de Nostetuko (Colombie britannique), 1983

Lac formé au front du glacier Cumberland, retenu par une moraine de tills : 6,5millions de m³ d'eau s'en sont brusquement échappés par une brèche dans le barrage due à l'onde produite par une avalanche de glace détachée du front du glacier.

Ex 2. Kolka-Karmadon, Ossétie du Nord (Caucase Russe), 2002

Une instabilité de masse rocheuse, dans une zone de permafrost sur les flancs du Dzhimarai-Khokh (4780m) couplée à une rupture de glacier polythermal suspendu, déclenche une avalanche de roche et glace, qui se transforme en lave torrentielle et tue plus de 150 personnes dans la vallée de Genaldon/Kardamon. Le volume total déplacé s'élève à environ 100 Mo m³ et comprend de la roche, de la glace, de la neige et de l'eau. Les vitesses d'écoulement sont incroyablement rapides (jusqu'à 300 km/h) et les distances parcourues particulièrement longues (18km + 15 km de lave torrentielle).

Ces couplages d'aléas ont plusieurs grandes implications :



- Les phénomènes résultants ne sont souvent pas liés aux couplages classiques avec les phénomènes météorologiques : une lave torrentielle déclenchée par la rupture d'une poche d'eau ou la vidange d'un lac ne fait pas suite à un épisode pluvieux ; une avalanche déclenchée par une chute de séracs ou un éboulement rocheux d'altitude ne suit pas forcément une forte chute de neige.
- Les distances entre l'origine du phénomène et ses conséquences dans les vallées peuvent être considérables : le risque est donc moins « visible » (sauf dans le cas de Tacconnaz où le glacier est à la vue de tous), il y a une moindre conscience du risque.
- Les incertitudes à tous les stades de la chaîne des processus sont considérables. En fait les incertitudes subissent elles-mêmes l'effet cascade et s'amplifient tout au long de la chaîne des processus.

Cas de Tacconnaz

Couplage de l'aléa chute de sérac et avalanche : la proportion de glace dans l'avalanche a des implications fortes sur le dimensionnement des mesures de protection (résistance mécanique du paravalanche).

Cas de Tête Rousse

La problématique du risque engendré par le glacier de Tête Rousse concerne essentiellement le couplage entre l'évolution de la poche d'eau (vidange progressive, rupture brutale) et l'intensité de la lave torrentielle qui en résulte.

1.3. Impacts sur la caractérisation de la vulnérabilité :

De façon générale, la vulnérabilité des biens et des personnes ne cessent de s'accroître dans les vallées alpines. Or le potentiel destructeur des phénomènes d'origine glaciaire et péri glaciaire et de leurs couplages est important. Une seule catastrophe liée à cette dynamique peut faire de nombreux dégâts et victimes.

Le couplage entre aléas peut sensiblement modifier la dynamique des phénomènes et en particulier augmenter les vitesses de propagation et les distances de parcours, augmentant du coup l'étendue des zones exposées (effets à distance) et leur sensibilité (temps de réaction courts).

Cas de Tacconnaz

Dans le cas d'une chute de sérac déclenchant une avalanche de neige, la proportion de glace dans l'avalanche peut avoir des répercussions sur la dynamique de l'avalanche, avec des implications possibles sur le dimensionnement des mesures de protection (surtout en termes de résistance mécanique du paravalanche). Toutefois, le manque de données se rapportant aux blocs de glace lors des dernières études de dimensionnement (essentiellement basé sur l'Enquête Permanente Avalanche) n'a pas permis de prendre en compte spécifiquement ce paramètre. La révision du dispositif de réduction de la vulnérabilité est donc restée similaire à celle mise en œuvre pour réduire la vulnérabilité des biens et des personnes face à une avalanche de neige classique.



Des études sont actuellement en cours pour préciser les effets de la masse neige+glace sur l'ouvrage (capteurs de pression installés dans le cadre du projet Dynaval). Toutefois, le dimensionnement actuel du paravalanche est tel (et déjà tellement coûteux) qu'il semble difficilement réalisable de l'augmenter encore.

Par ailleurs, à l'heure actuelle, la possibilité d'une rupture brutale du glacier n'a pas été intégrée dans une réflexion sur la vulnérabilité. En effet, les services (DDT, RTM) considèrent qu'à ce jour cette hypothèse est encore trop incertaine pour en tirer dès à présent des conséquences opérationnelles (ampleur et cinétique d'un tel phénomène encore non définie).

Pourtant, de façon purement qualitative, l'extension de la zone d'impact serait a priori très fortement augmentée, majorant l'exposition ET la sensibilité des enjeux. En particulier, l'efficacité du paravalanche dans ce cas de figure pourrait être remise en cause. Ceci pose la question de maîtriser l'augmentation des enjeux à l'aval de l'ouvrage : le seul outil existant aujourd'hui est le PPR, approuvé récemment mais dont les études d'aléa datent de 2004-2005 et ne prennent pas en compte l'hypothèse de rupture brutale.

Ainsi dans ce cas la caractérisation de la vulnérabilité pourrait être fortement influencée par l'échelle de temps à laquelle elle est pensée : à court terme, prise en compte uniquement de la chute de sérac, à plus long terme (à définir par les scientifiques) prise en compte de la rupture du glacier.

Cas de Tête Rousse

La prise en compte de l'aléa lave torrentielle dans le torrent de Bionassay a mené à identifier des enjeux aux abords immédiats du torrent.

La prise en compte du couplage poche intra-glaciaire / lave torrentielle a nécessité de recharacteriser complètement la vulnérabilité en regard de l'ampleur exceptionnelle du phénomène. L'exposition des biens et personnes (emprise de la lave torrentielle) a été évaluée sur la base des éléments historiques recueillis en 1892 après la catastrophe, complétés et modifiée en prenant en compte les modifications topographiques principales. Une marge de sécurité a également été intégrée.

La sensibilité des personnes présentes dans la zone est fonction du temps de parcours de la lave. Ces temps de parcours ont été estimés en prenant en compte les observations de 1892 et des calculs de vitesse d'écoulement. La sensibilité est maximum pour le hameau du Bionnay (temps minimum d'arrivée estimé 10min) et augmente progressivement jusqu'au secteur du Fayet (30 min).

2 Mode de prise en compte des risques couplés

2.1. Type d'approche du risque :

De façon générale, les risques d'origine glaciaire et périglaciaires sont liés à des phénomènes exceptionnels complexes. Non seulement il ne s'agit **pas de** phénomènes répétitifs pour lesquels il est facilement possible d'établir un **phénomène de référence**, mais ces phénomènes s'inscrivent également dans un contexte d'évolution climatique.

En effet, les glaciers et le permafrost alpins sont particulièrement sensibles au réchauffement climatique en raison de leur proximité avec les conditions de fusion. En modifiant profondément la dynamique des glaciers et en dégradant durablement le permafrost présent dans les parois rocheuses et formations superficielles, ce réchauffement pourrait être à l'origine de risques accrus (Ravanel 2009).

La gestion de ces risques implique donc de **prendre en compte les possibles évolutions dans un futur proche**.

Dans de nombreux cas pour un phénomène détecté, les conséquences à l'aval peuvent varier énormément en fonction de l'évolution à court, moyen ou long terme du phénomène. Dans ces



conditions, c'est la plupart du temps une **approche par scénario** qui est privilégiée pour la gestion des risques. Compte tenu des nombreuses interactions possibles entre les phénomènes et des cas déjà connus (voir §1.2), le « scénario du pire » ne peut pas être ignoré.

Ex1. Lac supra-glaciaire de Rochemelon (Haute-Maurienne, Savoie), 2005

Pour la gestion du risque de vidange brutale du lac, deux scénarios de déversements ont été identifiés : déversement total côté français par rupture du verrou (ou digue) glaciaire ou déversement partiel côté italien par rupture d'un embâcle d'icebergs qui seraient venus obstruer l'écoulement permanent du lac vers l'Italie par le col rocheux de Novalèse. (voir Document préparatoire au séminaire, p.9). Dans les 2 cas les enjeux à l'aval étaient forts (exposition et sensibilité) et c'est une solution de pompage du lac qui a été décidée.

Ex2. Lac Effimero, glacier du Belvédère (Mont Rose, Alpes italiennes), juin 2003 :

Plusieurs scénarios furent identifiés, le plus catastrophique figurant une vidange brutale déclenchée par un écroulement de roche/glace provenant de la falaise qui surplombe le lac.

Là encore, en regard des enjeux impactés à l'aval par les différents scénarios, une solution de pompage partiel du lac a été retenue.

Cas de Tête Rousse

Pour la gestion du risque en 2010, c'est le scénario similaire à la catastrophe de 1892 qui a été retenu et actualisé.

Cas de Taconnaz

Pour l'instant, le risque de chutes de séracs engendrant des avalanches est géré de façon assez similaire à une gestion de risque avalanche, si ce n'est que la fréquence des avalanche est liée à la fréquence des chutes de séracs. Le mode de réduction du risque adopté est une adaptation de la solution de réduction du risque avalanche (= redimensionnement du paravalanche).

2.2. Moyens d'identification du risque

Pour l'instant il n'y a pas de véritable méthodologie d'identification des ROGP.

Le milieu scientifique montre actuellement une certaine dynamique d'amélioration de la connaissance des phénomènes glaciaires et périglaciaires, tant en terme d'inventaire que de compréhension des processus.

Il existe à ce jour des inventaires récents des milieux glaciaires (GlariskAlp) et périglaciaires (Pernamet), qui ne vont toutefois pas, dans la majorité des cas, jusqu'à l'identification des aléas.

Le dernier inventaire des situations à risque date de 2003 (Glaciorisk).

Pour les phénomènes visibles en surface (lacs, chutes de séracs ou glaciers, instabilités de glaciers rocheux), l'identification de l'aléa peut se faire « à temps » par suivi visuel de l'évolution ou imagerie satellite avec détection de mouvement. L'identification est beaucoup plus problématique dans le cas des poches d'eau intra-glaciaires ou des instabilités de parois rocheuses.

