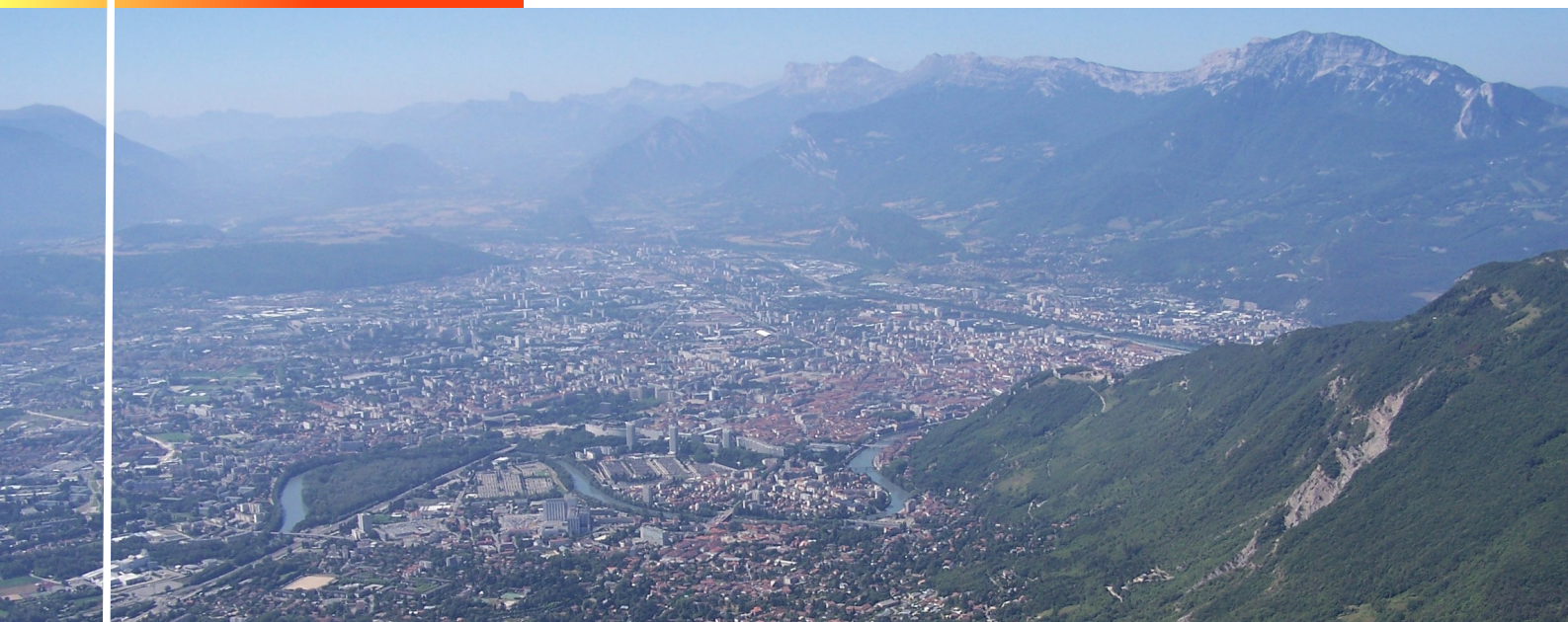




Cartographie des aléas naturels prévisibles sur le territoire de Grenoble Alpes Métropole, dans le cadre de l'élaboration du PLUi

Note méthodologique générale



Maître d'ouvrage : Grenoble Alpes Métropole
AMO : Service RTM Isère / PROGéo Environnement



Référence	18061329	Version	3.0
Date	23 juillet 2018	Édition du	27/09/17

Identification du document

Projet	Cartographie des aléas naturels prévisibles sur le territoire de Grenoble Alpes Métropole, dans le cadre de l'élaboration du PLUi.		
Titre	Note méthodologique générale		
Fichier	Rapport_general-v4.0.odt		
Référence	18061329	Proposition n°	D1701007
Chargé d'études	Chargé(e) d'étude		
	Tél. 04 76 77 92 00	didier.mazetbrachet@alpgeorisques.com	
Maître d'ouvrage	Grenoble Alpes Métropole	Le Forum 3, rue Malakoff 38031 Grenoble cedex	
	Référence commande :	Marchés n° 2017-102 (Lot1) et 2017-103 (Lot 2)	
AMO	Service RTM Isère	Hôtel des administrations 9, quai Créqui 38026 Grenoble cedex	
AMO associé	PROGéo Environnement	13, rue de l'Abbé-Vincent 38600 Fontaine	

Versions

Version rapport	Date	Version carte	Auteur	Vérifié par	Modifications
1.0	07/08/17	1.0	DMB	JR	Premier jet
2.0	21/09/17	2.0	DMB	JR	Rapport complet pour validation AMO
3.0	23/07/18	3.0	DMB	NC	Rapport complété après validation AMO

Diffusion

Diffusion	Support	Pointage	
GAM	Papier		Nombre d'exemplaires :
	Numérique	✓	
Commune	Papier		Nombre d'exemplaires :
	Numérique		
AMO	Papier		Nombre d'exemplaires :
	Numérique	✓	

Archivage

N° d'archivage (référence)	18061329
Titre	Carte des aléas – Note méthodologique générale
Département	38
Commune(s) concernée(s)	Grenoble Alpes Métropole
Cours d'eau concerné(s)	Isère
Région naturelle	Y Grenoblois
Thème	Carte des aléas
Mots-clefs	carte aléas GAM méthodologie

SOMMAIRE

I.INTRODUCTION.....	7
I.1.Avertissement.....	7
I.2.Objet et contenu de l'étude.....	7
I.3.Vocabulaire des risques naturels.....	8
I.3.1.Phénomène naturel.....	8
I.3.2.Aléa.....	8
I.3.3.Enjeux.....	8
I.3.4.Vulnérabilité.....	8
I.3.5.Risque.....	8
I.3.6.Risque majeur.....	8
I.4.Nature des phénomènes naturels étudiés.....	8
I.5.Établissement de la carte des aléas.....	10
II.MÉTHODE DE QUALIFICATION DES ALÉAS.....	11
II.1.Principes généraux.....	11
II.1.1.Notion d'aléa.....	11
II.1.2.Notion d'intensité et de fréquence.....	11
II.1.3.Usage des outils géomatiques.....	12
II.1.4.Prise en compte des ouvrages de protection.....	12
II.2.Représentation cartographique.....	12
II.2.1.Fonds cartographiques de référence.....	12
II.2.2.Niveaux d'aléa.....	13
II.2.3.Zones d'incertitudes.....	13
II.3.Méthodologie de qualification des aléas.....	14
II.3.1.Considérations hydrologiques.....	14
II.3.2.Les inondations de plaine.....	14
II.3.3.Les crues rapides des rivières.....	16
II.3.4.Les inondations en pied de versant.....	19
II.3.5.Qualification de l'aléa « crues des ruisseaux torrentiels et des rivières torrentielles ».....	20
II.3.6.Le ruissellement sur versant et le ravinement.....	25
II.3.7.Les glissements de terrain.....	26
II.3.8.Les chutes de pierres et de blocs.....	28
II.3.9.Les effondrements de cavités souterraines et la suffosion.....	31
II.3.10.L'aléa avalanche.....	36
III.ANNEXES.....	39

Avertissement

Ce rapport, ses annexes et les cartes qui l'accompagnent constituent un ensemble indissociable. La mauvaise utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou d'une reproduction partielle, sans l'accord écrit d'Alp'Géorisques, ne saurait engager la responsabilité de la société ou de ses collaborateurs.

L'utilisation des informations contenues dans ce rapport, ses annexes ou les cartes qui l'accompagnent en dehors de leur strict domaine d'application ne saurait engager la responsabilité d'Alp'Géorisques.

L'utilisation des cartes, ou des données numériques géographiques correspondantes, à une échelle différente de leur échelle nominale ou leur report sur des fonds cartographiques différents de ceux utilisés pour l'établissement des cartographies originales relève de la seule responsabilité de l'utilisateur.

Alp'Géorisques ne peut être tenue pour responsable des modifications apportées à ce rapport, à ses annexes ou aux cartes qui l'accompagnent sans un accord écrit préalable de la société.

Alp'Géorisques ne peut être tenue pour responsable des décisions prises en application de ses préconisations ou des conséquences du non-respect ou d'une interprétation erronée de ses recommandations.

L'actuelle version 3.0 de la note de présentation générale est rattachée aux versions 2b ou 2c et ultérieures de la carte des aléas jusqu'à l'édition d'une nouvelle version qui vienne la remplacer.

Échelle nominale de la carte des aléas : 1/5 000

Référentiel de la carte des aléas : DGI

I. Introduction

I.1. Avertissement

La présente étude est composée des éléments indissociables suivants :

- les cartes informatives (phénomènes historiques et observés, aménagements et ouvrages de protection) ;
- les cartes des aléas dont l'échelle de lecture maximum est le 1/5 000 ;
- la note méthodologique générale ;
- les notes de présentation par commune.

I.2. Objet et contenu de l'étude

Grenoble Alpes Métropole a confié à la Société Alp'Géorisques - ZI - 52, rue du Moirond - 38420 Domène et à la SCOP Alpes-Géo-Conseil – Saint-Philibert - 73670 Saint-Pierre-d'Entremont l'élaboration de la carte des aléas des communes de :

- Champ-sur-Drac ;
- Claix ;
- Échirolles ;
- Le Gua ;
- Herbeys ;
- Notre-Dame-de-Commiers ;
- Notre-Dame-de-Mésage ;
- Poisat ;
- Quaix-en-Chartreuse ;
- Vaulnaveys-le-Haut ;
- Venon ;
- Vizille ;
- Saint-Barthélémy-de-Séchilienne ;
- Saint-Martin-d'Hères ;
- Sarcenas ;
- Séchilienne ;
- Eybens ;
- Grenoble ;
- Pont-de-Claix (Le) ;
- Saint-Georges-de-Commiers ;
- Saint-Paul-de-Varces ;
- Saint-Pierre-de-Mésage ;
- Bresson ;
- Brié-et-Angonnes ;
- Champagnier ;
- Jarrie ;
- Miribel-Lanchâtre ;
- Mont-Saint-Martin ;
- Montchaboud ;
- Vaulnaveys-le-Bas.

Les études portent sur l'ensemble du territoire des communes concernées. Elles concernent les phénomènes suivants :

- Inondation de plaine (hors rivières Isère, Drac et Romanche couvertes par un PPRI) ;
- Crue rapide des rivières ;
- Inondation en pied de versant ;
- Crue des ruisseaux torrentiels, des torrents et des rivières torrentielles ;
- Ruissellement sur versant ;
- Ravinement ;
- Glissement de terrain ;
- Chute de pierres et blocs ;
- Affaissement, effondrement ;
- Suffosion ;
- Avalanche ;

Ce document est informatif. Il apporte des informations permettant la prise en compte des risques naturels dans les documents d'urbanisme conformément à la législation en vigueur.

La prise en compte des risques naturels dans les règles d'urbanisme ou les autorisations de projets de travaux, de constructions ou d'installations, relève exclusivement de la responsabilité du maire.

1.3. Vocabulaire des risques naturels

Chaque domaine ayant son propre vocabulaire, il est nécessaire de définir précisément les termes qui seront utilisés dans ce rapport.

1.3.1. Phénomène naturel

Un phénomène naturel correspond à la manifestation d'un agent naturel (ou parfois anthropique) mettant en jeu les lois fondamentales de la physique du globe (gravité, thermodynamique, hydraulique, géodynamique, etc.). La définition des différents phénomènes naturels observés sur la commune est présenté au chapitre I.4.

1.3.2. Aléa

L'aléa caractérise un phénomène naturel (inondation, mouvement de terrain, séisme, avalanche...) d'occurrence et d'intensité donnée. Ce terme sera explicité spécifiquement au chapitre II.1 pour chaque phénomène.

1.3.3. Enjeux

Les enjeux désignent les personnes, biens, activités, moyens, patrimoine susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.

1.3.4. Vulnérabilité

La vulnérabilité est la mesure des dommages de toutes sortes (humains, matériels, etc.) rapportés à l'intensité de l'aléa.

1.3.5. Risque

Le risque est la possibilité d'un événement d'origine naturelle ou anthropique affectant des enjeux.

1.3.6. Risque majeur

Le risque majeur est la possibilité d'un événement d'origine naturelle ou anthropique, dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionner des dommages importants et dépasser les capacités de réaction de la société.

1.4. Nature des phénomènes naturels étudiés

Les phénomènes qui seront cartographiés, conformément aux différents guides techniques PPRN et aux déclinaisons locales des directives nationales applicables pour le département de l'Isère, pour l'essentiel définies en MIRNat (Mission Interservices des Risques Naturels), sont les suivants :

Aléa	Symbole	Définition du phénomène
Inondation de plaine	I	Inondation à montée lente des eaux, permettant de prévoir et d'annoncer la submersion des terrains et donc de disposer de temps pour prendre des mesures efficaces de réduction des conséquences de l'inondation (ordre de grandeur de 12 h souhaitable). La vitesse du courant reste souvent faible, mais peut être localement élevée, voire très élevée. Les vallées de l'Isère et du Rhône relèvent de ce type. À ce phénomène, sont rattachées du fait de temps de réaction disponibles également importants : <ul style="list-style-type: none"> • les inondations par remontée de nappe de secteurs communiquant avec le réseau hydrographique et contribuant ainsi aux crues de ce dernier, • les inondations par refoulement de rivières à crue lente dans leurs affluents ou les réseaux.
Crue rapide des rivières	C	Inondation pour laquelle l'intervalle de temps entre le début de la pluie et le débordement ne permet pas d'alerter de façon efficace les populations. Les bassins versants de taille petite et moyenne sont concernés par ce type de crue dans leur partie ne présentant pas un caractère torrentiel dû à la pente ou à un fort transport de matériaux solides.
Inondation en pied de versant	I'	Submersion par accumulation et stagnation d'eau sans apport de matériaux solides dans une dépression du terrain ou à l'amont d'un obstacle, sans communication avec le réseau hydrographique. L'eau provient d'un ruissellement sur versant ou d'une remontée de nappe.
Crue des ruisseaux torrentiels, des torrents et des rivières torrentielles	T	Crue d'un cours d'eau à forte pente (plus de 5 %), à caractère brutal, qui s'accompagne fréquemment d'un important transport de matériaux solides (plus de 10 % du débit liquide), de forte érosion des berges et de divagation possible du lit sur le cône torrentiel. Cas également des parties de cours d'eau de pente moyenne (avec un minimum de 1%) lorsque le transport solide reste important et que les phénomènes d'érosion ou de divagation sont comparables à ceux des torrents. Les laves torrentielles sont rattachées à ce type d'aléa.
Ruissellement sur versant Ravinement	V	Divagation des eaux météoriques en dehors du réseau hydrographique suite à de fortes précipitations. Ce phénomène peut provoquer l'apparition d'érosions localisées (ravinement).

