

Annexe 7 du CCTP « Réalisation des cartes des aléas naturels prévisibles sur les communes de Montbonnot-Saint-Martin et Biviers »- Caractérisation des aléas naturels en Isère

Des grilles et critères de caractérisation sont proposés pour les 8 types d'aléas en Isère. Les éléments fournis dans cette annexe constituent un guide au même titre que les autres guides spécifiques (guides d'élaboration des PPRn, des PPRi, etc) établis par l'État. Tout ce qui est indiqué dans cette annexe est un minimum obligatoire (sauf cas explicitement spécifié). Tout écart à la méthodologie devra être validée au préalable par le maître d'ouvrage.

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 l'aléa présent de niveau le plus fort. L'ensemble des aléas présents sont signalés par la mention des lettres et indices les décrivant.

Tous les aléas potentiellement présents doivent donc être recherchés et affichés sur un même support cartographique, la perception directe de la présence de plusieurs aléas sur un même territoire permettant une meilleure prise en compte.

Pour un type d'aléa donné, il peut être nécessaire de considérer plusieurs scénarios de référence. Par exemple, les différentes classes de blocs pouvant provenir d'une paroi peuvent conduire à des scénarios dont le niveau d'aléa est variable d'une classe à l'autre. **En chaque point du territoire, le niveau d'aléa retenu sera celui le plus fort obtenu au titre des différents scénarios considérés.**

Les plages d'incertitude et les éventuelles marges de sécurité sont indiquées dans la partie du rapport de présentation relative à la qualification de l'aléa de façon à ce qu'elles soient traitées en connaissance de cause dans l'affichage de l'aléa et lors de ses utilisations ultérieures.

En général :

- 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 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 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.

Par ailleurs, il est demandé au prestataire de réaliser une analyse des données locales sur le changement climatique afin de proposer ou de justifier le cas échéant, une prise en compte du changement climatique dans la caractérisation des aléas (analyse des

incidences du changement climatique sur la détermination de l'aléa de référence et sur sa qualification, en lien avec la doctrine DGPR et les données locales disponibles).

Il est également demandé au prestataire, dans son rapport méthodologique, d'explicitement comment la prise en compte des effets d'aléas conjugués a été faite (par exemple, comment l'existence d'un ruissellement important sur un versant a été pris en compte dans la qualification de l'aléa glissement de terrain).

La qualification du type d'aléa peut varier le long d'un cours d'eau, de manière à rendre compte de la réalité des phénomènes.

A noter qu'un diagnostic préliminaire devra être fait par le prestataire afin de proposer les cours d'eau, ou secteurs de cours d'eau, qui doivent être qualifiés en C et ceux en T, au regard des définitions de cette annexe. Ce point fera l'objet d'une validation avec le maître d'ouvrage.

Pour les aléas mouvements de terrains, avalanches, ravinement-ruissellements: la qualification de l'aléa intègre une référence au bâti standard. De ce fait chaque qualification de l'aléa s'intéresse à la vulnérabilité du bâtiment (et des personnes DANS le bâtiment) et non des personnes EN DEHORS des bâtiments.

Pour les aléas hydrauliques « aléas crues des rivières (hors rivières torrentielles et torrents) » et aléas des torrents, rivières torrentielles et ruisseaux torrentiels : la qualification de l'aléa prend en compte la vulnérabilité des personnes à l'extérieur des bâtiments.

Comme indiqué dans le CCTP, un recensement et une analyse des ouvrages de protection présents sur le territoire est à réaliser (cf annexe 10). Cette analyse doit conduire à déterminer la manière dont les ouvrages de protection devront être considérés pour la cartographie des aléas.

En effet, en présence d'ouvrages de protection sur le territoire, plusieurs cartes des aléas de référence sont à établir :

1) une carte des aléas de référence « sans les ouvrages de protection » : dans ce cas, l'ensemble des ouvrages de protection sont considérés comme inexistant/effacés. Cette carte, informative, représente ce que seraient les aléas s'il n'y avait pas d'ouvrages de protection. Elle a un objectif pédagogique.

