

# LA GESTION DU RISQUE D'ÉBOULEMENT DE MASSE A SECHILLENNE (FRANCE)

J.-L. Durville

Conseil général des Ponts et Chaussées, France

[jean-louis.durville@equipement.gouv.fr](mailto:jean-louis.durville@equipement.gouv.fr)

P. Pothérat

Centre d'études techniques de l'équipement, France

[pierre.potherat@equipement.gouv.fr](mailto:pierre.potherat@equipement.gouv.fr)

## RESUME

A quelques kilomètres de Grenoble, la route nationale 91 est menacée depuis une vingtaine d'années par un éboulement majeur. Les matériaux éboulés pourraient former un barrage naturel de la vallée, et la rupture de ce barrage par débordement et érosion rapide aurait des conséquences catastrophiques à l'aval. Les nombreuses études géologiques et hydrologiques qui ont permis d'évaluer correctement les risques sont évoquées. Les mesures de sécurité déjà prises et les parades en projet sont décrites, ainsi que la gestion du risque au jour le jour, basée sur une surveillance très performante du versant instable.

## 1. LA DECOUVERTE DU PROBLEME ET LES MESURES D'URGENCE (1980 – 1985)

En 1980, des chutes de blocs se produisent sur la route nationale RN 91, dans la vallée de la Romanche, à une vingtaine de kilomètres de la ville de Grenoble (figure 1). Le point de départ des blocs se situe 300 m au-dessus du fond de vallée, sur son versant nord, au lieu-dit « Les Ruines de Séchillienne », un peu en aval du village de Séchillienne. La RN 91 passe juste au pied du versant...

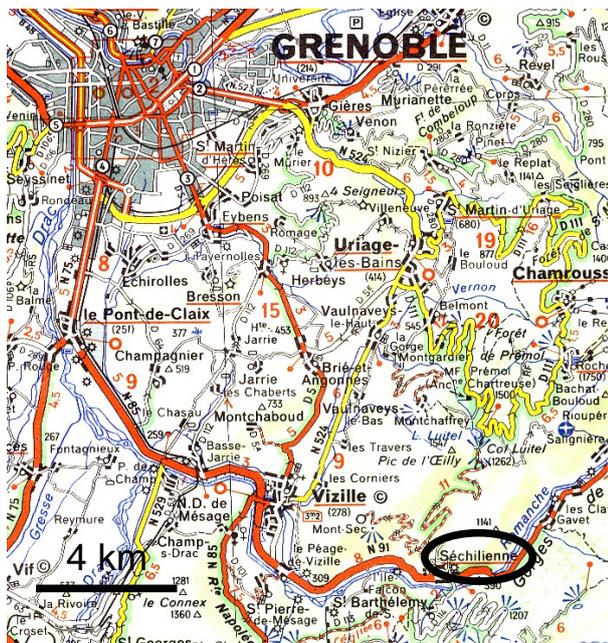


Figure 1 – Localisation (extrait de la carte Michelin)

Les chutes de blocs sont des phénomènes courants en zone de montagne, et celles-ci n'alertèrent pas particulièrement les autorités. Mais en 1985, de nouvelles chutes se

produisirent et la route fut fermée plusieurs jours. Une surveillance par guetteurs fut mise en place, visuelle le jour, auditive la nuit. Peu après, une protection par blocs de béton fut réalisée ; les blocs étaient surmontés de fils détecteurs reliés à des barrières et à des feux rouges aux extrémités de la zone dangereuse, longue d'une centaine de mètres.

Les premières reconnaissances géologiques montrèrent que la zone instable, peu accessible et boisée, ne se réduit pas à une seule falaise engendrant des chutes de blocs, mais englobe un volume rocheux de quelques millions de mètres cubes. La mise à l'étude d'une déviation de la route fut décidée.

## **2. LA SURVEILLANCE ET LA DEVIATION DE LA ROUTE (1985 - 1990)**

La gestion du risque a reposé dès les premières années sur un système de surveillance, associé à un plan de secours. Ce système, consistant initialement en des mesures manuelles géodésiques et extensométriques (câbles tendus au travers de fissures), a été progressivement développé et amélioré [1].

En 1985-1986, une déviation de la RN 91 est réalisée, qui passe en fond de vallée, au pied du versant opposé aux Ruines, avec ponts provisoires de part et d'autre de la zone exposée. Les convois exceptionnels continuent à passer sur l'ancienne route. Pour éviter les divagations de la rivière en cas d'éboulement barrant son cours, un chenal de dérivation est creusé ; il est protégé par un merlon de terre, supposé capable de retenir 4 hm<sup>3</sup> d'éboulis. Les ponts définitifs seront construits quelques années plus tard (figure 2).