Aléa	Symbole	Définition du phénomène
Glissement de terrain	G	Mouvement d'une masse de terrain d'épaisseur variable le long d'une surface de rupture. L'ampleur du mouvement, sa vitesse et le volume de matériaux mobilisés sont éminemment variables : glissement affectant un versant sur plusieurs mètres (voire plusieurs dizaines de mètres) d'épaisseur, coulée boueuse, fluage d'une pellicule superficielle.
Chute de pierres et blocs	P	Chute d'éléments rocheux d'un volume unitaire compris entre quelques centimètres cubes et quelques mètres cubes. Le volume total mobilisé lors d'un épisode donné est inférieur à une centaine de mètres cubes. Au-delà, on parle d'écroulements en masse, pris en compte seulement lorsqu'ils sont facilement prévisibles.
Affaissement, effondrement	F	Évolution de cavités souterraines d'origine naturelle (karst) et anthropique (carrière) avec des manifestations en surface lentes et progressives (affaissement) ou rapides et brutales (effondrement). Celles d'origine minière ne relèvent pas du code de l'Environnement (code Minier), mais peuvent y être signalées pour information.
Suffosion	F	Entraînement, par des circulations d'eaux souterraines, de particules fines (argiles, limons) dans des terrains meubles constitués aussi de sables et graviers, provoquant des tassements superficiels voire des effondrements.
Avalanche	A	Déplacement gravitaire (sous l'effet de son propre poids), rapide, d'une masse de neige sur un sol en pente, provoqué par une rupture dans le manteau neigeux.

1.5. Établissement de la carte des aléas

La carte des aléas est réalisée conformément à la doctrine départementale de l'Isère, validée en MIRNAT.

Sur Grenoble-Alpes Métropole, elle est établie sur fond cadastral DGFIP au 1/5 000, et présente les niveaux d'aléas relatifs à divers phénomènes naturels affectant le territoire de chaque commune. Elle est accompagnée pour chacune des 30 communes d'un rapport de présentation, du présent rapport général méthodologique, et d'une carte informative des phénomènes naturels établie sur fond topographique au 1/25 000, et localisant les événements historiques et les phénomènes actifs identifiés sur le terrain.

L'exposition de la commune aux phénomènes de retrait-gonflement des sols argileux et le niveau de risque sismique sont rappelés (carte d'exposition sismique en Annexe 1) mais ne sont pas traités par la carte des aléas.

De même, les risques miniers résultant de l'exploitation de matériaux listés à l'article L. 111-1 du code minier, ne sont pas traités par la carte des aléas. Ils peuvent cependant être signalés pour information.

Remarques :

En cas de divergence entre la présente carte des aléas au 1/5 000 et les documents antérieurs réalisés à une échelle plus grande (carte d'aléas préexistante, carte d'aléas d'un

PPRN PAC et cartes de risques R.111-3), le zonage résultant de cette carte au 1/5 000, actualisé, prévaut systématiquement.

Les dénominations utilisées des lieux (lieux-dits, cours d'eau, bâtiments spécifiques, etc.) cités dans le rapport de présentation sont localisées sur les cartes correspondant aux descriptions dans lesquelles leur nom apparaît. Il s'agit des noms usuels tirés du cadastre, de la carte IGN, du plan de ville ou de témoignages.

II. Méthode de qualification des aléas

II.1. Principes généraux

II.1.1. Notion d'aléa

La notion d'aléa traduit la probabilité d'occurrence, en un point donné, d'un phénomène naturel de nature et d'intensité définie. Pour chacun des **phénomènes rencontrés**, différents niveaux d'aléas sont définis en fonction de l'**intensité** et la **probabilité d'occurrence** pour un ou plusieurs scénarios de référence. La carte des aléas, établie sur fond cadastral au 1/5 000 et sur fond topographique au 1/10 000 présente un zonage des divers aléas observés. La précision du zonage est, au mieux, celle des fonds cartographiques utilisés comme support.

Du fait de la grande variabilité des phénomènes naturels et des nombreux paramètres qui interviennent dans leur déclenchement, l'estimation de l'aléa dans une zone donnée est complexe. Son évaluation reste subjective ; elle fait appel à l'ensemble des informations recueillies au cours de l'étude, au contexte géologique, aux caractéristiques des précipitations et à l'appréciation du chargé d'études. Pour limiter l'aspect subjectif, **la cartographie respecte les principes de caractérisation des différents aléas définis par les services de l'État sur le département de l'Isère**. Ces principes sont explicités, pour chaque type d'aléa, dans les pages suivantes.

La finalité de la cartographie des aléas est en premier lieu la gestion des risques dans les zones à enjeux. On entend ici par zone à enjeux les secteurs déjà bâtis et les zones à potentiel d'aménagement ainsi que les voiries stratégiques (c'est-à-dire à accès unique pour de l'habitat). Ces secteurs font l'objet d'une attention particulière, se traduisant par une plus grande finesse dans le report des limites de zones et dans la justification des niveaux d'aléas. Dans les zones naturelles, la cartographie a été réalisée de façon plus globale afin d'éviter la dispersion des moyens.

II.1.2. Notion d'intensité et de fréquence

L'élaboration de la carte des aléas impose de connaître, sur l'ensemble de la zone étudiée, l'intensité et la probabilité d'apparition des divers phénomènes naturels.

L'intensité d'un phénomène peut être appréciée de manière variable en fonction de la nature même du phénomène : débits liquides et solides pour une crue torrentielle, volume des éléments pour une chute de blocs, importance des déformations du sol pour un glissement de terrain, etc. L'importance des dommages causés par des phénomènes de même type doit également être prise en compte.

L'estimation de la probabilité d'occurrence d'un phénomène de nature et d'intensité données traduit une démarche statistique qui nécessite de longues séries de mesures ou d'observations du phénomène. Elle s'exprime généralement par une **période de retour** qui correspond à la durée moyenne qui sépare deux occurrences du phénomène. Une crue de période de retour décennale se produit **en moyenne** tous les dix ans si l'on considère une période suffisamment longue (un millénaire) ; cela ne signifie pas que cette crue se reproduit périodiquement tous les dix ans mais simplement qu'elle s'est produite environ cent fois en mille ans, ou qu'elle a une chance sur dix de se produire chaque année.

D'une façon générale, le phénomène de référence pour la carte des aléas est le plus fort événement historique connu, ou, lorsqu'il est plus fort, le plus fort des événements résultant de scénarios de fréquence centennale. En conséquence, les phénomènes d'occurrence plus faible ne sont pas pris en compte dans la carte des aléas, mis à part pour les phénomènes avalancheux et torrentiel, où un aléa exceptionnel peut être affiché à titre indicatif.

Si certaines grandeurs sont relativement aisées à mesurer régulièrement (les débits liquides par exemple), d'autres le sont beaucoup moins, soit du fait de leur nature même (surpressions occasionnées par une coulée boueuse), soit du fait du caractère instantané du phénomène (chute de blocs). La probabilité du phénomène sera donc généralement appréciée à partir des informations historiques et des observations du chargé d'études.

II.1.3. Usage des outils géomatiques

Des techniques géomatiques fondées, en particulier, sur l'exploitation de modèles numériques de terrain (MNT) et l'analyse de données thématiques peuvent être utilisées pour l'élaboration de la carte des aléas (études hydrologiques, étude des pentes, etc.).

Nous avons ainsi utilisé un LIDAR au pas de 1 mètre et une précision en altimétrie de ± 20 cm. En dehors de ces zones, le MNT IGN général au pas de 25 mètres a été exploité.

Les résultats fournis par ces techniques ne peuvent être utilisés comme une vérité intangible, mais seulement comme une aide à la décision. La cartographie des aléas est donc avant tout fondée sur les observations de terrain et l'expertise des chargés d'études.

II.1.4. Prise en compte des ouvrages de protection

La carte des aléas est établie, sauf exceptions dûment justifiées, en ne tenant pas compte d'éventuels dispositifs de protection. Par contre, au vu de l'efficacité réelle actuelle de ces derniers, une carte complémentaire « avec prise en compte des protections » est établie. Son extension peut être limitée aux secteurs impactés par les prises en compte possibles des protections (réduction ou aggravation de l'aléa).

II.2. Représentation cartographique

II.2.1. Fonds cartographiques de référence

Les fonds de référence utilisés pour l'expertise sont le cadastre DGFIP, la BD parcellaire IGN, le fond IGN au 1/25 000 (Scan 25) agrandi et l'orthophotographie IGN (BD ortho).

Les fonds de référence utilisés pour la cartographie sont le cadastre DGFIP.

En cas de discordance entre les fonds (mauvais ajustement des limites parcellaires et des bâtiments), la règle suivante est utilisée :

- en zone naturelle et en zone agricole non bâtie, recalage des aléas sur le fond orthophotographique ;
- en zone urbanisée, recalage des aléas sur le fond cadastral.

II.2.2. Niveaux d'aléa

Chaque zone distinguée sur la carte des aléas est identifiée par une limite et par un remplissage en couleur traduisant le type et le niveau d'aléa intéressant la zone.

Lorsque plusieurs types d'aléas se superposent sur une zone, la couleur appliquée est celle correspondant à un des aléas présents du niveau le plus fort. L'ensemble des aléas présents est signalé par la mention des lettres et indices les décrivant, tels qu'indiqués dans la grille suivante.

	Aggravation	Exceptionnel	Aléas				Très fort aggravé
			Faible	Moyen	Fort	Très fort	
Avalanches :		AE	A1	A2	A3		
Inondations :							
<i>Crues rapides des rivières</i>			C1	C2	C3	C4	
<i>Inondations en pied de versant</i>			I'1	I'2	I'3	I'4	
<i>Crues des torrents et rivières torrentielles</i>	TE		T1	T2	T3	T4	
<i>Ravinements et ruissellements sur versant</i>			V1 V1a	V2	V3	V4	
Mouvements de terrain :							
<i>Glissements de terrain</i>	G0		G1	G2 abcd	G3 abcd	G4	
<i>Chutes de pierres et de blocs</i>			P1	P2	P3	P4	P5
<i>Affaissements, effondrements, suffosions</i>			F1	F2	F3		

Indices supplémentaires C T : voir note méthodologique

Figure II.1: Grille de qualification des aléas retenue.

II.2.3. Zones d'incertitudes

Compte tenu de l'importance des conséquences potentielles d'une erreur de qualification, la plage d'incertitude relative à la position de la limite entre zone d'aléa fort susceptible de mettre en danger la vie humaine, de détruire le bâti standard ou de causer des dégâts structurels à du bâti adapté à

l'aléa, et zone d'aléa moyen ou faible pour un même type d'aléa est intégrée par sécurité en zone d'aléa fort.

La plage d'incertitude relative à la position de la limite entre zone d'aléa faible d'intensité faible et zone où l'aléa est absent ou négligeable pour un même type d'aléa soit ne fait pas l'objet d'un affichage de l'aléa, soit fait l'objet d'un affichage spécifique de l'aléa qui permettra une prise en compte par des mesures allégées ou supprimées suivant les projets par rapport à l'aléa faible hors zone d'incertitude.

II.2.4. Surcharges cartographiques

La carte des aléas comporte un certain nombre d'informations ajoutées :

- les limites communales : fournies par Grenoble Alpes Métropole, ces limites peuvent différer des limites officielles DGFIP en raison du référentiel cartographique utilisé. ;
- les courbes de niveau : elles sont recalculées à partir du MNT LIDAR et du MNT IGN ;
- les lagunages : ce figuré identifie l'emprise indicative des installations d'assainissement des eaux usées par lagunage ;
- les remblais : ce figuré identifie l'emprise indicative des grands remblais masquant les formations géologiques ;
- les carrières : ce figuré identifie l'emprise indicative des carrières à ciel ouvert ;
- les merlons pare-blocs : ce figuré identifie l'emprise indicative des ouvrages pare-blocs et pare-pierres constitués généralement d'une association fosse + merlon ;
- les bassins et plages de dépôt : ce figuré identifie l'emprise indicative des bassins hydrauliques aménagés à des fins de régulation des débits et les plages de dépôt destinées à la régulation du transport solide dans les cours d'eau ;
- les bandes de précaution réglementaire : ce figuré identifie l'emprise indicative des zones protégées à l'aval des digues de protection contre les inondations ;
- les zones de présomption d'effondrement d'une galerie hydraulique : ce figuré identifie l'emprise indicative des tronçons couverts de cours d'eau non visités, avec un fort recouvrement, pour lesquels une rupture du toit est envisagée ;
- les sections couvertes des cours d'eau : ce figuré identifie l'emprise indicative des cours d'eau couverts à faible profondeur. Il peut être remplacé par un pointillé bleu, lorsque sa position est mieux connue.

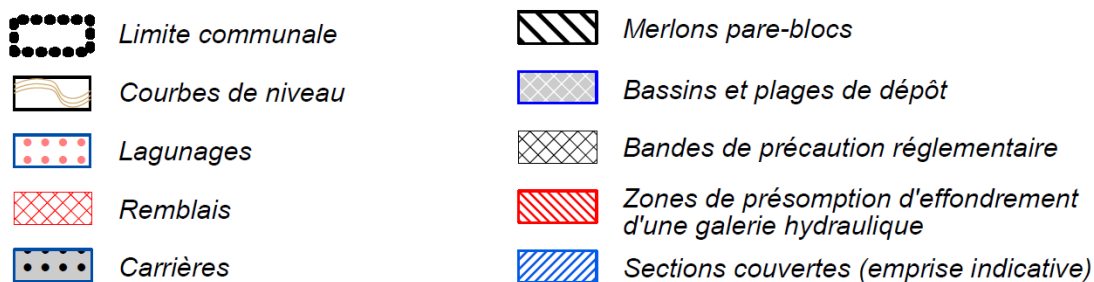


Figure II.2: Extrait de la légende de la carte des aléas.

II.3. Méthodologie de qualification des aléas

II.3.1. Considérations hydrologiques

Afin de définir les scénarios de référence des aléas inondations, une étude hydrologique sommaire a été réalisée afin de déterminer les débits et conditions d'écoulements caractéristiques.

L'étude est réalisée sur les bassins versants générateurs d'aléas et impactant des zones d'enjeux. Elle concerne les bassins versants supérieurs à 5 ha et avec au moins un axe hydraulique formalisé. Les bassins versant sont obtenus d'après la carte IGN au 1/25 000. Cette étude permet d'obtenir les ordres de grandeur des débits centennaux par des formules empiriques adaptées à la région.

La méthode utilisée est explicitée en Annexe 2.

II.3.2. Les inondations de plaine

II.3.2.1. Définition du phénomène

Inondation à montée lente des eaux, permettant de prévoir et d'annoncer la submersion des terrains et donc de disposer de temps pour prendre des mesures efficaces de réduction des conséquences de l'inondation (ordre de grandeur de 12 h souhaitable). La vitesse du courant reste souvent faible, mais peut être localement élevée, voire très élevée. Les vallées de l'Isère et du Rhône relèvent de ce type.

À ce phénomène, sont rattachées du fait de temps de réaction disponibles également importants :

- les inondations par remontée de nappe de secteurs communiquant avec le réseau hydrographique et contribuant ainsi aux crues de ce dernier ;
- les inondations par refoulement de rivières à crue lente dans leurs affluents ou les réseaux.

Rappelons que l'aléa inondation lié aux crues du Rhône est déjà traité par la « doctrine Rhône ». La présente étude s'intéresse donc seulement aux phénomènes de remontée de nappe et de refoulement du Rhône dans ses affluents.

II.3.2.2. Principes de qualification de l'aléa

Certains principes énoncés dans ce paragraphe, rédigés au départ pour l'inondation de plaine par débordement, correspondent à des situations ayant peu de chances d'être rencontrées dans le cas des stockages et écoulements résultant d'inondations par remontée de nappe. Ils ont néanmoins été mentionnés en cas de besoin.

L'aléa de référence prend en compte le plus fort événement historique connu ou, lorsqu'il lui est plus fort, le plus fort des événements résultant de scénarios de fréquence centennale. Le choix des scénarios utilisés est précisé et motivé par le rapport, ainsi que la date et les caractéristiques du plus fort événement connu.

Les axes préférentiels d'écoulement des eaux et les plans d'eau sont classés en aléa très fort (I4).