2) une carte des aléas de référence « en présence des ouvrages de protection » : sur les secteurs influencés par la présence d'un ouvrage de protection, une carte des aléas, informative et pédagogique, peut être tracée afin de représenter l'influence de ces ouvrages, c'est-à-dire les secteurs où l'aléa est supprimé (à indiquer par un jeu de hachures avec un report de la numérotation du ou des ouvrages correspondants) et les secteurs où l'aléa est aggravé par la présence de cet ouvrage (cas des tourues paravalanches qui détournent l'avalanche par exemple). Les ouvrages de protection sont considérés comme jouant leur efficacité maximale. Cette carte correspond à la « différence » entre la carte des aléas « sans les ouvrages de protection » et la carte « avec prise en compte des ouvrages » sans les scénarios de défaillance. Cette carte peut être fusionnée avec la précédente en représentant sur cette dernière par un jeu de hachures les secteurs protégés.

3) enfin, la carte des aléas de référence, « avec prise en compte des ouvrages de protection » (carte de synthèse) : c'est cette carte qui sera la référence pour la traduction réglementaire du risque dans le document d'urbanisme.

La prise en compte des ouvrages de protection tient compte cumulativement de :

- l'aggravation potentielle du risque dans certains secteurs n'ayant pas vocation à être protégés
- la décision, suite au recensement et l'analyse des ouvrages présents conformément à l'annexe 10, de considérer l'ouvrage de protection comme jouant entièrement ou partiellement son rôle de protection (sans défaillances) (dans l'annexe 10, correspond aux ouvrages pris partiellement en compte ou aux ouvrages pris en compte). La zone protégée sera représentée par un jeu de hachures. Dans ce cas, l'aléa affiché sera l'aléa résiduel pour les aléas hydrauliques et l'aléa en l'absence d'ouvrage pour les aléas gravitaires (chute de blocs, avalanches)
- ou à contrario, de la décision, suite au recensement et l'analyse des ouvrages présents conformément à l'annexe 10, de considérer certains ouvrages comme inexistant/effacés (correspond dans l'annexe 10, au cas des ouvrages non pris en compte)
- la nécessité de considérer des scénarios de défaillance¹ pour certains ouvrages, conformément à la réglementation ou à la doctrine nationale, générant ainsi des aléas aggravés (pour les aléas C et les aléas T notamment).

Les ouvrages pourront être représentés selon le code couleur de l'annexe 10, indiquant la manière dont ils sont considérés selon leur niveau de fiabilité.

¹ La détermination précise des scénarios de défaillance (brèches, ruptures totales, ...) sera faite par le prestataire avec le maître d'ouvrage et en concertation / association avec le territoire, tout en respectant la doctrine nationale

Aléa crue des rivières (hors torrents, rivières torrentielles et axes de ruissellement) [C] et remontées de nappes ayant une influence sur les crues du réseau hydrographique de ce type [Cn]

Point de vigilance : Depuis le 5 juillet 2019, un décret relatif aux débordements des cours d'eau (hors cours d'eau torrentiels), son arrêté d'application ainsi qu'un guide d'utilisation fixent les principes de caractérisation de cet aléa. La méthodologie mise en œuvre par le prestataire devra donc être conforme à ce décret. Les principes de caractérisations proposés ici reprennent les principaux éléments de la doctrine réglementaire.

Dans tous les cas, un point d'arrêt est à faire avec le commanditaire afin d'acter la grille à utiliser pour la qualification de l'aléa.

Rappel de la définition du phénomène

Crue des rivières (hors torrents, rivières torrentielles et axes de ruissellement). Les cours d'eau non torrentiels sont caractérisés par : des pentes faibles (généralement inférieures à 1%) et un faible transport solide, prenant majoritairement la forme d'un transport par suspension et de flottants. Ce phénomène correspond à tous les cours d'eau qui ne sont pas des torrents, des rivières torrentielles, des axes de ruissellements sur versants.

Dans la gamme des pentes intermédiaires (entre 1 % et 5 %), il faudra déterminer à travers des indices historiques et géomorphologiques si des spécificités du domaine torrentiel concernent ou non le site.

