

Annexes

Annexe 1 : Lettre de mission

Paris le 3 mai 2004

Le Ministre de l'Équipement, des Transports,
de l'Aménagement du Territoire, du Tourisme,
et de la Mer

Le Ministre de l'Écologie et du
Développement Durable

à

M. le Vice-Président du Conseil Général des
Ponts et Chaussées

M. le Chef du Service de l'Inspection
Générale de l'Environnement

Objet : Risque d'éboulement des ruines de Séchilienne.

En février 2004, une mission conjointe portant sur la stratégie de prévention à moyen et long terme contre les risques d'éboulement des ruines de Séchilienne vous a été demandée.

Vous avez, dans ce cadre, mis en place une mission exploratoire qui a notamment rencontré le Préfet de l'Isère.

Nous souhaitons vous préciser le mandat de la mission conjointe, dont nous rappellerons d'abord le contexte.

Les ruines de Séchilienne, en rive droite de la vallée de la Romanche, menacent la route nationale 91 et la rivière elle-même, avec un risque d'embâcle et de débâcle. L'itinéraire qui longe la rivière dessert à l'amont, l'Oisans et le Briançonnais aux forts enjeux économiques, en particulier touristiques, et à l'aval, le pôle industriel de Vizille à Grenoble, avec des sites Seveso.

Les dernières évaluations des experts (rapports PANET 2000 et 2003) font état d'un risque d'éboulement à court terme (10 ans, en ordre de grandeur) de 3 millions de m³, pouvant, dans l'hypothèse la plus défavorable couvrir la route et la rivière par un volume de 200 mètres de large et avec des épaisseurs de l'ordre de 5 mètres de haut au maximum. A moyen terme (10/50 ans), et à long terme, les experts ne peuvent exclure des scénarios impliquant des volumes de plusieurs dizaines de millions de mètres cubes.

Face à cette situation, l'État :

- a mis en place depuis 1985, une surveillance instrumentée, en temps réel, sous la responsabilité du Centre d'études techniques de l'équipement (CETE) de Lyon ;
- a assuré la réalisation, à partir de 1986, d'un merlon, d'une déviation de la RN91 au droit du site, d'un lit artificiel de la Romanche et enfin d'une galerie de reconnaissance en rive droite ;
- a mis en œuvre la loi Barnier, en expropriant à partir de 1999, les habitations de l'île Falcon, directement menacées ;

- a étudié un plan de secours, en voie de réexamen ;
- a poursuivi un programme d'études techniques et hydrauliques.

Aujourd'hui ces initiatives doivent impérativement être poursuivies et approfondies dans deux directions :

- la première sur la gestion du scénario court terme, hors du champ de la mission, est de la responsabilité du Préfet, elle prévoit :
 - la poursuite de l'auscultation régulière du massif ;
 - l'analyse des conséquences hydrauliques des différents scénarios d'éboulement court terme ;
 - l'étude de l'opportunité de la prolongation du merlon ;
 - l'étude de la situation postérieure à un éboulement de la zone frontale avec la présence d'une falaise de grande hauteur en limite arrière de l'éboulement ;
 - l'information des partenaires et des populations sur la connaissance actuelle du risque et de ses conséquences possibles ;
 - l'adaptation du plan de secours, et la réalisation d'un «plan de gestion de crise» à l'échelle géographique adaptée, en cas de survenue d'un évènement bloquant la vallée au-delà de quelques jours.
- la seconde direction est celle où la mission doit apporter sa contribution : il s'agit 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, les conditions et leur délai de mise en œuvre. Il s'agit de bien distinguer les actions qui relèvent de la prévention des risques et de la protection des vies humaines de celles qui portent sur le maintien du fonctionnement économique de la vallée. Sur le plan géotechnique, la mission n'aura pas à réévaluer les conclusions du « groupe PANET ».

Dans le délai qui lui est imparti, et dans la mesure des données qu'elle pourra recueillir, la mission s'efforcera de donner une première approche des coûts/avantages de chaque solution technique envisagée pour les parades, et de faire des propositions concernant la maîtrise d'ouvrage et le financement des dispositions à prendre. Elle s'efforcera de préciser les enjeux et les obligations de l'Etat, des collectivités et des forces économiques concernées par les risques. Elle donnera des éléments de comparaison avec d'autres sites exposés à des risques naturels semblables, en indiquant la façon dont ils ont été traités.

A la demande des autorités locales, la mission pourra apporter une contribution portant sur les mesures préventives à prendre à court terme sur le domaine routier.

La mission rencontrera les différents partenaires, scientifiques, élus, professionnels, et associatifs. Elle pourra mettre en place l'appui scientifique qui lui paraît nécessaire.

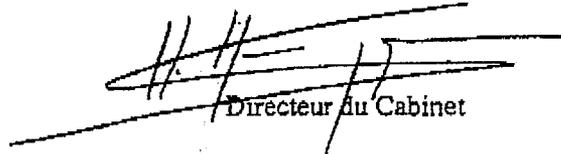
Elle remettra son rapport au 4^{ème} trimestre 2004 au plus tard.

Patrick GANDIL



Directeur du Cabinet

Philippe GUIGNARD

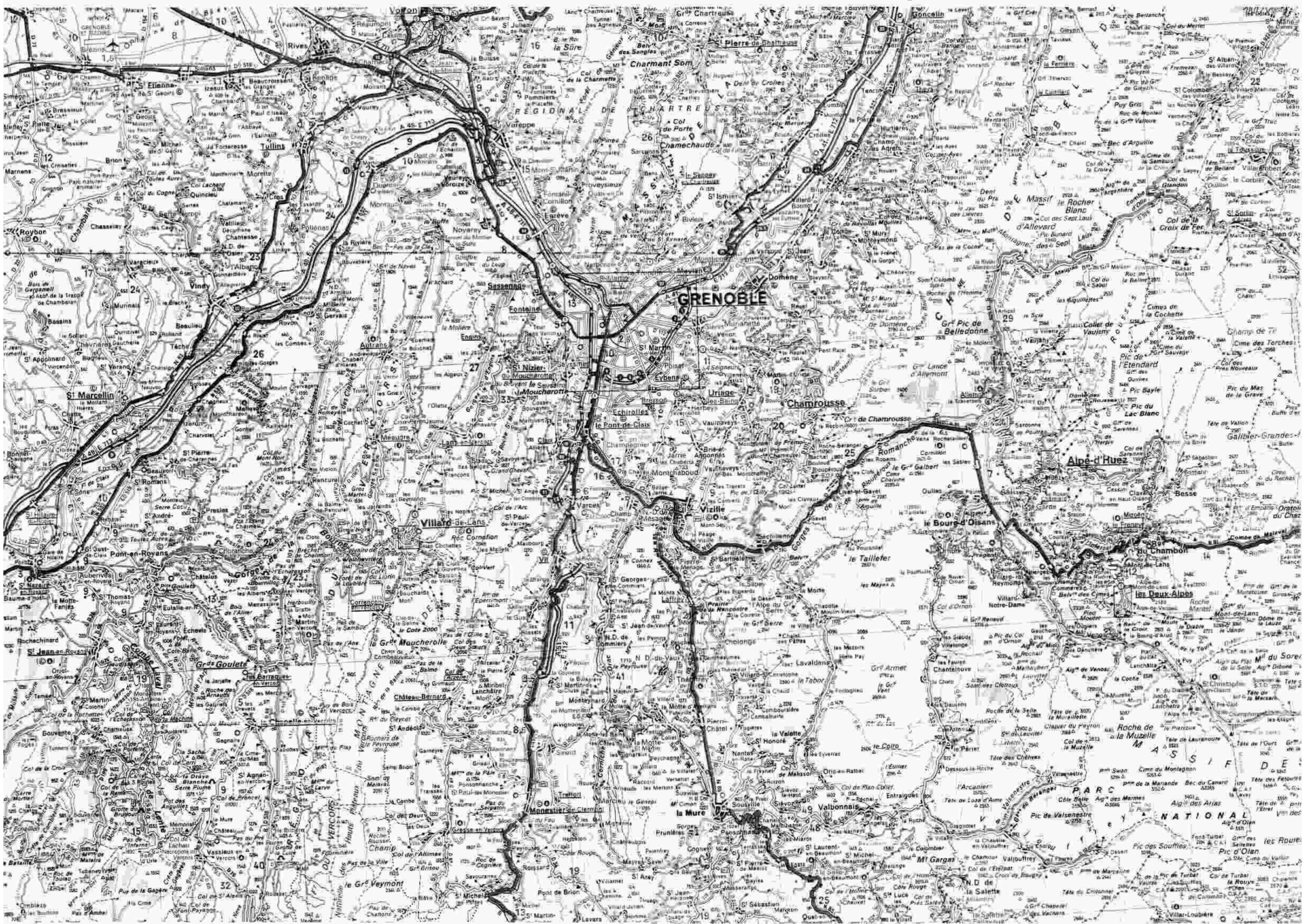


Directeur du Cabinet

Copie : Préfet de l'Isère
 Direction des Routes
 DPPR

Annexe 2 : Liste des plans et schémas

- plan d'ensemble 1/200 000
- plan de situation au 1/50 000
- schéma de modélisation des phénomènes
- plans d'inondabilité : amont Grenoble
- plan des déviations à courte distance
- plan des déviations à longue distance
- plan d'implantation des parades au 1/5000