Le séminaire technique ROGP a montré que d'une façon générale il reste un travail important à accomplir sur la méthodologie d'identification des sites à risque ou supposés comme tels, sur la base de certains indices à définir précisément.

A l'heure actuelle cette identification n'a été possible que dans quelques cas particuliers.

Par exemple dans le cas de Rochemelon, c'est la visite fortuite des scientifiques du LGGE qui a permis de découvrir l'imminence du risque.



Cas de Taconnaz

Les chutes de séracs ont été identifiées depuis longtemps comme un facteur de risque pour les biens et personnes situés sur le cône de déjection immédiatement à l'aval (1988, 1^{ère} avalanche avec une forte proportion de glace). Des études ont donc été lancées pour caractériser ces chutes de séracs : mécanismes, volumes, fréquences...

C'est au cours de ces études que se sont posées les questions qui inquiètent aujourd'hui les scientifiques : le glacier de Taconnaz est-il un glacier "froid" (températures négatives) et peut-il évoluer vers un stade tempéré ? Si le glacier devient "tempéré" (à 0°C), pourrait-il être déstabilisé ? Sur quelle surface et pour quel volume ? Peut-on détecter cette instabilité ?

Cas de Tête Rousse

L'identification du risque de la poche d'eau de Tête Rousse est due à l'historique du site et à un concours de circonstances.

Suite à la catastrophe de 1892, une galerie fut creusée afin de drainer la langue du glacier. Cette galerie a été régulièrement entretenue tout au long du 20^e siècle. En 2004, le service RTM 74 voulut savoir si cette galerie de surveillance était toujours utile et méritait de continuer à être entretenue. La question fut posée aux glaciologues du LGGE, qui lancèrent une campagne de prospection géophysique en collaboration avec d'autres scientifiques (LTHE, LGIT, 2007-2009). Les mesures radar mirent en évidence une anomalie qui nécessita d'être caractérisée plus précisément. Fin 2009, la méthode RMP (Résonance Magnétique des Protons) révéla une poche d'eau de 60 000 m³ sous pression. Le porté à connaissance de cette poche auprès du préfet déclencha la gestion de crise début 2010.

2.3. Moyens techniques et scientifiques

Caractérisation scientifique des aléas

Certaines techniques de caractérisation des aléas glaciaires et périglaciaires ont été développées récemment. Pour la plupart elles ne peuvent s'appliquer que dans les cas d'aléas ponctuels préalablement identifiés. Il s'agit essentiellement de bathymétrie pour l'évaluation des volumes d'eau des lacs, méthodes radar et RMP pour la définition des géométries des poches d'eau, suivi de déplacements, de vitesses et activité micro-sismique pour les instabilités de glaciers blancs et rocheux, capteurs thermiques pour les instabilités de falaises.

Ces méthodes sont toujours en cours de développement et de nombreuses recherches sont encore nécessaires pour arriver d'une part à mieux comprendre les processus, d'autre part à mieux caractériser les phénomènes.

Cas de Tête Rousse

Ce sont des mesures radar qui mirent en évidence la première anomalie qui nécessita d'être caractérisée plus précisément. La méthode RMP (Résonance Magnétique des Protons), généralement appliquée à l'estimation de la quantité d'eau liquide dans un sol, a été spécialement adaptée sur ce site pour détecter de l'eau dans la glace.

Cas de Taconnaz

Le site du glacier de Taconnaz fait l'objet d'études scientifiques poussées depuis 2001 pour comprendre les processus des chutes de séracs et caractériser leur dynamique.

Des mesures d'accumulation, vitesses d'écoulement, topographie du socle rocheux, épaisseurs de glace, permettent progressivement de préciser les volumes et la fréquence des ruptures de séracs. D'autre part, cette surveillance permet d'évaluer l'évolution globale de la zone de séracs (fracturation, variations des vitesses d'écoulement, évolution de la ligne de rupture des séracs, évolution de la base de la falaise...) afin de détecter une déstabilisation éventuelle de cette zone.



La question du réchauffement de la base du glacier fait quand à elle l'objet d'une étude engagée dans le cadre du 7^e PCRD (projet « Acqwa », 2008-2012).

Le système de surveillance des séracs de Tacconnaz, en cours de mise au point, combiné à la modélisation de la propagation des avalanches de neige de Tacconnaz (projet DYNAVAL), constituera un outil majeur d'aide à la décision pour les gestionnaires du risque et les autorités publiques.

Moyens techniques de réduction de la vulnérabilité

Parades actives :

Des techniques existent pour réduire l'aléa dans certains cas identifiés de risques de vidange : pompages, galeries, ou déverseurs de crues pour les lacs, pompage après forage pour les poches d'eau intraglacières. Si de tels travaux ont déjà été réalisées, les contraintes environnementales sont toujours très fortes et requièrent une grande technicité des méthodes, des outils et des équipes, que peu d'entreprises sont capables de rassembler. Il n'existe pas aujourd'hui de liste d'entreprises qui ont l'expérience des travaux dans les conditions de haute montagne

Parades passives

Il y a peu de cas où des ouvrages de protection passive sont envisageables compte tenu de l'ampleur des phénomènes (sauf Tacconnaz pour une partie de l'aléa).

Aménagement du territoire, zonage du risque.

Les outils réglementaires d'urbanisme (PPR, PPRI) sont difficilement utilisables car dans la grande majorité des cas on ne sait définir ni l'enveloppe d'extension de la zone impactée, ni la fréquence/période de retour du phénomène.

Il n'existe pas non plus aujourd'hui de traduction réglementaire pour ce type de risque.

Alerte / Plan de sauvegarde

Des plans de sauvegarde des populations peuvent être définis au cas par cas, d'une part s'il est envisageable d'équiper le site générateur de risque d'un système d'alerte, d'autre part si le temps de réaction entre l'alerte et l'occurrence du phénomène est assez long.

Cela implique dans tous les cas que l'aléa ait été préalablement identifié et suivi.

Cas de Tête Rousse

Les autorités locales et départementales ont mis conjointement en place en 2010 un double plan de sécurité : (1) des opérations de forage et pompage d'une part pour drainer artificiellement la poche d'eau et (2) dans le même temps un système de protection civile incluant un système d'alerte et un plan d'évacuation géré par le SDIS.

De nouveaux pompages ont été réalisés en 2011 puis en 2012. L'option d'une galerie de dérivation qui pérennise la protection par évacuation progressive de l'eau est à l'étude.

Le système d'alerte est toujours en place et le plan d'évacuation toujours d'actualité.

Il a été décidé (au niveau du Ministère) de ne pas prendre en compte le phénomène de vidange brutale dans le PPR, le risque étant considéré comme exceptionnel.

Cas de Tacconnaz

Le paravalanche a été plusieurs fois repris et amélioré depuis son origine, au fur et à mesure de l'avancée scientifique sur la caractérisation de l'aléa, pour mieux faire face aux dynamiques des différentes avalanches possibles : neige poudreuse, neige dense, neige et glace.

Un protocole de surveillance opérationnelle des chutes de séracs sur un long terme (plusieurs années) est en cours de mise au point.



D'un point de vue réglementaire, le PPR intègre depuis 1992 le risque d'avalanche lié aux chutes de sérac, mais pas le risque de rupture de glacier en masse. Il en va de même du Plan Communal de sauvegarde de 2004.

2.4. Type d'expertise

Il n'existe pas de modalité standard d'expertise pour les risques d'origine glaciaire et périglaciaire. Celle-ci est définie ponctuellement au cas par cas, le plus souvent une fois la crise déclarée.

Même si certains scientifiques sont intervenus sur plusieurs cas et sont reconnus comme étant des références en matière de connaissance et d'aide à la décision (C. Vincent, LGGE en France), il n'existe pas en France d'expert à proprement parler de ces types de risques comme cela peut être le cas par exemple pour les avalanches. En Suisse M. Funk et son équipe du VAW, ETH Zurich, sont sollicités très systématiquement sur cette problématique et travaillent en relation étroite avec les services opérationnels.

Ex. Lac supra-glaciaire de Rochemelon (Haute-Maurienne, Savoie), 2005 :

La cellule de crise a rassemblé le sous préfet, la direction de la protection civile, le service du RTM, l'Irstea (ex-Cemagref), le conseil Général et le LGGE.

Cas de Tête Rousse

Lors de la première crise de 2010, un comité de pilotage du dossier Tête-Rousse est mis en place, co-présidé par le Préfet et le Maire de Saint-Gervais-les-Bains, instance de décision et de suivi des différentes phases du dossier ;

Deux groupes de travail sont créés, qui rendent compte régulièrement de leurs activités au comité de pilotage :

- d'une part les scientifiques du CNRS mandatés pour réaliser des mesures complémentaires,
- d'autre part une « cellule de gestion de crise » : coordonnée par le service de Protection Civile (SIDPC), elle rassemble le service RTM74, le SDIS74 et les services de la commune de St Gervais.

Une mission interministérielle d'appui au préfet a été mandatée. Composée de l'Inspection générale de la défense et de la sécurité civiles du MIOMCT et du Conseil général de l'environnement et du développement durable, elle avait pour mission d'évaluer et de conforter le plan de sauvegarde des populations et de proposer des mesures relatives à la prise en compte de l'aléa. Les membres de cette mission, par leur expérience et leur recul, ont permis aux acteurs locaux de voir leur démarche confortée et de la renforcer par les pistes d'amélioration préconisées (source REX 2011).

Un retour d'expérience, rédigé par le SIDPC, a été présenté en mars 2011 à la DGPR.

Tous les acteurs de la crise de 2010, rejoints par d'autres équipes scientifiques (BRGM), ont continué à travailler conjointement lors des épisodes de 2011 et 2012. En cela on peut considérer qu'il s'agit aujourd'hui d'une cellule d'expertise sur ce site.