A ce phénomène, sont rattachées :

- les inondations par remontée de nappe de secteurs communiquant avec le réseau hydrographique et contribuant ainsi aux crues de ce dernier → symbolisées Cn
- les inondations par refoulement de cours d'eau dans leurs affluents ou les réseaux.

Caractérisation de l'aléa [C]

Certains principes énoncés dans ce paragraphe, rédigés au départ pour l'inondation 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.

Pour cet aléa, il est possible, sur proposition justifiée du prestataire, de caractériser l'aléa à dire d'expert ou à partir de modélisations. En cas de modélisations, les principes à mettre en œuvre sont détaillés ci-dessous.

Démarche générale de l'étude d'aléa² :

- Phase 1 : analyse des phénomènes naturels et des éléments anthropiques pouvant affecter les écoulements (analyse bibliographique³ et enquête de terrain, proportionnés au regard des enjeux et des finalités de l'étude)
 - caractérisation du secteur d'étude
 - analyse historique
 - synthèse du fonctionnement du bassin versant aboutissant :
 - au périmètre de l'étude d'aléa, incluant les secteurs qui ne sont pas directement exposés à l'inondation mais où certains aménagements ou activités pourraient aggraver l'aléa ;
 - à la caractérisation des principaux débordements : facteurs déclenchant, points d'entrée et cheminements privilégiés ;
 - à la description des événements historiques susceptibles d'être considérés pour l'aléa de référence, et ceux utiles au calage du modèle ;

² Ces étapes sont décrites dans le guide méthodologique d'élaboration des PPR inondation par débordement de cours d'eau (hors torrentiels) de 2024 aux pages 33 et suivantes

³ A noter qu'une analyse critique des études existantes est toujours nécessaire afin de préciser dans quelles mesures ces données peuvent être traitées directement (une actualisation peut être nécessaire).

- à la description des systèmes d'endiguement et autres structures impactant les écoulements ;
 - à la caractérisation de certains éléments spécifiques : bras morts pouvant être réactivés au moment d'une crue, obstacles susceptibles de provoquer une surélévation de l'eau en amont, secteurs d'érosion et de dépôt, zones de déplacement du lit mineur, sites privilégiés de formation d'embâcles, etc.
- Phase 2 : détermination des scénarios à étudier (sur la base des éléments définis à la phase 1)
 - définition du (des) scénario(s) de référence
 - définition des « sous-scénarios »
- Phase 3 : modélisation et cartographie
 - évaluation des niveaux d'aléas des différents (sous)-scénarios
 - détermination des bandes de précaution
 - cartographie de l'aléa de référence

Chacune de ces phases fera l'objet d'une validation par le maître d'ouvrage.

Détermination des scénarios à étudier (phase 2) :

L'aléa de référence prend en compte le plus fort⁴ événement historique connu et documenté et/ou, lorsqu'il lui est plus fort, le plus fort des événements résultant de scénarios de fréquence centennale, combiné avec des scénarios de défaillance en présence d'ouvrages (voir annexe 10 et paragraphes ci-dessous). Chaque scénario de référence sera à décliner en sous-scénarios (en nombre limité et justifiés).

Le scénario de référence est caractérisé généralement par un débit de pointe et un hydrogramme de crue, utilisés en entrée d'un modèle hydraulique.

Lorsque plusieurs événements naturels de période de retour comparable, mais aux modes de fonctionnement sensiblement différents et aux conséquences significativement distinctes, peuvent (raisonnablement) survenir, plusieurs hydrogrammes de référence peuvent être construits. Cela correspond donc à plusieurs scénarios de référence.

Une vigilance particulière sera à avoir dans le cas des confluences. **Des hydrogrammes de référence sont ainsi à définir en amont du cours d'eau principal et en amont de chaque affluent⁵. Cette étape est indispensable dans l'élaboration de la carte d'aléa de référence (cf partie 3.2.3.1.5 du guide).**

Les dispositifs de stockage (barrage, retenue d'eau collinaire, retenue d'étang, etc) sont considérés comme transparents pour l'élaboration du scénario de référence. Ils ne jouent pas de rôle d'écrêteur de crue, le débit entrant est égal au débit sortant.