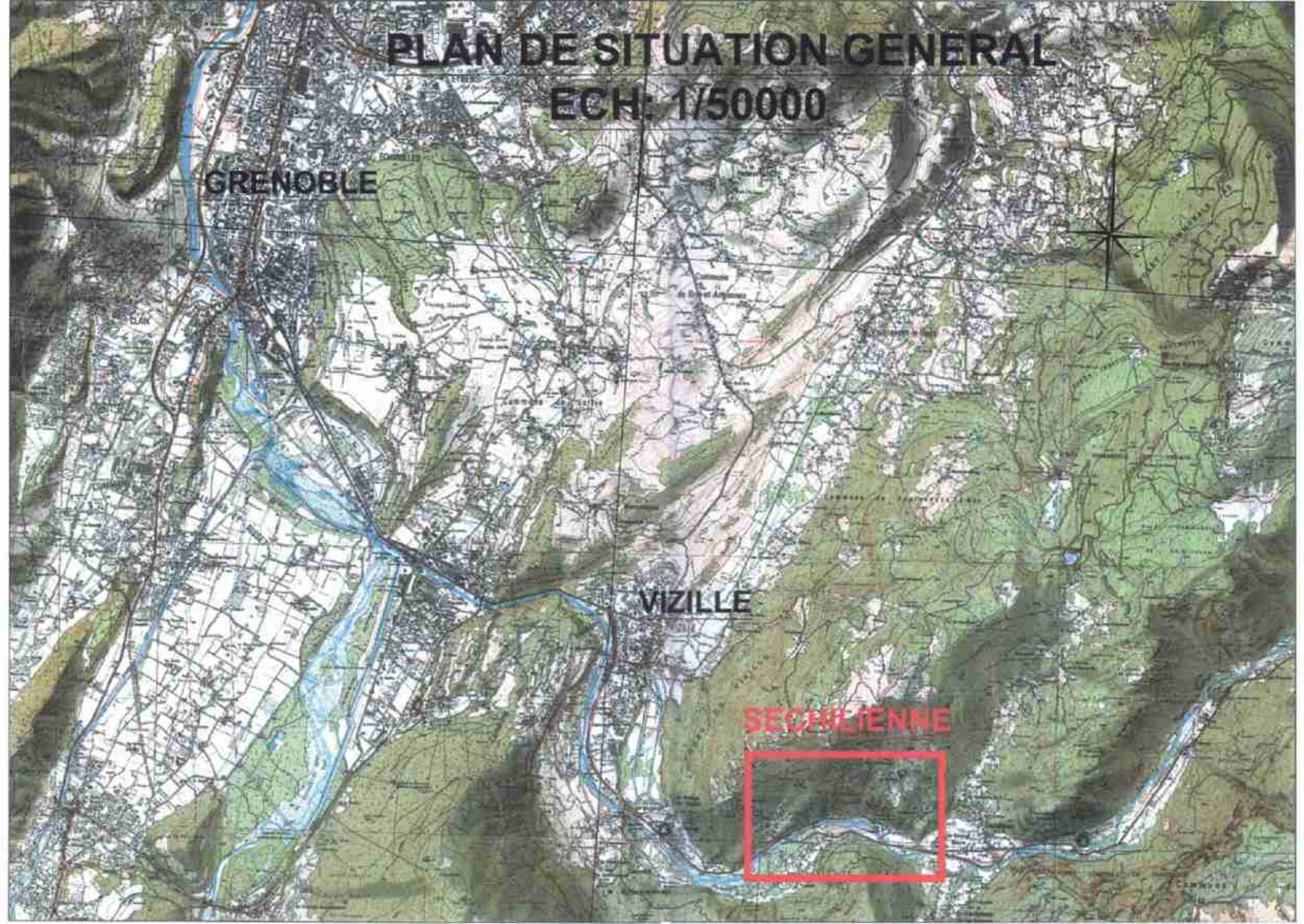
PLAN DE SITUATION GENERAL

ECH: 1/50000

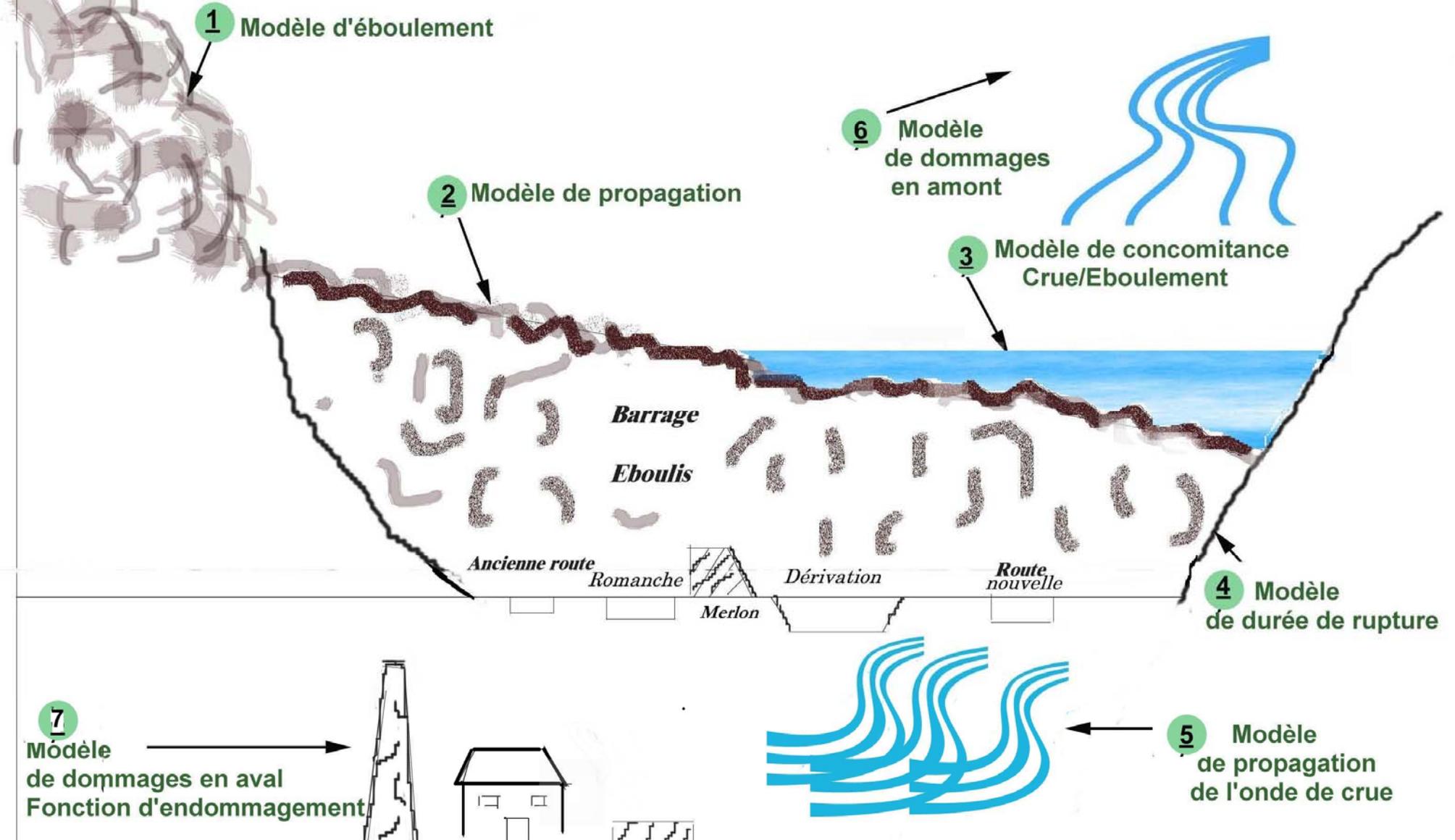
GRENOBLE

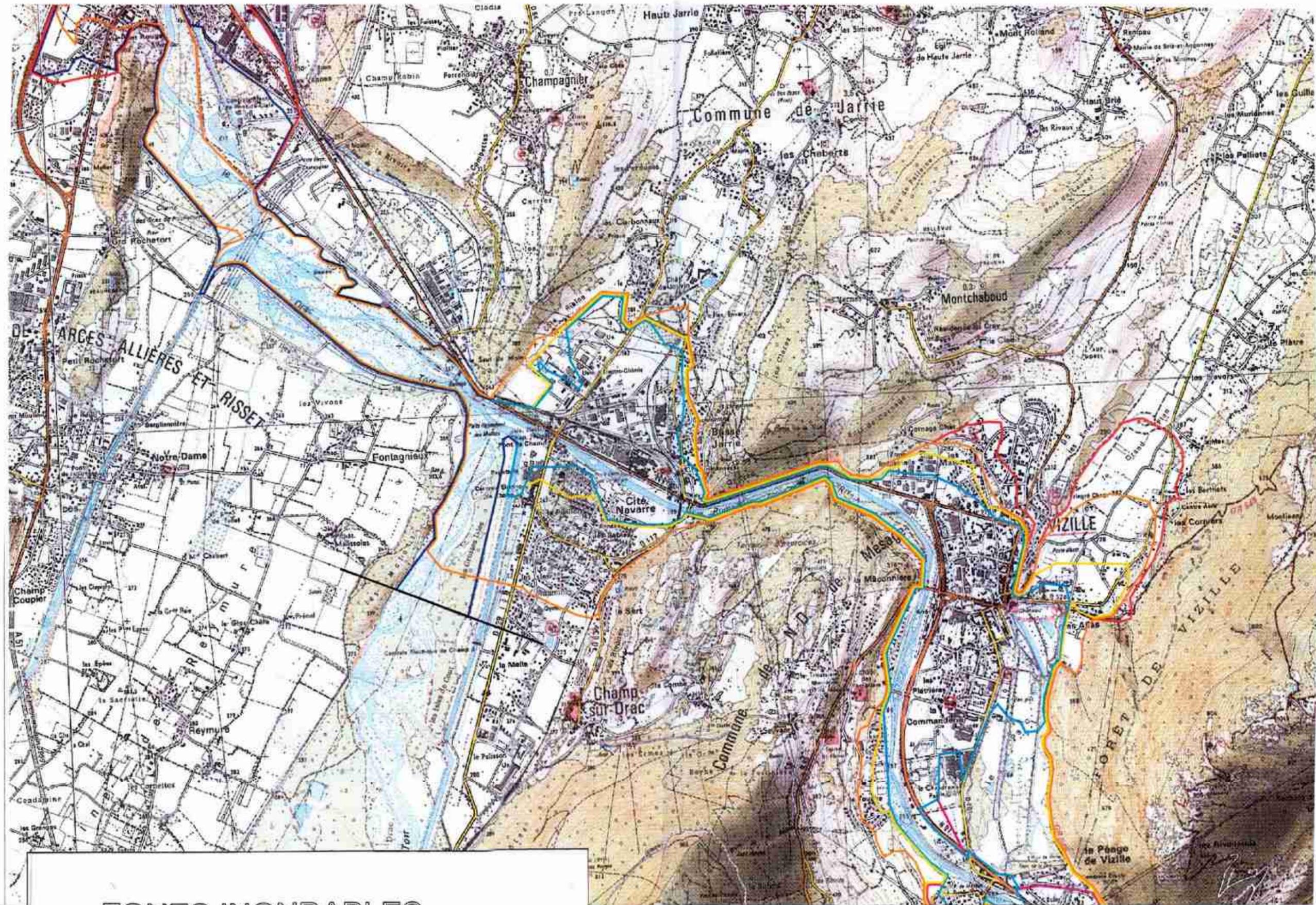
VIZILLE

SECHILLENNE



Ruines de Séchilienne Modélisation des Phénomènes

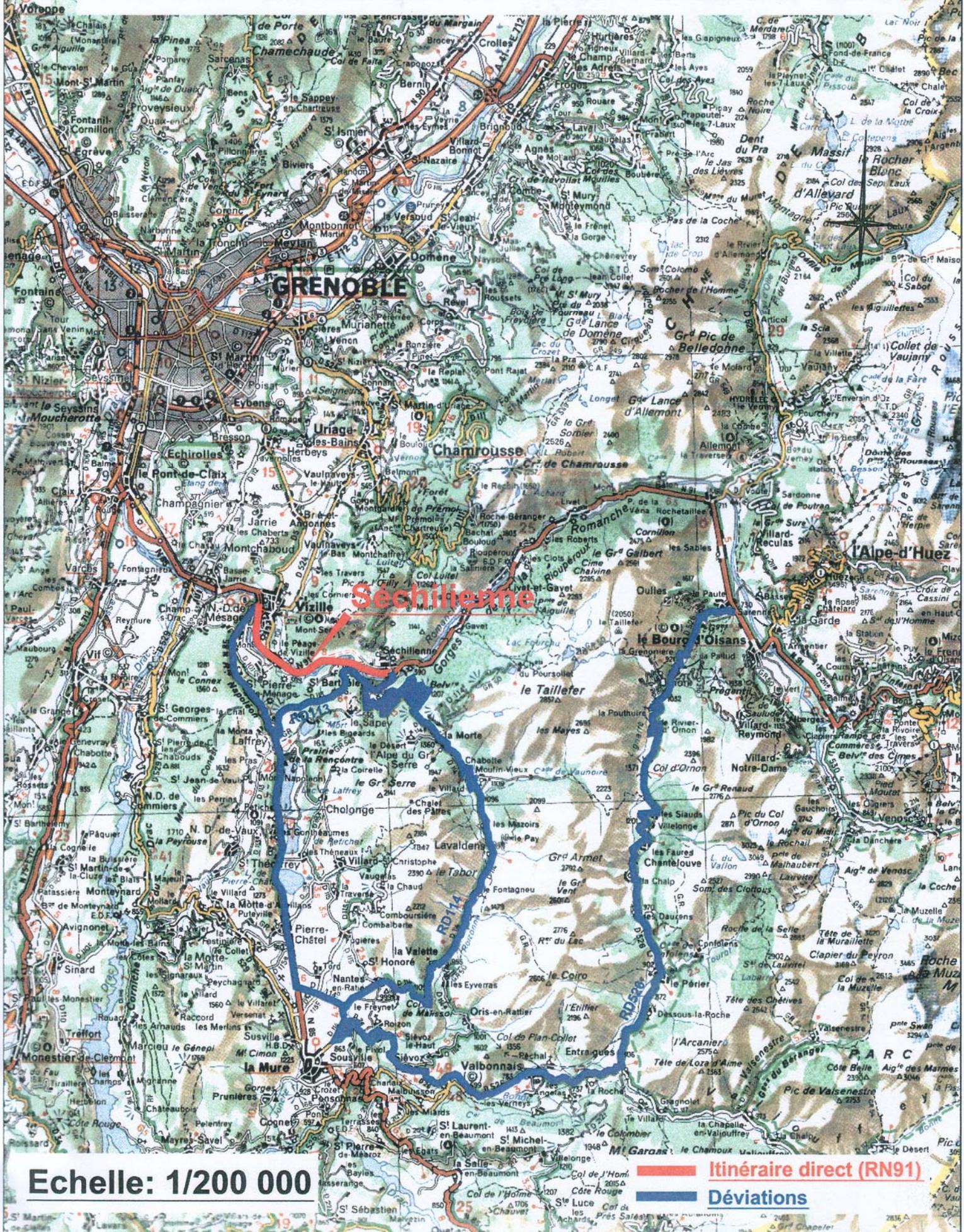




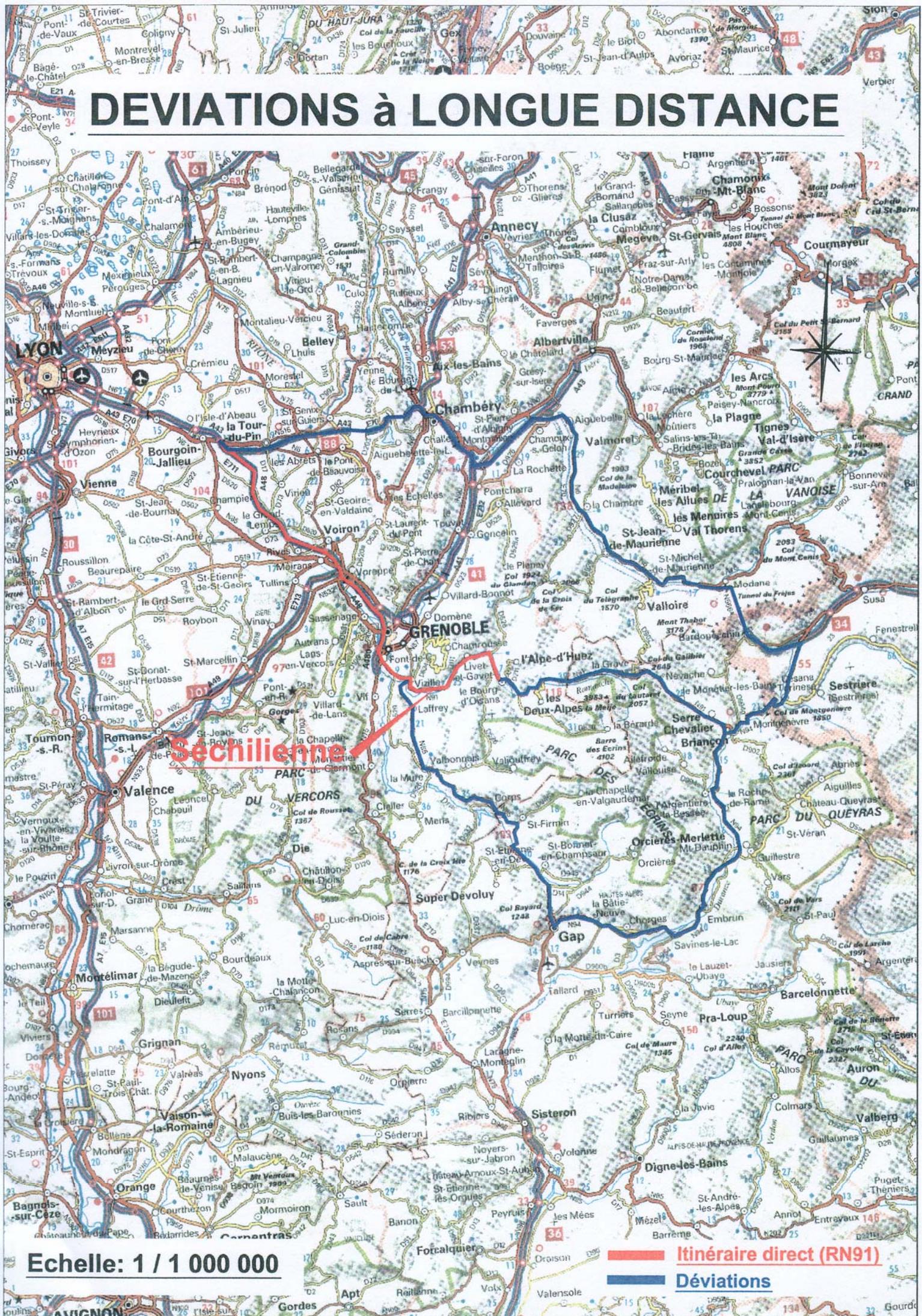
ZONES INONDABLES

- ▬ Romanche à 880m³/s (Etude 1999)
- ▬ Drac aval à 2400m³/s (Etude 1999)
- ▬ Romanche à 880m³/s (Etude 2004 lit non entretenu)