Cas de Taconnaz

Pour le risque de chutes de séracs, l'expertise est assurée de façon conjointe par les scientifiques du LGGE (caractérisation des chutes de séracs) et d'Irstea (modélisation des avalanches) d'une part, et le RTM74 d'autre part pour la gestion du paravalanche. L'objectif des scientifiques est d'arriver à un niveau de connaissance et d'instrumentation qui permette de proposer des outils d'aide à la décision pour les autorités ; ces outils ne sont pas encore opérationnels.



Le risque de rupture du glacier, soulevé par le LGGE, est à ce jour uniquement étudié de façon scientifique et ne fait l'objet d'aucune expertise.

Les cas récents traités en matière de ROGP ont mis en évidence certains éléments forts autour de la problématique de l'expertise :

- l'intérêt d'une coordination scientifique entre plusieurs laboratoires de recherche sur un sujet de cette nature ;
- l'intérêt d'assurer, déjà en amont des phénomènes puis pendant la gestion de crise, une vraie continuité entre la connaissance scientifique, son transfert aux autorités et sa traduction en mesures opérationnelles ;
- La difficulté de mobiliser de façon quasi-instantanée des compétences très variées (forte composante multidisciplinaire) ;
- Les possibilités de REX limitées, du fait de la faible fréquence des phénomènes ;
- Le travail dans l'incertitude à tous les niveaux (scientifique, technique), qui oblige souvent à prendre en compte le « scénario du pire » ;
- La question de la responsabilité juridique dans la prise de décision (les scientifiques comme les opérationnels ressentent trop souvent que leurs recommandations valent prise de décision).

2.5. Communication sur le risque

Information préventive

On constate généralement que la culture du risque autour de des phénomènes d'origine glaciaire et périglaciaire est plutôt plus limitée que pour d'autres types d'aléas connus de façon plus classique en montagne. L'éloignement des vulnérabilités par rapport aux zones de départ et la faible fréquence d'occurrence de ce type d'événement peuvent expliquer ce constat. Pourtant les cinétiques rapides rendent indispensable un meilleur développement de cette culture.

En 2012, les ROGP ne sont pas encore intégrés en tant que tels dans l'information préventive sur les risques majeurs : pas d'onglet dédié sur prim.net, pas de dossier d'information du Ministère (qui existe par exemple pour les mouvements de terrain).

Dans le contexte actuel de réchauffement climatique et de possible accentuation des phénomènes ces prochaines années, un projet est en cours pour intégrer cet aléa dans les documents d'information préventive (DDRM, DICRIM).

Communication en temps de crise

Etant donné l'ampleur potentielle des catastrophes que peuvent engendrer les ROGP, la communication en temps de crise est un point particulièrement sensible pour d'une part être sûr de toucher toutes les populations concernées mais d'autre part éviter les phénomènes de paniques liés à une communication mal maîtrisée.

Là encore il n'existe pas de « protocole standard » ; cet aspect est géré au cas par cas par les cellules de crise.

Cas de tête-Rousse

Dans le cadre du plan de sauvegarde des populations (alerte et évacuation autonome vers des points de rassemblement), la sensibilisation de la population aux risques encourus, aux solutions offertes et aux gestes réflexes à adopter a été un enjeu important pour que le dispositif de sauvegarde puisse être opérationnel. Le Maire et le Préfet ont souhaité à la fois développer des actions d'information locales et engager une communication par le biais des médias.

Les actions d'information locale ont compris :

- Des réunions publiques d'information en début de crise, sous la co-présidence du Maire et du Préfet et en présence de l'ensemble des services concernés (500 personnes présentes) ;
- Des permanences d'information organisées en mairie deux fois par semaine pendant la durée de la crise, en présence du Maire, du SIDPC, de la gendarmerie et du SDIS ;
- Des fiches relatives aux itinéraires de randonnées situés dans la zone de danger, conçues à l'attention notamment des touristes, disponibles aux thermes, à l'office du tourisme, à la mairie et autres points publics.
- Des affiches présentant les secteurs et les points de rassemblement ;
- Information directe par courrier des populations sédentaires impactées, avec document précisant les consignes d'évacuation et cas de déclenchement des sirènes ;
- Sites internet de la mairie et de la préfecture reprenant l'ensemble des documents.



Flyer d'information (SIDPC74)

Pour la communication par les médias, l'objectif était double :

- Expliquer la situation à la population (de Saint-Gervais et touristique) de manière factuelle, claire et intelligible, dans la plus grande transparence et sans accentuer ou minimiser les choses ;
- Prévenir l'afflux massif des questions des médias, afin de se positionner comme la source d'information officielle et crédible pour limiter tout effet polémique et tout débordement médiatique.

Un plan de communication et les éléments de langage furent préparés par le SIDPC et le service de communication de la mairie. Il prévoyait notamment le fait que communication restait de la compétence unique du Maire de Saint-Gervais et du Préfet

Cas de Taconnaz

Le risque d'avalanches déclenchées par des chutes de séracs est intégré dans les DICRIM de Chamonix et des Houches dans la rubrique avalanches.

Les médias publient régulièrement des articles sur le risque d'avalanche dans la vallée de Chamonix et des informations sur les travaux du paravalanche sont relayées.

Rien n'est communiqué sur le risque de rupture du glacier.

3 L'évolution récente de la prise en compte des ROGP

Les quelques cas majeurs auxquels les collectivités ont dû faire face ces 15 dernières années, ainsi que les questions autour du réchauffement climatique et de la réduction du volume et de la surface



des glaciers des Alpes occidentales qui pourrait accentuer les phénomènes (études GlaRiskAlp, PermaNET, ACQWA), font lentement évoluer la prise en compte de ces risques dans les politiques publiques.

Toutefois il n'y a pas encore de cadre général et les actions menées le sont pour l'instant surtout au cas par cas.

Un des éléments marquants est la volonté de la DGPR de faire le point sur les ROGP (commande du séminaire technique organisé par le PARN) et de mettre en place à moyen terme un plan d'action au niveau national. Le projet d'intégration des ROGP dans les documents d'information préventive (DDRM, DICRIM) est un premier pas dans ce sens.

4 Les questions posées

Dans le contexte du changement climatique, les questionnements tant scientifiques qu'opérationnels associés à ce type de risques émergents sont nombreux, tant ils renvoient aux limites des approches segmentées utilisées de façon générale en matière de gestion des risques.

La question de l'expertise, qui dans le cas des ROGP avec tous leurs effets couplés doit nécessairement être pluridisciplinaire (scientifiques en glaciologie, géologie, géomorphologie... mais aussi SHS et ingénieurs), est un des points clés de ces préoccupations : pour appuyer l'aide à la décision, peut-on constituer un collège d'experts affecté à ce type de risques, comme il en existe pour d'autres types de risques ? Afin d'« assainir le processus de décision », comment définir précisément les rôles et compétences de chacun pour accompagner l'expertise des chercheurs ? Les pratiques d'expertise doivent-elles davantage évoluer sur des approches par scénarii (scénario du pire mais également scénario le plus probable), afin notamment de mieux communiquer sur les incertitudes ?

En France l'approche par les concepts intégrés de sécurité est assez peu développée. Peut-on s'appuyer sur les exemples italiens (Vallée d'Aoste, au pied des séracs des Jorasses) ou suisses (exemples très aboutis déjà mis en œuvre sur plusieurs sites) pour travailler dans ce sens ?

La conscience du risque pour ces phénomènes est globalement faible, non seulement dans les populations exposées mais également dans les autorités locales. Un effort important devrait être fait autour de l'information et de la sensibilisation à ces types de risques ; les différents groupes à atteindre comprennent non seulement le grand public / la population mais aussi les collectivités, d'une part les communes qui ont des compétences d'aménagement du territoire, d'autre part les collectivités en tant que gestionnaires de patrimoine ou d'infrastructures routières, la communauté scientifique, ainsi que les services déconcentrés de l'Etat.

Le contexte d'évolution climatique incite à intégrer dès aujourd'hui les aléas glaciaires et périglaciaires dans la réflexion sur l'aménagement du territoire, pour anticiper les situations de demain en fonction de l'évolution possible des phénomènes. Dans ce cadre, le PPR est le meilleur moyen pour empêcher des constructions nouvelles dans des secteurs qui pourraient être exposés, plus efficace que le PLU qui lui est révisé plus régulièrement.

Mais les ROGP sortent souvent du cadre de ce document de par leur faible fréquence d'occurrence : faut-il dans ce cas intégrer un événement plus que centennal ?

Est-il envisageable de travailler sur un zonage avec des « scénarii générationnels » ou temporels, qui figureraient les évolutions possibles à 30, 50, 100 ans ?



Pour réduire les vulnérabilités, quelle est la pertinence d'intégrer ces risques dans les PCS ?

Bibliographie

- Projet ACQWA (2012): Assessing Climate Impacts on the Quantity and quality of Water
<http://www.acqwa.ch/>
- Glaciorisk (2004) - Survey and prevention of extreme glaciological hazards in european mountainous regions, compile par D. Richard et M. Gay <http://glaciorisk.grenoble.cemagref.fr>
- Projet GlaRiskAlp (2013) : Risques glaciaires dans les Alpes occidentales
<http://www.fondms.org/glariskalp/>
- Naaïm, M., Faug, T. Naaïm-Bouvet F. et N. Eckert (2010) La modélisation au service de la conception des ouvrages de protection : étude du site avalancheux de Taconnaz. Sciences Eaux et Territoires, la revue de l'Irstea, n°2 sept.2010.
- PARN (2012) Document préparatoire au séminaire technique sur les risques glaciaires et périglaciaires
- Patriarca, E., P. Tournaire (2010) Menace sur St Gervais. Ed. Catapac, 105p.
- PermaNET (2011) : Mair, V., Zischg, A., Lang, K., Tonidandel, D., Krainer, K., Kellerer-Pirklbauer, A., Deline, P., Schoeneich, P., Cremonese, E., Pogliotti, P., Gruber, S., Böckli, L., (2011): PermaNET - Permafrost Long-term Monitoring Network. Synthesis report. INTERPRAEVENT Journal series 1, Report 3. Klagenfurt
- Ravanel L. (2009) Evolution géomorphologique de la haute montagne alpine dans le contexte actuel de réchauffement climatique. Neige et Glace de Montagne – Cahiers de géographie, collection Edytem n°8.
- SIDPC74 (2011) Retour d'expérience - glacier de Tête-Rousse - Poche d'eau sous-glaciaire.
- Vincent, C., M. Desclotres, S. Garambois, A. Legchenko, H. Guyard, E. Lefebvre, and A. Gilbert (2012), Detection of a subglacial lake in Glacier de Tête Rousse (Mont Blanc area), *Journal of Glaciology*, Vol. 58, No. 211, 13p.