Sont également classées en aléa très fort les bandes de terrain hors axes préférentiels d'écoulement des eaux pouvant être affouillées ou déstabilisées par les événements successifs susceptibles de survenir pendant une durée de cent ans. Des distances de recul systématiques

sont appliquées de part et d'autre des axes préférentiels d'écoulement par tronçon de cours d'eau et par rive.

Pour les zones inondables hors axes préférentiels d'écoulement des eaux, plans d'eau et zones d'érosion, les critères de qualification du niveau d'aléa sont les suivants :

Hauteur H en m	Vitesse v en m/s				
	V < 0,2	0,2 < v < 0,5	0,5 < v < 1	1 < v < 2	V > 2
H < 0,5	Faible (I1)	Moyen (I2)	Fort (I3)	Très fort (I4)	Très fort (I4)
0,5 < H < 1	Moyen (I2)	Moyen (I2)	Fort (I3)		
1 < H < 2	Fort (I3)		Très fort (I4)		
H > 2 (zone de très forte hauteur d'eau)	Très fort (I4)				

Il convient de distinguer, en aléa très fort, les zones où la vitesse est inférieure à 2 m/s et celles où la vitesse est supérieure à 2 m/s, car, en fonction des résultats d'études techniques spécifiques, certaines zones de vitesses comprises entre 1 et 2 m/s pourraient être reclassées en aléa fort.

À défaut de modélisation hydraulique, les hauteurs et les vitesses sont estimées notamment en utilisant les connaissances issues des phénomènes historiques et de l'expertise de terrain.

La qualification de l'aléa tient compte de l'effet de possibles embâcles de corps flottants et variations de la topographie par dépôt de matériaux solides au cours de l'événement de référence ou par évolution prévisible à long terme.

II.3.2.3. Prise en compte des ouvrages de protection hydrauliques

Il peut s'agir de digues longitudinales, de digues transversales, des bassins écrêteurs, d'ouvrages de décharges, etc.

En présence de tels ouvrages, deux cartes des aléas sont établies :

– une carte des aléas « sans ouvrages jouant un rôle de protection contre les inondations », obtenue en supprimant l'ensemble des ouvrages jouant un rôle de protection. Son objectif est pédagogique : elle permet de connaître la situation si les ouvrages n'existaient pas, et ainsi d'apprécier l'intérêt de ces derniers. Le dossier doit permettre d'identifier clairement les ouvrages effacés dans le cadre de cette carte.

– une carte des aléas dite « avec prise en compte des ouvrages jouant un rôle de protection contre les inondations ». C'est cette carte qui sera prise en considération en matière d'urbanisme ou pour l'élaboration d'un PPRN.

Elle résulte de la superposition d'un aléa hors sur-aléa et d'un sur-aléa, tels que définis ci-après.

Deux cas peuvent être rencontrés pour chacun des systèmes d'endiguement (tels que définis par l'article R.562-13 du code de l'environnement) et chacun des ensembles d'ouvrages jouant un rôle

similaire (par exemple, remblai routier non conçu dans un but de protection contre les inondations), suivant que l'hypothèse de ruine généralisée pour l'aléa de référence peut être écartée ou non.

Par ruine généralisée, il faut comprendre soit la disparition du système de protection sur la majorité de sa longueur, soit des défaillances multiples, avec en conséquence des débits de débordement équivalents à ceux qui existeraient en l'absence du système de protection.

Cas 1 : L'hypothèse de ruine généralisée du système de protection ne peut être écartée pour l'aléa de référence.

L'aléa « avec prise en compte des ouvrages jouant un rôle de protection contre les inondations » résulte alors de la superposition de l'aléa hors sur-aléa, obtenu en effaçant le système de protection, et du sur-aléa correspondant aux phénomènes de sur-vitesses et d'affouillements induits à l'arrière immédiat du système de protection lors d'une défaillance (par exemple, sur-verse généralisée ou localisée, brèche localisée).

Cas 2 : L'hypothèse de ruine généralisée du système de protection peut être écartée pour l'aléa de référence.

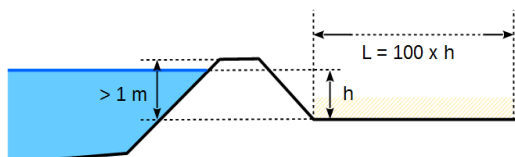
L'aléa « avec prise en compte des protections » résulte alors de la superposition de l'aléa hors sur-aléa, correspondant à des hypothèses de brèches localisées, non simultanées, situées de façon à rendre compte des situations les plus défavorables en termes d'extension et d'intensité en tout point, et du sur-aléa correspondant aux phénomènes de sur-vitesses et d'affouillement induits à l'arrière immédiat du système de protection lors d'une défaillance.

Dans les deux cas, le sur-aléa est défini en considérant la rupture possible en tout point de la partie du système de protection mis en charge lors de l'aléa de référence, ce qui se traduit sur l'ensemble du linéaire concerné par l'affichage, à l'arrière immédiat des ouvrages, de bandes dites de précaution correspondant aux niveaux d'aléa fort et très fort. Elles sont matérialisées par des trames permettant de distinguer aléa hors sur-aléa et sur-aléa et, au sein des bandes, niveaux fort et très fort de sur-aléa.

La largeur de la bande de précaution est calculée pour les digues de plus d'un mètre de hauteur en appliquant la formule :

$$L = 100 \times h$$

h désigne la dénivelée entre le niveau d'eau dans la rivière et le terrain naturel au pied de la digue.



II.3.3. Les crues rapides des rivières

II.3.3.1. Définition du phénomène

Inondation pour laquelle l'intervalle de temps entre le début de la pluie et le débordement ne permet pas d'alerter de façon efficace les populations.

Les bassins versants de taille petite et moyenne sont concernés par ce type de crue dans leur partie ne présentant pas un caractère torrentiel dû à la pente ou à un fort transport de matériaux solides.

II.3.3.2. Principes de qualification de l'aléa

L'aléa de référence prend en compte le plus fort événement historique connu ou, lorsqu'il lui est plus fort, le plus fort des événements résultant de scénarios de fréquence centennale. Le choix des scénarios utilisés est précisé et motivé par le rapport, ainsi que la date et les caractéristiques du plus fort événement connu.

Les axes préférentiels d'écoulement des eaux et les plans d'eau sont classés en aléa très fort (C4).

Sont également classées en aléa très fort les bandes de terrain hors axes préférentiels d'écoulement des eaux pouvant être affouillées ou déstabilisées par les événements successifs susceptibles de survenir pendant une durée de cent ans. Des distances de recul systématiques d'au minimum 5 m de large, sont appliquées de part et d'autre des axes préférentiels d'écoulement, par tronçon de cours d'eau et par rive (principe de préservation du libre écoulement des eaux et de conservation d'un espace accessible sur les berges pour l'entretien des cours d'eau).

Pour les zones inondables hors axes préférentiels d'écoulement des eaux, plans d'eau et zones d'érosion, les critères de qualification du niveau d'aléa sont les suivants :

Hauteur H en m	Vitesse V en m/s				
	V < 0,2	0,2 < v < 0,5	0,5 < v < 1	1 < v < 2	V > 2
H < 0,5	Faible (C1)	Moyen (C2)	Fort (C3)	Très fort (C4)	Très fort (C4)
0,5 < H < 1	Moyen (C2)	Moyen (C2)	Fort (C3)		
1 < H < 2	Fort (C3)		Très fort (C4)		
H > 2 (zone de très forte hauteur d'eau)	Très fort (C4)				

Il convient de distinguer, en aléa très fort, les zones où la vitesse est inférieure à 2 m/s et celles où la vitesse est supérieure à 2 m/s, car, en fonction des résultats d'études techniques spécifiques, certaines zones de vitesses comprises entre 1 et 2 m/s pourraient être reclassées en aléa fort.

À défaut de modélisation hydraulique, les hauteurs et les vitesses sont estimées notamment en utilisant les connaissances issues des phénomènes historiques. Dans ce cas, la vitesse de montée et la durée du phénomène peuvent être des critères complémentaires aidant à gérer une hésitation sur le choix entre deux classes d'aléa au vu des incertitudes sur les valeurs de hauteur et de vitesses.

La qualification de l'aléa tient compte de l'effet de possibles embâcles de corps flottants et variations de la topographie par dépôt de matériaux solides au cours de l'événement de référence ou par évolution prévisible à long terme.

II.3.3.3. Prise en compte des ouvrages de protection hydrauliques

Il peut s'agir de digues longitudinales, de digues transversales, des bassins écrêteurs, d'ouvrages de décharges, etc.

En présence de tels ouvrages, deux cartes des aléas sont établies :

- une carte des aléas « sans ouvrages jouant un rôle de protection contre les inondations », obtenue en supprimant l'ensemble des ouvrages jouant un rôle de protection. Son objectif est pédagogique : elle permet de connaître la situation si les ouvrages n'existaient pas, et ainsi d'apprécier l'intérêt de ces derniers. Le dossier doit permettre d'identifier clairement les ouvrages effacés dans le cadre de cette carte.
- une carte des aléas dite « avec prise en compte des ouvrages jouant un rôle de protection contre les inondations ». C'est cette carte qui sera prise en considération en matière d'urbanisme ou pour l'élaboration d'un PPRN.

Elle résulte de la superposition d'un aléa hors sur-aléa et d'un sur-aléa, tels que définis ci-après.

Deux cas peuvent être rencontrés pour chacun des systèmes d'endiguement (tels que définis par l'article R.562-13 du code de l'environnement) et chacun des ensembles d'ouvrages jouant un rôle similaire (par exemple, remblai routier non conçu dans un but de protection contre les inondations), suivant que l'hypothèse de ruine généralisée pour l'aléa de référence peut être écartée ou non.

Par ruine généralisée, il faut comprendre soit la disparition du système de protection sur la majorité de sa longueur, soit des défaillances multiples, avec en conséquence des débits de débordement équivalents à ceux qui existeraient en l'absence du système de protection.

Cas 1 : L'hypothèse de ruine généralisée du système de protection ne peut être écartée pour l'aléa de référence.

L'aléa « avec prise en compte des ouvrages jouant un rôle de protection contre les inondations » résulte alors de la superposition de l'aléa hors sur-aléa, obtenu en effaçant le système de protection, et du sur-aléa correspondant aux phénomènes de sur-vitesses et d'affouillements induits à l'arrière immédiat du système de protection lors d'une défaillance (par exemple, sur-verse généralisée ou localisée, brèche localisée).

Cas 2 : L'hypothèse de ruine généralisée du système de protection peut être écartée pour l'aléa de référence.

L'aléa « avec prise en compte des protections » résulte alors de la superposition de l'aléa hors sur-aléa, correspondant à des hypothèses de brèches localisées, non simultanées, situées de façon à rendre compte des situations les plus défavorables en termes d'extension et d'intensité en tout point, et du sur-aléa correspondant aux phénomènes de sur-vitesses et d'affouillement induits à l'arrière immédiat du système de protection lors d'une défaillance.

Dans les deux cas, le sur-aléa est défini en considérant la rupture possible en tout point de la partie du système de protection mis en charge lors de l'aléa de référence, ce qui se traduit sur l'ensemble du linéaire concerné par l'affichage, à l'arrière immédiat des ouvrages, de bandes dites

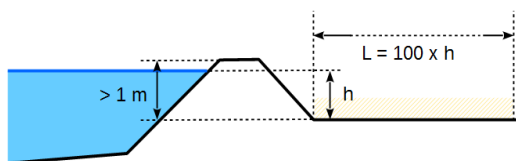
de précaution correspondant aux niveaux d'aléa fort et très fort. Elles sont matérialisées par des trames permettant de distinguer aléa hors sur-aléa et sur-aléa et, au sein des bandes, niveaux fort et très fort de sur-aléa.

La largeur de la bande de précaution est calculée pour les digues de plus de un mètre de hauteur en appliquant la formule, selon le cas :

Pour les cours d'eau importants ($Q_{100} > 50 \text{ m}^3/\text{s}$) :

$$L = 100 \times h$$

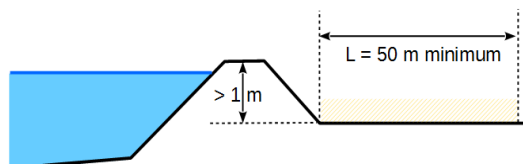
h désigne la dénivelée entre le niveau d'eau dans la rivière et le terrain naturel au pied de la digue.



Nota : aucun cours d'eau étudié sur les 30 communes du territoire de la Métropole ne sont concernés.

Pour les cours d'eau plus modestes ($Q_{100} < 50 \text{ m}^3/\text{s}$) :

La largeur de la bande de précaution est fixée au minimum à 50 m pour les remblais mis en charge hydrauliquement en bordure de cours d'eau, égaux ou supérieurs à un mètre de hauteur. Cette largeur peut être augmentée dans le cas d'une topographie défavorable.



II.3.4. Les inondations en pied de versant

II.3.4.1. Définition du phénomène

Submersion par accumulation et stagnation d'eau sans apport de matériaux solides dans une dépression du terrain ou à l'amont d'un obstacle, sans communication avec le réseau hydrographique. L'eau provient d'un ruissellement sur versant ou d'une remontée de nappe.

II.3.4.2. Principes de qualification de l'aléa

Les critères de qualification du niveau d'aléa sont les suivants :

Aléa	Indice	Critère
Faible	Faible (I'1)	Hauteur de submersion inférieure à 0,5 m.
Moyen	Moyen (I'2)	Hauteur de submersion comprise entre 0,5 m et 1 m.
Fort	Fort (I'3)	Hauteur de submersion comprise entre 1 m et 2 m.
Très fort	Très fort (I'4)	Hauteur de submersion supérieure à 2 m.

II.3.5. Qualification de l'aléa « crues des ruisseaux torrentiels et des rivières torrentielles »

II.3.5.1. Définition

Crue d'un cours d'eau à forte pente (plus de 5 %), à caractère brutal, qui s'accompagne fréquemment d'un important transport de matériaux solides (plus de 10 % du débit liquide), de forte érosion des berges et de divagation possible du lit sur le cône torrentiel.

Cas également des parties de cours d'eau de pente moyenne (avec un minimum de 1%) lorsque le transport solide reste important et que les phénomènes d'érosion ou de divagation sont comparables à ceux des torrents.

Les laves torrentielles sont rattachées à ce type d'aléa.

II.3.5.2. Aléa de référence

L'aléa de référence prend en compte le plus fort événement historique connu ou, lorsqu'il lui est plus fort, le niveau d'aléa le plus fort en chaque point résultant de scénarios de fréquence centennale. Le choix des scénarios utilisés est précisé et motivé par le rapport, ainsi que la date et les caractéristiques du plus fort événement connu.

Parmi les scénarios à considérer, figurent notamment :

- des scénarios de durée différente (au moins 2 hors laves torrentielles, sauf justification)
- au niveau des confluences, des scénarios tenant compte des différentes possibilités de combinaisons significatives entre les crues des cours d'eau concernés.

L'affichage de l'aléa crue des ruisseaux torrentiels, des torrents et des rivières torrentielles peut être justifié soit par une inondation par débordement du cours d'eau accompagnée souvent de transport solide par charriage et d'affouillements dus aux fortes vitesses d'écoulement, soit par une lave torrentielle (écoulement de masses boueuses, plus ou moins chargées en blocs de toutes tailles, comportant au moins autant de matériaux solides que d'eau), soit par une divagation du lit, soit par l'érosion ou la déstabilisation des berges. Plusieurs de ces phénomènes peuvent être présents simultanément et se combiner.

Les déstabilisations de versants par érosion en pied sont par contre affichées sous forme d'aléa de glissement de terrain.