Focus sur le changement climatique : A ce jour, les conséquences du changement climatique sur les inondations par débordement restent difficiles à estimer à l'échelle locale d'un PPRi. A la complexité des évolutions attendues pour les pluies, s'ajoute la complexité du comportement du sol

Les connaissances dans ce domaine évoluent rapidement. Les éventuelles modalités relatives à la prise en compte du changement climatique dans les PPRi seront traitées dans d'autres documents

⁴ L'importance d'une crue traduit une première approximation de son ampleur globale. Elle est généralement évaluée par une valeur numérique unique à l'échelle de la crue, directement associée à la probabilité d'occurrence de cette crue. Il s'agit d'une variable physique mesurable ayant une importance prépondérante sur les conséquences de la crue.

⁵ Il convient de noter que la période de retour de référence du cours d'eau principal peut être différente de la période de retour de référence d'un cours d'eau affluent.

que le guide et présent CCTP. Le prestataire se rapprochera du maître d'ouvrage pour connaître les dernières modalités à prendre en compte sur ce sujet.

Les scénarios de défaillance font partie des sous-scénarios à définir pour chaque scénario de référence. Les sous-scénarios traduisent les variations possibles des manifestations du scénario de référence, du fait notamment de la multiplicité des comportements possibles d'éléments anthropiques (tenue ou défaillance d'ouvrages de protection contre les inondations, comportements des autres ouvrages susceptibles de faire obstacle à l'écoulement⁶ (transparence ou obstruction de pont), etc).

De manière générale, les sous-scénarios peuvent être de trois types :

- sous-scénario dans lequel les ouvrages existent et leur fonctionnement est nominal⁷
- sous-scénario avec défaillance des ouvrages (brèches, obstructions, ...)
- sous-scénario dans lequel l'ouvrage n'existe pas (effacement intégral)

Les manifestations de ces différents sous-scénarios sont ensuite regroupées dans une **carte de synthèse reprenant sur chaque secteur le niveau d'aléa maximal identifié par les différents sous-scénarios**.

Il est ainsi nécessaire de tracer le raisonnement menant à la construction de la carte d'aléa de référence et de justifier de la bonne prise en compte de la variabilité des manifestations potentielles associées à un scénario.

Les différents modes de prise en compte des obstacles à l'écoulement sont décrits à la partie 3.2.3.2.2 du guide. **Les ouvrages⁸ à considérer sont :**

- **les ouvrages reconnus en système d'endiguement,**
- **les ouvrages classés historiquement au titre de l'ancienne rubrique 3.2.6.0 (« digues ») et qui n'ont pas encore été classés en systèmes d'endiguement (au titre de la nouvelle rubrique), ni neutralisés,**
- **de manière générale, les autres installations, ouvrages, remblais linéaires faisant obstacle aux écoulements dans le lit majeur (y compris merlons, remblais routiers et ferroviaires, etc...)**

Le choix des scénarios utilisés est validé de manière collégiale avec l'ensemble des parties prenantes de l'étude, après proposition de priorisation faite par le prestataire. Un temps d'arrêt avec le maître d'ouvrage et une phase d'association spécifique sont ainsi nécessaires. Ce choix est précisé et motivé dans le rapport, ainsi que la date et les caractéristiques du plus fort événement connu.

⁶ Ces ouvrages ne sont pas des ouvrages de protection mais ont toutefois un effet hydraulique.

⁷ Lorsque la défaillance d'un ouvrage est quasi-certaine dès le début d'un événement correspondant au scénario de référence, l'hypothèse de tenue peut être écartée et il peut être considéré systématiquement une hypothèse de défaillance pour cet ouvrage.

⁸ Les ouvrages relevant d'une réglementation distincte de celle des systèmes d'endiguement et répondant aux exigences de l'arrêté du 6 Août 2018 (« arrêté technique Barrages ») sont conçus pour résister à des événements de période de retour décennale. Sauf cas très exceptionnel, le PPRI n'intègre pas de sous-scénario de défaillance pour ce type d'ouvrage (et ne tracera pas de bandes de précaution à l'arrière de ces ouvrages) (exemple de digues de fermeture d'étang par exemple)

En cas d'incertitudes notables sur un paramètre ou une variable, des **tests de sensibilité**, peuvent être réalisés pour appréhender les conséquences des choix retenus. Par défaut, lorsque les incertitudes ne peuvent pas être levées, un choix allant dans le sens de la sécurité est retenu.