Etude de cas :

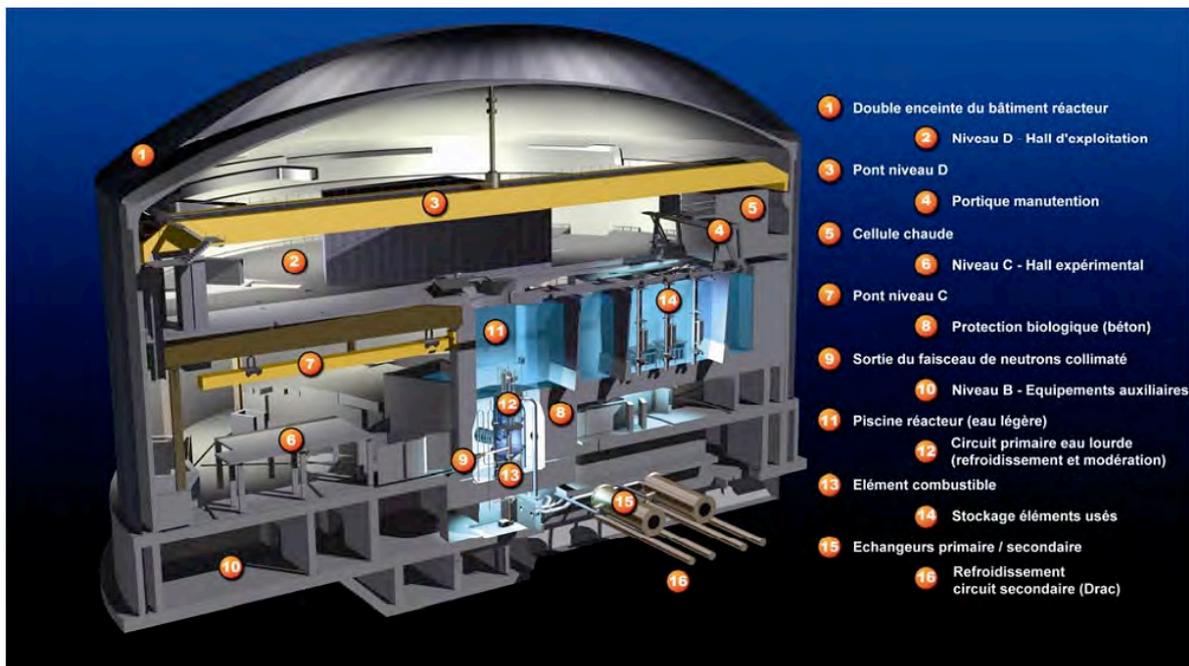
Le réacteur nucléaire de L'Institut Laue Langevin (ILL) et les risques sismiques et d'inondation

1 Dimensions associées aux risques couplés (caractérisation)

1.1 Risque nucléaire lié au réacteur ILL

Description du réacteur : Réacteur à vocation scientifique, production de neutrons pour la recherche en physique et chimie de la matière, en biologie et en médecine¹⁵.

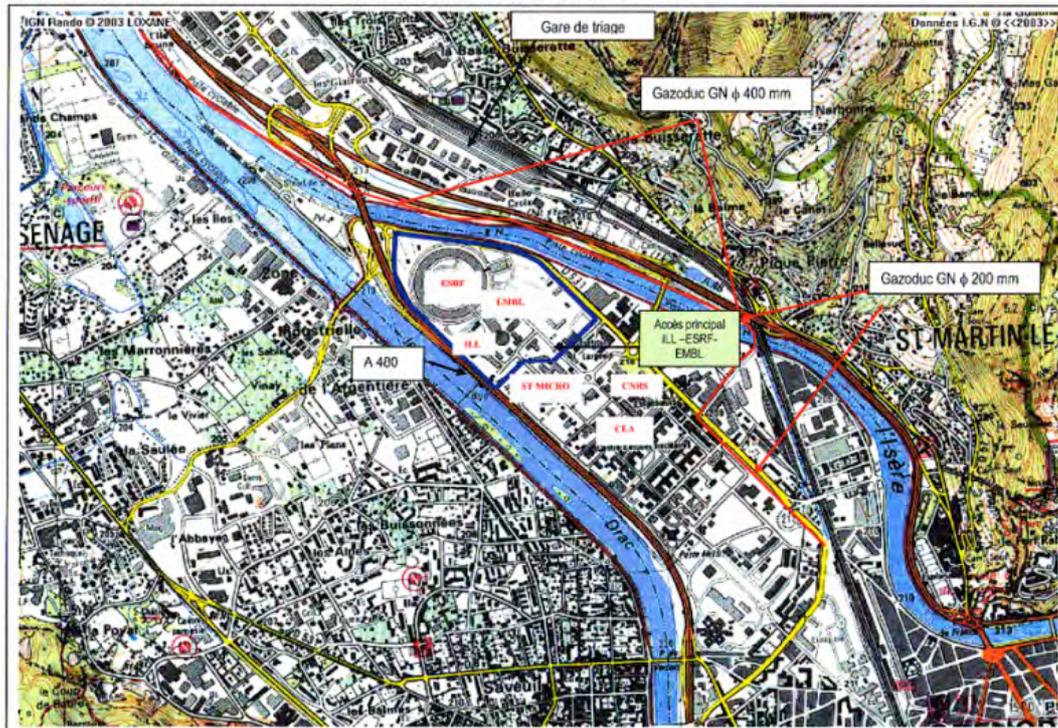
La puissance thermique du réacteur (57MW) est très inférieure à celle des réacteurs électrogènes (de l'ordre de 3000MW environ). Le réacteur est conçu comme une structure multi-enceintes : Une cuve contenant le cœur du réacteur baignant dans 1 première piscine d'eau lourde (D2O, entourée d'une seconde piscine d'eau (H2O), d'une enceinte béton puis d'une enceinte métallique avec sur pressurisation de l'espace entre les deux enceintes et dispositif de rejet contrôlé et filtré.



Implantation du réacteur ILL : Le réacteur est implanté en zone urbaine, sur le « polygone scientifique ». Topographiquement parlant, il est situé en fond de vallée à l'entrée de la cluse de l'Isère, en aval immédiat de Grenoble, au confluent Isère –Drac (La Romanche s'étant elle-même jetée dans le Drac sur la commune de Varcis, à l'entrée de la cuvette grenobloise).

¹⁵ l'ESRF : European synchrotron radiation facility, situé sur le même site est un autre outil scientifique qui a la même vocation que l'ILL, mais qui fournit des rayons X

Plan A0-2- Carte IGN 1/25 000 – Accès et localisation des infrastructures externes



Source principale de danger :

Le danger provient d'une part des produits de fission présents dans le cœur du réacteur et d'autre part des neutrons qui circulent (c'est la raison d'être de ce réacteur producteur de neutrons à but scientifique) et qui peuvent activer des matériaux lors de leur parcours. Le danger est donc lié, outre le contrôle de la réaction, à une problématique de maintien de l'intégrité du cœur et d'étanchéité des circuits et des enceintes.

Enjeux radiologiques : Le danger principal pour l'environnement est le rejet de matière radioactive, qui entraîne un risque d'exposition des populations via l'air, l'agriculture et l'alimentation. Dans le périmètre de l'installation, l'enjeu est également la maîtrise de l'exposition aux rayonnements du personnel.

Ces enjeux sont caractérisés pour les situations normales d'exploitation dans le cadre de l'étude d'impact réglementaire. L'impact des différentes situations accidentelles conduisant à des rejets ont été étudiés et sont à la base de l'organisation pour la Gestion de crise (PUI en interne et PPI pour la préfecture). Par contre, aucune étude réglementaire n'est imposée concernant l'impact à long terme en cas d'accident. En effet, jusqu'à maintenant, il n'y avait pas d'organisation des pouvoirs publics pour gérer des crises nucléaires sur le long terme : retour des populations après évacuation, gestion des territoires contaminés (agriculture, élevage). Un groupe de travail rassemblant l'ASN, l'IRSN, les pouvoirs publics, les exploitants nucléaires, et les associations vient de publier un rapport sur le sujet¹⁶. En cas d'accident grave, l'ILL serait peu concerné par cette gestion de crise sur le long terme car ce type de réacteur produit peu d'éléments radioactifs à vie longue (ex. Cesium137) Dans cette hypothèse, l'ILL se concentre donc sur la gestion de la crise à court terme.

Principe général de sûreté : La sûreté est envisagée dès la conception et au cours de l'exploitation de l'installation en combinant une conception la plus sûre possible et en envisageant les

¹⁶ <http://www.asn.fr/index.php/S-informer/Actualites/2012/Gestion-post-accidentelle-d-un-accident-nucleaire>



défaillances possibles. Ces scénarii de défaillance peuvent justifier des mesures préventives pour empêcher la défaillance et/ou des modes gestion d'incidents en cas de défaillance.

Les fonctions de sûreté sont :

- La maîtrise de la réactivité (notamment par le système d'arrêt d'urgence du réacteur constitué de barres absorbantes de neutrons)
- La maîtrise du refroidissement ;
- La maîtrise du confinement ;
- Le Poste de Contrôle de Secours (PCS) pour son importance dans la gestion des incidents graves.