La qualification de l'aléa tient également compte de l'effet de possibles embâcles de corps flottants et variations du niveau du fond du lit et de la topographie par dépôt localisé ou généralisé du

transport solide au cours de l'événement de référence ou par évolution prévisible à long terme. Notamment, dans la partie inférieure du bassin torrentiel, le transport solide limité à du charriage de matériaux peut rester suffisamment important pour combler le lit mineur ou provoquer des divagations d'une forte proportion du débit avec réactivation d'anciens lits ou création d'un nouveau lit au cours d'une seule crue.

Il sera également tenu compte des évolutions prévisibles pendant les 100 ans à venir du profil en long et des instabilités dans le bassin versant.

Le rapport de présentation précise pour chaque zone d'affichage de l'aléa torrentiel lesquels des phénomènes cités dans les paragraphes précédents sont présents, leurs extensions et participations respectives à la qualification de l'aléa.

La qualification de l'aléa torrentiel tient compte par ailleurs :

- de la propension du bassin versant à fournir des matériaux transportables par apports exogènes (dégradation naturelle des roches ; phénomènes brusques de moyenne ou grande ampleur, tels que éboulements, glissements de terrain, etc.) ;
- du degré de correction active dans le haut bassin versant pouvant être considérée pérenne, tant au niveau du couvert végétal (génie biologique) qu'au niveau des ouvrages de stabilisation du profil en long tels que seuils, barrages, etc.(Génie civil) ;
- du degré de correction passive à l'aval pouvant être considérée pérenne, que ce soit par la création d'un lit artificiel limitant le risque de divagation ou d'érosion des berges ou sur le cône de déjection par la réalisation de plages de dépôts, ouvrages à flottants, etc., destinés à recueillir les matériaux divers en provenance de l'amont avant qu'ils ne puissent provoquer des dégâts.

Le rapport de présentation indique les dispositifs de corrections pris en compte dans la qualification de l'aléa et la manière dont ils l'ont été.

Les lits mineurs et chenaux de divagation habituels sont classés en aléa très fort (T4) jusqu'aux sommets des berges.

Lits mineurs et chenaux jusqu'au sommet des berges

Très fort - T4

Sont classées en aléa fort les bandes de terrain au-delà du sommet de berge du lit mineur susceptible d'être concernée par le recul des berges par érosion pendant une durée de cent ans. Les distances de recul par érosion prises en compte par tronçon et par rive sont précisées et motivées dans le rapport de présentation.

Berges susceptibles d'être concernées par l'érosion

Fort - T3

En dehors de ces zones, la qualification des niveaux d'aléas est basée sur un croisement entre niveau d'intensité et probabilité d'atteinte, qu'il convient donc d'abord de définir.

Le niveau d'intensité est défini sur la base du tableau ci-après, en tenant compte que l'intensité doit être considérée forte dès lors qu'un des critères correspondant à l'intensité moyenne est dépassé ou n'est pas respecté et que l'intensité n'est faible dès lors que si l'ensemble des critères correspondants est dépassé ou n'est pas respecté :

Critère d'intensité		Niveaux d'intensité retenus		
		Fort	Moyen	Faible
Ordre de grandeur des paramètres hydrauliques		<p>La brutalité des phénomènes et des débordements ne laisse pas la possibilité d'anticiper et de se déplacer hors de la zone exposée ou jusqu'à une zone refuge</p> <p>ou</p> <p>La hauteur d'écoulement ou d'engravement dépasse 1 m.</p> <p>ou</p> <p>Les affouillements verticaux ont une profondeur supérieure à 1 m.</p> <p>ou</p> <p>La taille des plus gros sédiments transportés excède 50 cm.</p>	<p>Les phénomènes sont suffisamment progressifs pour laisser la possibilité d'anticiper et, au moins, de rejoindre une zone refuge.</p> <p>et</p> <p>Un des seuils de l'intensité faible est dépassé, mais :</p> <p>La hauteur d'écoulement ou d'engravement reste inférieure à 1 m.</p> <p>et</p> <p>Les affouillements verticaux ont une profondeur qui ne dépasse pas 1 m.</p> <p>et</p> <p>La taille des plus gros sédiments transportés n'atteint pas 50 cm</p>	<p>Les phénomènes sont progressifs et laissent la possibilité d'anticiper pour quitter la zone menacée ou rejoindre une zone refuge</p> <p>et</p> <p>La hauteur d'écoulement ou d'engravement reste inférieure à 0,5 m.</p> <p>et</p> <p>Les affouillements verticaux ont une profondeur qui ne dépasse pas 0,5 m.</p> <p>et</p> <p>La taille des plus gros sédiments transportés n'atteint pas 10 cm.</p>
Flottants		<p>Les risques d'impact par des flottants de grande taille (arbres) sont importants.</p>	<p>Les risques d'impact par des flottants de grande taille sont faibles.</p>	<p>Les flottants sont de petite taille et ne peuvent pas endommager une façade de maison.</p>
Laves torrentielles		<p>La parcelle peut être atteinte par des laves torrentielles, soit dans les zones de transit soit dans les zones de dépôt épais et pouvant contenir des blocs de plus de 50 cm.</p>	<p>La parcelle est située en dehors des zones de transit des laves torrentielles mais peut être atteinte par des dépôts fluides de moins de 1 m d'épaisseur et sans éléments transporté de plus de 50 cm.</p>	<p>La parcelle ne peut pas être atteinte par des laves torrentielles.</p>
Effets prévisibles sur les enjeux	Espace naturels et agricoles	<p>Des phénomènes d'engravement ou d'érosion de grande ampleur sont prévisibles à cause des divagations du lit du torrent. Ils conduisent à de profonds remaniements des terrains exposés.</p>	<p>Des phénomènes d'engravement ou d'érosion sur les parcelles exposées, mais leur ampleur reste limitée.</p>	<p>Les écoulements prévisibles sont de faible hauteur. Les dépôts peuvent être boueux mais sans matériaux de plus de 10 cm.</p> <p>Les affouillements prévisibles sont faibles.</p>
	Bâtiments	<p>Les contraintes dynamiques imposées par l'écoulement et les matériaux charriés peuvent détruire les bâtiments exposés.</p> <p>La ruine des constructions peut notamment intervenir sur les façades ou par salement des fondations (les angles des bâtiments étant particulièrement menacés d'affouillement en raison des survitesses induites par la concentration des écoulements et les survitesses).</p>	<p>Les contraintes dynamiques imposées par l'écoulement et les matériaux charriés peuvent endommager gravement les façades non renforcées mais sont insuffisants pour endommager les façades renforcées.</p> <p>Les affouillements prévisibles ne sont pas assez profonds pour entraîner la ruine des constructions normalement fondées.</p>	<p>Les contraintes dynamiques imposées par l'écoulement sont modérées et ne peuvent pas endommager des façades usuelles même non renforcées.</p> <p>Les affouillements prévisibles sont faibles et ne peuvent pas menacer les fondations des bâtiments.</p>

	Infrastructures et ouvrages	Les ponts peuvent être engravés, submergés ou emportés. Les routes ou les équipements (pylônes, captages, etc.) faisant obstacle aux divagations du torrent peuvent être détruites ou ensevelies par les dépôts. Les voies de communication sont impraticables du fait de la perte du tracé. De longs travaux de déblaiement et remise en service sont nécessaires.	Les dégâts aux infrastructures, aux ouvrages et aux équipements (pylône, captage, etc.) restent modérés et leur remise en service peut être rapide.	Les routes peuvent être submergées mais sans endommagement et avec possibilité de remise en service rapide.
--	-----------------------------	---	---	---

Tableau II.1: Relation entre niveau d'intensité et critère d'intensité

À l'intérieur des zones d'intensité faible, seront distinguées par grandes plages homogènes les sous-zones où la hauteur d'écoulement ou d'engravement reste inférieure à 20 cm et celles où la hauteur d'écoulement ou d'engravement reste comprise entre 20 cm et 50 cm.

La probabilité d'atteinte est définie de la manière suivante :

Probabilité d'atteinte	Signification
Forte	Compte tenu de sa situation, la parcelle est atteinte presque à chaque fois que survient l'événement de référence, ou plus souvent.
Moyenne	La parcelle bénéficie d'une situation moins défavorable que ci-dessus vis-à-vis des débordements prévisibles, ce qui la conduit à être nettement moins souvent affectée.
Faible	La submersion de la parcelle reste possible pour au moins l'un des scénarios de référence, mais nécessite la concomitance de plusieurs facteurs aggravants.

La qualification du niveau d'aléa est ensuite faite sur la base du tableau suivant :

Aléa de référence		Intensité		
		Faible	Moyenne	Fort
Probabilité d'atteinte	Faible	Faible - T1	Moyen – T2	Fort - T3
	Moyenne	Faible - T1	Moyen – T2	Fort - T3
	Fort	Moyen – T2	Fort - T3	Fort - T3

Pour chaque zone cartographiée, il est important que le chargé d'étude décrive et affiche explicitement les critères qui l'ont conduit à retenir tel ou tel niveau d'aléa. Il doit également veiller à assurer la traçabilité de cette information, afin que des mesures adaptées à la nature et à l'intensité des phénomènes prévisibles soient définies. Un affichage possible des différents niveaux d'aléa est présenté ci-dessous à titre d'exemple. Il peut présenter un intérêt pour améliorer l'information des populations.

Aléa de référence		Intensité		
		Faible (1)	Moyenne (2)	Fort (3)
Probabilité d'atteinte	Faible (I)	Faible – T1.I	Moyen – T2.I	Fort – T3.I
	Moyenne (II)	Faible – T1.II	Moyen – T2.II	Fort – T3.II
	Fort (III)	Moyen – T1.III	Fort – T2.III	Fort – T3.III

II.3.5.3. Cas de l'existence d'ouvrages jouant un rôle de protection contre les crues torrentielles

En présence de tels ouvrages (il s'agit des ouvrages dits parfois de protection passive, à distinguer des ouvrages de prévention, dits parfois de protection active, ces derniers agissant sur l'aléa), deux cartes des aléas sont établies :

- une carte des aléas « sans ouvrages jouant un rôle de protection contre les inondations », obtenue en supprimant l'ensemble des ouvrages jouant un rôle de protection. Son objectif est pédagogique : elle permet de connaître la situation si les ouvrages n'existaient pas, et ainsi d'apprécier l'intérêt de ces derniers. Le dossier doit permettre d'identifier clairement les ouvrages effacés dans le cadre de cette carte.
- une carte des aléas dite « avec prise en compte des ouvrages jouant un rôle de protection contre les inondations ». C'est cette carte qui sera prise en considération en matière d'urbanisme ou pour l'élaboration d'un PPRN.

Elle résulte de la superposition d'un aléa hors sur-aléa et d'un sur-aléa, tels que définis ci-après.

Deux cas peuvent être rencontrés pour chacun des systèmes d'endiguement (tels que définis par l'article R.562-13 du code de l'environnement) et chacun des ensembles d'ouvrages jouant un rôle similaire (par exemple, remblai routier non conçu dans un but de protection contre les inondations), suivant que l'hypothèse de ruine généralisée pour l'aléa de référence peut être écartée ou non.

Par ruine généralisée, il faut comprendre soit la disparition du système de protection sur la majorité de sa longueur, soit des défaillances multiples, avec en conséquence des débits de débordement équivalents à ceux qui existeraient en l'absence du système de protection.

Cas 1 : L'hypothèse de ruine généralisée du système de protection ne peut être écartée pour l'aléa de référence :

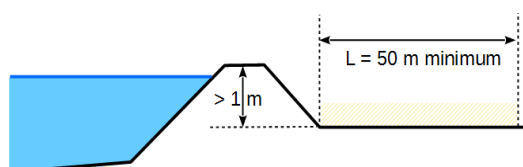
L'aléa « avec prise en compte des ouvrages jouant un rôle de protection contre les inondations » résulte alors de la superposition de l'aléa hors sur-aléa, obtenu en effaçant le système de protection, et du sur-aléa correspondant aux phénomènes de sur-vitesses et d'affouillements induits à l'arrière immédiat du système de protection lors d'une défaillance (par exemple, sur-verse généralisée ou localisée, brèche localisée).

Cas 2 : L'hypothèse de ruine généralisée du système de protection peut être écartée pour l'aléa de référence :

L'aléa « avec prise en compte des protections » résulte alors de la superposition de l'aléa hors sur-aléa, correspondant à des hypothèses de brèches localisées, non simultanées, situées de façon à rendre compte des situations les plus défavorables en termes d'extension et d'intensité en tout point, et du sur-aléa correspondant aux phénomènes de sur-vitesses et d'affouillement induits à l'arrière immédiat du système de protection lors d'une défaillance.

Dans les deux cas, le sur-aléa est défini en considérant la rupture possible en tout point de la partie du système de protection mis en charge lors de l'aléa de référence, ce qui se traduit sur l'ensemble du linéaire concerné par l'affichage, à l'arrière immédiat des ouvrages, de bandes dites de précaution correspondant aux niveaux d'aléa fort et très fort. Elles sont matérialisées par des trames permettant de distinguer aléa hors sur-aléa et sur-aléa et, au sein des bandes, niveaux fort et très fort de sur-aléa.

La largeur de la bande de précaution est fixée au minimum à 50 m pour les remblais mis en charge hydrauliquement en bordure de cours d'eau, égaux ou supérieurs à un mètre de hauteur. Cette largeur peut être augmentée dans le cas d'une topographie défavorable.



II.3.5.4. Aléa exceptionnel

Un aléa exceptionnel doit être affiché en complément de l'aléa de référence jusqu'à la limite de l'enveloppe géomorphologique, éventuellement diminuée des zones où les possibilités d'inondation et d'affouillement ont définitivement disparu du fait de modifications du lit d'origine naturelle ou anthropique (ouvrages de protection exclus).

II.3.6. Le ruissellement sur versant et le ravinement

II.3.6.1. Définition du phénomène

Divagation des eaux météoriques **en dehors du réseau hydrographique** suite à de fortes précipitations.

Ce phénomène peut générer l'apparition d'érosions localisées, provoquées par ces écoulements superficiels et nommées « ravinement ».

II.3.6.2. Principes de qualification de l'aléa

L'aléa de référence prend en compte le plus fort événement historique connu ou, lorsqu'il lui est plus fort, le plus fort des événements résultant de scénarios de fréquence centennale.

La qualification de l'aléa ruissellement sur versant est faite en tenant compte du transport solide associé et de son influence sur différents facteurs (hauteurs atteintes par les eaux, trajectoires des écoulements, pouvoir d'érosion, etc.).

Les axes de concentration de l'écoulement (talwegs des combes en zones naturelles, chemins et voiries en zones anthropiques) sont classés en aléa très fort V4, au titre du maintien du libre écoulement des eaux, par similitude avec les lits mineurs des cours d'eau dont ils jouent le rôle lors des phénomènes pluvieux.

Axes de concentration de l'écoulement	Très fort - V4
---------------------------------------	----------------

Hors des axes de concentration de l'écoulement, les critères de qualification du niveau d'aléa sont les suivants :

		Vitesse d'écoulement en m/s		
		0,2 à 0,5	0,5 à 1	> 1
Hauteur de submersion en mètres	0 à 0,2	Faible V1 / V1a	Faible V1	Faible V1
	0,2 à 0,5	Faible V1	Moyen V2	Moyen V2
	0,5 à 1	Moyen V2	Fort V3	Fort V3
	> à 1	Fort V3	Très fort V4	Très fort V4

À défaut de modélisation hydraulique, les hauteurs et les vitesses sont estimées notamment en utilisant les connaissances issues des phénomènes historiques. Dans ce cas, la vitesse de montée et la durée du phénomène peuvent être des critères complémentaires aidant à gérer une hésitation sur le choix entre deux classes d'aléa au vu des incertitudes sur les valeurs de hauteur et de vitesses.