Figure 2 – Vue depuis l'amont : le pont de la nouvelle route sur la Romanche et le couloir des Ruines

## **3. LES ETUDES GEOLOGIQUES ET L'EVALUATION DES RISQUES (1990 - 2000)**

Les études du versant instable se sont multipliées depuis les années 90 : photo-interprétation aérienne, levés de terrain, galerie de reconnaissance de 240 m de long (1994-1995), investigations géophysiques (méthodes électriques et sismiques),

modélisations numériques de la déformation du versant et de la propagation de l'éboulement.

Le phénomène se révèle très complexe. Il ne s'agit pas d'un glissement de terrain au sens habituel du terme, mais d'une déformation profonde du versant (le fond de la galerie de reconnaissance n'a pas atteint le rocher stable), principalement sous forme de basculement ou fauchage, affectant des gneiss et micaschistes anciens qui sont traversés par un ensemble de discontinuités datant des orogénies hercynienne et alpine. Les secteurs les plus actifs du versant sont parcourus de fissures qui s'ouvrent progressivement et d'effondrements localisés. Des chutes de blocs et petits éboulements se produisent plusieurs fois par an.

Le processus de déformation a sans doute commencé il y a une dizaine de milliers d'années, lors du retrait du glacier qui occupait la vallée. Il s'est accéléré depuis quelques décennies, peut-être par suite du développement d'une altération en profondeur des roches ou en relation avec la sismicité locale.

Les enregistrements des capteurs montrent des variations saisonnières de mouvement explicables par les pluies et fontes des neiges, sans que l'on comprenne bien le processus de la commande hydraulique (figure 3). La tendance pluriannuelle est une augmentation très progressive des vitesses.

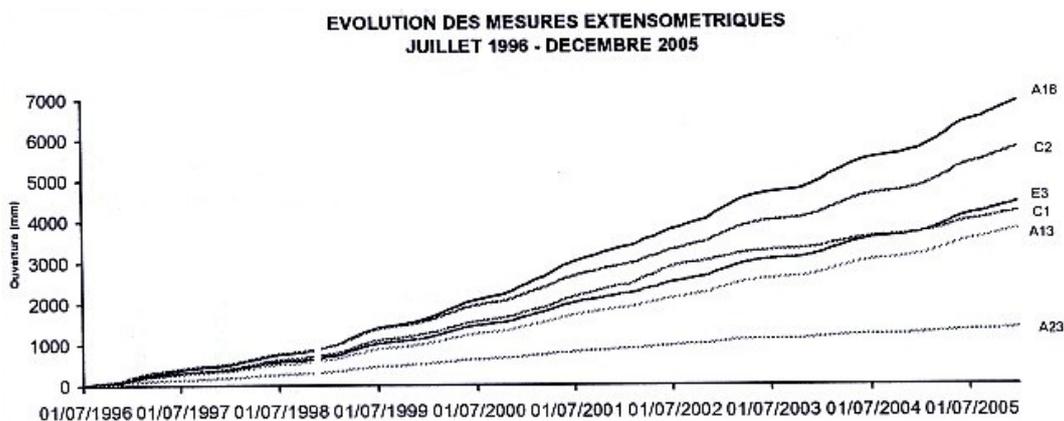


Figure 3 – Mesures extensométriques dans la zone frontale : l'ouverture des fractures les plus actives dépasse 7 m en 10 ans.

Il est intéressant d'évoquer les scénarios de rupture mis en avant aux différentes époques.

- En 1988, quatre scénarios d'éboulements rocheux, allant de 2 à 10 hm<sup>3</sup> sont définis. Dans le scénario maximum, la vallée est barrée par les éboulis, qui atteignent les maisons de l'Ile-Falcon situées immédiatement à l'aval. Un lac se forme à l'amont, ennoyant une partie du bourg de Séchilienne ; l'hypothèse de rupture brutale du barrage naturel, par débordement et érosion, engendrant une crue dévastatrice à l'aval, est envisagée. La capacité du merlon est réévaluée à la baisse (2 à 3 hm<sup>3</sup> d'éboulis).
- En 1992, un groupe d'experts est sollicité et confirme l'hypothèse de rupture probable à court terme (3 ans) de 3 hm<sup>3</sup>. Il recommande le creusement d'une galerie de dérivation pour la Romanche.
- En 1995, on évoque le chiffre de 100 hm<sup>3</sup> en mouvement... Deux scénarios sont envisagés à moyen terme : 7 hm<sup>3</sup> et 20 hm<sup>3</sup> ; on craint un effet de souffle lors de l'impact des éboulis sur le fond de vallée (suivant l'exemple de l'éboulement de la Valtellina en Italie, survenu en 1987) ; ces hypothèses conduisent à la formation d'un

- barrage de la vallée et à un risque majeur en cas de rupture du barrage.
- En 1997, pour prévenir les conséquences d'un éboulement de 25 hm<sup>3</sup>, le principe de l'expropriation des habitants de l'île-Falcon, possiblement atteints par les éboulis et surtout par la crue après rupture du barrage, est décidé (environ 300 personnes).