1.2 Aléas naturels pouvant affecter le réacteur ILL

Aléa sismique. La cluse de l'Isère est située en zone de sismicité modérée. Les principaux séismes historiques à proximité sont : - séisme proche : Corrençon 1962 (magnitude 5,2, profondeur 7km) ; - séisme lointain : Allemont (zone Belledonne) datant de 1881 (magnitude 5,6, profondeur 23km, distance épacentrale 12km).

Un effet de site amplificateur lié au remplissage alluvial est caractérisé depuis la fin des années 90 par les scientifiques. Cet effet est surtout fort à basse fréquence mais encore mal connu dans son hétérogénéité locale. Le long du massif de Belledonne, une faille de grande extension (80km), non exprimée en surface et donc non cartographiée par les géologues, a été mise en évidence par l'enregistrement de séismes alignés géographiquement et présentant le même mécanisme au foyer. Si cette faille jouait simultanément sur toute sa longueur, elle pourrait produire un séisme de plus forte magnitude que les séismes historiques de référence.

Aléas hydrauliques : crues naturelles La cluse de l'Isère est également exposée aux crues de l'Isère et de l'ensemble Drac+Romanche. Pour l'Isère, la référence réglementaire est la plus forte crue historique connue (crue de 1859 puisque celle-ci est d'intensité supérieure à la crue centennale).

1.3 Aléas technologiques pouvant affecter le réacteur ILL

Le rapport de l'ILL «RHF n°399 Evaluation Complémentaire de la Sûreté au regard de l'accident de Fukushima » (<http://www.ill.eu/fr/reacteur-securite-environnement/securite/suites-de-fukushima-les-evaluations-complementaires-de-surete/>) liste l'ensemble des établissements industriels, ayant une activité nucléaire ou non qui environnent l'ILL. Au sein de cet environnement industriel, le rapport liste les

Installations pouvant générer un danger pour l'ILL :

- L'autoroute A480 qui longe le site à l'Ouest, le long du Drac et qui se trouve en remblai par rapport au niveau moyen des terrains du site,
- La gare de triage SNCF située à Saint Martin Le Vinoux par où transitent différents produits chimiques,
- Un gazoduc alimenté en gaz naturel est implanté sous l'Avenue des Martyrs, jusqu'à l'ancienne usine à gaz, cette dernière longeant le Polygone Scientifique sur sa partie Est,



- Deux gazoducs et un oléoduc reliant Feyzin à la zone industrielle sud de Grenoble :
 - un gazoduc de propylène liquéfié,
 - un gazoduc d'éthylène liquéfié,
 - un oléoduc de produits pétroliers finis.
- Tous les barrages en amont de Grenoble sur les bassins de l'Isère et du Drac sont susceptibles, en cas de rupture, de provoquer des crues. Les sept principaux barrages sont les suivants :
 - Tignes, Roselend et Bissorte pour l'Isère,
 - Chambon et Grand'Maison pour la Romanche,
 - Sautet et Monteynard pour le Drac

1.4 Les couplages en jeu

Modalités de couplage aléas naturels – risque nucléaire

- Hydro – nucléaire :

La submersion du site ILL peut solliciter mécaniquement des bâtiments ou des équipements extérieurs de l'ILL, et éventuellement provoquer l'envoyage de certaines salles ou condamner des accès. Par là, la submersion du site de l'ILL pourrait affecter la capacité de son personnel à contrôler le fonctionnement du réacteur.

- Sismo-nucléaire :

Un séisme, par les vibrations (accélération du sol) qu'il provoque, peut endommager la structure du bâtiment ou certains équipements d'exploitation et de contrôle (enceintes, réseaux...).

Dans tous les cas, le phénomène naturel joue le rôle d'initiateur de dysfonctionnement et certains équipements du site peuvent se trouver mobilisés dans un rôle d'agresseur envers d'autres parties de l'installation, dans un enchaînement complexe d'interactions.

2 Mode de prise en compte des risques couplés

Normes et évaluations de sûreté

L'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) édicte périodiquement des Règles Fondamentales de Sûreté (RFS), qui ont valeur de recommandations et non de prescription réglementaires. Elles concernent aussi bien les agressions internes qu'externes. Une réévaluation décennale de sûreté est programmée avec l'ASN, sur un périmètre à définir (agressions externes, internes, un mix des deux) en fonction des évolutions réglementaires et de l'évolution des connaissances sur l'aléa local.

2.1 Prise en compte de l'aléa sismique sur l'ILL.

L'ILL a été construit en 1967 en respectant les normes parasismiques en vigueur à l'époque. Les règles Fondamentales de Sûreté édictées par l'ASN en 1981 puis 2001 reposent sur le principe de dimensionnement suivant :



- Découper la zone environnant le réacteur en zones de potentiel sismotectonique homogène, sur la base de critères géologiques et sismologiques ;
- Estimer les plus forts séismes historiques dans ces « zones sismotectoniques »,
- Définir le « Séisme Maximum Historiquement Vraisemblable » (SMHV) en considérant un ou plusieurs évènements et en simulant le cas le plus pénalisant pour le site d'étude (en termes d'accélération du sol) par différentes hypothèses de localisation de l'épicentre.
- Le séisme de dimensionnement, appelé « séisme Majoré de Sécurité » (SMS), est obtenu en majorant la magnitude du « Séisme Historique Maximum Vraisemblable » (SHMV) d'une valeur de 0,5.
- Le SMS est caractérisé par un spectre de réponse médian calculé au moyen d'une loi de prédiction préconisée par la RFS

Pour l'ILL, le cas dimensionnant est celui du séisme de 1962 à Corrençon, majoré de 0,5 en magnitude et ramené à 7km sous le site.

En 2002, la réévaluation de sûreté à l'ILL a été consacrée au thème du séisme, avant la révision du zonage sismique national, parce que cet aspect n'avait pas été ré envisagé depuis les années 70. Le début de la réflexion date des années 90 : besoin de vérifier la conformité de certaines structures avec les nouvelles règles fondamentales de sûreté édictées par l'ASN. Cette réflexion a entraîné la réalisation d'un programme de travaux de génie civil de 35M€ pour renforcer les structures béton internes du bâtiment réacteur (dalles support des piscines). Outre la structure du bâtiment, les équipements importants pour la sûreté ont été vérifiés par calcul et renforcés si besoin.

2.2 Prise en compte de l'aléa hydraulique sur l'ILL

Crue naturelle

La crue de référence de 1859 a été considérée dans le rapport de sûreté pour le dimensionnement du site par une cote de crue locale à 210.50m (soit environ 1m au-dessus du terrain naturel) mais sans hypothèses dynamiques (courant, impacts...). Les points stratégiques sont de garantir l'étanchéité du réacteur et de la salle de contrôle déportée (salle de secours, qui a été enterrée pour se prémunir des radiations en cas d'accident et a été dimensionnée à la crue au niveau 210.5)

Rupture de barrage : une règle fondamentale de sûreté de l'ASN antérieure à Fukushima recommandait déjà la prise en compte de la rupture du barrage la plus pénalisante, mais cette demande n'avait pas encore été prise en compte en mars 2011 (De ce fait le poste de secours serait noyé dans une telle situation). La méthodologie conseillée par l'ASN était de majorer de 15% les résultats de l'étude hydraulique spécifique pour prendre en compte l'incertitude relative à ce type d'écoulement brutaux.

3 L'évolution récente de cette prise en compte



Après la catastrophe de Fukushima (11 mars 2011), l'Autorité de Sûreté Nucléaire a demandé aux exploitants de réacteurs nucléaires de mener des Etudes Complémentaires de Sécurité (ECS). Ces études activent des processus de réévaluation existants, mais avec un périmètre différent en terme d'agressions internes et externes : seront envisagés des scénarii très pénalisants même s'ils sont très peu probables : passage d'une logique de dimensionnement face à des sollicitations probables à une logique de résilience sous sollicitations extrêmes plausibles. On se reportera pour un maximum de détails au rapport RHF n°399 de l'ILL « Evaluation Complémentaire de la sûreté au regard de l'accident de Fukushima », consultable sur internet (<http://www.ill.eu/fr/reacteur-securite-environnement/securite/suites-de-fukushima-les-evaluations-complementaires-de-surete/>)

3.1 Volet sismique de l'Etude Complémentaire de Sûreté à l'ILL

La démarche ECS consiste à interroger la sûreté de l'installation face au « plus fort séisme plausible ». C'est une hypothèse plus pénalisante que la démarche de sûreté de dimensionnement déjà exposée (Séisme Maximum de Sécurité SMS déterminé en majorant de 0,5 la magnitude du « Séisme Historique Maximum Vraisemblable » (SHMV) dans la zone géotectonique du réacteur.

La détermination des niveaux de séisme plausibles a fait l'objet d'un débat au sein du Groupe Permanent d'experts qui s'est tenu pour examiner les ECS des exploitants nucléaires (EDF, AREVA, CEA, ILL). Dans son ECS, l'ILL a proposé de retenir le spectre « SMS+sigma », c'est à dire le spectre médian majoré d'1fois l'écart type, qui correspond à un évènement de temps de retour probabiliste T=10000ans. L'ILL a été le seul exploitant à proposer cette option, les autres exploitants ayant plutôt basé leur démonstration sur l'existence de marges dans la définition du SMS. Cette dernière position n'a pas du tout été partagée par les experts séisme de l'IRSN. Suite à ce Groupe Permanent, il a été demandé aux exploitants de définir un « noyau dur » d'équipements de prévention, de mitigation et de gestion de crise dimensionné forfaitairement au-delà du SMS. C'est donc à chaque exploitant de proposer son niveau forfaitaire. Si l'on semble s'orienter vers 1,5 SMS, conformément à la proposition ouverte de tous les exploitants, ni le Groupe Permanent, ni l'ASN n'ont encore statué sur ce point. L'IRSN reste sur sa position d'un niveau supérieur, qui doit être justifiée.