- ▬ Rupture barrage Séchillienne de 3 Mm³ (Etude 1999)
- ▬ Rupture barrage Séchillienne de 9 Mm³ (Etude 1997)
- ▬ Rupture barrage Séchillienne de 20 Mm³ (Extension du 9 Mm³) (Etude 1997)

DEVIATIONS à COURTE DISTANCE

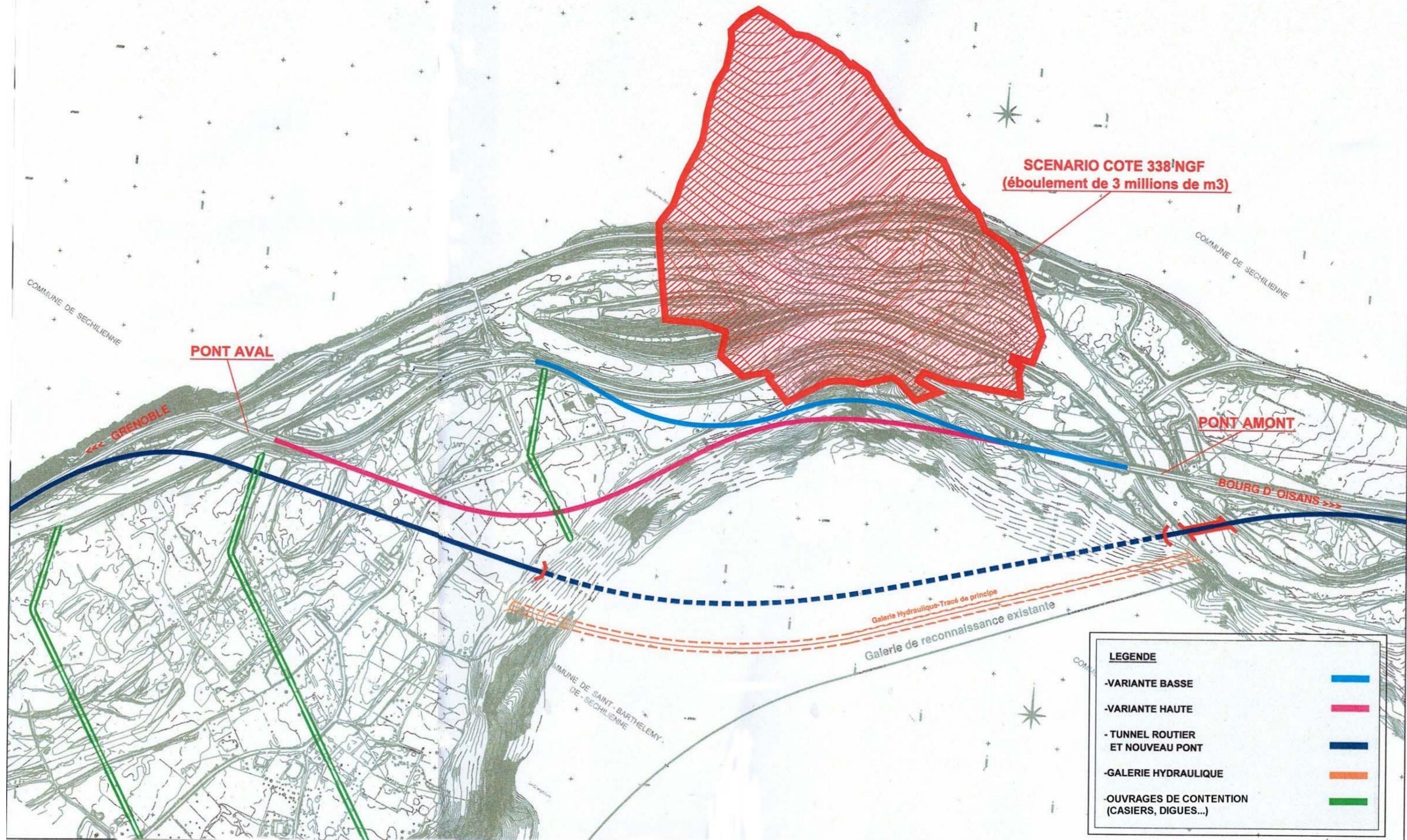


DEVIATIONS à LONGUE DISTANCE



PLAN DES PARADES - SCHEMA DE PRINCIPE

ECH: 1/5000



LEGENDE

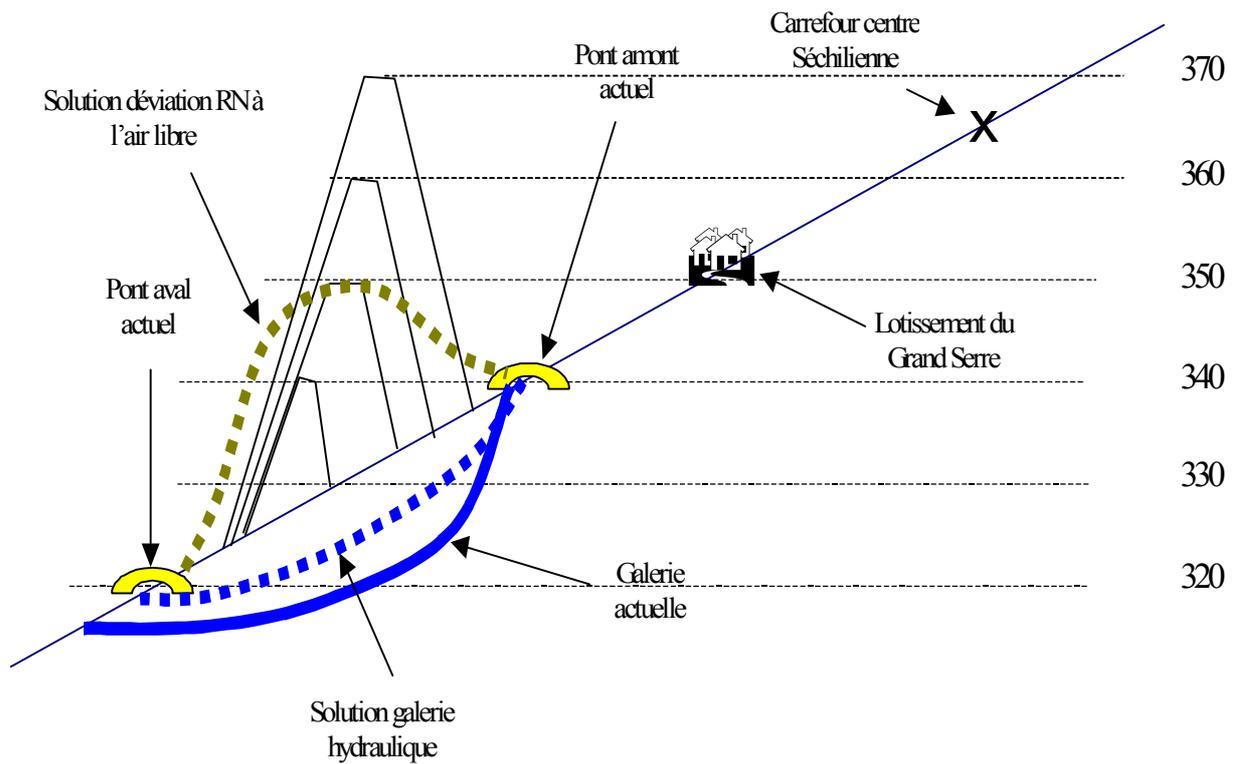
- VARIANTE BASSE
- VARIANTE HAUTE
- TUNNEL ROUTIER ET NOUVEAU PONT
- GALERIE HYDRAULIQUE
- OUVRAGES DE CONTENTION (CASIERS, DIGUES...)