#### 4. L'APPROCHE PAR LES SCENARIOS (2000 - ?)

En 2000, un groupe international d'experts, sous l'autorité de Marc Panet, alors président de la société internationale de mécanique des roches, est chargé de porter un diagnostic sur la situation et sur son évolution. Le rapport fait une distinction claire entre :

- les risques à court terme, de l'ordre de la dizaine d'années : éboulement de la zone frontale (figure 4), la plus active (environ 3 hm<sup>3</sup>),
- les risques à moyen ou long terme (vingt ans ou plus), pouvant mobiliser 10 à 20 hm<sup>3</sup>.

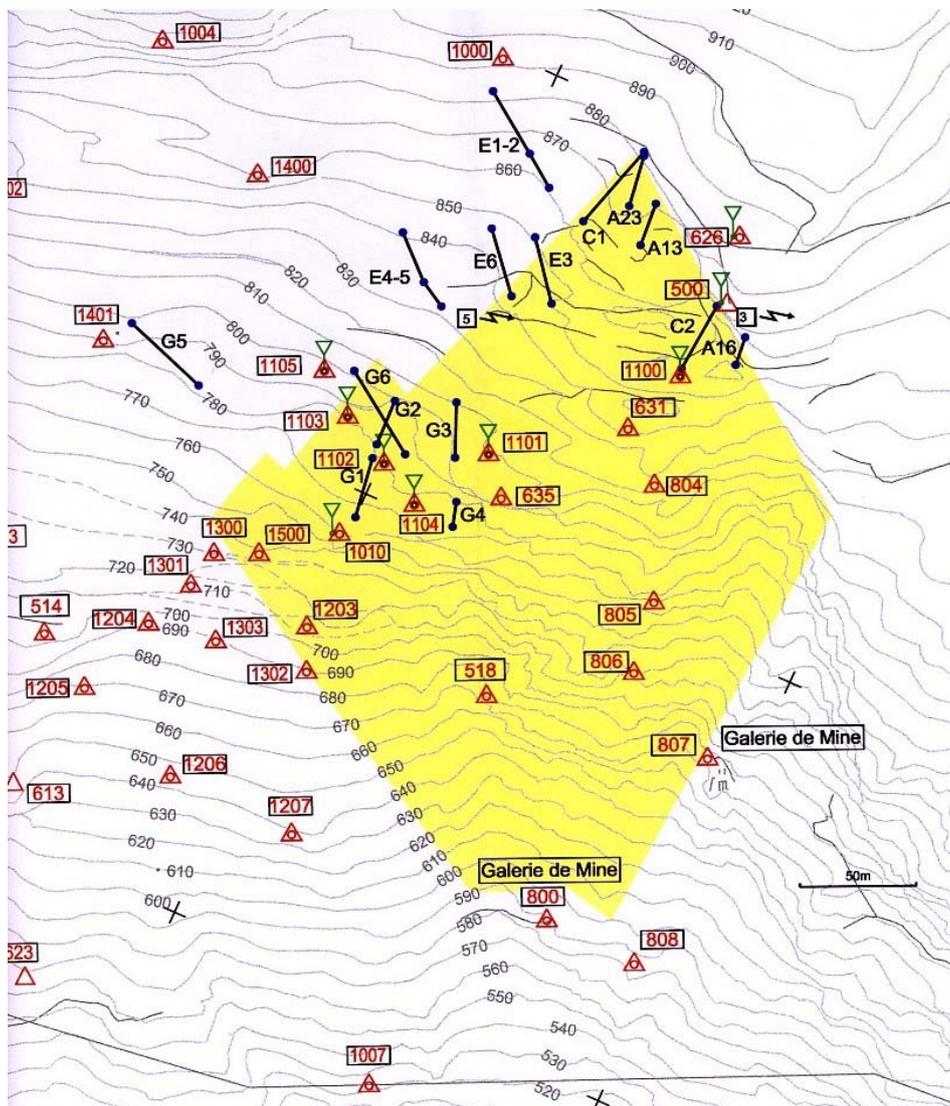


Figure 4 - Zone frontale. Instrumentation : points géodésiques et extensomètres

Le scénario le plus probable à court terme est un éboulement de la zone frontale en plusieurs épisodes, avec des volumes allant de quelques milliers à quelques centaines de milliers de mètres cubes. Dans ces conditions, le merlon peut être franchi par des éboulis, le chenal de secours pour la rivière peut être en partie obstrué et la RN 1 peut être atteinte

par quelques blocs ou par les divagations de la Romanche qui suivront l'éboulement.