3.1.1 Modalités et résultats de l'Etude Complémentaire de Sûreté / sismique à l'ILL

Pour estimer ce « plus fort séisme plausible », l'ILL s'est tourné vers les scientifiques Grenoblois d'Isterre. Il a été retenu comme « séisme ultime plausible » le niveau SMS +sigma, caractérisé par le spectre médian plus un écart type (ce qui correspond à un facteur 2 environ). Le SMS +sigma a été comparé au spectre correspondant à un séisme mettant en jeu l'ensemble de la faille de Belledonne (longue de 80km), soit un séisme de magnitude 7,3 à une distance de 15km du réacteur : il s'agit du séisme maximum physiquement possible (SMPP). Les accélérations simulées sur le site sont comparables, sauf à basse fréquence où l'hypothèse SMPP est plus pénalisante. Pour le bâtiment réacteur (fréquence propre de 3Hz), une étude a montré que le dimensionnement SMS+ σ de l'ILL reste cependant satisfaisant.

3.1.2 Mesures de prévention adoptées à l'ILL suite à l'Etude Complémentaire de Sûreté / sismique



Chaque exploitant d'installation nucléaire (EDF, CEA, AREVA, ILL) doit définir un « noyau dur » d'équipements de prévention, de mitigation et de gestion de crise dimensionné forfaitairement au-delà du SMS La proposition de l'ILL est :

- Dimensionner les équipements du noyau dur à une sollicitation de 1,5 SMS
Vérifier que ces équipements présentent une marge de dimensionnement leur permettant de couvrir le niveau ultime plausible, c'est-à-dire SMS+sigma.

Les propositions des exploitants seront instruites lors d'un Groupe Permanent, dans cette attente, l'ILL a entrepris certains travaux, notamment ceux du nouveau poste de secours en retenant un niveau de dimensionnement à SMS+sigma, en accord avec l'ASN.

3.2 Volet hydraulique de l'Etude Complémentaire de Sûreté à l'ILL

La démarche a porté uniquement sur la prise en compte du risque de rupture de barrage.

Comme indiqué plus haut, une Règle Fondamentale de Sûreté de l'ASN antérieure à Fukushima préconisait déjà la prise en compte du cas le plus pénalisant de rupture de barrage, mais elle n'avait pas encore été prise en considération. Après Fukushima, l'ASN demande une Etude Complémentaire de Sûreté qui aille bien au-delà des préconisations RFS existantes en considérant le cas maximum plausible.

3.2.1 Modalités et résultats de l'Etude Complémentaire de Sûreté / hydraulique à l'ILL

Choix du scénario maximum vraisemblable

Le choix du scénario maximum vraisemblable a fait l'objet d'une intense négociation.

Les experts de l'IRSN ont d'abord demandé de considérer la rupture simultanée de tous les barrages sur l'Isère et le Drac (et leurs affluents) en amont de Grenoble.

L'ILL a lors développé l'argumentation suivante sur la plausibilité d'un tel scénario : « *La rupture simultanée de barrages ne peut s'envisager avec vraisemblance que comme une conséquence d'un séisme. Pour l'ILL qui ne dispose pas d'informations sur la conception et la réalisation des barrages, il est impossible de caractériser leur résistance aux séismes, mais on peut admettre par hypothèse la rupture d'un barrage sous l'effet du séisme maximum vraisemblable proche de lui. Si, pour des raisons de proximité géographique, on peut envisager la rupture du barrage du Monteynard en cas de très fort séisme sur la faille de Belledonne, cela est plus difficilement envisageable pour une rupture en cascade des 4 barrages du Drac. Et a fortiori, quel séisme vraisemblable serait-il susceptible de provoquer également la ruine des barrages sur les affluents de l'Isère, jusqu'au barrage de Tignes distant de 150km ?* »¹⁷

Il a alors été décidé de considérer comme scénario extrême, retenu pour le dimensionnement du noyau dur, la rupture simultanée des 4 barrages sur le Drac et ses affluents, mais en abandonnant la majoration de 15% initialement préconisée (au titre de l'incertitude) par l'ASN pour l'évaluation des

¹⁷ Citation tirée de communication orale PARN-ILL en date du 18-10-2012



ondes de submersion en cas de rupture de barrage dans sa RFS antérieure à Fukushima. Cette proposition de l'ILL d'abandonner la majoration forfaitaire « incertitude » pour l'estimation du scénario extrême sera discutée lors du Groupe Permanent d'avril 2013 qui se penchera sur les propositions des exploitants concernant leur « noyau dur ». Le scénario de rupture du barrage de Monteynard, en adoptant la majoration de 15% sur les niveaux atteints reste quand à lui le scénario de dimensionnement de l'ensemble de l'installation

Résultat de l'étude ECS hydraulique à l'ILL

L'étude du scénario forfaitaire de rupture en cascade des 4 barrages du Drac a été menée très rapidement (2 mois d'été) en profitant de la proximité et de la réactivité de la société Sogreah.

Les calculs aboutissent à une cote maximale sur le site supérieure d'environ 6m à la cote de référence retenue pour le risque hydraulique naturel (216,20 contre 210,50). Ce résultat est également proche (+20cm) de celui obtenu en considérant la rupture brutale seule du barrage du Monteynard avec la marge de sécurité de 15% (216)

3.2.2 Mesures de prévention adoptées à l'ILL suite à l'Etude Complémentaire de Sûreté / hydraulique

Tous les renforcements prennent en compte le scénario extrême de cumul d'un séisme et de rupture des 4 barrages, il y a effectivement des travaux qui sont plus liés à l'un des deux risques, mais globalement c'est l'ensemble des deux types de sollicitation qui est pris en compte pour tous les dimensionnements. Le coût de l'ensemble des renforcements post-Fukushima est de 15M€.

- Reconstruction en hauteur du poste de contrôle après étude précise de l'écoulement dynamique entre les bâtiments du polygone (les tourbillons provoquent des affouillements)
- Renforcement du circuit hydraulique de secours (leçon de Fukushima !) : 2 puits de pompage dans la nappe réalisés en remplacement du dispositif antérieur de siphonage du Drac).
- L'Information préventive a emprunté le canal habituel de la Commission Locale d'Information (<https://www.isere.fr/Environnement/prevenir-et-gerer-les-risques/les-commissions-locales-d-information/CEA-ILL>). On y trouve notamment le calendrier des études engagées et réponse à l'interrogation de l'ASN (<https://www.isere.fr/Documents/environnement/CLI%20ILL-%2013-05-2011.pdf>)

3.3 Perspectives de la ré-évaluation de sûreté décennale en 2017

Sismique : Une réflexion est en cours (projet Cashima) entre le CEA, l'ILL et les scientifiques universitaires d'Isterre pour mieux caractériser l'effet d'amplification par le remplissage alluvionnaire (« effet de site »). L'idée est d'essayer de bâtir une évaluation robuste malgré des méthodes peu homogènes au niveau international en améliorant les données de sous-sol, et en comparant les résultats obtenus avec différentes méthodes.



4 Questions soulevées

Approche probabiliste / déterministe

Au départ dans l'Etude Complémentaire de Sûreté (ECS) post Fukushima, la démarche a été déterministe et forfaitaire, avec l'examen de scénarii de perte des fonctions de sûreté (une par une ou de manière cumulée), indépendamment de la probabilité des causes possibles de ces scénarii. Dans le domaine du couplage avec les risques naturels, la démarche a consisté à retenir des scénarii de risque maximum plausibles pour les agressions externes que sont les séismes ou les ruptures de barrages (aléa anthropique qui produit un risque maximum de submersion), sans considération de temps de retour pour choisir ces scénarii.

Cependant, la question s'est posée d'introduire une démarche probabiliste afin de quantifier l'aspect « plausible » des séismes extrêmes envisagés : Il y a donc eu débat au sein du groupe permanent d'expert au sujet de la prise en compte de l'incertitude, pour la définition et la stabilisation de la période de retour de l'aléa de référence¹⁸. A ce jour, la question n'a toujours pas été arbitrée définitivement.

Expertise

Dans le cas général, l'ILL réalise lui-même ses propres études et calculs, ou fait appel à des sociétés spécialisées. Ces calculs sont ensuite expertisés par l'Institut de Recherche sur Sûreté Nucléaire, sur saisine de l'ASN. Il n'est pas courant de faire appel à différents avis pour une expertise collégiale ou contradictoire. Cela pourrait être envisagé « *éventuellement sur des calculs très délicats ?* » (communication orale, entretien PARN-ILL 18-10-2012).

Dans le cadre de l'Etude Complémentaire de Sûreté, les modélisations hydrauliques de l'onde de submersion provoquée par la rupture des barrages a été sous-traitée à l'entreprise Sogreah « *dont l'expertise est reconnue, qui est proche de nous et qui a été très réactive* » (communication orale, entretien PARN-ILL 18-10-2012).

Dans le cadre de l'Etude Complémentaire de Sûreté, l'estimation du « Séisme maximum Plausible » a été réalisée en partenariat avec les scientifiques universitaires d'Isterre. Il s'agit là de la mobilisation d'un réseau scientifique personnel des responsables de la sûreté de l'ILL. Ces liens opérationnels avec le monde de la recherche scientifique sont nourris des projets de recherche en commun.

Questions transversales de cohérence territoriale de la prise en compte des risques majeurs posées par l'ECS à l'ILL

Dans une vision plus transversale du scénario extrême sur la cuvette grenobloise, la question de la cohérence du scénario nucléaire-hydraulique, au regard de l'aléa chimique (zone SEVESO

¹⁸ Deux options ont été discutées : considérer le spectre médian (option « SMS », correspondant à un événement de temps de retour probabiliste T=5000ans) ou bien, comme le préconisait l'ILL, le spectre médian majoré d'1 fois l'écart type (option « SMS+ σ », correspondant à un événement de temps de retour probabiliste T=10000ans). Le CEA s'est opposé à cette option « SMS+ σ », estimant que l'incertitude est déjà prise en compte dans le dimensionnement par la « surcote » de 0,5 degrés de magnitude entre SMHV et SMS.



grenobloise) se pose. Dans ce cadre, l'intégration des industriels dans la démarche ECS prenant en compte le scénario de rupture des 4 barrages, avec impact des rejets des usines chimiques balayées par la vague de submersion apparaît comme une question associée (puisque l'exposition du personnel de l'ILL à ces impacts pourrait affecter la gestion humaine du réacteur).