Annexe 3 : Schéma altimétrique du site

Profil projeté le long de la Romanche (la Romanche est schématiquement dessinée à pente constante et exagérée)

Quatre hauteurs de barrages ont été figurées : 340, 350, 360 et 370.



Annexe 4 : Liste des principaux rapports et documents d'études consultés

- 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 2000 – Marc Panet, Christophe Bonnard, Pietro Lunardi, Michele Presbitero. (Rapport dit aussi « **Rapport Panet I** »)
- 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 – Marc Panet, Christophe Bonnard, Pierre Desvarreux, Jean-Louis Durville, Louis Rochet. (Rapport dit aussi « **Rapport Panet II** »)
- Risque majeur d'éboulement des Ruines de Séchilienne – Points périodiques des mesures de suivi et de la surveillance du site – CETE Lyon – (documents mai 2003 et avril 2004)
- Ruines de Séchilienne et risques d'inondation – Synthèse des connaissances – P Lefort (INPG Entreprise), pour la DDE de l'Isère- Janvier 1998
- Etudes d'inondabilité du Drac et de la Romanche – Conséquences de la rupture de l'éboulement de Séchilienne - SOGREAH , pour la DDE de l'Isère – novembre 1999
- Risque d'éboulement des Ruines de Séchilienne – Etude hydraulique – CEMAGREF Lyon pour la DDE de l'Isère – Décembre 1995
- Les barrages naturels consécutifs à des éboulements en grande masse – risques de rupture brutale- Recherche bibliographique, CETE Lyon et Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées Rhône-Alpes – pour le Ministère de l'Environnement – janvier 1996
- Etude de vulnérabilité du risque majeur des Ruines de Séchilienne – Pôle grenoblois d'études et de recherche pour la prévention des risques naturels, et CETE de Lyon, pour la préfecture de l'Isère et la DDE – 1995
- Enjeux économiques liés à l'interruption de la RN 91 – P.M. Combe , LATEC CNRS pour la DDE de l'Isère, - 1996
- Nombreux documents de travail internes communiqués par la DDE de l'Isère, dont :
 - o Risque de Séchilienne – Etudes d'inondabilité aval – synthèse sommaire - décembre 1999
 - o Etude complémentaire d'écrêtement au droit de Séchilienne – décembre 2000
 - o Risque de Séchilienne – Incidences – juin 2004.
 - o Risque majeur de Séchilienne – Parades au risque hydraulique – juillet 2004
 - o Parades hydrauliques et routières au risque de Séchilienne – Intérêt de l'ouvrage mixte hydraulique et routier – août 2004.
- Etudes EDF :

- Antérieures à la mission, communiquées par EDF :
 - Ruines de Séchilienne- conditions de remplissage d'un barrage naturel- note technique du 05 12 1995
 - Consigne – risque d'éboulement des Ruines de Séchilienne EDF – UP Alpes – 10 08 2001
- Commanditées par la mission :
 - Estimation rapide du diamètre et du coût d'une galerie hydraulique de dérivation à Séchilienne – EDF Pôle Industrie 05 08 2004
 - Concomitance crues de la Romanche / Précipitations à Séchilienne - EDF Production Ingénierie – 26 10 2004
 - Creux préventifs sur les barrages amont – Evaluation du gain possible sur le dimensionnement de la galerie de dérivation. EDF Production Ingénierie – 22 11 2004.
 - Note sur l'évaluation de la crue centennale dans la plaine de Bourg d'Oisans – EDF Production Ingénierie – 28 10 2004.

Pour mémoire : rapport GAES, cf. annexe 5

Annexe 5 : Extrait de l'avis du Groupe d'appui et d'expertise scientifique (GAES)

Avertissement : Le rapport complet du GAES, remis le 9 décembre 2004 à la mission, fait partie des documents consultables sur support séparé (CD). A la demande de la mission, l'extrait suivant a été établi par Gérard Brugnot et validé par les membres du GAES.

Le risque d'éboulement de Séchilienne :

Eléments extraits de l'avis du GAES

Rappel du contexte

La zone dite des Ruines du versant sud du Mont-Sec est instable. Cette zone menace de libérer, en un temps très court, de grandes masses de matériaux qui, atteignant une vitesse très élevée, seraient susceptibles d'obstruer la vallée de la Romanche à l'aval de la localité de Séchilienne et à l'amont de Vizille et de l'agglomération grenobloise. Le barrage ainsi formé provoquerait la formation d'une retenue d'eau. Cette retenue peut submerger des zones habitées et est susceptible de se vider brutalement, provoquant des dommages considérables à l'aval.

Un suivi continu du versant a permis de mieux comprendre son évolution. Par ailleurs, des études faisant appel à la géologie, à l'hydraulique, à l'économie, à l'histoire ont abouti à des scénarios d'accident, qui permettent et imposent d'envisager des solutions pour réduire le risque encouru par les personnes et les biens menacés, directement et indirectement.

Principales conclusions

Dans l'état actuel des connaissances, on peut décrire l'avenir le plus probable comme celui de la succession de deux familles de scénarios : un premier scénario, assez bien cerné, suivi d'un enchaînement de scénarios ultérieurs, moins faciles à définir et que l'on ne pourra préciser que quand le premier se sera réalisé.

Un premier scénario (S₁)

- **La survenance d'un éboulement de taille moyenne, formant une retenue naturelle qui se vide très rapidement par rupture du barrage, est très fortement probable.**

Ainsi, en s'appuyant sur :

- les études dont il a eu communication ;
- le rapport du groupe Panet ;
- la visite du terrain ;
- la bibliographie,

le GAES confirme que la chute d'un premier éboulement de trois millions de m³ environ est hautement probable dans les dix ans à venir.

Les facteurs favorisant cet éboulement

L'évolution du versant, et l'examen de la bibliographie conduisent à penser que cet éboulement interviendra lors d'une séquence de précipitations intenses et continues. Il peut aussi être provoqué par un tremblement de terre, mais le tremblement de terre est moins probable que les pluies intenses.

Dans le cas d'un éboulement lié à des précipitations, le débit de la Romanche sera supérieur à la moyenne, car ces précipitations concerneront aussi le bassin versant amont. La probabilité d'un éboulement provoqué par un séisme et d'une crue concomitante de la Romanche est très faible, car les deux phénomènes sont indépendants.

Les conséquences de cet éboulement

Il est difficile de prévoir avec précision ce que sera la géométrie du barrage créé par l'éboulement. Il sera en pente de la rive droite vers la rive gauche, et la cote approximative de son point le plus bas sera de 338. On peut considérer que, dans ce scénario, les effets de souffle seront négligeables⁵⁵.

Le GAES considère que, si l'éboulement barre la vallée, le barrage résultant se remplira rapidement et cèdera par surverse. Le temps de remplissage sera court : il sera, par exemple, inférieur à 20 minutes, si le débit de la Romanche est celui d'une crue annuelle. Or, on a vu que l'éboulement se produira probablement lors d'une séquence de précipitations intenses et continues. Un tel débit aura donc une très forte probabilité d'être dépassé au moment même de l'éboulement.

Au niveau de Vizille, l'onde de crue provoquée par la rupture du barrage arrivera environ une demi-heure après la rupture du barrage, le débit de pointe sera supérieur à celui d'une crue centennale et la hauteur d'eau "moyenne" de l'ordre de 2 mètres. Cette crue sera très chargée en matériaux solides.

Les mesures à prendre

Le GAES considère donc que, concernant ce scénario, des mesures de type préventif doivent être prises très rapidement, car l'enchaînement des événements sera trop rapide pour mettre en sécurité les personnes et les biens exposés.

Les calculs économiques confirment la rentabilité très élevée de mesures comme la construction de casiers hydrauliques aval et la déviation de la route nationale.

La raison de l'efficacité d'une mesure comme celle des casiers hydrauliques tient à ce que les crues dues à une rupture de barrage peuvent, dans ce scénario, y être stockées, car elles ont un volume beaucoup plus faible que celui d'une crue "naturelle" de débit de pointe comparable.

Les scénarios ultérieurs

- **Après le premier éboulement, les conditions de stabilité du versant seront profondément modifiées, et on ne peut pas exclure l'éventualité d'éboulements plus importants.**

En s'appuyant sur les sources déjà mentionnées, le GAES considère qu'il est indispensable de prendre en compte dès maintenant des scénarios d'éboulements plus importants. En effet, les mesures qui sont de nature à réduire les dommages induits ont une durée de mise en oeuvre qui est de l'ordre de grandeur de celle du délai de réalisation probable du premier scénario : le coût d'option correspondant à une attitude d'attente est trop élevé.

⁵⁵ Ces effets se caractérisent par une mise en vitesse de l'air à l'avant de l'éboulement qui peut produire, hors de la zone atteinte par l'éboulement des dévastations, mais aussi une perte de visibilité.

Les scénarios pris en compte

Le GAES considère que les scénarios pris en compte dans les études hydrauliques disponibles sont une base de réflexion raisonnable. S₂, S₃ et S₄ correspondent respectivement aux cotes du point bas du barrage 350, 360 et 370 (rappel : S₁ désigne le scénario déjà examiné, associé à la cote 338). Ces scénarios sont censés se produire dans l'ordre dans lequel ils sont numérotés, les volumes des éboulements associés allant en croissant.

Comme dans le cas de S₁, l'hypothèse de la corrélation entre éboulement de terrain et crue de la Romanche est retenue, la cause commune des deux phénomènes étant celle d'une séquence de précipitations intenses et continues. De même on ne retient pas l'hypothèse de la simultanéité de la crue et d'un séisme, car elle est très peu probable

Les conséquences de ces phénomènes

Les conséquences des éboulements S₂, S₃ et S₄ sont d'autant plus extrêmes que leur volume est important. Tous concernent Séchilienne à l'amont ; à l'aval sont menacées les communes situées à l'amont du confluent du Drac et S₄ affecterait l'agglomération grenobloise.

Le GAES considère que :

- ces scénarios sont concevables sur le plan historique. Le volume de S₄ a été dépassé au 20^{ème} siècle dans les Alpes (Randa, Vajont, Valtellina). Or les matériaux mobilisables peuvent atteindre ce volume ;
- ils doivent être pris en compte de façon cohérente par tous les acteurs concernés.

Les études disponibles, et celles qui ont été commandées, constituent une base solide pour évaluer les dommages qui résultent des divers scénarios, ainsi que pour évaluer l'efficacité des mesures qui permettront de réduire ces dommages qui, en l'état actuel des connaissances, ne paraissent pas acceptables.

Les mesures à prendre

Le GAES considère que ces mesures devront agir sur l'aléa et sur la vulnérabilité. Ce qui suit suppose que les mesures préconisées pour faire face à S₁ (bassins et déviation routière) ont été réalisées.

Concernant l'aléa, la mesure la plus logique, est celle de la dérivation de la Romanche au moyen d'une galerie hydraulique. Son efficacité est attestée à la fois par les calculs techniques et les calculs économiques. Selon la valeur que l'on attribuera à la corrélation entre crue et éboulement, cette galerie devra être dimensionnée pour évacuer entre 800 et 1200 m³/s (diamètre compris entre 9 et 11 mètres).

Concernant la vulnérabilité, le GAES a pu explorer celle qui concerne les activités industrielles. Il a relevé un certain manque de cohérence :

- entre les hypothèses retenues par les différents industriels ;
- entre ces hypothèses et les scénarios examinés ci-dessus ;
- entre ces mêmes hypothèses et les scénarios retenus par les actions pilotées par l'Etat (PPR, PSS)

Il en résulte que ni les mesures de mise en sécurité préventive, ni les mesures de mise en alerte ni, enfin, les mesures à prendre en cas de réalisation d'un des scénarios S₂, S₃ et S₄, ne semblent pas à avoir fait l'objet d'une réflexion collective approfondie, des industriels comme des pouvoirs publics.

Sur ce dernier point, le GAES reconnaît qu'il a disposé de peu d'éléments. Il ne peut qu'attirer l'attention sur la nécessité de prendre en compte les scénarios S₂, S₃ S₄ dans la mise en sécurité de l'agglomération grenobloise, notamment en prévoyant les mesures d'évacuation qui s'imposent.