Cette analyse par scénarios d'importance croissante et étalés dans le temps permet de bien distinguer les mesures à prendre à court et à long terme. Elle a conduit à affiner les études sur le risque à court terme, géologiques et hydrauliques, en particulier par des modélisations très détaillées de la propagation des éboulis (figure 5) et de la crue après rupture du barrage (figure 6).

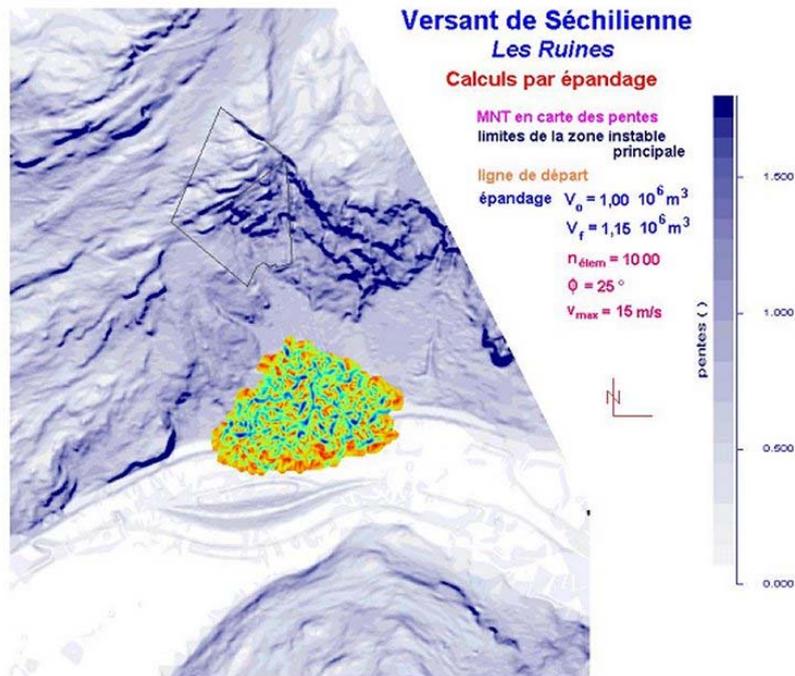


Figure 5 – Modélisation du cône d'éboulis pour un volume rocheux de 1 million de mètres cubes (d'après [2]). Les éboulis recouvrent la Romanche mais n'atteignent pas le merlon.