Cartographie de l'aléa de référence (phase 3) :

- Généralités :

Pour chaque sous-scénario, une cartographie⁹ des niveaux d'aléas est élaborée. **La carte de l'aléa de référence est construite en regroupant les niveaux d'aléa maximaux de l'ensemble des sous-scénarios et en intégrant les bandes de précaution à l'arrière des ouvrages jouant un rôle de protection.**

Conformément à l'article R562-11-4 du code de l'environnement, l'aléa de référence est qualifié et représenté de manière cartographique, selon au maximum quatre niveaux « faible », « modéré », « fort » et « très fort », en fonction de la **hauteur d'eau** ainsi que de la **dynamique liée à la combinaison de la vitesse d'écoulement de l'eau et de la vitesse de montée des eaux**. La vitesse d'écoulement et la vitesse de montée des eaux sont en effet des facteurs d'aggravation de l'aléa et doivent être pris en compte.

Afin de déterminer les hauteurs d'eau, les vitesses d'écoulement et les vitesses de montée de eaux maximales lors de la survenue de l'évènement de référence, plusieurs méthodes peuvent être mises en œuvre de manière complémentaire : modélisation numérique hydraulique, méthode hydrogéomorphologique, reconstitution d'une inondation historique (cf guide partie 3.2.4.1). La méthode hydrogéomorphologique ne peut pas être employée seule pour élaborer la cartographie de l'aléa de référence. Elle est généralement utilisée en première approche lors de la phase d'analyse des phénomènes naturels et pour interpréter et expertiser les résultats de simulations.

Pour chaque site, un optimum est à rechercher entre d'une part les moyens d'étude disponibles et d'autre part l'importance des aléas, des enjeux et des incertitudes.

Les résultats issus de modélisations présentent intrinsèquement des limites et des incertitudes dont les sources peuvent être nombreuses : le prestataire en proposera une analyse et une prise en compte. Il est nécessaire dans le rapport d'étude de préciser un ordre de grandeur de l'incertitude attachée aux zones inondées. Celle ci peut s'estimer au regard des écarts identifiés dans les résultats de la modélisation et les données de calage lors de la validation. Dans le cas où le calage du modèle ne peut être réalisé selon les règles de l'art, des tests de sensibilité, effectués principalement sur les données d'entrée du modèle ou les coefficients de frottement permettent d'estimer l'incertitude. La fourniture de résultats de modélisation numérique bruts en guide de carte d'intensité de l'aléa est à proscrire. Une interprétation experte et un post traitement des résultats par un hydraulicien, s'appuyant le cas échéant sur l'analyse hydrogéomorphologique et les données historiques est nécessaire afin de prendre en compte les limites du modèle, de corriger les éventuelles incohérences et d'intégrer autant que possible les effets des phénomènes non modélisés et de mettre en forme les résultats (lissage, réduction des artefacts, etc.). En particulier, les modélisations hydrauliques ne permettent pas, dans le cas général, d'appréhender les évolutions morphologiques ni les éventuels transports solides. En fonction de la nature du sol, des affouillements peuvent apparaître si la vitesse d'écoulement dépasse 2 à 3m/s. Une vigilance particulière est donc à apporter sur les secteurs où les vitesses d'écoulement issues de modélisations atteignent ces seuils, car des érosions non modélisées, potentiellement importantes, peuvent y survenir.

⁹ Les cartes intermédiaires pourront rester en version travail et ne pas être jointes au rendu final

- Les niveaux de l'aléa :

Le niveau d'aléa est déterminé en chaque point à partir du croisement entre la hauteur d'eau et la dynamique liée à la combinaison de la vitesse d'écoulement de l'eau et la vitesse de montée des eaux.

La détermination des niveaux d'aléa nécessite de distinguer au minimum **les classes de hauteurs d'eau suivantes : de 0 à 0,2m, 0,2 à 0,5m, de 0,5 à 1m, de 1m à 2m, et plus de 2m**. Il peut être utile, tout en restant dans les niveaux de précision cohérents avec les incertitudes de la méthode utilisée, d'évaluer les hauteurs d'eau plus finement¹⁰.