Remarques

Le danger représenté par certains scénarios intermédiaires

Pour des raisons qui sont expliquées de façon détaillée dans le rapport du GAES, des scénarios du type S_{1+} ou S_{2-} , sont très dangereux. Ils se caractérisent par des éboulements produisant un barrage dont la cote sera comprise entre 338 et 350 m. En pratique, S_{1+} pourrait se produire comme une variante de S_1 , pour lequel le volume de l'éboulement aurait été sous-estimé, tandis que S_{2-} serait plutôt une variante minorée de S_2 , qui aurait été surestimé.

Le paradoxe est que S_{2-} est moins dangereux que S_{1+} . En effet, pour des raisons topographiques, toute galerie de dérivation, quelle que soit sa taille, a une cote de prise d'eau de 338 mètres, donc dans les cas S_{1+} ou S_{2-} , une partie seulement de l'eau transitera par la galerie et une autre partie déversera et conduira à la rupture du barrage.

L'approfondissement de ce type de scénario, qui a été peu étudié, est recommandé, sans que ce complément d'étude puisse être une raison invoquée pour différer les mesures conseillées pour faire face à S_1 . On peut, en revanche, prévoir une tranche optionnelle pour la mise en œuvre de ces mesures, dans l'éventualité où, par exemple, la prise en compte ultérieure de S_{1+} ou S_{2-} , sur la base d'études permettant de les préciser, conduirait à une extension des casiers hydrauliques.

Le danger de chute d'un éboulement dans une retenue provoquée par un éboulement précédent

L'hypothèse d'un scénario d'éboulements successifs n'a pas pu être prise en compte dans les calculs économiques, car elle est très difficile à modéliser et on ne disposait que d'une étude, en cours pendant les travaux du GAES. La bibliographie comporte de nombreux cas d'éboulement dans un barrage créé par l'homme ou constitué par un premier éboulement et certains ont été extrêmement meurtriers, du fait de la génération d'une vague d'amplitude considérable vers l'aval, avec surverse et destruction du barrage, et vers l'amont, avec des dégâts aux habitations très sévères.

Annexe 6 : Les aléas, les enjeux, les parades - tableaux de synthèse

Annexe 6.1 Tableau de synthèse des aléas

Tableau de synthèse des aléas, définis par référence au rapport Panet de 2003

Nom du scénario	Cote du point bas du barrage formé	Volume de matériaux éboulés	Volume d'eau dans la retenue	Observations (références au rapport Panet de 2003)
<i>Scénario 338</i>	338 m	$3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	200 000 m ³	Scénario dit « court terme monophasé » dans le rapport Panet de 2003
<i>Scénario 350</i>	350 m	5 à $6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	$3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	Scénario intermédiaire bas
<i>Scénario 360</i>	360 m	$10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	$9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	Scénario intermédiaire haut
<i>Scénario 370</i>	370 m	20 à $25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	$20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	Scénario dont l'occurrence est considérée comme très improbable dans les 10 ans, et peu probable entre 10 et 50 ans

Annexe 6.2 Tableau de synthèse des enjeux

Estimation des ordres de grandeur des enjeux, en millions d'euros (M€) sans parade

Scénario de dommage		Ampleur des dommages au patrimoine (constructions, infrastructures, etc.)			Ampleur des pertes économiques (exploitation)	
Nature du scénario		Dégâts aval	RN 91	Dégâts amont	aval	amont
338	route ensevelie, rupture de lac, pas de crue	surcoût 23 à 50	7	0	9 à 18	85
	Route ensevelie, rupture de lac, $Q < Q_{100}$		9	0	9 à 18	85
	Route ensevelie, rupture de lac, $Q < Q_{300}$		11	0	9 à 18	85
	Route ensevelie, rupture de lac, $Q > Q_{300}$		17	5	9 à 18	100
350	route ensevelie, rupture de lac, pas de crue	500 à 700	20	0	28	300
	Route ensevelie, rupture de lac, $Q < Q_{100}$		22	0	28	300
	Route ensevelie, rupture de lac, $Q < Q_{300}$		24	5	28	300
	Route ensevelie, rupture de lac, $Q > Q_{300}$		30	5	28	300
360	route ensevelie, rupture de lac, pas de crue	1 100 à 1 300	20	10	41	350
	Route ensevelie, rupture de lac, $Q < Q_{100}$		22	10	41	350
	Route ensevelie, rupture de lac, $Q < Q_{300}$		24	10	41	350
	Route ensevelie, rupture de lac, $Q > Q_{300}$		30	15	41	350
370	route ensevelie, rupture de lac, pas de crue	3 500 à 4 000	20	15 à 20	273	350
	Route ensevelie, rupture de lac, $Q < Q_{100}$		22		273	350
	Route ensevelie, rupture de lac, $Q < Q_{300}$		24		273	350
	Route ensevelie, rupture de lac, $Q > Q_{300}$		30		273	350

Source : - "mission" pour les dommages à l'aval d'après étude GIPEA revue à la baisse
- étude GIPEA pour l'amont, revue à la baisse par la mission.

Evaluation chiffrée des dommages

1	2	3	4	5	6	7	8
SCENARIOS	HAUTEUR D'EAU (en m)	VICTIMES POTENTIELLES	HABITAT	Y COMPRIS EQUIPEMENT(x2)	ATTEINTE CAPITAL INDUSTRIEL	PERTE D'EXPLOITATION INDUSTRIELLE	TOTAL
338 Péage de Viz. Vizille Jarrie Etude Sogreah 1999	2 1 à 2 0 à 1	Quelques	2000 à 5000 habitations h = 1300 à 3300 logts X 20 K€ <u>26 à 66 M€</u>	<u>52 à 132 M€</u>	1247 emplois X 1M€ X 5 à 10% <u>= 63 à 125 M€</u>	0,6 M€ X 15 jours ou 0,6 M€ X 30 jours <u>= 9 à 18 M€</u>	52 132 63 125 9 18 <u>124 à 275 M€</u> dont rupture : <u>25 à 55 M€</u>
350 Vizille Jarrie Champagner Etude Sogreah 1999	2 à 3 1 0 à 1	10 à n X 10	5 à 10 000 habitations 3300 à 6600 logts 2300 X 40 4000 X 40 1000 X 20 2600 X 20 <u>112 à 212 M€</u>	<u>224 à 424 M€</u>	1247 X 20 % 237 X 10 % <u>275 M€</u>	0,6 M€ X 40 jours 0,12 M€ X 30 jours <u>soit # 28 M€</u>	224 424 275 275 28 28 <u>527 à 727 M€</u>
360 Vizille Jarrie Champagner Pt de Claix Etude Sogreah 1997	2 à 5 1 à 2 1 0 à 2	n X 10 à 100	10 à 15 000 habitations 6600 9000 2000 X 100 2000 X 100 2300 X 40 4000 X 40 2300 X 20 3000 X 20 <u>338 à 420 M€</u>	<u>676 à 840 M€</u>	1247 X 30 % 237 X 20 % <u>420 M€</u>	0,6 M€ X 60 jours 0,12 M€ X 40 jours <u>soit 41 M€</u>	676 840 420 420 41 41 <u>1137 à 1301M€</u>
370 Vizille Jarrie Champagner Pt de Claix Grenoble Etude Sogreah 1997	5 à 10 3 à 5 2 à 3 2 à 3 0 à 2	100 à n X 100	200 000 habitations = 130 000 logements dont 30 à 40 000 concernés 3300 X 100 = idem 3000 x 40 = idem 23 700 X 20 = 33 700 X 20 <u>894 à 1094M€</u>	<u>1 788 à 2 188 M€</u>	1247 X 80 % 237 X 50 % 945 X 50 % <u>1 770 M€</u>	0,6M€ X 300 jours 0,12 M€ X 150 jours 0,5 M€ X 150 jours <u>soit 273 M€</u>	1788 2188 1770 1770 273 273 <u>3831 à 4231 M€</u>

Bases retenues pour l'évaluation des dommages :

1) Dommages potentiels à l'aval du site (cf. tableau)

1. Données hydrauliques (colonnes 1 et 2)

Les hypothèses de calcul des hauteurs d'eau sont celles des études Sogreah pour la DDE (ou l'ADR)

- de 1999 pour les scénarios 338 et 350
- de 1997 pour les scénarios 360 et 370

Pour les seuls scénarios Q_{100} et $Q_{100} + 338$, la DDE et l'ADR ont effectué des études topographiques complémentaires et demandé à Sogreah de mettre en œuvre un modèle bidimensionnel.

Les premiers résultats de ces études indiqueraient pour ces scénarios des hauteurs et zones inondées localement plus réduites, mais ces études (sans volet historique) ne sont pas validées, à la date de rédaction du présent rapport. Aussi la mission les cite, sans être en mesure de les utiliser. Elles conduiraient à un dommage compris entre 6 et 15M€.

2. Victimes potentielles (colonne 3)

Les estimations résultent d'un échange en Préfecture de l'Isère avec les services concernés et d'un entretien avec le sous directeur chargé des risques à la Direction de la Défense et de la Sécurité civile. Elles sont comprises entre les observations faite lors de crues rapides (du type des crues cévenoles) et de rupture de barrage artificiel.

3. Habitat (colonne 4)

(on prend 1.5 habitant/logement)

Sur la base des chiffres observés lors de crues récentes, la fonction d'endommagement retenue correspond par logement aux dommages suivants :

- ≤ 2 m d'eau d=20 k€
- 2 à 3 m d'eau d=40 k€
- > 3 m d'eau d=100 k€

Pour Grenoble, on ne prend en compte que les logements de rez-de-chaussée, en estimant qu'on a en moyenne des R+4.

4. Equipements collectifs (colonne 5)

Il s'agit des infrastructures, des bâtiments publics... Classiquement, ils sont de même ordre de grandeur que les dégâts aux habitations. Aussi, pour avoir une estimation du dommage total (habitat + équipement) on multiplie par 2 le chiffre du dommage aux habitations.

5. Atteinte au capital industriel et perte d'exploitation (colonnes 6 et 7)

Le ratio de 1M€ de capital investi par emploi permet de donner un ordre de grandeur de la valeur des sites industriels ; la plate forme de Jarrie compte 1247 emplois, celle de Champagner 237, celle de Pont de Claix 945.

La fonction d'endommagement retenue, après échange avec la DRIRE Rhône Alpes et consultation d'une étude antérieure, est la suivante :

- 1 m d'eau 5 à 10% du capital investi

2 m d'eau	50% du capital investi
≥ 3 m d'eau	80% du capital investi

Les pertes d'exploitation journalières sont estimées à 500 €/emploi/jour d'arrêt, en ordre de grandeur. Les temps d'arrêt des usines ont été estimées selon le scénario de 15 à 300 jours (source : d'après tableau subdivision DRIRE Grenoble).

6. Résultats (colonne 8)

Pour l'événement court terme ($Q_{100} + 338$) le dommage à retenir est le surcoût dû à la seule rupture. On l'a estimé à 20% du dommage ($Q_{100} + 338$)

II Dommages potentiels à l'amont du site

Cf. Tableau Annexe 6.2

1. Dommages au patrimoine

Ils concernent les dommages à l'axe routier lui-même et les dommages possibles au lotissement de Séchilienne.

2. Pertes d'exploitation

Ne sont pris en compte que les pertes journalières des stations estimées à 50% du CA journalier et les coûts des allongements des itinéraires de Grenoble à l'Oisans (+100 km) pour un trafic de la RN91 divisé par 2 ($=9000/2=4500$ véh/jour). Ne sont pas pris en compte les pertes dues à la perturbation d'activité des 1500 salariés qui descendent chaque jour de l'Oisans en région Grenobloise.