L'aléa (V1) peut concerner des parties importantes de territoire sans urbanisation existante et sans enjeu d'urbanisation future, du seul fait de l'existence généralisée de pentes sur les secteurs correspondants. Cependant, des particularités de la topographie, localisées sur de faibles superficies, peuvent faire que l'aléa ruissellement n'y est pas présent. La vérification de la présence de l'aléa ruissellement en tout point de ces territoires peut être difficilement possible pour des raisons d'étendue importante ou d'accessibilité difficile du territoire à expertiser ou de complexité des écoulements, par ailleurs facilement évolutifs dans le temps du fait de l'érosion ou des interventions humaines.

Sur le territoire de GAM il a été choisi de ne pas cartographier l'ensemble des terrains concernés par cet aléa faible « V ? », tel que prévu par le CCTP-type Isérois de la DDT (carte au 1/25 000), mais de préciser le phénomène sur les cartes au 1/5000 sur les secteurs à enjeux concernés : dans ce cas, un niveau V1a est affiché, qui correspond à un aléa V1 pour une hauteur d'eau égale ou inférieure à 20 cm.

Lorsque le ruissellement sur versant résulte d'une divagation torrentielle lointaine ou de débordement éloigné d'un cours d'eau qualifié en crue rapide des cours d'eau, alors, le niveau d'aléa de ruissellement sur versant est complété par un indice T ou C, respectivement, toutes les combinaisons étant possibles.

Ainsi, un indice V1T désigne un aléa faible de ruissellement sur versant et ravinement provenant d'un débordement torrentiel et un indice V2C désigne un aléa moyen de ruissellement sur versant et ravinement provenant du débordement d'un cours d'eau non torrentiel.

II.3.7. Les glissements de terrain

II.3.7.1. Définition du phénomène

Mouvement d'une masse de terrain d'épaisseur variable le long d'une surface de rupture. L'ampleur du mouvement, sa vitesse et le volume de matériaux mobilisés sont éminemment variables : glissement affectant un versant sur plusieurs mètres (voire plusieurs dizaines de mètres) d'épaisseur, coulée boueuse, fluage d'une pellicule superficielle, etc.

II.3.7.2. Principes de qualification de l'aléa

L'aléa de référence prend en compte le plus fort événement historique connu dans le site ou dans un secteur similaire (sur les plans géologiques, géomorphologique, hydrogéologique et structural) ou, lorsqu'il lui est supérieur, le plus fort des événements potentiels résultant de scénarios jugés possibles au cours des cents prochaines années.

L'aléa glissement de terrain est défini en analysant et décrivant notamment les éléments suivants et en précisant l'origine de leur connaissance :

- géologie du sous-sol ;
- pente du terrain ;
- dénivelée de la zone concernée ;
- présence plus ou moins importante d'indices de mouvements (niches d'arrachement, fissures, bourrelets, ondulations) ;
- présence de circulations d'eau souterraines ou résurgentes ;
- type (glissement plan lent ou rapide, glissement profond circulaire ou complexe, coulées de boues, solifluxion, etc.) et caractéristiques (ordres de grandeur de superficie d'extension, de volume, de vitesse, etc.) des phénomènes de glissement jugés possibles au vu des éléments ci-dessus.

Les secteurs d'aléa où le facteur déclenchant ne peut être que d'origine anthropique, c'est-à-dire suite à des travaux (par exemple surcharge en tête d'un talus ou d'un versant déjà instable, décharge en pied supprimant une butée stabilisatrice, mauvaise gestion des eaux), sont identifiés en tant que zones de glissement potentiel et classées en aléa faible (G0).

Il est rappelé que l'absence d'indice de mouvement de terrain décelé n'est pas une justification de l'absence d'aléa mouvement de terrain.

Dans les autres cas, le niveau d'aléa est qualifié à partir de la détermination de la probabilité d'occurrence et de l'intensité.

La **probabilité d'occurrence** est définie par le tableau suivant :

Probabilité d'occurrence	Description
Forte (go3)	Glissement actif avec traces de mouvements récents, ou Glissement ancien, ou Glissement potentiel (sans indice), avec facteur hydrologique aggravant reconnu, en situation équivalente à celle d'un glissement constaté, avec une pente supérieure à celle de ce glissement ou à la pente limite de déclenchement dans le même contexte estimée par le chargé d'étude en fonction de son expérience.

Probabilité d'occurrence	Description
Moyenne (go2)	Glissement potentiel (sans indice) avec absence de facteur hydrologique aggravant reconnu, en situation équivalente à celle d'un glissement constaté, avec une pente supérieure à celle de ce glissement ou à la pente limite de déclenchement dans le même contexte estimée par le chargé d'étude en fonction de son expérience, ou Glissement potentiel (sans indice), avec facteur hydrologique aggravant reconnu, en situation équivalente à celle d'un glissement constaté, avec une pente légèrement inférieure à celle de ce glissement ou à la pente limite de déclenchement dans le même contexte estimée par le chargé d'étude en fonction de son expérience.
Faible (go1)	Glissement potentiel (sans indice), sans facteur hydrologique aggravant reconnu, en situation équivalente à celle d'un glissement constaté, avec une pente légèrement inférieure à celle de ce glissement ou à la pente limite de déclenchement dans le même contexte estimée par le chargé d'étude en fonction de son expérience.

La probabilité d'occurrence est considérée de même classe pour les zones de départ, d'arrivée et les auréoles de sécurité (zones déstabilisées en périphérie à court et moyen terme).

L'intensité est par ailleurs établie selon la logique suivante :

Faible (gi1)	Modérée (gi2)	Élevée (gi3)	Très élevée (gi4)
Dommages limités, non structurels, sur un bâti standard	Dommages structurels au bâti standard. Pas de dommages au bâti adapté à l'aléa	Destruction du bâti standard. Dommages structurels au bâti adapté à l'aléa moyen.	Destruction du bâti adapté à l'aléa moyen (phénomènes de grande ampleur).

Les zones de départ et d'extension des coulées boueuses sont classées en considérant l'intensité moyenne, élevée ou très élevée.

La qualification de l'aléa en quatre niveaux est obtenue par application du tableau suivant :

Intensité	Faible (gi1)	Modérée (gi2)	Élevée (gi3)	Très élevée (gi4)
Probabilité d'occurrence	Faible (go1)	Moyenne (go2)	Forte (go3)	
Faible (G1)	Moyen (G2a)	Fort (G3a)	Fort (G3c)	Très fort (G4)
Moyenne (G2b)	Fort (G3b)	Très fort (G4)	Très fort (G4)	Très fort (G4)

II.3.8. Les chutes de pierres et de blocs

II.3.8.1. Définition

Chute d'éléments rocheux d'un volume unitaire compris entre quelques centimètres cubes et quelques mètres cubes. Le volume total mobilisé lors d'un épisode donné est inférieur à une centaine de mètres cubes. Au-delà, on parle d'écroulements en masse, pris en compte seulement lorsqu'ils sont facilement prévisibles.

II.3.8.2. Principes de qualification de l'aléa

L'aléa de référence prend en compte le plus fort événement historique connu (en excluant les phénomènes exceptionnels d'occurrence correspondant à l'échelle des temps géologiques), dans le site ou dans un secteur similaire (sur les plans géologique, géomorphologique, hydrogéologique et structural) ou, lorsqu'il lui est plus fort, le plus fort des événements résultant de scénarios jugés possibles au cours des cent prochaines années.

Les aléas sont qualifiés sans prendre en compte la forêt, en considérant que sa pérennité, et donc son éventuel effet, n'est pas assurée (par exemple en cas d'incendie ou de maladie des arbres). Les zones de forêts jouant un rôle réducteur du risque pour des zones urbanisées ou des infrastructures existantes sont néanmoins identifiées dans la cartographie pour permettre la mise en place d'une politique de leur préservation autant que possible.

La possibilité de phénomènes de chutes de pierres et/ou de blocs résulte de la présence de zones de départ potentiel (présence de falaises ou de blocs dispersés dans des pentes). Des scénarios de référence sont définis par zone de départ selon les aspects suivants :

- ordre de grandeur de la taille unitaire maximale des blocs et des différentes classes de tailles unitaires de blocs pouvant provenir de la zone de départ ;
- extension de la zone d'aléa en aval et en amont de la zone de départ, la zone en amont correspondant au recul estimé sur une durée de cent ans ;
- ordre de grandeur de la dénivellation entre zone de départ et zone d'arrêt potentielle ;
- estimation de la fréquence des chutes ;
- possibilité de chutes par paquets fracturables ou non (volume de paquet inférieur à 100 m³) et, si oui, importance des paquets et taille des blocs après fracturation ;
- possibilité d'éboulement (volume supérieur à 100 m³) d'occurrence centennale et, si oui, ordre de grandeur du volume.

La définition des scénarios de référence s'appuie notamment sur les phénomènes historiques et les indices relevés sur le terrain dans les zones de départ et dans les zones d'arrêt potentielles.

Les zones d'aléas correspondant au recul prévisible des parois au cours des cent prochaines années sont identifiées spécifiquement sur la carte des aléas. Elles sont qualifiées en aléa fort P3r.

Les zones non exposées à l'aléa, mais où des aménagements pourraient aggraver les risques ou en provoquer de nouveaux, sont identifiées de même et qualifiées P0, une qualification de niveau d'aléa y est sans objet.

L'extension des phénomènes en aval des zones de départ est basée sur la méthode dite des « cônes », ou des méthodes équivalentes. Cette méthode, explicitée en Annexe 3, permet de cartographier l'extension prévisible de l'aléa rocheux en aval des zones de départ par le choix de valeurs d'angle variables en fonction de singularités locales de la topographie. L'observation et la mesure d'angles sur plusieurs phénomènes permettent par ailleurs de présenter des plages statistiques de valeurs permettant une quantification de la **probabilité d'atteinte**. Les plages de valeurs d'angle correspondant aux niveaux de probabilité d'atteinte sont estimées à partir des morphologies types de versant définies par la méthode MEZAP, et précisées par le chargé d'étude en fonction de sa connaissance du site, de son expérience sur des sites équivalents et éventuellement de modélisations trajectographiques permettant une comparaison avec une situation ou un site servant de référence.

Pour aboutir à la qualification du niveau d'aléa, il est nécessaire de déterminer, en complément de la probabilité d'atteinte, d'abord l'indice d'activité, dont on déduit la probabilité d'occurrence, puis l'intensité du ou des scénarios de référence pris en considération.

L'**indice d'activité** traduit pour un scénario la probabilité de départ des blocs pris en compte estimée à partir des traces de départ visibles et du nombre des blocs observés dans la pente, elle peut aussi être appréciée par les observations faites dans des contextes similaires (géologie, topographie...). L'indice d'activité résulte de l'application du tableau suivant :

Indice d'activité par zone homogène	Description
Faible	De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les 100 ans
Moyen	De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les 10 ans
Fort	De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les ans

La **probabilité d'occurrence** est obtenue en croisant probabilité d'atteinte et indice d'activité tel que précisé par le tableau ci-après :

		Probabilité d'atteinte			
		Faible	Moyenne	Forte	Très Forte
Indice d'activité	Faible	Faible	Modéré	Élevée	Très Élevée
	Moyen	Modéré	Modéré	Élevée	Très Élevée
	Fort	Modéré	Élevée	Élevée	Très Élevée

L'**indice d'intensité** est défini par le volume du bloc du scénario de référence :

Indice d'intensité	Description	Potentiels de dommages
Faible	Le volume unitaire pouvant se propager est inférieur à 0,25 m ³ .	Pas de dommage au gros œuvre. Peu ou pas de dommages aux éléments de façade.
Modéré	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur ou égal à 0,25 m ³ mais inférieur à 1 m ³ .	Dommages au gros-œuvre sans ruine. Intégrité structurelle sollicitée.
Élevée	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur ou égal à 1 m ³ mais inférieur à 10 m ³ .	Dommage important au gros-œuvre. Ruine probable. Intégrité structurelle remise en cause.
Très Élevée	Le volume unitaire pouvant se propager dépasse 10 m ³ .	Destruction du gros-œuvre. Ruine certaine. Perte de toute intégrité structurelle.

Le niveau d'aléa est qualifié en tout point de la zone d'étude en utilisant la matrice suivante :

Aléa		Intensité				Phénomène de grande ampleur
		Faible	Modérée	Élevée	Très élevée	
		Bloc <0.25m ³	0.25m ³ < Bloc < 1m ³	1m ³ < Bloc < 10m ³	Bloc >10m ³	
Probabilité d'occurrence	Faible	Faible (P1)	Moyen (P2)	Fort (P3)	Fort (P3)	Très fort aggravé (P5)
	Modérée	Faible (P1)	Moyen (P2)	Fort (P3)	Fort (P3)	
	Élevée	Moyen (P2)	Fort (P3)	Fort (P3)	Très fort (P4)	
	Très élevée	Fort (P3)	Fort (P3)	Très fort (P4)	Très fort (P4)	

II.3.8.3. Prise en compte des ouvrages de protection pare-blocs

Les seuls ouvrages de protection pris en compte sont les merlons avec face raidie côté amont. Un merlon est considéré comme un moyen efficace de suppression de l'aléa en aval (par rapport au sens de propagation des blocs), sous réserve qu'il soit correctement dimensionné et géré par un maître d'ouvrage public administrativement et financièrement pérenne. Dans ce cas, une carte des aléas « avec prise en compte des protections », distincte de la carte des aléas principale et pouvant être limitée aux parties du territoire concernées peut être établie. Elle met alors en évidence la localisation des ouvrages, avec un numéro associé à chaque ouvrage, et, par un jeu de hachures, celle des zones protégées, avec report de la numérotation du ou des ouvrages correspondants.

En cas de doute sur l'efficacité d'un merlon, il n'est pas pris en compte au titre de l'aléa. C'est notamment le cas en l'absence d'étude spécifique de dimensionnement permettant de juger de sa performance ou en l'absence de gestion par un maître d'ouvrage public pérenne.

La connaissance des ouvrages de protection recensés sur le territoire étudié sera précisée par divers renseignements, notamment : type de dispositif, principales caractéristiques géométriques et de performance, maître d'ouvrage, gestionnaire, enjeux présents dans la zone d'effet.

II.3.9. Les effondrements de cavités souterraines et la suffosion

II.3.9.1. Définition des phénomènes

Évolution de cavités souterraines d'origine naturelle (karst) et anthropique (carrière) avec des manifestations en surfaces lentes et progressives (affaissement) ou rapides et brutales (effondrement). Celles d'origine minière ne relèvent pas du code de l'Environnement (code Minier), mais peuvent y être signalées pour information.

La suffosion est l'entraînement, par des circulations d'eaux souterraines, de particules fines (argiles, limons) dans des terrains meubles constitués aussi de sables et graviers, provoquant des tassements superficiels voire des effondrements.

II.3.9.2. Principes de qualification de l'aléa

Cavités souterraines d'origine anthropique

Rappel :

Les risques miniers, résultant de l'exploitation de matériaux listés à l'article L. 111-1 du code minier, ne sont pas traités par la carte d'aléas. Il est rappelé que la distinction entre mines et autres extractions est fondée sur la nature du matériau exploité et non sur le caractère souterrain ou non du mode d'exploitation.

Pour les cavités souterraines d'origine anthropique autres que les mines (carrières souterraines, marnière, caves, champignonnières, galeries, etc.), la qualification de l'aléa est réalisée en appliquant la méthodologie décrite aux pages 37 à 51 du guide méthodologique PPRN risque cavités souterraines abandonnées (DPPR, octobre 2012), dont les principes sont rappelés ci-après.