La vitesse d'écoulement en un point, notée V_e , correspond à la vitesse maximale du courant en ce point durant l'évènement. Les classes suivantes doivent être utilisées :

- $V_e < 0,2\text{m/s}$: vitesse d'écoulement faible
- $0,2\text{m/s} \leq V_e \leq 0,5\text{m/s}$: vitesse d'écoulement moyenne
- $V_e > 0,5\text{m/s}$: vitesse d'écoulement élevée

La vitesse de montée des eaux (cf guide p70) sur un secteur inondé est la vitesse moyenne, sur un intervalle de temps adapté, avec laquelle la hauteur d'eau croît sur ce secteur. Elle est notée V_m . Elle est de l'ordre de quelques décimètres par heure dans le cas des inondations rapides et de quelques centimètres par heure dans le cas d'inondations lentes. Le prestataire veillera à proposer au maître d'ouvrage la définition des secteurs homogènes sur lesquels la vitesse moyenne de montée des eaux sera qualifiée, ainsi que l'intervalle de temps adapté¹¹.

La vitesse de montée des eaux sera qualifiée :

- $V_m < 0,2\text{m/h}$: vitesse de montée des eaux lente
- $0,2\text{m/h} \leq V_m \leq 0,4\text{m/h}$: vitesse de montée des eaux moyenne
- $V_m > 0,4\text{m/h}$: vitesse de montée des eaux rapide

Le maître d'ouvrage définit, avec l'appui du prestataire chargé de l'élaboration de la carte des aléas, la méthode de qualification de la vitesse de montée des eaux en la justifiant au regard du contexte local.

L'analyse du fonctionnement d'un secteur et des événements historiques permet de définir qualitativement des zones où la vitesse de montée des eaux est importante. Il s'agit par exemple des secteurs à proximité des zones de cours d'eau à crue rapide, des secteurs à l'arrière des ouvrages de protection et des obstacles à l'écoulement dont la rupture peut rapidement entraîner une arrivée d'eau massive, des zones en cuvette, où l'absence d'exutoire favorise une montée rapide des hauteurs d'eau. **En dehors de ces cas, une analyse quantitative s'appuyant sur les résultats des modélisations hydrauliques est préférable pour distinguer la limite entre les zones où les vitesses de montée des eaux sont faibles et celles où elles sont élevées.**

La dynamique liée à la combinaison de la vitesse d'écoulement de l'eau et de la vitesse de montée des eaux est qualifiée suivant trois classes : « lente » « moyenne » et « rapide ».

10 Un niveau de hauteur extrêmement faible pourra être défini au regard des spécificités du territoire et en cohérence avec le danger pour les enjeux et en premier lieu avec la sécurité des personnes exposées.

11 Le choix de l'intervalle de temps adapté pour calculer la vitesse moyenne de montée des eaux doit être défini de manière à ce qu'il corresponde à une durée inférieure à la durée totale de montée des eaux et soit représentatif de la phase de montée (par exemple durée entre le début du débordement et le moment de l'atteinte d'une hauteur d'eau dangereuse).

Les modalités suivantes sont retenues pour qualifier la dynamique d'écoulement :

Vitesse d'écoulement / / Vitesse de montée des eaux	Lente $V_m < 0,2 \text{ m/h}$	Moyenne $0,2 \text{ m/h} \leq V_m \leq 0,4 \text{ m/h}$	Rapide $V_m > 0,4 \text{ m/h}$
Faible inférieure à 0,2 m/s	Dynamique lente	Dynamique moyenne	Dynamique moyenne ou rapide
Moyenne entre 0,2 m/s et 0,5 m/s	Dynamique moyenne	Dynamique moyenne	Dynamique rapide
Forte supérieure à 0,5 m/s	Dynamique rapide	Dynamique rapide	Dynamique rapide

Les modalités de qualification des niveaux d'aléa de référence sont précisées dans l'article 2 de l'arrêté du 5 juillet 2019, ce qui donne le tableau suivant :