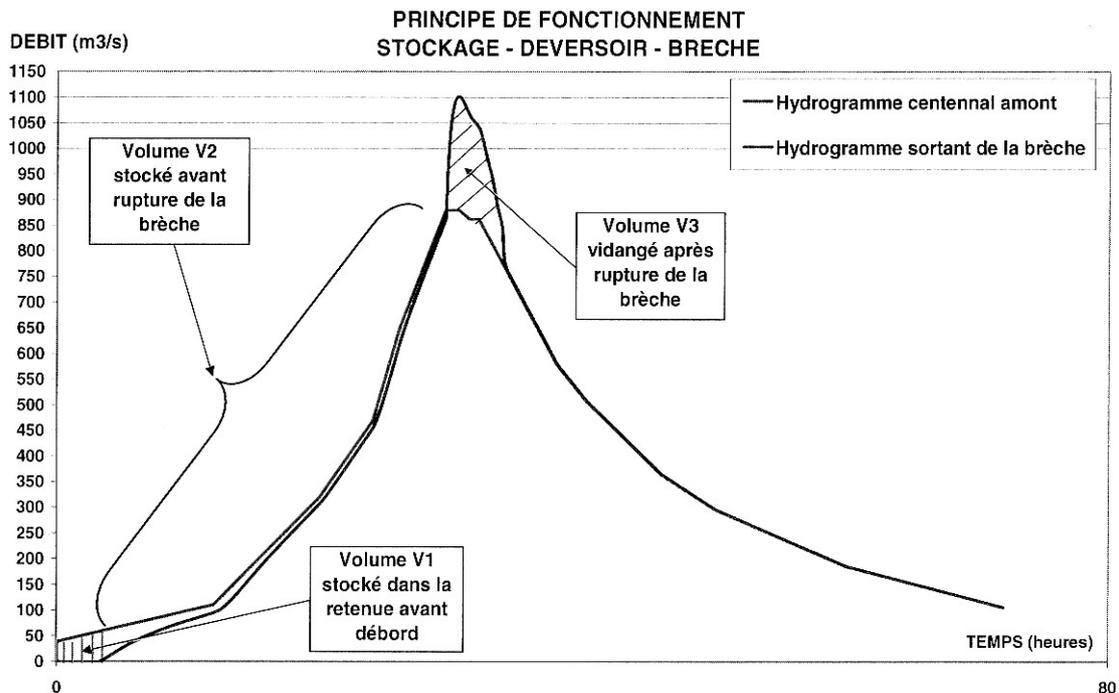


Figure 6 – Hydrogramme de crue centennale naturelle ou avec rupture du barrage (source : Sogreah). Le pic de débit passe de 870 à 1100 m<sup>3</sup>/s en raison de l'éboulement.

## 5. LES RISQUES ROUTIERS ET HYDRAULIQUES

La RN 91 constitue l'accès naturel à la haute vallée de la Romanche (11 000 habitants) et à des stations de tourisme de montagne (plus de 80 000 lits). Elle supporte d'une part un trafic journalier entre la haute vallée et la basse vallée (Vizille et Grenoble), et d'autre part le flux saisonnier des touristes d'hiver (stations de ski de L'Alpe-d'Huez et des Deux-Alpes principalement) et, dans une moindre mesure, des touristes d'été. Le trafic moyen est de 9000 véh/jour, mais on constate des pointes à plus de 20 000 véh/jour. En cas de coupure au droit de Séchilienne, les solutions de rechange sont nettement insuffisantes :

- une petite route très étroite, sur le versant sud de la vallée, inaccessible aux poids lourds,
- une route départementale de montagne, avec de nombreux virages, représentant un allongement de 46 km,
- le passage par le col du Lautaret, à plus de 2000 m d'altitude, fermé en hiver, avec forts risques d'avalanches, et représentant un détour de plus de 200 km.

Une coupure de la RN 91 conduirait à des coûts que l'on a évalués comme suit :

- allongements de parcours : 100 000 à 150 000 € par jour,
- pertes d'exploitation pour l'activité touristique (en saison) : 400 000 € par jour.

La création d'un barrage naturel suite à l'éboulement aurait pour conséquence la formation d'un lac jusqu'à une cote qui est fonction de la hauteur du point bas du barrage. Suivant le volume d'eau retenu, le pont amont actuel et le carrefour à l'amont pourraient être submergés par les eaux du lac. En cas de rupture du barrage, par surverse et érosion, une crue brutale, dont l'importance est fonction du volume d'eau retenu et de la rapidité de l'effacement du barrage, se propagerait vers l'aval. La RN 91 serait endommagée en plusieurs endroits, une partie de la ville de Vizille serait inondée, ainsi que des industries chimiques situées à l'aval ; certains quartiers de la ville de Grenoble pourraient être atteints par le flot. Il est clair que le scénario maximaliste entraînerait des conséquences humaines, économiques et environnementales considérables.

## 6. LES PARADES POSSIBLES

Compte tenu de l'ampleur du phénomène d'instabilité et de sa complexité, les solutions de stabilisation du versant ne sont pas envisageables. L'abattage contrôlé, à titre préventif, de plusieurs millions de mètres cubes de rocher, un moment cité comme une solution possible, serait très coûteux, très long, et très délicat.

La protection d'une route en fond de vallée n'est techniquement possible que vis-à-vis d'éboulements de volume limité. Les études les plus récentes montrent que le merlon actuel, même prolongé voire surélevé, ne peut guère retenir un volume supérieur à 2-3 hm<sup>3</sup>, et que le chenal aménagé pour la Romanche n'est pas suffisant en période de crue. En conséquence, même pour des événements probables à court terme, la RN 91 peut être soumise à des chutes de blocs et aux divagations de la rivière, et donc subir une coupure durable.

Une protection plus complète de la RN 91 au droit des Ruines de Séchilienne peut être assurée soit par un tunnel de 800 m de long au moins (les têtes de tunnel doivent être à l'abri des éboulis...), soit par une route s'élevant suffisamment sur le versant rive gauche

(figure 7).