L'aléa de référence correspond au plus important événement historique connu dans le site étudié, sauf si l'analyse du site conduit à considérer comme vraisemblable à échéance centennale un événement d'encore plus grande ampleur.

Le niveau d'**intensité** est déterminé d'après différents critères selon la nature du mouvement de terrain.

Phénomène	Critères de qualification de l'intensité
Affaissements	Déformations différentielles horizontales et effets de mise en pente <ul style="list-style-type: none"> • hauteur, profondeur et largeur des cavités exploitées • méthode d'exploitation • nature et épaisseur des terrains de recouvrement • pendage des couches • topographie de surface • présence de failles • etc.
Effondrements localisés	<ul style="list-style-type: none"> • Diamètre de l'effondrement <ul style="list-style-type: none"> ◦ dimensions des cavités (volume des galeries) ◦ épaisseur et nature des terrains constituant le recouvrement, en particulier des terrains superficiels • Profondeur du cratère (difficile à prévoir)
Effondrements généralisés	La classe d'intensité est systématiquement élevée à très élevée du fait de la mise en péril de la sécurité des personnes et des biens dans l'emprise de l'instabilité et de l'absence de parades « légères » permettant de s'affranchir des conséquences prévisibles d'un tel phénomène en surface.

Le tableau ci-après propose un récapitulatif des classes d'intensité des phénomènes en définissant une série de critères de jugement basés essentiellement sur les conséquences physiques à terme en surface. Les critères de jugement des classes d'intensité ne constituent que des valeurs guide proposées par différents experts nationaux lors de diverses études d'aléas de PPRN cavités ou dans le cadre de groupes de travail, notamment celui mis en place pour le guide PPR minier (2004). D'autres critères peuvent évidemment être établis en fonction de la configuration des cavités ou des phénomènes observés sur un site donné. L'expert en charge de

la réalisation du PPRN pourra donc adopter des valeurs ou des caractéristiques qui lui semblent les mieux correspondre au contexte de son étude.

Intensité	Phénomène	Principaux critères de jugement	Conséquences redoutées
Très limitée	Affaissement	Mise en pente < 1 %	Désordres uniquement perceptibles pour les ouvrages sensibles
	Effondrement localisé	Effondrements auto-remblayés à proximité de la surface	« Flache » de profondeur centimétrique
Limitée	Affaissement	Mise en pente < 3 %	Désordres légers de types fissures isolées sans atteintes aux fonctionnalités du bâtiment.
	Effondrement localisé	Diamètre de l'effondrement < 3 m	Trou éventuellement profond mais suffisamment étroit pour ne pas affecter immédiatement une fondation classique.
Modérée	Affaissement	Mise en pente < 6 %	Fissures visibles à l'extérieur. Les portes et fenêtres coïncent et certaines canalisations se rompent.
	Effondrement localisé	Diamètre de l'effondrement < 10 m	Cratère + ou - profond et suffisamment large pour ruiner une construction récente en béton même sur radier.
Élevée	Affaissement	Mise en pente > 6 %	Désordres structurels importants. Bâtiments inhabitables.
	Effondrement localisé	Diamètre de l'effondrement > 10 m	Cratère important avec parois abruptes et risque d'engloutissement du bâti.
Très élevée	Effondrement généralisé	Effondrement en masse de la surface	Ruine complète et immédiate de plusieurs constructions. Crevasses périphériques.

La **probabilité d'occurrence** est estimée en termes de prédisposition du site vis-à-vis d'un type de rupture. La prédisposition à la rupture est notamment appréciée par le retour d'expérience (phénomènes historiques), l'examen géotechnique des cavités souterraines (observation des désordres tels que montées de voûtes, piliers ruinés, souffrages de mur, etc. et/ou de configurations défavorables telles qu'une géométrie complexe, une fracturation importante, la présence d'eau, etc.) et la connaissance des scénarios d'instabilités des cavités.

Phénomènes	Critères de qualification de la probabilité d'occurrence
Affaissements	<p>Prédisposition à la ruine d'un ouvrage souterrain :</p> <ul style="list-style-type: none"> • nature et profondeur des cavités • conditions d'extraction de la zone • caractéristiques du massif : résistance des couches extraites, taille, forme, régularité, qualité de la superposition en cas d'exploitation superposée proche, etc. • autres facteurs : sensibilité des matériaux à l'eau, présence de failles, etc. <p>Prédisposition à une descente souple et progressive du recouvrement :</p> <ul style="list-style-type: none"> • faible ratio largeur des vides / épaisseur de recouvrement • hauteur de vide résiduel (en cas de remblayage partiel notamment) faible au regard de la profondeur des travaux ; • terrains de recouvrement présentant un comportement plutôt plastique (cas des marnes par exemple) ou déjà déconsolidé (ancien effondrement ou foudroyage contrôlé).

Phénomènes	Critères de qualification de la probabilité d'occurrence
Effondrements localisés	<p>Prédisposition à la rupture et à l'éboulement du toit de la cavité :</p> <ul style="list-style-type: none"> • -largeur (ou portée) du toit des chambres ou des galeries concernées • nature et épaisseur des premiers bancs rocheux <p>Prédisposition à la rupture de piliers isolés :</p> <ul style="list-style-type: none"> • contraintes s'exerçant au sein du massif (tributaires notamment du taux de défrètement local et de la profondeur des vides) • caractéristiques des piliers concernés (résistance, sensibilité à l'eau, section, élancement, forme, régularité, présence de failles ou d'accidents structuraux, mauvaise superposition, etc.) <p>Prédisposition au débouillage de puits :</p> <ul style="list-style-type: none"> • caractéristiques de la structure (plancher en bois, voûte en briques, dalle, etc.) mise en place en tête d'un puits vide (résistance, dimensions, altérabilité dans le long terme) • nature du revêtement du puits • nature et résistance des terrains encaissants <p>Prédisposition à la remontée de l'instabilité en surface :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Possibilité de stabilisation par formation d'une voûte stable : présence de bancs massifs, épais et résistants au sein du recouvrement • Possibilité de stabilisation par auto-comblement du fait du foisonnement des éboulis : <ul style="list-style-type: none"> ◦ volume des vides résiduels en profondeur (compte-tenu des dimensions des galeries et de l'existence d'éventuels comblements) ◦ nature (coefficient de foisonnement) et épaisseur des terrains de recouvrement
Effondrements généralisés	<p>Prédisposition de l'ouvrage souterrain à la rupture :</p> <ul style="list-style-type: none"> • contraintes s'exerçant au sein d'un grand nombre de piliers ayant atteint un état limite de stabilité (fonction notamment du taux de défrètement, de la profondeur des travaux et des conditions d'exploitation des secteurs adjacents) • caractéristiques favorables à une rupture brutale des piliers (comportement fragile du matériau, fort élancement, mauvaise superposition, etc.) • absence de massifs vierges au sein de l'exploitation ou piliers barrières susceptibles de bloquer la propagation d'un front d'effondrement • autres facteurs tels que la sensibilité des matériaux à l'eau (gypse ou craie notamment), le comportement du mur (poinçonnement), la présence de failles, etc. <p>Prédisposition des terrains de recouvrement à une rupture dynamique :</p> <ul style="list-style-type: none"> • extension latérale d'exploitation et ouverture de vide résiduel suffisantes au regard de l'épaisseur de recouvrement • présence de banc(s) résistant(s) au sein du recouvrement susceptible de se rompre de manière dynamique, entraînant dans sa ruine la rupture en masse des piliers sous-jacents

La notion de prédisposition d'un site à la rupture suffit dans le cas d'ouvrages connus et convenablement repérés. En l'absence d'information partielle ou totale, le concept de présence des vides permet de pondérer la prédisposition d'un site à l'apparition de désordres. La probabilité d'occurrence peut alors se définir selon la grille suivante :

Probabilité d'occurrence		Prédisposition à la rupture		
		Peu sensible	Sensible	Très sensible
Présomption des vides	Improbable	Faible		
	Probable			
	Très probable, voire certaine	Forte		

La qualification de l'aléa se fait en utilisant une matrice de croisement Intensité/Probabilité d'occurrence qui devra être adaptée au contexte de chaque site :

Aléa		Probabilité d'occurrence		
		Faible	à	Fort
Intensité	Limitée	Faible		
	à			
	Élevée à très élevée	Très Fort		

Cavités souterraines d'origine naturelle

Pour les phénomènes d'effondrement ou d'affaissement exclusivement d'origine naturelle, comprenant notamment ceux de karstification et de suffosion, la qualification de l'aléa est réalisée sur la base de la même méthodologie, mais en adaptant la méthode de qualification de la probabilité d'occurrence.

La qualification de la probabilité d'occurrence est basée sur l'évaluation de la prédisposition à l'apparition d'instabilité en surface au cours des cent prochaines années ou, en cas de danger humain, à plus grande échéance, en excluant les phénomènes exceptionnels d'occurrence à l'échelle des temps géologiques, au vu du plus fort événement historique connu dans le site ou dans un secteur proche au plan géologique, géomorphologique, hydrogéologique et structural.

L'article L. 563-6 du Code de l'Environnement stipule que les communes ou leurs groupements compétents en matière de documents d'urbanisme élaborent, en tant que de besoin, des cartes délimitant les sites où sont situés des cavités souterraines et des marnières susceptibles de provoquer l'effondrement du sol.

II.3.9.3. Notions de marges de sécurité

L'affichage de l'aléa d'effondrement de cavités souterraines déborde de l'emprise réelle des cavités pour tenir compte du cône d'influence. En s'effondrant, le sol cède sous un certain angle, puis à long terme, cherchera une nouvelle pente d'équilibre en régressant sur la bordure de l'effondrement.

La marge de sécurité inclut également l'incertitude sur la position réelle des cavités.

II.3.9.4. **Prise en compte des travaux de traitements de l'aléa effondrement**

Les travaux de traitements sont pris en compte uniquement lorsque les deux conditions suivantes sont vérifiées :

- les techniques de traitement mises en œuvre permettent de garantir une stabilisation pérenne des cavités (comblement par exemple). En l'absence de reconnaissances visuelles possibles, l'expert doit s'appuyer sur des documents récents et fiables décrivant la conception, la réalisation et le contrôle approprié des travaux ;
- les emprises concernées doivent être suffisamment étendues pour permettre une visualisation à l'échelle du document et une transposition possible aux documents d'urbanisme.

II.3.10. **L'aléa avalanche**

II.3.10.1. **Définition**

Déplacement gravitaire (sous l'effet de son propre poids), rapide, d'une masse de neige sur un sol en pente, provoqué par une rupture dans le manteau neigeux.

II.3.10.2. **Qualification de l'aléa « avalanche »**

L'aléa avalanche est qualifié sur la base du guide méthodologique PPRN avalanches d'août 2015. Le présent paragraphe en rappelle les principaux principes en les précisant sur quelques points. La qualification porte sur un aléa de référence et sur un aléa exceptionnel.

L'aléa de référence centennal, notamment son extension, est basé sur la plus forte avalanche connue depuis le milieu du 19^{ème} siècle ou, s'il est plus fort, sur le scénario de référence le plus fort d'occurrence centennale, c'est-à-dire ayant une probabilité annuelle de se produire égale à 1 %.

La qualification des niveaux de l'aléa de référence prend en compte de la façon suivante la valeur de pression ponctuelle exercée par l'avalanche :

Pression	Niveau d'aléa
$P \geq 30 \text{ kPa}$	Fort A3
$3 \text{ kPa} < P < 30 \text{ kPa}$	Moyen A2
Faible et non quantifiable, $0 \text{ kPa} < P < 3 \text{ kPa}$, purges de talus...	Faible A1

La qualification A1 est réservée à des avalanches de faible amplitude de dénivelé.

La fixation précise de la limite entre A2 et A3 sur la base de l'intensité nécessite une modélisation fine. A défaut, la plage d'incertitude de qualification est affichée par une mention A2/A3.

II.3.10.3. **Prise en compte de la forêt**

- en présence d'une forêt ayant toujours existé en zone de départ potentiel d'avalanche, si elle est efficace au vu du guide de sylviculture des forêts de Montagne (Alpes du Sud et Alpes du Nord) et s'il n'y a jamais eu de départ d'avalanche, la carte d'aléa n'affiche pas d'aléa. La partie de la zone de départ potentiel d'avalanche occupée par la forêt concernée

est identifiée AB (au lieu de V pour zone verte dans le guide) dans un objectif de préservation, voire de gestion optimisée.

- dans le cas d'une zone urbanisée concernée par un aléa A2 sur la base d'avalanches historiques, mais d'absence de départ d'avalanche depuis plusieurs décennies, absence attribuable à la création d'une forêt postérieure aux avalanches historiques, la zone considérée protégée est identifiée A2b et la zone de forêt dite forêt de protection ancienne ayant l'effet de protection correspondant est identifiée Ab.

Zone de départ d'avalanche occupée par la forêt	AB
Zone forestière ancienne à l'effet de protection	Ab

II.3.10.4. Ouvrages de protection contre les avalanches pris en compte et modes spécifiques de qualification de l'aléa

Les seuls ouvrages de protection pris en compte sont les tournes et étraves paravalanches et les digues de limitation de l'extension de la partie terminale de l'avalanche, sous réserve qu'ils soient correctement dimensionnés et gérés par un maître d'ouvrage public administrativement et financièrement pérenne. Dans ce cas, une carte des aléas « avec prise en compte des protections », distincte de la carte d'aléas principale et pouvant être limitée aux parties du territoire concernées peut être établie. Elle met alors en évidence la localisation des ouvrages, avec un numéro associé à chaque ouvrage, et, par un jeu de hachures, celle des zones protégées, avec report de la numérotation du ou des ouvrages correspondants.

La connaissance des ouvrages de protection recensés sur le territoire étudié sera précisée par divers renseignements, notamment : type de dispositif, principales caractéristiques géométriques et de performance, maître d'ouvrage, gestionnaire, enjeux présents dans la zone d'effet. Si possible fournir des plans précis des ouvrages.

II.3.10.5. Aléa exceptionnel AE

Il prend en compte les événements plus forts que l'aléa de référence centennal, soit antérieurs au milieu du 19^{ème} siècle (correspondant à la fin du Petit Âge Glaciaire), pouvant être très anciens, soit plus récents mais d'extension douteuse.

Avalanche Exceptionnelle	AE
--------------------------	-----------

En cas de modélisation, les hypothèses doivent être au moins d'occurrence tri-centennale, c'est-à-dire avoir une probabilité annuelle de se produire égale à 1/300.

III. Annexes

Annexe 1 Carte d'exposition sismique

Un séisme est un phénomène vibratoire naturel affectant la surface de l'écorce terrestre et dont l'origine est la rupture mécanique brusque d'une discontinuité de la croûte terrestre.

Les particularités de ce phénomène, et notamment l'impossibilité de l'analyser hors d'un contexte régional - au sens géologique du terme - imposent une approche spécifique. Cette approche nécessite des moyens importants et n'entre pas dans le cadre de cette mission. Le zonage sismique de la France a été défini par le décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français, pour l'application des nouvelles règles de construction parasismiques. Ce zonage sismique divise le territoire national en cinq zones de sismicité croissante (de très faible à forte), en fonction de la probabilité d'occurrence des séismes. Les limites de ces zones sont, selon les cas, ajustées à celles des communes ou celles des circonscriptions cantonales.