Dynamique	Lente	Moyenne	Rapide
Hauteur H en m			
$H < 0,2$	Faible (C1a)	Modéré (C2a)	Modéré (C2a) ou Fort (C3a)
$0,2 < H < 0,5$	Faible (C1b)	Modéré (C2b)	Fort (C3b)
$0,5 < H < 1$	Modéré (C2c)	Modéré (C2c)	Fort (C3c)
$1 < H < 2$	Fort (C3d)	Fort (C3d)	Très Fort (C4)
$H > 2$	Très Fort (C4)	Très Fort (C4)	Très Fort (C4)

Sont par ailleurs classés en niveau d'aléa « très fort » :

- les zones en bande de précaution à l'arrière des ouvrages faisant obstacle aux écoulements
- le lit mineur (jusqu'au sommet des berges)
- l'emprise des ouvrages

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

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 durant le phénomène de référence ou à une échéance de cent ans. Les distances de recul correspondantes prises en compte par tronçon et par rive sont précisées et motivées dans le rapport de présentation (annexe 8) (Remarques : ces marges de recul incluent généralement également les marges/bandes minimum nécessaires à l'entretien des cours d'eau et à la circulation des engins).

Les axes préférentiels d'écoulement des eaux, dont les lits mineurs, et les plans d'eau.	Très fort (C4)
Les bandes de terrain hors axes préférentiels d'écoulement des eaux pouvant être affouillées ou déstabilisées par les événements successifs susceptibles de survenir durant le phénomène de référence ou à une échéance de 100 ans (marges de recul)	Très fort (C4)

Les plans d'eau connecté au réseau hydrographique caractérisé en aléa C sont à considérer selon cet aléa (C4).

À défaut de modélisation hydraulique, hauteurs et vitesses d'écoulement sont estimées par le titulaire du marché passé pour l'élaboration de la carte d'aléas, notamment en utilisant les connaissances issues des phénomènes historiques. Dans ce cas, la vitesse de montée (telle que fixée précédemment) et la durée du phénomène peuvent être des critères complémentaires aidant à gérer une hésitation sur le choix entre 2 classes d'aléa au vu des incertitudes sur les valeurs de hauteur et de vitesse d'écoulement.

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.

- Synthèse :

Les niveaux d'aléas sont déterminés par croisement des hauteurs et des dynamiques maximales pour chaque scénario de référence et sous-scénarios associés. L'ensemble de ces informations est ensuite rassemblé dans la carte des aléas de référence, en retenant sur chaque secteur le niveau d'aléa le plus élevé identifié dans les différents sous-scénarios.

Cette carte intègre également les bandes de précaution (cf paragraphe ci-dessous). La carte d'aléa de référence reprend les bandes de précaution majorante des différents sous-scénarios.

Elle doit également faire apparaître, à titre informatif, les zones protégées par un système d'endiguement dont le niveau de protection est au moins égal à l'aléa de référence.

A noter, qu'il est également demandé, **une carte des cotes de référence**. Elle précise sur chaque secteur l'altitude maximale atteinte par l'eau dans l'ensemble des scénarios étudiés, en intégrant éventuellement une revanche pour prendre en compte les incertitudes.

Dans le cas où l'aléa inondation est qualifié à partir d'une modélisation hydraulique, il ne sera pas possible de se contenter d'un simple report de ce résultat de calcul qui ferait apparaître de la pixelisation ou du bruit de modèle (cellules de calcul, indentation, etc.). Le prestataire devra impérativement fournir un tracé lissé, vérifié sur le terrain et recalé, si nécessaire, sur les limites topographiques.

Rappel : Une analyse à dire d'expert ou sur la base d'études ou de témoignages, devra déterminer, si à proximité d'un cours d'eau caractérisé en crue des rivières, une accumulation / stagnation d'eau est liée spécifiquement à une remontée de nappe. Dans ce cas, l'aléa doit être qualifié avec la même méthodologie que précédemment mais un indice « n » doit être ajouté afin de garder trace de cette expertise et de l'origine de l'accumulation d'eau : C1n, C2n, C3n. Si l'accumulation/stagnation est liée à la fois à la remontée de nappe et au débordement du cours d'eau, alors l'aléa sera qualifié en « C »

Cas de l'existence d'ouvrages jouant un rôle de protection contre les inondations

Un recensement des ouvrages doit être fait conformément à l'annexe 10. Ce recensement et le tableau d'analyse associé permettra de déterminer la façon dont ces ouvrages doivent être considérés pour la qualification de l'aléa.