Annexe 6.3 Tableau de synthèse des parades

Caractéristiques, coût et délai de réalisation des parades hydrauliques et routières

Nature des parades		coût	Délai de réalisation	Observations
Parades hydrauliques	Digues et/ou casiers hydrauliques	5 à 10 M€	1 an à 18 mois	En cours d'étude (DDE)
	Galerie Ø 6m	22,5 M€	4 ans	Selon étude EDF
	Galerie Ø 9m	45 M€	4 ans	Selon étude EDF
	Galerie Ø 11m	77,5 M€	5 ans	Selon étude EDF
Parades routières	Déviations basse	6,3 M€	2 ans	Dans le versant RG, point haut 350
	Déviations haute	15 M€	2 ans	Dans le versant RG, point haut 360
	Tunnel routier	57,5 M€	5 ans	Selon étude DDE

Source : rapport de la mission, § 4, et documents d'étude EDF et DDE.
 Pour les délais de réalisation : sources EDF et CETU

Annexe 7 : Méthode de comparaison de l'efficacité des parades, au regard des aléas et des enjeux

Le calcul économique de rentabilité des investissements, à partir d'un bilan coût/avantages, est une démarche classique. En matière d'investissements routiers, il est en particulier prescrit par la circulaire n° 98-99 du 20 octobre 1998 : « méthodes d'évaluation économique des investissements routiers en rase campagne », qui intègrent d'ailleurs le risque humain.

Dans le cas présent, la complexité et l'incertitude de définition des aléas et la multiplicité des enjeux rendaient la question délicate. En l'absence de méthode ou de données directement utilisables, la mission a lancé une consultation par appel d'offres pour sélectionner un bureau d'études qualifié. Le cahier des charges comportait la description des aléas à prendre en compte (scénarios 338 à 370 du rapport, associés aux crues de la Romanche), et demandait de conduire l'évaluation économique des enjeux, puis un calcul du bilan coût/avantages des parades. L'appel d'offres ouvert a conduit à sélectionner (parmi deux offres reçues seulement) un groupe associant un bureau d'études français spécialisé dans le traitement de données géographiques et numériques, et un bureau d'études suisse spécialisé dans l'économie des risques naturels.

La méthode suivie consiste schématiquement à calculer le gain potentiel (réduction des dommages) apporté par l'investissement dans les conditions de « l'aléa de projet », à le pondérer par la probabilité d'occurrence des aléas et à comparer la somme actualisée des gains ainsi calculés avec les coûts d'investissement et de fonctionnement (eux aussi actualisés) de la parade.

L'application d'une telle méthode suppose :

1. une bonne définition physique des aléas, dans leur intensité comme dans leur condition de déclenchement
2. la possibilité d'affecter à ces aléas des probabilités d'occurrence, pour les besoins du calcul économique
3. une évaluation monétaire des dommages correspondant à chaque aléa,
4. une estimation des coûts d'investissement et d'exploitation des parades, et de leurs performances, entendues comme la réduction de dommages qu'elles permettent d'obtenir.

Les conditions 1 et 2 sont par exemple réunies dans le cas de phénomènes naturels répétitifs mais indépendants les uns des autres⁵⁶, et pour lesquels des séries statistiques passées permettent d'associer l'intensité du phénomène à sa période de retour : tel est le cas par exemple des crues, définies par les débits correspondants à un temps de retour statistique : débit des crues décennales, centennales, etc. Tel est aussi le cas des chutes de pierre isolées mais fréquentes sur des portions de route exposées⁵⁷, ou des avalanches dans des couloirs régulièrement parcourus.

Le point n° 3 nécessite des données économiques fiables sur les enjeux.

Le point n° 4 suppose une bonne évaluation des conditions physiques de fonctionnement des parades face aux aléas envisagés. Il nécessite aussi, bien entendu, une bonne définition technique et financière des parades, qui relève des hommes de l'art mais ne pose en général pas de problème méthodologique.

Dans le cas de Séchilienne, chacun de ces quatre points est repris ci-après :

1. **La définition des scénarios d'aléas** (point 1 ci-dessus) est complexe : elle associe un aléa géologique constitué de séquence d'évènements liés entre eux, et un aléa hydraulique (crues

⁵⁶ analogue, pour le statisticien, à un « tirage au sort avec remise » : la réalisation d'un événement l'année n est indépendante de sa réalisation, ou non, les années antérieures ou postérieures.

⁵⁷ cf. par exemple l'étude de mars 2004 de la DDE de La Réunion, concernant la RN 1, sur cette île.

de la Romanche) plus simple, mais avec une liaison entre les deux types d'aléas : le glissement est plus probable en périodes de fortes précipitations, de même que les crues.

Les aléas géologiques ont été définis à partir des rapports Panet de 2000 et 2003, qui mentionnent explicitement les éboulements de 3 millions de m³ à court terme et de 20 millions de m³ à long terme. Ces deux éboulements correspondent aux deux scénarios extrêmes retenus (définis par les cotes approximatives des lacs de retenue formés : 338 et 370). Les aléas intermédiaires, correspondant aux cotes 350 et 360 ont été définis de façon à avoir des points de référence intermédiaires dans le calcul.

Pour les aléas hydrauliques induits, Sogreah a effectué à la demande de l'Etat dans les années passées des études de rupture des retenues correspondant aux 4 scénarios cités. Il faut seulement noter ici que ces études ont, selon Sogreah, une précision très différente, en raison de la nature même des phénomènes en cause : la rupture du lac 338 est assimilable à une forte crue. Au contraire, les scénarios 350, 360 et 370 conduisent à des écoulements sans commune mesure avec les capacités du lit de la Romanche et des ouvrages existants, et la précision des résultats est assez médiocre.

2. **La modélisation statistique des évènements**, pour les besoins du calcul économique, doit prendre en compte l'enchaînement des éboulements successifs, et la liaison entre éboulements et crues.

Le modèle statistique descriptif complet introduisant ces notions serait très complexe (surtout à cause de l'introduction de probabilités conditionnelles correspondant au tirage « sans remise » des éboulements : le calcul devient rapidement lourd pour quatre scénarios séquentiels, conditionnés les uns par les autres, sur plusieurs décennies...). Des modèles simplifiés permettent cependant d'approcher en la minorant l'évaluation de la rentabilité, au moins pour les scénarios de court et moyen terme : c'est ce qui a été fait dans la note de calcul de l'annexe 8, en ne prenant en compte dans le calcul de rentabilité que l'éboulement de « premier rang chronologique » (338, ou 350, selon le cas, en négligeant les effets des éboulements suivants)

Les paramètres de probabilité utilisés dans le modèle doivent par ailleurs être cohérents avec les termes utilisés dans les rapports Panet (« probable dans les 10 ans à venir », « peu probables », etc.) Les paramètres qui ont été utilisés sont définis dans l'annexe 8, le calcul ayant été fait sur plusieurs valeurs lorsque cela a paru nécessaire.

3. **L'évaluation des enjeux**, sans poser de questions de principe vraiment originales, est très complexe ici en raison de la grande diversité de ces enjeux : dommage au patrimoine bâti, aux installations industrielles, aux infrastructures de transport, préjudice économique (pertes d'exploitation ou dépenses supplémentaires) lié à l'interruption momentanée ou à l'allongement des transports, et surtout risques pour les vies humaines en cas de rupture brutale du barrage formé à Séchilienne.

Pour les risques humains, l'évaluation dépend essentiellement de l'efficacité des dispositifs d'urgence mis en place (préavis, alerte, plans d'évacuation). Le raisonnement par analogie avec des situations considérées comme assez semblables (crues rapides pour les scénarios 338 et 350, ruptures de barrages artificiels pour 360 et 370) a paru le seul utilisable ici.

Pour les risques au patrimoine bâti, le chargé d'études a effectué un rapprochement sur SIG des données numérisées du cadastre et des données des cartes d'inondabilité

Sogreah, interprétées si nécessaire (vitesse et hauteur d'eau). La mission a ensuite interprété les résultats, par recouplement avec des situations comparables, ce qui a conduit à de fortes minorations. Compte tenu de l'imprécision des données, elle a pris en compte des fourchettes de valeur assez larges.

L'évaluation des risques économiques autres que patrimoniaux a été faite à partir d'études antérieures, ou à dire d'expert, notamment en fonction du temps estimé de fermeture de la RN 91 dans chaque scénario.

4. ***L'évaluation des caractéristiques des parades***, de leurs performances et de leurs coûts, a été faite avec les hommes de l'art (DDE et CETU pour les parades routières, DDE et EDF pour les parades hydrauliques).

Pour les performances des parades (et en particulier des parades hydrauliques), on a estimé de façon simplificatrice que les parades étaient efficaces jusqu'à leur « aléa de projet » et totalement inefficaces au-dessus : il s'agit d'une hypothèse prudente. En réalité, par exemple, il est probable que l'existence d'une galerie, même insuffisante pour écouler le débit de crue maximum, permettra de retarder sensiblement (voire d'éviter) le risque de rupture du barrage par surverse, le débit de surverse étant plus faible et moins durable avec une galerie que sans galerie.

Par ailleurs, la prise en compte du remplissage de la retenue (en dessous de son niveau maximum) avec mise en charge de la galerie améliore très sensiblement les capacités d'écoulement des crues pour les retenues importantes. Il n'a été pris en compte que pour l'évaluation du dimensionnement maximum de la ou des galeries, mais cet effet pourrait être sensible en cas d'échelonnement dans le temps d'un dispositif de deux galeries parallèles, par exemple.

On notera ici que le délai de réalisation des parades a une importance significative, en particulier pour les parades court et moyen terme (scénarios 338 et 350).

Le calcul est détaillé, avec les hypothèses chiffrées retenues, dans la note de calcul jointe en annexe 8.

Annexe 8 : Note de calcul sur l'approche de la rentabilité des parades

Principe du calcul de la rentabilité des parades :

On distingue dans la note ci-après:

- ***le calcul de rentabilité de la déviation routière en déblais remblais***, qui repose uniquement sur la comparaison entre le coût de l'investissement routier, et le coût (actualisé à l'année initiale de décision) des effets économiques évités de la coupure de la route, évalué à partir du nombre de jours de coupure.
- ***Le calcul de rentabilité des parades hydrauliques*** : il s'agit d'un calcul d'assurance, dans lequel on compare le coût du dommage évité, probabilisé et actualisé à l'année de la prise de décision, au coût de l'investissement de protection ; la loi de probabilité et les paramètres de calcul retenus doivent prendre en compte la non-reproductibilité des éboulements, la liaison éboulements-crues, et la cohérence avec les affirmations des rapports Panet.
- ***Le calcul de rentabilité du tunnel routier*** : compte tenu de l'improbabilité à court terme des scénarios pour lesquels il est utile, on s'est contenté de comparer l'effet d'une décision immédiate et celui d'une décision différée à 5 ans, par exemple.

A - Déviation en déblais remblais :

Coût d'investissement initial pris en compte : 15 M€

Coût de la journée d'interruption, en valeur 2005 :

- CA des stations amont : 300 M€/an, soit 0,8 M€/jour calendaire (en valeur statistique : le CA est fait sur 150 jours environ, mais la coupure peut intervenir en toute période). Hypothèse : la coupure de la route fait perdre 50% du CA, soit **0,4 M€/j** (sans baisse des charges, pour une coupure courte)
- allongement des transports : trafic actuel 9000 véhicules/j, divisé par deux (pour tenir compte de la baisse de trafic) mais allongé de 100km à 0,3€/km, en cas de coupure à Séchilienne, soit :

$$4500 \times 100 \times 0,3 = 135 \text{k€}/\text{j}$$

- actualisation : par sécurité dans le calcul, on prend en compte les coûts de coupure comme s'ils ne se produisaient qu'à l'année 10, et on actualise à l'année 2005 au taux de 4% : le coût actualisé de la journée de coupure de route est minoré par la valeur :

$$C = \frac{0,535}{1,04^{10}} = 0,36 \text{ M€}$$

La déviation d'un coût de 15 M€ en valeur 2005 est rentabilisée pour une durée d'interruption de $15 / 0,36 = 42$ jours, le calcul étant minoré par l'actualisation de tous les coûts à 10 ans, et non selon une loi de probabilité sur la période (qui conduirait à un ordre de grandeur de 30 à 35 jours, modulé selon la loi de probabilité retenue).

Le résultat **est indépendant du mode de réalisation de l'éboulement**, polyphasé ou monophasé, et d'une interruption en une ou plusieurs fois.

Remarque sur la sensibilité du résultat au coût d'investissement : une variation du coût de la déviation de 1 M€ fait varier le délai de coupure rentabilisant la déviation de 1/0,36, soit environ 3 jours.