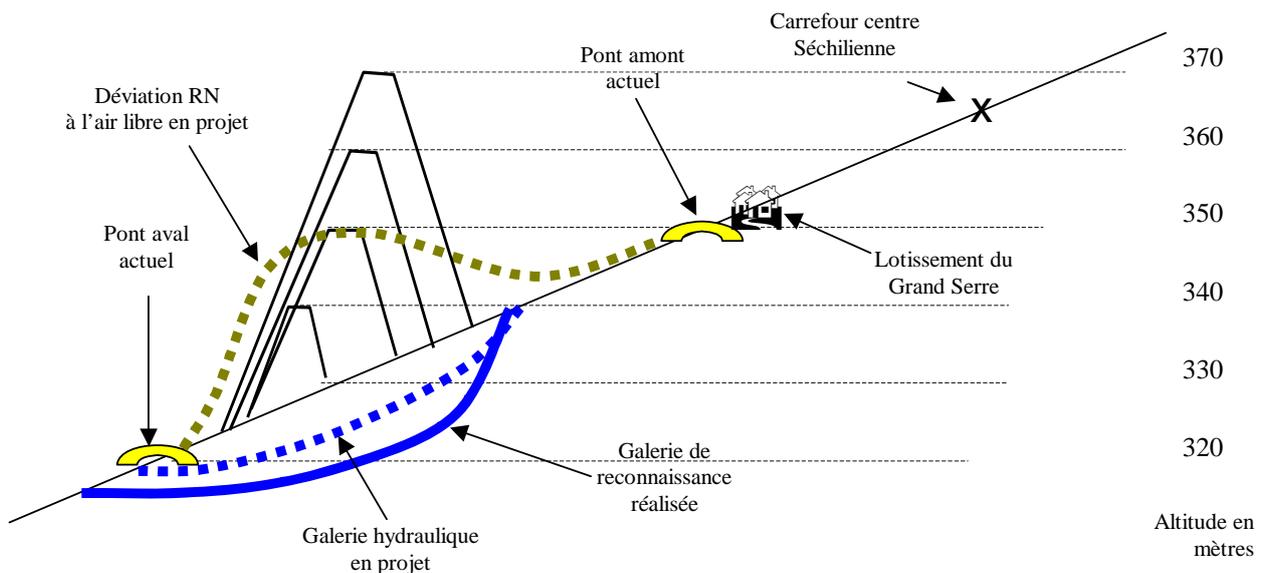


Figure 7 – Schéma des principales parades en relation avec plusieurs hauteurs de barrage. Le cours de la Romanche est dessiné avec une pente constante.

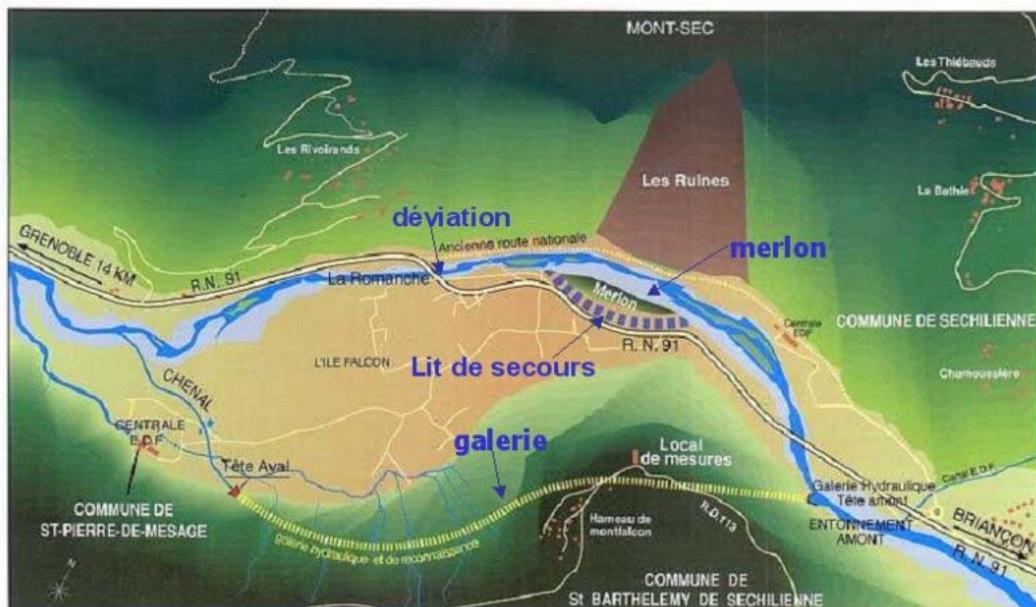


Figure 8 – Ouvrages déjà réalisés : merlon, lit de secours, déviation, galerie hydraulique de reconnaissance.