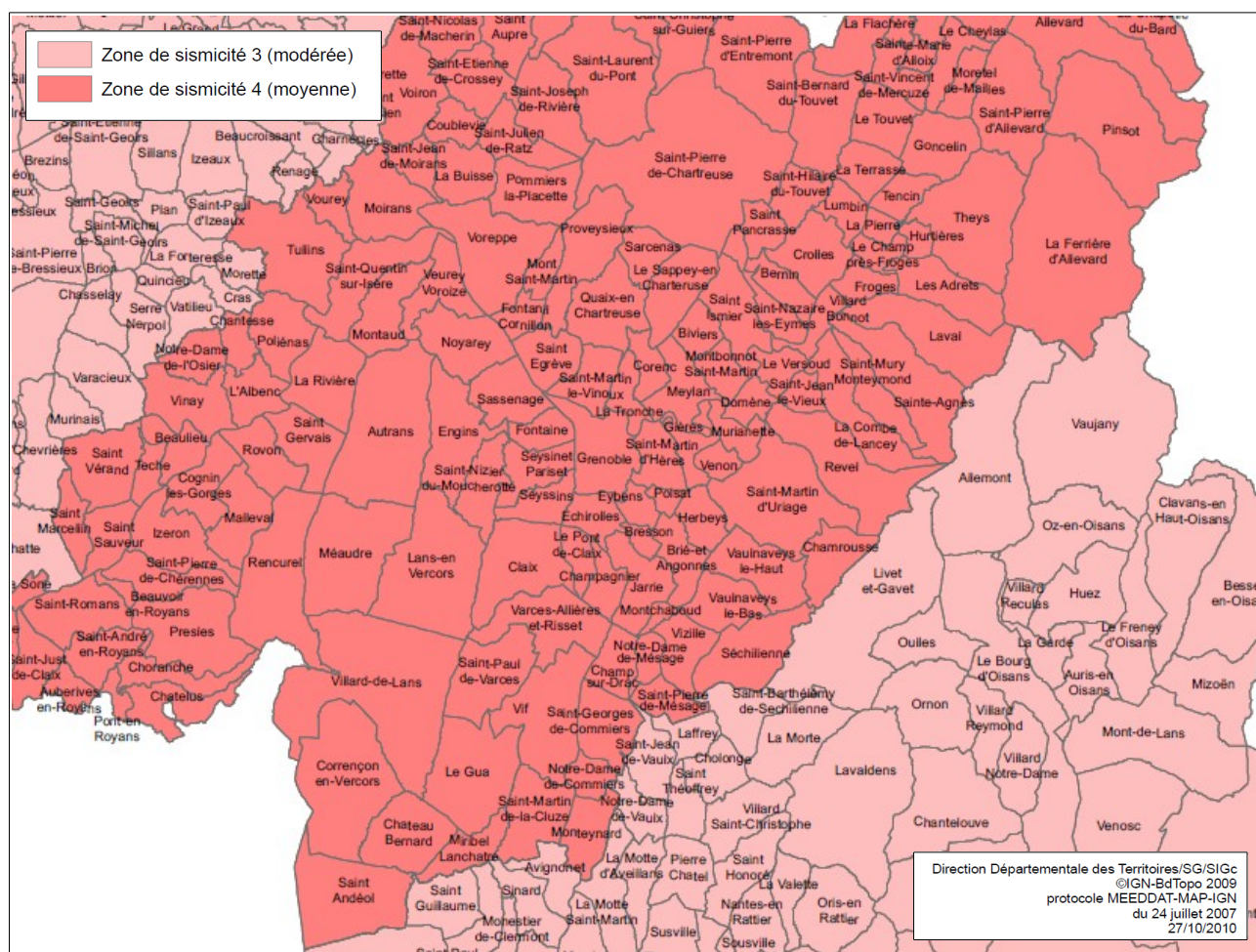


Figure III.1: Zonage de sismicité de la région Rhône-Alpes.

Toutes les communes de Grenoble-Alpes-Métropole sont classées en zone de sismicité 4 (moyenne), sauf Saint-Barthélémy-de-Séchilienne qui est classée en zone de sismicité 3 (modérée).

Annexe 2 Méthode études hydrologiques © Alp'Géorisques

Les plugins développés par Alp'Géorisques permettent de calculer les débits décennaux et centennaux pour tout exutoire identifié à partir d'un fichier SIG vectoriel de points.

1. Création automatique des bassins versants et des thalwegs

Dans un premier temps, les bassins versants et les plus long thalwegs sont créés automatiquement à partir des données topographiques raster disponibles. Les résultats suivants sont extraits pour chaque exutoire renseigné par l'utilisateur :

- le bassin versant associé à l'exutoire (polygone)
- la superficie du bassin versant ;
- le plus long thalweg associé à l'exutoire (polyligne)
- la longueur du plus long thalweg ;
- le profil en long du plus long thalweg ;

Par défaut, les données topographiques utilisées sont issues d'un MNT au pas de 25m. Plus la résolution des données topographiques raster est fine et meilleurs sont les résultats.

2. Calcul des débits

Suite à la première étape de calcul automatique des bassins versants et des thalwegs, l'utilisateur est libre de modifier ou non les données créées automatiquement en fonction des observations de terrain (par exemple intégration d'une partie d'un bassin versant voisin par une voirie).

Les données d'occupation du sol et de précipitations centennales et décennales sont extraites pour chaque bassin versant par extrapolation des précipitations mesurées sur les postes pluviométriques voisins. A partir de ces données le volume ruisselé est estimé grâce à la méthode de production du SCS. Cette méthode repose sur un unique paramètre appelé Curve Number (CN) qui décrit le type de sol, le type d'occupation du sol et l'état de saturation du sol (par défaut le type de sol a été considéré comme peu perméable (classe C) et le sol à un niveau de saturation moyen).

Le calcul du débit à l'exutoire s'effectue grâce à la convolution de l'hydrogramme unitaire du SCS appliqué aux volumes ruisselants. Les résultats suivants sont extraits pour chaque exutoire :

- le profil en long du plus long thalweg ;
- la longueur du plus long thalweg ;
- l'occupation du sol dans l'emprise du bassin versant ;
- les cumuls de pluies décennales dans l'emprise du bassin versant ;
- les cumuls de pluies centennales dans l'emprise du bassin versant ;
- les hyétogrammes de projet centennaux et décennaux ;
- les hydrogrammes décennaux et centennaux ;
- les débits de pointes décennaux et centennaux ;
- les débits spécifiques décennaux et centennaux ;

Données d'occupation du sol

L'occupation du sol est issue des données « Corine Land Cover » qui ont été simplifiées en créant 14 catégories auxquelles ont été associés des « Curve Number », paramètre utilisé dans la fonction de production du SCS pour calculer le volume ruisselant.

Occupation du sol	Curve Number
Cultures	85
Divers	80
Eaux	98
Forêts denses	70
Forêts peu denses	73
Glaciers	95
Plages, dunes et sable	79
Prairies et espaces verts	74
Roches	90
Végétation clairsemée	78
Vergers	80
Vignobles	85
Zones urbaines denses	90
Zone urbaines peu denses	80

Un Curve Number moyen (pondéré par la surface) est ainsi calculé.

Précipitations décennales et centennales

Les précipitations décennales et centennales utilisées sur le département de l'Isère sont issues de la thèse de A.Djrboua : « Cartographie des pluies extrêmes du département de l'Isère ».

La durée de précipitation retenue correspond au temps de concentration du bassin versant sauf :

- si le temps de concentration est inférieur à une heure. Dans ce cas, la durée de la pluie retenue est d'une heure ;
- si le temps de concentration est supérieur à 24 heures. Dans ce cas, la durée de la pluie retenue est de 24 heures.

3. Calcul du débit

Le programme calcul un hydrogramme (enregistré dans un fichier texte) et le débit de pointe (inscrit dans la table attributaire) pour chaque débit de référence.

Calcul du volume ruisselant

Le volume ruisselant est calculé grâce à la fonction de production du SCS à partir du Curve Number moyen et des précipitations pour chaque pas de temps d'après les formules suivantes :

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S}$$

$$Ia = 0,2S$$

$$S = \frac{25400 - 254 CN}{CN}$$

où CN est le Curve Number.

Calcul du débit

Le calcul du débit à partir du volume ruisselant s'effectue grâce à la méthode de convolution de l'hydrogramme unitaire du S.C.S donné en Figure III.2.

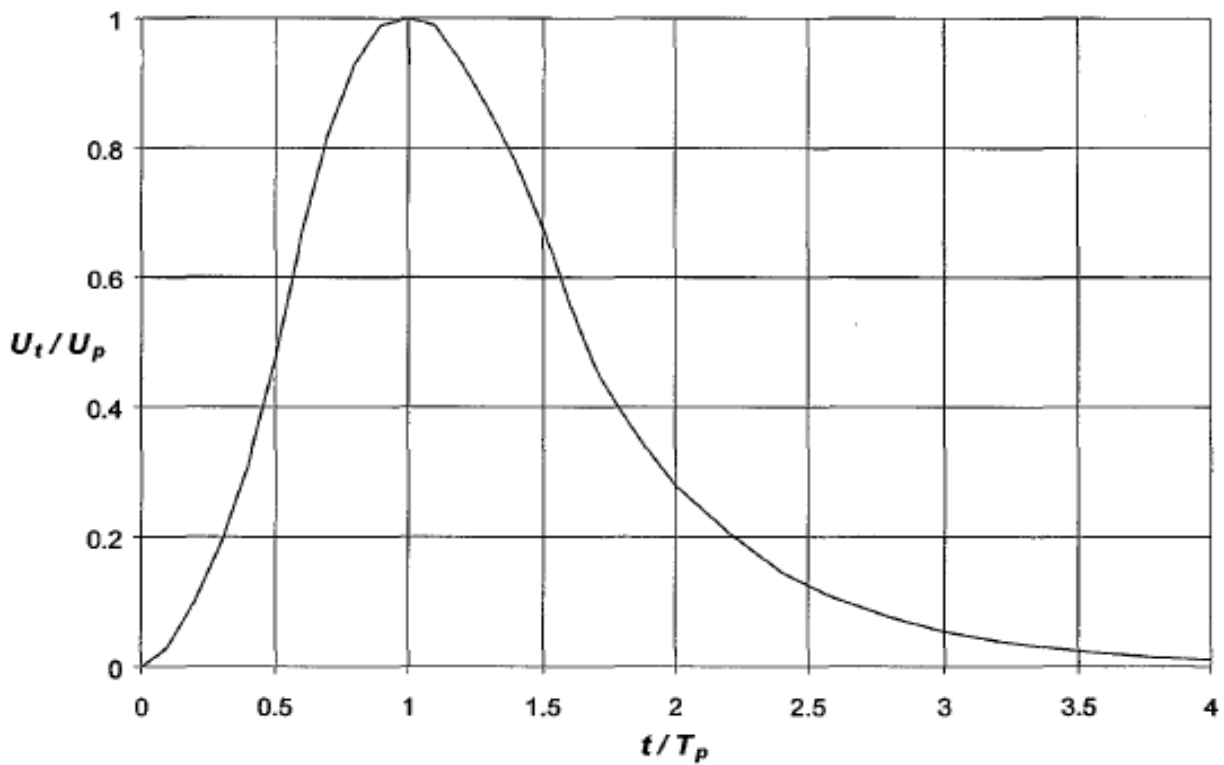


Figure III.2: Hydrogramme unitaire du SCS

Annexe 3 Méthode de la ligne d'énergie © Alp'Géorisques

La méthode dite de la ligne d'énergie (ou encore méthode des cônes) permet d'estimer, à partir d'une zone de départ de chute de roches, la localisation du point d'arrêt maximal probable des blocs. Elle est basée sur le principe de la ligne d'énergie développé par Heim en 1932.

Principe général (source : note MEZAP)

Le modèle de la ligne d'énergie repose sur le principe simple et trivial selon lequel un bloc ne peut progresser sur une pente que si celle-ci est suffisamment raide. Si la pente est supérieure à un angle limite β , le bloc accélère, sinon, il ralentit. Ainsi, un bloc peut se déplacer d'un point de départ A à un point d'arrivée B, point d'intersection de la topographie avec une ligne imaginaire partant du point A et faisant un angle β avec l'horizontale (Figure III.3). Cette ligne est appelée « ligne d'énergie », et l'angle β « angle de la ligne d'énergie ».

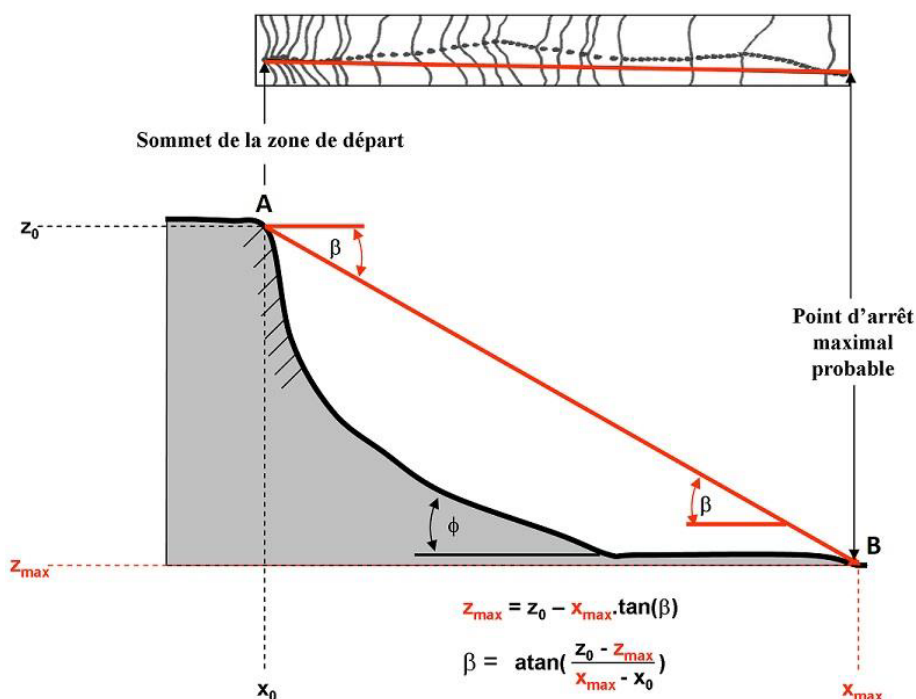


Figure III.3: Représentation schématique du principe de la ligne d'énergie et de la formule permettant de déterminer l'angle β (modifié d'après Berger et Dorren, (2008)) - © MEZAP

Pour une zone de départ donnée, connaissant le profil topographique du versant en aval de cette zone, on peut alors, si l'on connaît la valeur de l'angle β , proposer le point maximal probable qu'atteindra tout projectile partant de la zone de départ.

Afin de prendre en compte la possibilité de déviation du bloc par rapport à trajectoire principale (à cause de la forme du bloc ou de la présence d'obstacles), il est possible de définir un cône de propagation des blocs, de sommet A et d'angle β par rapport à l'horizontale.

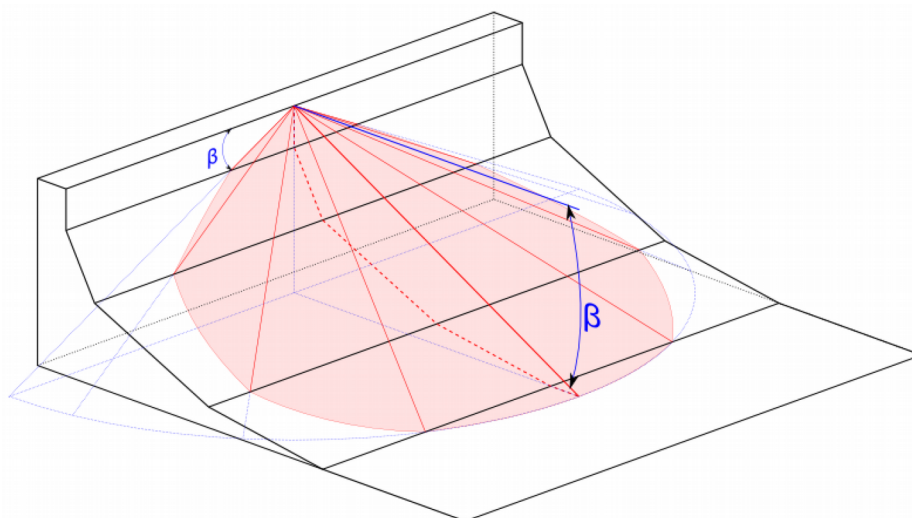


Figure III.4: Exemple de cône de propagation défini selon l'angle β par rapport à l'horizontale.