B – Dispositifs de contention :

1) rentabilité associée au scénario 338 :

Le dommage D rentabilisant les casiers, de coût C, est donné par la formule :

$$C = \sum \frac{p(1-p)^{t-1}D}{(1+i)^t} \quad (1)$$

dans laquelle :

p est la probabilité annuelle initiale du phénomène physique considéré (éboulement)

t, représentant l'année d'occurrence du phénomène, varie de 1 à 10 si celui-ci est considéré comme devant survenir dans les 10 ans

i est le taux d'actualisation

D est le dommage constaté, dépendant lui-même de la coïncidence ou non d'une crue avec l'éboulement.

Le coefficient :

$$s = \sum \frac{p(1-p)^{t-1}}{(1+i)^t} \quad (2)$$

correspond à la somme des probabilités annuelles de l'événement non reproductible constitué par l'éboulement, avec actualisation des dommages à l'année 1 au taux d'actualisation i : la probabilité est p la 1^{ère} année, p(1-p) la 2^{ème}, p(1-p)² la 3^{ème}, etc., et chaque valeur annuelle est actualisée en fonction du taux i.

Dans la formule (1), D est le montant des dégâts, dépendant de la probabilité d'occurrence à l'année n d'une crue simultanée à l'éboulement : en l'absence de crue ou pour une crue faible, il n'y a pas de dégât, le lit de la Romanche absorbant l'onde de crue de la rupture du barrage 338. Pour une crue centennale ou plus, les dégâts se déduisent des hypothèses de l'étude SOGREAH.

La rentabilité calculée est donc au moins égale à celle calculée pour les éboulements coïncidant avec une crue centennale.

Le calcul du coefficient $\sum p(1-p)^{t-1}$ de la formule (2) ci-dessus, représentant la probabilité cumulée sur la période d'avoir l'éboulement considéré, pour différentes valeurs de p, montre que la valeur **p = 0,05** attribuée à la probabilité d'avoir un éboulement monophasé l'année initiale, permet d'avoir une **probabilité cumulée de 40% sur 10 ans pour cet éboulement de 3 millions de m3 monophasé**, non reproductible : cette valeur de p=0,05 paraît compatible avec les conclusions du rapport Panet de 2003, selon lesquelles l'éboulement est très probable à terme de 10 ans, mais plus probable sous forme polyphasée que monophasée. La valeur du coefficient s dans la formule (2) est alors s = 0,34

Cet éboulement monphasé étant supposé réalisé (avec sa probabilité de 5% la 1^{ère} année, décroissant ensuite en raison de sa non-répétitivité), la probabilité d'avoir en même temps une crue plus que centennale est de l'ordre de **12%** (cf. calcul en annexe ci-après, sur la probabilité liée de « crue si éboulement »)

Les dégâts dus à cette crue plus que centennale associée à l'éboulement sont au minimum dans une fourchette de 124 à 275 M€ sur la base des hypothèses SOGREAH (éboulement + crue centennale, rupture du barrage en ¼ h). Sur ce total, la part attribuable au « surdommage Séchilienne » dû à la rupture de barrage est de l'ordre de 10% à 20%. (débit supplémentaire de 200 m³/s, par rapport à la crue centennale de 880 m³/s). Si on retient une valeur de **25 M€** (valeur inférieure à la médiane de la fourchette), le dommage D statistique à prendre en compte, probabilisé en fonction de l'hypothèse « crue si éboulement », est donc :

$$D' = 0,12 \times 25 = \mathbf{3 \text{ M€}}$$

Ce dommage ne rentabilise à lui seul qu'une parade de coût $C = s D'$, soit ici $C = 0,34 \times 3 = \mathbf{1 \text{ M€}}$.

Même si beaucoup d'hypothèses apparaissent très minorantes (notamment le fait qu'on se limite aux crues centennales, et non aux plus fortes, dont les dégâts augmentent sans doute nettement plus vite que leur probabilité ne décroît), et si on ne tient aucun compte ici des risques humains, il apparaît que la rentabilité des dispositifs de contention ne peut résulter de façon sûre de la seule prise en compte du scénario 338.

2) Rentabilité des dispositifs de contention associée aux scénarios intermédiaires entre 338 et 350

(cf. rapport, § 4.4.2)

Pour les scénarios supérieurs à 338, la formule (1) s'applique avec des hypothèses différentes :

t varie sur une plage de temps plus longue (20 à 50 ans ? on prendra ci-après 30 ans), démarrant après le scénario 338 (on prendra ci-après pour le seul besoin du calcul, par prudence, démarrage dans 10 ans), et avec une valeur de p non déductible des rapports Panet 1 et 2. Les besoins du calcul économique conduisent à partir de valeurs de p basses, pour évaluer avec prudence des ordres de grandeur de rentabilité, en gardant bien entendu l'hypothèse de non-reproductibilité de chaque scénario qui fait baisser p rapidement dans le temps. On prendra ci-après deux hypothèses pour la probabilité initiale annuelle p, à 5% et 2%. Ces deux hypothèses correspondent à des probabilités cumulées sur la période de trente ans prise en compte, respectivement, de 0,78 et 0,45

On trouve alors dans la formule (2) appliquée sur 30 ans **s = 0,54 pour p=0,05, et s = 0,29 pour p = 0,02**, la distinction entre monphasé ou polyphasé ne semblant plus ici pertinente : les blocs s'accumulent sur chaque éboulement précédent, et c'est la hauteur cumulée qui est déterminante, quel que soit son mode d'élaboration. Il faut actualiser à 10 ans cette valeur, donc la diviser par $1,04^{10}$, ce qui donne :

$$\mathbf{s' = 0,36 \text{ pour } p = 0,05}$$

$$\mathbf{s' = 0,20 \text{ pour } p = 0,02}$$

Les dommages ont été évalués, avec une forte marge d'incertitude, à :

- une fourchette de 124 à 275 M€ pour le scénario 338

- une fourchette de 525 à 725 M€ pour le scénario 350

On a retenu ici pour le calcul un ordre de grandeur de 450 M€ pour un scénario intermédiaire, de type 342, pour lequel les casiers sont nécessaires (cf. rapport, p 45)

La même hypothèse que ci-dessus, de prise en compte des seuls cas où il y a coïncidence entre éboulement et crue plus que centennale, est très prudente dans le calcul de rentabilité. Elle conduit à retenir une valeur de dommage probabilisé de :

$D' = 0,12 \times 450 = 54 \text{ M€}$, dont une partie (calculée en cohérence avec les hypothèses ci-dessus : 90% du dommage du scénario 338, soit environ 22 M€) est imputable à la crue centennale.

D' rentabilise donc une parade de coût

$$C = 0,36 \times (54-22) = 11,5 \text{ M€ pour } p = 0,05$$

$$C = 0,20 \times (54-22) = 6,4 \text{ M€ pour } p = 0,02$$

Malgré le caractère très approximatif (et probablement très minorant pour le calcul de rentabilité, notamment par le fait qu'on néglige toutes les crues inférieures à la centennale) des hypothèses retenues, on notera que l'ordre de grandeur du résultat est nettement plus élevé que celui du scénario 338 : ce résultat rejoint l'intuition, selon laquelle les scénarios entre 338 et 350 sont les plus dangereux, pouvant avoir une probabilité relativement élevée, et étant susceptibles de provoquer des dégâts beaucoup plus importants que le scénario 338.

C – Galerie

Le calcul est effectué comme ci-dessus, pour le seul scénario 350 (ce qui est à nouveau très minorant pour le calcul de rentabilité).

On retient par exemple, pour fixer un ordre de grandeur de la rentabilité, une période de temps de 30 ans, débutant dans 15 ans, avec une probabilité initiale très faible de 0,03. Ces hypothèses ne paraissent pas contraires à celles des rapports Panet.

On a alors :

$$s = 0,39 \text{ avant actualisation à l'année 15}$$

$$\text{et } s' = s / 1,04^{15} = 0,22$$

La liaison avec la crue centennale n'a plus ici de pertinence, les dégâts de la crue centennale étant faibles par rapport à ceux de la rupture de barrage (SOGREAH, dans son étude d'inondabilité de ce scénario, n'a d'ailleurs pas fait de distinction en fonction des crues).

Les dommages à l'aval ont été estimés, avec des hypothèses les sous-évaluant plutôt, à une fourchette de 525 à 725 M€, quelles que soient les crues simultanées ou non. Il y a lieu d'y ajouter une partie des dommages amont (la déviation et la galerie étant nécessaires conjointement pour assurer la continuité routière vers l'amont, dans le scénario 350). On a retenu ici, toujours avec une marge d'incertitude importante compte tenu des données disponibles, une fourchette de dommages D de 650 à 850 M€.

D'après la formule (1) ci-dessus, et **en négligeant d'une part les effets sur les scénarios plus élevés, et d'autre part les effets sur la sécurité des personnes**, la rentabilité est assurée si le coût des parades est inférieur à :

$$C = 0,22 \times D = 140 \text{ à } 190 \text{ M€}$$

Un calcul de sensibilité de ce résultat aux hypothèses faites sur la valeur de p, probabilité initiale annuelle du phénomène dans 15 ans, montre que les fourchettes de valeurs de C sont de :

105 à 140 M€ pour p = 0,02 (probabilité annuelle initiale, dans 15 ans, de 2%)
 58 à 78 M€ pour p = 1% (probabilité annuelle initiale, dans 15 ans, de 1%)

Le caractère très minorant des hypothèses faites dans le calcul de rentabilité conduit à estimer que **le seuil de probabilité annuelle initiale d'éboulement, dans une quinzaine d'années, en-dessous duquel la galerie, estimée à 77,5 M€, n'est plus rentable (hors toute prise en compte des pertes humaines, rappelons le), est sensiblement inférieur à 1%.**

D – Tunnel

On notera simplement ici que le tunnel routier n'a d'utilité que pour le scénario 370 (et à condition d'être accompagné d'une galerie hydraulique, pour éviter la coupure de la route à l'amont ou à l'aval)

D'après les conclusions du 1^{er} rapport Panet, ce scénario est très improbable dans les 10 ans, et peu probable entre 10 et 50 ans.

Quel que soit le coût d'investissement C du tunnel, et son coût d'entretien annuel E, avec un délai de réalisation de 5 ans, il y a tout intérêt à retarder à au moins cinq ans la décision relative à un tunnel : Celui-ci étant inutile (si l'on admet que « très improbable » se traduit par une probabilité p = 0) entre les années T + 5 et T + 10, le décalage de la décision à T + 5 fait économiser aux financeurs au moins le montant suivant, pour un taux d'actualisation i :

$$\frac{C}{(1+i)^5} - \frac{C}{(1+i)^{10}} + \sum \frac{E}{(1+i)^t}, \text{ t variant de 5 à 10.}$$

Quelles que soient les valeurs des paramètres résultant des hypothèses retenues, ce calcul conduira toujours à un résultat largement positif.

Il n'y a donc aucun intérêt, d'après les hypothèses du rapport Panet, à prendre la décision dès maintenant plutôt que dans cinq ans.



**Annexe à la note de calcul sur l'approche de rentabilité des parades :
liaison crue / éboulement, pour le scénario 338**

La liaison entre crue et éboulement : Les avis d'expert (cf. notamment avis de P. Habib, dans le rapport du GAES) conduisent à prendre en compte une forte liaison entre les probabilités de crue et d'éboulement, du fait de la corrélation étroite entre les crues et les précipitations sur le site. La probabilité globale d'éboulement une année donnée étant supposée fixée, la probabilité de crue à prendre en compte ensuite n'est pas la probabilité brute (0,01 pour $Q > Q_{100}$, 0,09 pour Q compris entre Q_{10} et Q_{100} , 0,9 pour $Q < Q_{10}$), mais la probabilité conditionnelle de « crue si éboulement », qu'on peut approcher facilement à partir d'hypothèses sur la probabilité d' « éboulement si crue ».