La comparaison des coûts a fait choisir une solution aérienne en déblai (environ 17 millions d'euros, contre 55 pour le tunnel) sur le versant sud de la vallée, montant à une cote qui mettra la route à l'abri des éboulis pour des chutes de 3 à 4 millions de mètres cubes. Un autre avantage de la solution aérienne est la moindre durée de construction : 2 ans, contre 4-5 ans pour un tunnel. La solution en souterrain ne serait à envisager que dans une vingtaine d'années, si l'évolution du site l'exige ; les études d'avant-projet peuvent cependant être réalisées dès maintenant.

Plusieurs parades sont envisagées vis-à-vis du risque hydraulique : galerie de dérivation de la Romanche ; digues limitant des casiers hydrauliques dans la zone de l'Ile-Falcon, dont le but est de laminar une crue ; renforcement et rehaussement des digues existantes le long de la rivière plus à l'aval.

L'implantation, la conception et le dimensionnement d'une galerie de dérivation pour la Romanche sont très complexes, puisqu'il faut :

- mettre les têtes à l'abri des éboulis,
- ne pas mettre la tête amont à une cote trop élevée, car c'est cette cote qui va déterminer le volume de la retenue résiduelle en cas de barrage,
- assurer un débit maximum de l'ouvrage, en jouant sur sa pente et en aménageant son entonnement,
- choisir la crue de référence : la probabilité qu'un éboulement majeur se produise lors d'une crue n'est pas négligeable, tous deux étant plus probables après un épisode pluvieux important ; un débit au moins centennal devrait être pris en compte, ce qui conduit à un tube de gros diamètre, environ 11 m.

Une galerie de reconnaissance a été creusée en 1997-2000, sans difficulté particulière. Les études d'optimisation du projet de galerie Ø11m sont en cours. On peut signaler que l'option de creuser une seule galerie, utilisée à la fois par la RN 91 et par la Romanche après éboulement majeur, a été envisagée ; cette option a été repoussée en raison à la fois de son coût et des contraintes d'exploitation (lors des crues, le tunnel ne serait pas ouvert à la circulation routière).

L'objectif des digues et casiers hydrauliques à l'aval est de réduire la crue engendrée par la rupture du barrage :

- cas du barrage peu important, dans la situation actuelle, c'est-à-dire sans galerie hydraulique ;
- cas du barrage de hauteur moyenne, une fois la galerie construite : la situation la plus critique correspond à des éboulements, et donc à des hauteurs de barrage, intermédiaires, suffisamment importants pour engendrer une crue dommageable lors de la rupture du barrage, mais incapables de mettre en charge complètement la galerie et donc de lui donner sa pleine efficacité.

Le risque de débordement brutal et de rupture du barrage impose aussi de protéger la future route à l'aval, en particulier le remblai traversant l'Ile-Falcon, qui permet d'atteindre la cote désirée au droit des Ruines, et d'implanter les ouvrages de franchissement de la Romanche et les raccordements à la route actuelle hors zone de risque.

## **7. LA GESTION DU RISQUE A COURT TERME**

La gestion actuelle du risque est basée sur une surveillance en continu du versant, réalisée par le Centre d'études techniques de l'équipement (CETE) de Lyon, pour le compte des autorités locales. Celles-ci bénéficient également de l'appui d'un collège de sept experts, qui sont régulièrement informés des évolutions du site, se réunissent deux fois par an et sont mobilisables en cas de crise.

Une cinquantaine de capteurs disposés sur le versant effectuent les mesures de déplacement automatiquement toutes les deux heures ; ces mesures sont immédiatement transmises par liaison téléphonique au CETE de Lyon ; l'automate appelle les ingénieurs-

géologues responsables du site (une permanence 24h / 24h est organisée) en cas de dépassement de seuils fixés à l'avance. Il faut ajouter à cela les visites fréquentes sur le site, complément indispensable d'une surveillance par lecture d'écrans d'ordinateurs...

Le système comporte, on l'a vu, des mesures extensométriques à travers un certain nombre de fractures évolutives et des mesures de distance par rayon infra-rouge depuis le versant opposé. Deux problèmes ont été soulevés il y a quelques années :

- nécessité d'assurer une surveillance tous temps : les mesures de distance par infra-rouge sont inopérantes par brouillard ou pluie, alors qu'il est probable qu'un éboulement majeur se déclencherà par mauvais temps ;
- après un premier événement, les conditions d'accès sur le site pourraient être dangereuses ; la surveillance en temps réel sera pourtant très précieuse si des travaux sont nécessaires en fond de vallée, par exemple pour remettre en état la route, alors que des éboulements résiduels sont probables.