Vis-à-vis de ces questions, l'ILL considère que la prise en compte des impacts chimiques est déjà intégrée dans le scénario actuel : dans le noyau dur, de nombreux systèmes et moyens passifs et automatiques sont en effet dimensionnés pour ce scénario extrême et permettront d'éviter l'accident grave sur le cœur, ou d'en limiter les conséquences, même sans intervention humaine. Toutefois, l'ILL réfléchit, à la demande de l'ASN de mettre en place des dispositions pour se protéger d'éventuels rejets chimiques.

Références

- «RHF n°399 Evaluation Complémentaire de la Sûreté au regard de l'accident de Fukushima », <http://www.ill.eu/fr/reacteur-securite-environnement/securite/suites-de-fukushima-les-evaluations-complementaires-de-surete/>
- Commission Locale d'Information (<https://www.isere.fr/Environnement/prevenir-et-gerer-les-risques/les-commissions-locales-d-information/CEA-ILL>). On y trouve notamment le calendrier des études engagées et réponse à l'interrogation de l'ASN (<https://www.isere.fr/Documents/environnement/CLI%20ILL-%2013-05-2011.pdf>)
- Communication orale, entretien PARN (JM vengeance)-ILL (V. Caillot) (18-10-2012), échanges pour validation (décembre 2012)

E Conclusions, discussions et perspective

La conclusion de ce travail exploratoire sur la notion de risques couplés est structurée en trois temps. Tout d'abord, nous proposons une vue synthétique des résultats présentés et des éléments de conclusion. Ensuite, nous les discuterons pour tenter de dégager les principaux questionnements soulevés. Enfin, nous ouvrirons en perspective le débat sur une notion associée et fertile, à savoir celle de la résilience.

Présentation synthétique des résultats et éléments de conclusion

Sur la problématique du couplage, le tableau suivant permet de confronter certains éléments d'analyse, issus des études de cas, afin d'en tirer des éléments communs sur la définition des couplages et des risques couplés.

Etudes de cas	Couplages étudiés	Typologie de risques couplés	Acteurs en charge de caractériser les couplages	Niveau actuel de caractérisation des couplages
Cas d'étude				
Ruines de Séchilienne	Forçages Hydraulique et sismique Aléa Géologique/Aléa Hydraulique Aléa Hydraulique/Aléa technologique	Risques Naturels/Risques technologiques	Expertise publique (cellule d'experts) et service techniques publics (comité d'expert, CETE-DDT-Symbhi)	Fort
Glacier de Tête Rousse	Aléa glaciaire/Aléa torrentiel	Risques naturels complexes	Expertise scientifique publique (LGGE) et technique (RTM)	Faible
Glacier de Taconnaz	Forçage climatique Aléa glaciaire/Aléa Avalanche	Risques naturels complexes	Expertise scientifique publique (LGGE, IRSTEA) et technique (RTM)	Moyen à très faible
Aléas naturels sur le réacteur nucléaire ILL	Aléa sismique/Aléa nucléaire Aléa hydraulique/Aléa nucléaire Aléa sismique/rupture de barrage/ Aléa hydraulique/Aléa nucléaire	Risques naturels / risques nucléaires Cas particulier de : Risques naturels/Risques technologiques	Exploitant nucléaire public (ILL), expertise publique (ASN, IRSN,) expertise privée (SOGREAH) Expertise scientifique publique (ISTerre)	Très fort

Tableau récapitulatif sur les couplages



Couplage ou forçage ?

Les cas analysés montrent qu'il est nécessaire de distinguer ce qui est de l'ordre du forçage, de ce qui relève du couplage.

Les forçages

L'instabilité du versant rocheux de Séchilienne comme celle du glacier de Taconnaz subissent des forçages extérieurs qui « pilotent » leurs mouvements ou leur dangerosité. Ces forçages peuvent se manifester à différentes échelles de temps et de manière plus ou moins aigue ou diffuse.

A l'échelle de temps court (semaines, mois, années), le forçage météorologique du mouvement à Séchilienne se manifeste par des accélérations lors de périodes très pluvieuses. A Taconnaz, le risque qu'une grosse avalanche soit déclenchée par une chute de sérac est conditionné par la présence d'un épais manteau neigeux mobilisable, donc des conditions météorologiques de la période précédente.

A l'échelle de temps long (décennies, siècles), les forçages climatiques créent les conditions générales d'apparition d'un phénomène potentiellement destructeur. A Séchilienne, l'illustration de ce forçage « temps long » est l'hypothèse de l'activation de cette instabilité de versant lors du précédent optimum climatique post-glaciaire qui est suggérée par les datations isotopiques des escarpements rocheux du versant (Le Roux et al., projet SLAMS). A Taconnaz, le forçage climatique pourrait se manifester sous la forme d'une déstabilisation étendue du glacier de Taconnaz par réchauffement de sa base sous l'effet du réchauffement climatique.

Dans une optique de « temps court », les phénomènes qui exercent un forçage (météorologique par exemple) sur un aléa naturel donné ne constituent donc qu'une des composantes de l'aléa étudié. Mais pour autant, dans une perspective de temps long, les forçages climatiques invitent à se poser la question de l'émergence de nouveaux aléas qui pourrait accompagner des changements environnementaux de long terme comme le changement climatique.

Les couplages

Parallèlement, les analyses ont permis d'identifier avec plus de précision ce qui pouvait être défini comme un couplage. En effet, les différentes études de cas montrent que l'on peut parler de couplages lorsque la réalisation d'un premier aléa « amont » (dans le temps comme parfois dans l'espace) impacte un second élément (milieu ou enjeu) qui à son tour, sous l'effet de ce premier impact, génère un second type d'aléa. Cet aléa résultant, de nature différente du phénomène amont « initiateur », peut selon les cas avoir une intensité ou une gravité supérieure à celui-ci.

Le second élément du couplage présente donc de manière intrinsèque un potentiel destructeur qu'il s'agit de caractériser à son tour en terme d'aléa dans les conditions du couplage. Par exemple, pour le cas du réacteur nucléaire (dans une problématique de couplage et donc de réflexion post Fukushima) la réflexion ne porte pas uniquement sur la dangerosité intrinsèque du réacteur, mais bien aussi sur la question de savoir si cette dangerosité peut encore être maîtrisée dans le cas où le plus fort aléa hydraulique et/ou sismique envisageable de manière plausible venait impacter le réacteur.

La caractérisation des risques couplés

Ainsi, si l'on peut parler de **typologie de risques couplés** pour l'ensemble de ces cas d'étude, c'est par l'imbrication ou l'enchaînement de phénomènes qui, mis en interaction, génèrent un potentiel de destruction nouveau. Celui-ci est difficilement caractérisable, puisqu'il met en jeu des éléments qui une fois couplés cumulent leurs dangerosités, ou en déploient de nouvelles, en démultipliant également les incertitudes associées.

Dans le cas des risques d'origine glaciaire, nous parlerons de risques complexes, car même en l'absence d'activités technologiques couplées à l'aval, ils mettent en jeu des couplages entre phénomènes naturels complexes à appréhender. De ce fait, ces aléas sont généralement difficiles à caractériser (nature des impacts, leur gravité, leur spatialisation...).



Ainsi, il existe une diversité importante de risques couplés. Ils se caractérisent non plus seulement par le croisement d'un phénomène perturbateur avec des enjeux passifs et inertes (cf. définition canonique du RISQUE = ALEA X VULNERABILITE ; Unesco, 1997), mais par le croisement entre des aléas, des milieux et des activités qui génèrent des phénomènes destructeurs lorsqu'ils entrent en interaction

De façon générale, l'ensemble des cas d'étude montre que les risques couplés tendent à rentrer dans la catégorie des « risques majeurs », définis par l'ampleur des phénomènes envisagés et l'importance des dégâts potentiels, ainsi que par leur faible probabilité d'occurrence, mais aussi par la grande difficulté à empêcher qu'ils se produisent.

Le principe actif des catastrophes potentielles se situe alors à différents niveaux et doit nécessairement être appréhendé dans une perspective systémique.

En effet, tout l'enjeu de la prévention réside alors dans la capacité d'identification des couplages, puis de caractérisation des phénomènes générés par les interactions. En matière de risques couplés, la dangerosité ne se situe donc plus au seul niveau des événements déclencheurs, mais doit être envisagée à l'échelle de chaque couplage identifié. C'est notamment le cas au niveau du risque géo-hydraulique, ou bien du scénario de rupture de barrage dû à un séisme en amont du réacteur de l'ILL. Quelle que soit la nature des couplages identifiés, un des problèmes majeurs réside dans l'estimation de l'incertitude globale : en effet l'incertitude associée à chaque paramètre, déjà souvent difficile à quantifier, se propage au niveau de chaque couplage et augmente ainsi de façon importante.

La question des acteurs et de la capacité de caractérisation des couplages est fondamentale.

Quel que soit le consortium d'expertise mobilisé, la question des couplages constitue une préoccupation centrale pour ces acteurs en charge de caractériser le risque, dans une optique de gestion. Une des raisons majeures est, comme le montrent les études de cas, qu'il n'existe pas aujourd'hui de méthodologie générale, standardisée pour la gestion de ces types de risques dès lors que des couplages entrent en jeu. En particulier, les approches classiques – déterministes ou probabilistes – sont limitées par l'enchaînement des « effets-cascade » et par le caractère majoritairement non reproductible de ces enchaînements, ce qui les rend difficilement probabilisables.

En effet, pour ce type de risques, il demeure une incertitude « irréductible » inhérente à la caractérisation de tels aléas couplés. Cette incertitude ne permet pas d'évaluer le risque de manière fiable avec une approche déterministe classique. Ces caractéristiques sont une source de difficultés particulières en matière de prise en compte et de gestion de ces risques couplés.