Avec par exemple 100% pour $Q > Q_{100}$, 40% pour Q compris entre Q_{10} et Q_{100} , 10% pour $Q < Q_{10}$, on obtient le tableau suivant:

Probabilités	Probabilité de crue « brute »	Probabilité d'éboulement si crue (hypothèse du maître d'ouvrage)	Probabilité globale d'éboulement (produit des 2 précédentes)	Probabilité de crue si éboulement (distribution de probabilité des cas possibles)
Nature de crue				
Supérieure à la centennale Q_{100}	0,01	1	0,01	$0,01 / 0,136 = 0,07$
Comprise entre la décennale Q_{10} et la centennale Q_{100}	0,09	0,4	0,036	$0,036 / 0,136 = 0,26$
Autre (Inférieure à la décennale Q_{10})	0,9	0,1	0,09	$0,09 / 0,136 = 0,66$

On vérifie ici que la probabilité totale de l'éboulement, dans toutes les hypothèses de crue, est de $0,01 \times 1 + 0,09 \times 0,4 + 0,9 \times 0,1 = 0,136$.

Cette valeur est un peu trop élevée par rapport aux hypothèses du rapport Panet, selon lesquelles l'éboulement de 3 hm³, non reproductible, à une probabilité proche de 1 de se produire dans les dix ans, mais avec une probabilité plus élevée de se produire sous forme polyphasée que monophasée (par exemple, selon hypothèse de Jean-Louis Durville, probabilité 0,6 pour l'éboulement polyphasé et 0,4 pour le monophasé) : pour être en conformité avec cette conclusion du rapport Panet, la probabilité globale de l'éboulement monophasé, qui sera prise en compte dans le calcul de dommage, doit vérifier

$$\sum \frac{p(1-p)^{t-1}}{(1+i)^t} = 0,4, \text{ pour } t \text{ variant de } 1 \text{ à } 10, \text{ soit } p = 0,08$$

Le tableau modifié suivant répond à ces contraintes (d'autres hypothèses seraient possibles, en gardant une probabilité cumulée d'éboulement de l'ordre de 0,08) :

Probabilités	Probabilité de crue « brute »	Probabilité d'éboulement si crue (hypothèse du maître d'ouvrage)	Probabilité globale d'éboulement (produit des 2 précédentes)	Probabilité de crue si éboulement (distribution de probabilité des cas possibles)
Nature de crue				
Supérieure à la centennale Q_{100}	0,01	1	0,01	$0,01 / 0,082 = 0,12$
Comprise entre la décennale Q_{10} et la centennale Q_{100}	0,09	0,3	0,027	$0,027 / 0,082 = 0,33$
Autre (Inférieure à la décennale Q_{10})	0,9	0,05	0,045	$0,045 / 0,082 = 0,55$

C'est sur la base de ce tableau qu'est arrêtée la probabilité de 0,12 pour « crue centennale si éboulement », dans les calculs ci-dessus.

Annexe 9 : Liste des personnes rencontrées

Administrations de l'Etat- niveau national

MEDD – DPPR	M	Trouvé	Directeur
	M	Segard	Sous-Directeur
	Mme	Delmas	Chargée de mission
MEDD – D4E	M	Bureau	Directeur
	M	Massé	Chef de bureau
MEDD - DE	M	Berteaud	Directeur
METLT - DR	M	Louis	Directeur-adjoint
	M	Rodriguez	
MISILL - DDSC	M	Barsacq	Sous-directeur SDDCPR
	M	Lefebvre	Adjoint au sous-directeur
CGPC	M	Giblin	Président de la 3 ^{ème} section
	M	Peigné	Responsable collège routes
IGE	M	Laurent	Chef du service de l'IGE
	M	Burdeau	Secrétaire Général

Etat – niveau du massif alpin

DATAR	M	Fonseca	Commissaire à l'Aménagement des Alpes
-------	---	---------	---------------------------------------

Etat – niveau régional

DRE	M	Amiot	Directeur
	M	Maisonnier	Adjoint + SGAR Rhône-Alpes
	M	Cheyne	Responsable programmation
DRIRE	M	Caffet	Directeur,
	M	Le Foll	
	M	Delhomelle	
	M	Fricou	
	Mme	Daujan	
DIREN	M	Alexis	Directeur
	Mme	Levraut	Adjointe

Etat – niveau départemental

Préfecture de l'Isère	M	Bart	Préfet
	M	Baudoin	Directeur de Cabinet
DDE de l'Isère	M	Régny	Chef du SID PC
	M	Hucher	Directeur
	M	Jacquart	Adjoint
	M	Marbach	
	M	Marchesini	
	M	Sionneau	
	M	Puppis	
	M	Colombo	
	M	Journet	
	DDAF de l'Isère	M	Tachker
Mme		Perrin	Adjointe
DDAF / ONF-RTM	M	Biju-Duval	
	M	Requillard	
SEATM	M	Martin	Directeur
BETCGB	M	Cottin	

Préfecture Hautes-Alpes	M	Laugier	Secrétaire Général
DDE Hautes-Alpes	M	Besombes	Directeur
Elus			
Assemblée Nationale	M	Biessy	Député, Maire honoraire d'Echirolles
			Député, Président de la communauté
			d'agglomération de Grenoble
Conseil Régional	M	Migaud	Premier Vice-Président
	Mme	Blanchard	Vice-Pésidente
Conseil Général de l'Isère	M	Bertrand	Vice Président
	M	Bich	Vice Président (routes)
	M	Revel	Vice Président (environnement)
	M	Galvin	Vice Président
	M	Pichoud	CG canton Bourg d'Oisans
	Mme	Le Gloan	CG canton Vizille
Conseil Général des Hautes-Alpes	M	Truphème	Président
	M	Jaussaud	CG Délégué, Am. du territoire
	M	Fardella	CG canton de la Guisane
	Mme	Long	DGA des services du département
Ville de Grenoble	M	Pilaud	Adjoint au maire
Communautés de communes	M	Grimoud	Pt de la communauté de communes du Sud Grenoblois
Communes	MM		<i>maire de :</i>
		Muller	Huez
		Gravier	Mont de Lans
		Balme	Venosc
		Ravier	Livet et Gavet
		Strapazzon	St Barthélémy de Séchilienne.
		Berhault	Vizille (avec deux adjoints)
		Marini	
		Gallego	
Services publics locaux			
Services du CG 38	M	Vignon	Directeur Général des Services
	M	Agnel	Directeur
	M	Lassiaz	Directeur du service des routes
	M	Roux	
	M	Monti	
		Gachet	Service des équipements publics/SYMBHI
AURG	M	Grange	Directeur
Socioprofessionnels :			
Industriels	M	Vellar	Atofina
		Thuillier	Cezus
		Vayr	
		Michel	Président Union des industries chimiques
Stations touristiques	M	Pichoud	Président du CDT
	M	Faraudo	Président de la SATA
	M	Brac de la Perrière	DG Alpes Loisirs
SAGE Drac Romanche	M	Sibieud	Chargé de mission
Régie des Eaux de Grenoble	M	Tcheng	Directeur
SIERG	M	Bertrand	Président
EDF	M	Kober	

	M	Gaudron	
	M	Perret	
SOGREAH	M	Demerle	
	M	Carré	
Associations	M	Cabanne	Comité des Ruines de Séchilienne
	Mme	Tomazino	
	Mme	Cartiaux	
	M	Gros	
	M	Grosjean	
	M	Jorcin	
	M	Ughetto	
	M	Cannac	Association de désenclavement
	M	Chalvin	de l'Oisans
	M	André	Union des Quartiers de Grenoble
Experts			
Collège d'experts Panet	M	Panet	Président
CETE Lyon	M	Effendiantz	
	M	Potherat	
Centre d'étude des tunnels	M	Mazzoleni	
Pole grenoblois des risques naturels	M	Gillet	Ancien directeur
	M	Vengeon	Nouveau directeur
Université Joseph Fourier	M	Jongmans	Professeur de géophysique et sismologie
Institut des Risques Majeurs	M	De Choudens	Président
	M	Gianocarro	Directeur
Canton du Valais	M	Rouiller	Géologue cantonal
Groupe d'appui et d'expertise scientifique	M	Brugnot	CEMAGREF
	M	Degoutte	CGGREF
	M	Habib	Ecole Polytechnique
	Mme	Vallée	INERIS
	M	Cœur	Historien
	M	Wilhelm	Confédération helvétique
Experts économie et statistique	M	Barthélémy	CG Mines / IGE
	M	Massé	MEDD – D4E
	M	Bœuf	CGPC – ENPC/CERAS
	M	Momal	Consultant indépendant
Expert en droit	Mme	Domenach	Professeur Paris 10 - Nanterre

Annexe 10 : Table des abréviations et sigles utilisés

APSI	Avant Projet sommaire d'itinéraire
ARP	Aménagement des Routes Principales (Instruction du Ministère de l'Équipement)
AURG	Agence d'Urbanisme de la Région de Grenoble
BETCGB	Bureau d'étude technique des grands barrages
BRGM	Bureau de Recherche Géologique et Minière
CDT	Comité départemental du tourisme
CEMAGREF	Centre d'étude du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et des forêts
CERAS	Centre d'enseignement et de recherche en analyse socio-économique (ENPC)
CETE	Centre d'études techniques de l'Équipement
CETU	Centre d'étude technique des tunnels
CGGREF	Conseil Général du Génie Rural, des Eaux et des Forêts
CGM	Conseil Général des Mines
CGPC	Conseil Général des Ponts et Chaussées
CIH	Centre d'ingénierie hydraulique (EDF)
CLAIRS	Commission locale d'information sur le risque de Séchilienne
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
D4E	Direction des Etudes Economiques et de l'Evaluation Environnementale (MEDD)
DATAR	Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale
DCS	Document communal de synthèse
DDAF	Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt
DDE	Direction Départementale de l'Équipement
DDSC	Direction de la Défense et de la Sécurité Civile (MISILL)
DE	Direction de l'Eau (MEDD)
DICRIM	Document d'information communal sur les risques majeurs
DPPR	Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques (MEDD)
DR	Direction des Routes (METLT)
DRIRE	Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
DUP	Déclaration d'utilité publique
EDF	Electricité de France
ENPC	Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
FNADT	Fonds national pour le développement et l'aménagement du territoire
FRAPNA	Fédération Rhône-Alpes pour la Protection de la Nature
FS	Frans suisses
GAES	Groupe d'appui et d'expertise scientifique
GIPEA	(Nom commercial du bureau d'études, prestataire de l'étude économique)
GRAF	Génie Rural, Eaux et Forêts
HT	Haute Tension
ICPE	Installation classée pour la protection de l'environnement
IGE	Inspection Générale de l'Environnement
IGN	Institut Géographique National
INERIS	Institut National de l'Environnement et des Risques
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
LATTS	Laboratoire Technique Territoires Sociétés (ENPC)
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
M€	Millions d'euros
MEDD	Ministère de l'Écologie et du Développement Durable
METLT	Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement et du Tourisme
MF	Millions de francs
MINEFI	Ministère chargé de l'Économie, des Finances et de l'Industrie
MISILL	Ministère de l'Intérieur, de la Sécurité Intérieure et des Libertés Locales

MT	Moyenne Tension
MW	Mégawatt
NGF	Nivellement Général de la France (cote de la carte IGN)
ONF-RTM	Office National des Forêts – Service de Restauration des Terrains en Montagne
POI	Plan d’opération interne (relève de l’exploitant de l’installation)
POS	Plan d’occupation des sols
PPI	Plan particulier d’intervention (relève du préfet)
PPR	Plan de prévention des risques
PSS	Plan de secours spécialisé
RD	Route Départementale
RECITA	Régulation de la Circulation en Tarentaise
RN	Route Nationale
RTE	Réseau de Transport d’Electricité
SATA	Société d’aménagement touristique de l’Alpe d’Huez
SCOT	Schéma de cohérence territorial
SDAU	Schéma d’aménagement et d’urbanisme
SDIS	Service Départemental d’Incendie et de Secours
SEATM	Service d’Etude et d’Aménagement Touristique de la Montagne
SGAR	Secrétaire Général pour les Affaires Régionales
SIERG	Syndicat intercommunal des eaux de la région grenobloise
SOGREAH	(Nom commercial d’une société d’hydraulique)
SYMBHI	Syndicat mixte des bassins hydrauliques de l’Isère
VP	Vice Président