Cette méthode peut être appliquée « manuellement » ou à l'aide de données numériques. Dans le premier cas, elle sera appliquée via différents profils sur lesquels seront calculés les points maximaux d'arrêt probable, et par interpolation à dire d'expert entre ces profils. Dans le deuxième cas, le logiciel Rollfree, développé sous environnement Matlab par IRSTEA (Toe et Berger, 2004), permet d'appliquer cette méthode à partir d'un modèle numérique de terrain. C'est le logiciel utilisé dans cette étude.

Angle de trajet / angle géométrique

Deux possibilités se présentent quant à l'implantation du profil topographique auquel appliquer le principe de la ligne d'énergie.

Une première école de pensée préconise d'utiliser un profil rectiligne, selon la direction de plus grande pente depuis le point de départ, que l'on peut appeler « profil géométrique » (en rouge sur la figure suivante). L'angle associé à la ligne d'énergie dans ce cas est appelé « angle géométrique ». La topographie entre le point de départ et le point d'arrêt n'est donc absolument pas prise en compte.

Une seconde école de pensée propose d'utiliser le profil en long correspondant au trajet le plus probable par rapport à la topographie du versant, que l'on peut appeler « profil de trajet » (ligne d'écoulement topographique, en bleu sur la figure suivante). L'angle associé est alors appelé « angle de trajet ».

Le point d'arrêt est le même dans les deux cas, mais le profil de trajet est plus long que le profil géométrique, puisqu'il respecte les variations locales de topographie. La différence de longueur entre les deux profils se traduit par une différence entre les angles associés (de quelques degrés d'après MEZAP¹).

Le logiciel RollFree utilise l'angle géométrique. En effet, l'angle de trajet impliquerait d'utiliser ou développer un principe de calcul d'écoulement, ce qui est plus complexe à mettre en œuvre.

1 Groupe de travail « Méthodologie de Zonage de l'Aléa chutes de Pierre » animé par IRSTEA pour le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie.

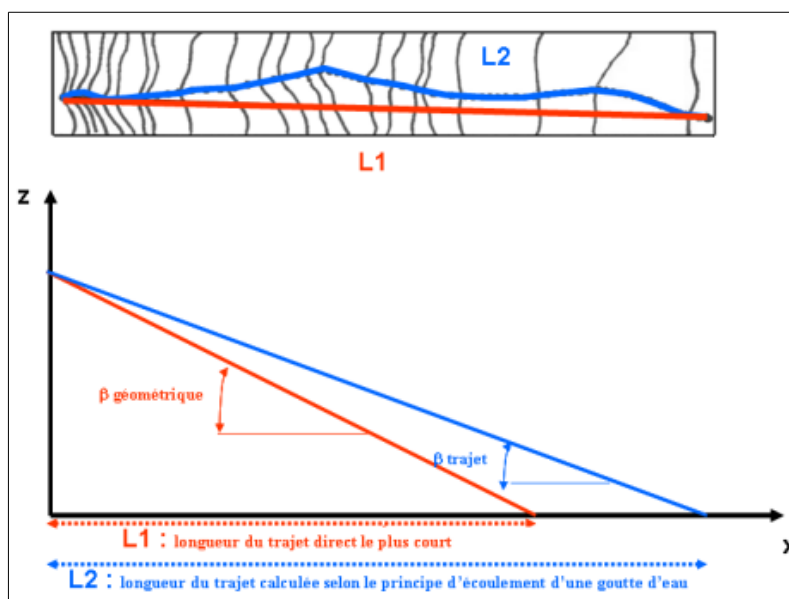


Figure III.5: Principe de l'angle géométrique (rouge) et de l'angle de trajet (bleu). Le point d'arrêt est le même dans les deux cas, mais le profil de trajet est plus long que le profil géométrique, ce qui explique que les deux profils déroulés sur un même axe semblent aboutir à deux points d'arrêt différents.

Angle d'analyse

Afin de prendre en compte la possibilité de déviation de la trajectoire des blocs par rapport à la ligne de plus grande pente, le logiciel Rollfree permet d'appliquer un angle d'analyse de part et d'autre de la/des direction(s) principale(s) de propagation.

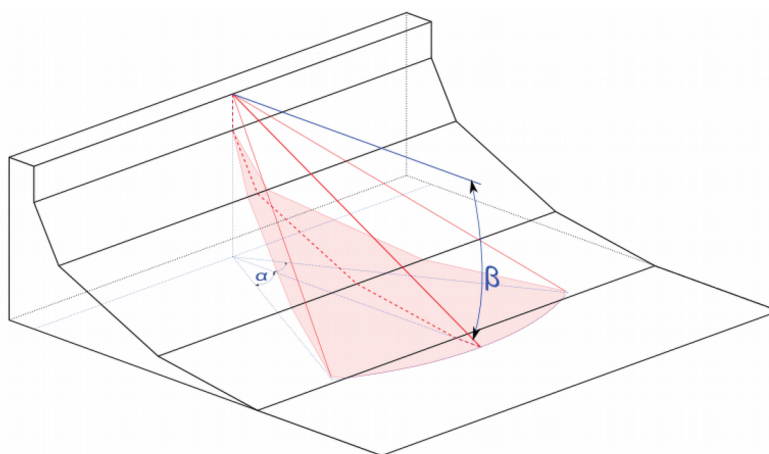


Figure III.6: Exemple de cône de propagation réduit selon un angle d'analyse α de part et d'autre de la direction principale de propagation.

Cet angle peut être appliqué entre 5 et 30°. Les développeurs de Rollfree recommandent d'utiliser un angle d'analyse entre 20 et 30°.

Données bibliographiques et valeurs usuelles de qualification de la probabilité d'atteinte

De nombreux auteurs ont travaillé sur la détermination de l'angle de la ligne d'énergie, par l'analyse de données de terrain (blocs éboulés) ainsi que d'expériences en laboratoire ou grandeur nature. Le Tableau III.1 présente les résultats d'une analyse statistique des valeurs de l'angle

géométrique rencontrées dans la littérature, réalisée par le groupe de travail MEZAP. (aucune précision n'est faite sur la signification des qualificatifs « minimal » et « maximal » relatifs aux angles issus des données bibliographiques) :

Statistique	Ensemble des données bibliographiques (1968-2014)		Base de données RTM 2011-2013	Expérimentations à échelle réduite IRSTEA 2014
	Angle géométrique minimal	Angle géométrique maximal	Angle géométrique	
Moyenne	30,68°	43,55°	36,69°	33,47°
Min	23,28°	30°	24,65°	23,28°
1 ^{er} quartile	28,84°	37,93°	33°	27,94°
2 ^{ème} quartile	31,32°	38,90°	36°	31,56°
3 ^{ème} quartile	33°	45,10°	40°	36,62°
Max	36,87°	90,00°	58,42°	90°

Tableau III.1: Analyse statistique des valeurs d'angle géométrique rencontrées dans la littérature, réalisée par le guide technique MEZAP. Dans la note MEZAP, aucune précision n'est faite sur la signification des qualificatifs « minimal » et « maximal » relatifs aux angles issus des données bibliographiques.

On remarque que les valeurs de l'angle géométrique s'étalent sur une plage très large de 23,28° à 90°. D'après les résultats statistiques obtenus, le guide technique MEZAP propose, à titre indicatif, des plages de valeurs permettant une quantification de la probabilité d'atteinte (Tableau III.2), ainsi que des modulations de ces intervalles d'angles selon des profils types de versant (Figure III.7).

Probabilité d'atteinte d'un point	Intervalles d'angles de la ligne d'énergie
Très forte	35° et plus
Forte	33° - 35°
Moyenne	30° - 33°
Faible	26° - 30°

Tableau III.2: Plages de valeurs indicatives des angles géométriques issues de l'analyse statistique des valeurs publiées à ce jour (source MEZAP).

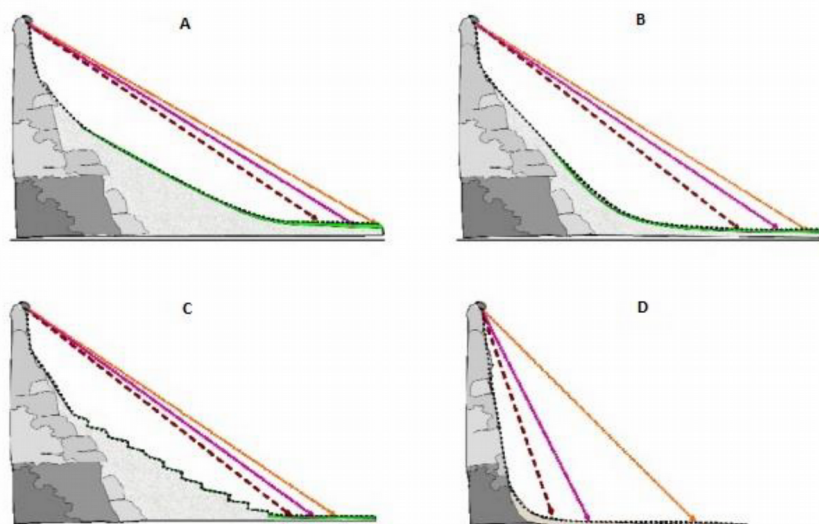


Figure III.7: Profils types et lignes d'énergie associées proposés par le groupe de travail MEZAP (modifié d'après guide technique MEZAP, 2014). A : profil de pente régulière en pied de zone de départ, répartition statistique des blocs régulière selon des valeurs d'angles usuelles (30° - 34°) ; B : Profil de pente régulière en pied de zone de départ avec replat marqué en fin de trajectoire, répartition statistique des blocs régulière selon des valeurs d'angles plus fortes (31° - 38°) ; C : Profil de pente irrégulière en pied de zone de départ, répartition statistique des blocs régulière selon des valeurs fortes (30° - 38°) ; D : Falaise et replat marqué, répartition statistique des blocs très resserrée selon des valeurs d'angle très fortes - © MEZAP

Limites conceptuelles

Influence de la topographie locale le long du versant

La méthode de la ligne d'énergie présente l'avantage d'être une méthode simple d'utilisation puisqu'en théorie, elle ne tient pas compte des caractéristiques du terrain (topographie locale, coefficients de restitution, etc.) entre les points de départ et d'arrivée. En cela, elle n'est pas un modèle de trajectographie.

Cependant, en pratique, on remarque aisément que l'application de la méthode de la ligne d'énergie ne peut se passer d'une analyse de la topographie du versant. Les couples « plages d'angles/profils types de versant » proposés par le guide technique MEZAP (Figure III.7) illustrent parfaitement ce constat. Pour ces profils types, la méthode de la ligne d'énergie s'applique en adaptant les angles choisis selon la configuration du versant.

Or, pour certaines configurations de versant, lorsque la topographie locale influence directement sur l'atteinte maximale des blocs, la méthode de la ligne d'énergie n'est tout simplement plus applicable. C'est le cas pour l'exemple de la Figure III.8, dans lequel un relief, suffisamment conséquent pour faire obstacle aux blocs, réduit considérablement le point d'arrêt maximal probable par rapport au point d'arrêt de la ligne d'énergie. Dans ce cas la méthode de la ligne d'énergie implique un zonage excessif du point d'arrêt maximal probable par rapport à la réalité.

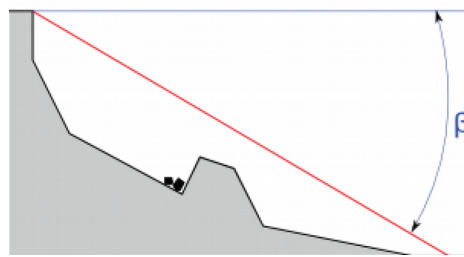


Figure III.8: Configuration topographique pour laquelle la méthode de la ligne d'énergie n'est pas applicable.

Ce cas peut être vu comme la vision en deux dimensions d'autres cas, en trois dimensions, pour lesquels l'application de la méthode de la ligne d'énergie pose problème. Ce sont les configurations de versants qui présentent une topographie chenalisée, influant sur les trajectoires et les points d'arrêt maximal probable, mais transparente au vu de la ligne d'énergie.

Dans ce cas de versant chenalisé, quel que soit le cône de propagation utilisé, le zonage induit par la méthode de la ligne d'énergie est bien trop excessif par rapport à la réalité (Figure III.9).

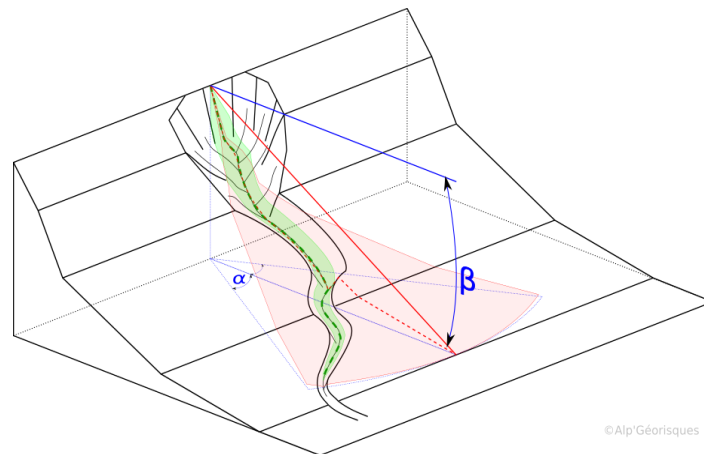


Figure III.9: Application de la méthode de la ligne d'énergie à un versant chenalisé : le zonage des points d'arrêt maximal probable est excessif par rapport à la réalité (en vert la zone d'arrêt réelle des blocs, en rouge le zonage induit par la méthode de la ligne d'énergie).

Le cas du versant chenalisé peut être généralisé à tout versant présentant des variations locales de topographie suffisamment importantes pour dévier ou stopper les trajectoires des blocs de façon brutale, sans pour autant influencer sur la ligne d'énergie. Pour ces cas-là donc, la méthode de la ligne d'énergie telle qu'elle est définie par le principe de Heim n'est pas applicable. Autrement dit, cette méthode n'est applicable que lorsque le versant présente une topographie suffisamment régulière, comme les profils-type proposés par le guide technique MEZAP.



ALP'GEORISQUES - Z.I. - 52, rue du Moirond - Bâtiment Magbel - 38420 DOMENE - FRANCE

Tél. : 04-76-77-92-00 Fax : 04-76-77-55-90
sarl au capital de 18 300 €

Siret : 380 934 216 00025 - Code A.P.E. 7112B
N° TVA Intracommunautaire : FR 70 380 934 216

Email : contact@alpgeorisques.com

Site Internet : <http://www.alpgeorisques.com/>

ALPES-GEO-CONSEIL

Risques naturels
Géotechnique - Assainissement

St-Philibert
73670 St-Pierre-d'Entremont
Tel : 04.76.88.64.25
Fax : 04.76.88.66.12
postmaster@alpesgeoconseil.com