Au-delà des capacités techniques, scientifiques, méthodologiques pour appréhender les risques couplés, les études de cas montrent la nécessité d'une bonne articulation entre des approches multi acteurs et multi compétences. En effet, et nous reviendrons sur ce point en abordant les questions soulevées par ces études de cas, l'approche et la gestion des risques couplés nécessitent une forte spécialisation et de l'interdisciplinarité pour espérer approcher la complexité des situations.

En cela, il est important de relever que sur l'ensemble des cas d'étude (à l'exception de Séchilienne et du dernier projet ANR SLAMS), les entreprises de caractérisation, d'évaluation et de gestion de ces risques couplés ont largement fait appel à des modalités d'expertise hybride : technique (exploitation, gestionnaire) et scientifique (universitaire). Ceci montre que ce type de risque nécessite des développements scientifiques encore importants afin d'être pris en compte de manière plus efficace et systématique.



Toutefois, les études de cas (en particulier ILL, Séchilienne) montrent que la prise en compte des couplages peut amener les acteurs à reconsidérer la définition de l'aléa de référence. Le recours à des arbitrages et des compromis sur un risque acceptable peut alors s'avérer nécessaire sur la base de nouvelles interrogations ou de nouveaux travaux permettant de mieux appréhender ces couplages. Trois aspects des risques couplés poussent particulièrement aux arbitrages et aux compromis : l'importance des enjeux potentiellement exposés, la forte incertitude inhérente à ces risques et les capacités techniques opérationnelles et organisationnelles de gestion actuelles.



Discussion et questionnement

A la lecture de ces différentes études de cas, différentes questions apparaissent.

- ***La prise en compte des risques couplés est-elle un plaidoyer pour plus d'interdisciplinarité ou bien au contraire pour plus de spécialisation disciplinaire dans la connaissance des risques ?***

Les différentes études de cas montrent à quel point penser les risques couplés revient à privilégier une lecture de la complexité associée à ces risques. L'univers d'incertitude qui caractérise ces risques, comme leur caractère systémique, milite en effet pour davantage de prise en compte pluridisciplinaire, globale et transversale. Toutefois, comme le montrent les études sur les risques d'origine glaciaire ou sur le cas de l'ILL, les couplages disciplinaires, même s'ils sont identifiés et recherchés, ne suffisent pas toujours pour aboutir à une connaissance exhaustive.

Ainsi, parallèlement à une approche globale et interdisciplinaire et compte tenu de la complexité des processus en jeu, un besoin croissant de spécialisation est aussi attendu afin d'avancer sur la connaissance et ainsi réduire les marges d'incertitudes.

Par ailleurs, l'ensemble des études de cas montre à quel point la seule sphère experte et scientifique, plutôt centrée sur la connaissance des phénomènes potentiellement destructeurs n'appréhende que marginalement la question des enjeux et de leur vulnérabilité spécifique. Or, les couplages existent bel et bien aussi dans le caractère systémique de la vulnérabilité. En ce sens, l'apport des sciences humaines et sociales doit être encouragé pour compléter l'excellence scientifique de la démarche de prévention.

- ***Les risques couplés préfigurent-ils un nouveau type de risque collectif, ou sont ils simplement une manière contemporaine d'interroger nos modes de développement et de mise en sécurité ?***

Cette question est importante dans la mesure où sa réponse détermine en grande partie la capacité d'appréhension et donc de gestion de ces risques par la société. En ce sens H. Tazieff définissait les risques majeurs comme un événement d'une gravité très élevée mais d'une probabilité d'occurrence très faible. La catastrophe engendrée par la réalisation de ce risque provoque une situation de crise telle que "la société se trouve dépassée par l'immensité du désastre". Dans son approche scientifique des risques collectifs, C. Gilbert (CNRS) plaide davantage pour des construits sociétaux, que pour des données physiques, naturelles. Fruits d'arbitrages méthodologiques, politiques et financiers, les risques se construisent et se comprennent dans des contextes particuliers. Etroitement liés au mode de développement et au mode de fonctionnement de la société, ces risques sont donc manufacturés et imposent une certaine modernité réflexive (U. Beck, 2001). En s'appuyant sur ces postulats, les risques couplés n'échappent en rien à cette acception endogène des risques qui au delà de la dimension exogène des phénomènes en jeu (risques naturels notamment) se caractérisent tout d'abord, et surtout, par l'exposition et la sensibilité des sociétés qui les produisent en partie. Si les grandes catastrophes telles que Fukushima, AZF ou Xynthia illustrent par leur ampleur le caractère spectaculaire, la dangerosité et la soudaineté des phénomènes en jeu, toutes ces catastrophes s'inscrivent dans une certaine histoire de l'aménagement du territoire, de l'urbanisation et des niveaux de peuplement. A la question de savoir si les risques couplés préfigurent un nouveau type de risque, nous pouvons déjà répondre à minima qu'ils accentuent une tendance à l'exposition croissante de nos sociétés, et demandent parallèlement un effort scientifique qualitatif dans la manière de les appréhender.



Ouverture et perspective

A l'instar de sa racine latine (*Risilio*, qui signifie rebondir), le terme de résilience marque un nouveau rebond ou glissement conceptuel et paradigmatique sur le risque, entendu comme objet scientifique, décisionnel et opérationnel. Cette notion émerge fortement depuis quelques années, notamment parce qu'après l'âge de la maîtrise, de la lutte contre les risques, la société entre aujourd'hui dans l'âge de la cohabitation, de l'acceptation et du « vivre avec » les risques.

La montée en puissance de la place de la vulnérabilité dans la prise en compte du risque

Un premier pas a été franchi, lorsque parallèlement aux notions de danger, de menace et d'aléa, celle de vulnérabilité est venue compléter le paysage conceptuel des risques. La première approche de l'action préventive, des catastrophes, des crises partait en effet d'une vision majoritairement externalisante du risque, orientée principalement sur la caractérisation de la menace potentielle et sur la maîtrise des processus physiques, techniques, biologiques et naturels. La notion de vulnérabilité a permis d'ajouter une dimension complémentaire en mettant l'accent sur l'état et les modalités d'exposition des enjeux sociétaux aux phénomènes dangereux potentiellement caractérisables, mais aussi sur leur sensibilité et leur fragilité. Elle a l'intérêt d'offrir dans cette perspective un point de vue systémique, intégrant les dimensions physiques, humaines, structurelles, organisationnelles et culturelles. Elle ouvre sur le risque des horizons nouveaux, en orientant vers leur gestion plutôt que vers leur maîtrise.

L'abandon réaliste de l'idéal de « maîtrise totale des risques »

Émergeants ou majeurs, certains risques, tels que les risques couplés comme nous avons pu les étudier dans ce rapport, dépassent largement les capacités techniques, organisationnelles et financières de la société. Or, la conceptualisation des risques couplés (même si comme nous l'avons vu elle n'est pas nouvelle), milite pour une vision plus globale, plus transversale des risques et des situations de crises potentielles, renouvelant ainsi le « cône des possibles » en matière de catastrophe. Comme le plaide, J.P. Dupuis dans son traité *Pour un catastrophisme éclairé* (2002) : penser les scénarii du pire dans une perspective de projet, c'est se donner la possibilité et les moyens de décider et d'agir pour mieux l'éviter. Avec cette vision de type projet et prospective des catastrophes, les risques couplés devraient être envisagés, identifiés et caractérisés pour s'en prévenir ou s'y préparer.

L'émergence d'un objectif de résilience de la société

C'est dans ce nouveau rapport aux risques que le concept de résilience prend tout son sens pour compléter l'approche encore peu développée des risques couplés.

Emprunté à la physique, repris par l'écologie et la psychologie, le terme s'est largement répandu dans le champ de la prévention, des accidents, des catastrophes et des crises, à l'échelle internationale, comme locale. La notion de résilience permet de discuter au sein des organisations (tant publiques que privées) de la gestion des dysfonctionnements ordinaires du quotidien. Connotée plus positivement que la vulnérabilité, la résilience met l'accent sur les capacités générales de résistance, de rebond et de régénération des systèmes.

Ce concept fait l'objet de développements scientifiques importants. En effet son caractère pluridisciplinaire permet de renouveler les échanges entre communautés scientifiques, avec des liens plus tenus avec les sphères décisionnelles et opérationnelles. C'est notamment le cas au niveau Rhône-alpin avec l'existence depuis 2011 d'un séminaire « résilience » (www.msh-alpes.fr/fr/mots-cles/resilience) mis en place sous l'égide de l'axe scientifique « risques collectifs, vulnérabilités et résilience » associant différentes institutions universitaires et scientifiques grenobloises (UJF, UPMF,



INPG, MSH-Alpes, PARN,...). Dans la lignée de ces travaux qui ont abordé aussi bien la résilience du quotidien et celle associée aux grandes catastrophes, un colloque fin 2013 consacré à la notion de résilience devrait permettre de mettre en résonance sur un plan scientifique la question des risques couplés présentée dans ce rapport.

Souhaitant poursuivre cette réflexion en élargissant le cadre partenarial et scientifique, le PARN participera à l'organisation de ce colloque d'envergure nationale sous l'égide d'institutions universitaires rhônalpines (cf. Axe 2 de la convention région RA-PARN 2013).

Bibliographie

Beck U. (2001) : La société du risque. Sur la voie d'une autre modernité, Éditions Aubier, Paris, 522p

Dupuis, JP (2002) : Pour un catastrophisme éclairé, Seuil, 216p

Gilbert C. (2003) : La Fabrique des risques, PUF : Cahiers internationaux de sociologie. /1 - n° 114, 55-72

Kappes, M., Keiler, M., von Elverfeldt, K., and Glade, T. (2012): Challenges of analyzing multi-hazard risk: a review, Nat. Hazards, 64, 1925–1958

OECD (2012): Workshop on *Natech* Risk Management (Natural-hazard triggered technological accidents), 23-25 May 2012, Dresden, Germany