Pour répondre à ces deux exigences, un système de mesure de distance par radar ultra-large-bande (ULB) a été mis au point [3]. La précision des mesures est remarquable (mieux que le millimètre) si l'on place des réflecteurs métalliques sur le site (situation actuelle, figure 8) ; elle sera moins bonne mais suffisante si les réflecteurs disparaissent lors d'un premier éboulement, la mesure s'effectuant alors directement sur sol nu.



Figure 9 – Les mesures de distance par radar : à gauche, le radar abrité dans une cabine située sur le versant sud ; un trièdre réflecteur pour le radar, à côté d'un miroir pour la mesure par infra-rouge

Quatre niveaux croissants d'alerte ont été définis : pré-alerte, vigilance renforcée, préoccupation sérieuse, danger imminent. La « pré-alerte » et la « vigilance renforcée » sont décidées principalement sur des critères cinématiques, météorologiques ou sismiques. A partir de la « préoccupation sérieuse », le collège d'experts est mobilisé, une cellule de crise peut être mise en place et des mesures de sécurité sont prises. Un plan de secours a été élaboré depuis plusieurs années, qui prévoit en premier lieu la fermeture de la route, la mise en place des déviations, puis l'alerte des populations à l'aval, etc.

Le projet de déviation routière est aujourd'hui prêt. Une fois réalisée (délai : 2 ou 3 ans), cette déviation rendra le risque de court terme (éboulement d'un volume jusqu'à 3 hm<sup>3</sup>) en principe bien maîtrisable : la circulation n'est pas interrompue (ou seulement pendant une durée très brève), le barrage naturel est très réduit et ne produit pas de perturbations

hydrauliques significatives.

La question de la protection vis-à-vis du risque à long terme n'est pas encore tranchée.

## 8. CONCLUSIONS

Les usagers de la RN 91 et les habitants de la vallée s'étonnent que l'on n'ait pas déjà construit une déviation routière en tunnel et une galerie hydraulique capable de faire transiter le débit millénaire (fréquence de 1 tous les 1000 ans en moyenne) de la rivière. A cela le maître d'ouvrage (ministère des transports) peut répondre que :

- une sage gestion des deniers publics conduit à n'engager des investissements lourds que lorsqu'ils deviennent indispensables ; un scénario où le versant se stabiliserait progressivement, après rupture de la zone frontale, n'est pas totalement à exclure, et dans ce cas des ouvrages souterrains réalisés trop en avance ne seraient jamais utilisés ; toute la difficulté consistera à décider d'un éventuel passage en tunnel suffisamment à l'avance;
- une crue millénaire produirait des dégâts majeurs dans toute la vallée, et l'événement « Séchilienne » n'augmenterait que marginalement l'étendue des dommages.

Les travaux de la nouvelle route en déblai devraient commencer très bientôt. Du seul point de vue économique, cet investissement est tout à fait rentable si l'on prend en compte une probabilité assez forte que la route actuelle soit coupée d'ici quelques années et les coûts d'une coupure de circulation d'au moins un ou deux mois.

En novembre 2006, un éboulement de 30 000 m<sup>3</sup> environ, provenant de la zone frontale, a recouvert l'ancienne RN 91 et quelques blocs ont atteint la Romanche, mais aucun n'a atteint le merlon. Cette rupture n'a pas déclenché d'alerte, car le système de surveillance est conçu pour détecter les prémices d'un éboulement majeur, quelques centaines de milliers de mètres cubes, susceptible de mettre les usagers de la route en danger, et non pas pour traiter le cas de petits éboulements. Il convient cependant de préciser que l'activité anormale du site le mois précédent a mis les experts du CETE de Lyon en alerte, si bien que l'éboulement a pu être filmé. Les pronostics de rupture prochaine de la zone frontale sont toujours d'actualité...

## REFERENCES

[1] Duranthon J.-P., Effendiantz L. et al. (2004). *Le versant instable des Ruines de Séchilienne : point sur l'activité du phénomène et présentation du nouveau dispositif de gestion de la télésurveillance*. Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 252-253, pp. 29-48.

[2] Serratrice J.-F. (2006). *Modélisation des grands éboulements rocheux par épandage. Application aux sites de La Clapière (Alpes-Maritimes) et de Séchilienne (Isère)*. Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées, n° 263-264, pp. 53-69.

[3] Lemaître F., Poussière J.-C., Duranthon J.-C., Effendiantz L. (2004). *Utilisation du radar sol pour la surveillance des mouvements de terrain*. Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 249, pp. 19-34.