Pour rappel, en présence d'ouvrages, il est nécessaire de réaliser une carte des aléas « sans prise en compte des ouvrages » et une carte des aléas « avec prise en compte des ouvrages ». La première a un objectif pédagogique, elle est informative. La seconde sera la référence pour la traduction réglementaire du risque dans le PLU/PLUi ou le PPRn.

Pour les ouvrages linéaires faisant obstacle à l'écoulement des crues et mis en charge, une bande de précaution sera à déterminer (cf. annexe 11). Ces bandes de précaution seront à considérer, pour le zonage réglementaire associé à la carte des aléas, comme des zones d'aléas très forts

Aléa inondation en pied de versant [I'] et remontée de nappes déconnectée du réseau hydrographique [I'n]

Rappel de la 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 (I'). L'eau provient d'un ruissellement sur versant (I')¹² ou d'une remontée de nappe (I'n).

Critères de caractérisation de l'aléa [I'] et [I'n]

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.

L'indice « n » permet d'identifier, à dire d'expert ou sur la base d'études et de témoignages, le cas où l'accumulation / la stagnation d'eau est liée spécifiquement à une remontée de nappe déconnectée du réseau hydrographique.

Les plans d'eau, sans connexion avec le réseau hydrographique sont à considérer selon cet aléa (I'4).

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

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

Rappel : si la remontée de nappe n'est pas déconnectée du réseau hydrographique mais communiquant avec ce dernier, alors elle est à considérer de la même manière dont il est qualifié (Cn, Tn).

¹² Le prestataire justifiera du choix retenu de qualification de l'aléa (ruissellement sur versant ou inondation de pied de versant) après expertise terrain et en fonction des enjeux de la traduction réglementaire (en lien avec le maître d'ouvrage en cas d'élaboration de cartes d'aléas pour prise en compte en urbanisme ou dans un PPR)

Aléa crue des ruisseaux torrentiels, des torrents et des rivières torrentielles [T] et remontées de nappes connectées à ce type de cours d'eau [Tn]

Point de vigilance : Des adaptations des principes décrits ci-dessous sont susceptibles d'intervenir au cours du contrat. Il est attendu du titulaire qu'il réalise la mission en tenant compte des évolutions de la méthodologie de qualification qui lui seront communiquées, ces évolutions pouvant donner lieu à avenant au contrat si cela s'avère justifié sur le plan des rémunérations ou celui des délais.

Rappel de la définition du phénomène

Les cours d'eau torrentiels sont caractérisés par une forte pente (généralement supérieure à 1 %) et un charriage important de matériaux solides (R562-11-1 Code de l'environnement). Il s'agit principalement des torrents¹³ et des rivières torrentielles¹⁴. Il s'y produit des phénomènes de transport solide avec charriage et/ou avec laves torrentielles. Le transport solide aggrave de façon significative les dommages associés aux événements, du fait notamment d'engravements, d'érosions et/ou d'impacts de blocs et de flottants. Les risques liés aux cours d'eau torrentiels, se manifestent au moment des crues, du fait de débordements, d'érosion, d'engravements, d'embâclement par les flottants et d'impacts par les matériaux transportés¹⁵. Les cours d'eau torrentiels sont caractérisés par :

- des pentes fortes (généralement supérieures à 1%)
- la présence de matériaux érodables dans le bassin versant susceptibles de charger les écoulements en matériaux solides (en leur absence, les phénomènes relèvent de simples inondations ou ruissellements et ne sont pas traitées par cet aléa) ;
- un chenal qui concentre les écoulements (ce qui écarte les phénomènes de versants tels que les ruissellements ou les coulées boueuses).

Ils se rencontrent généralement dans les massifs montagneux (métropole et outre-mer), mais aussi hors zones de montagne, dans des régions vallonnées où des talwegs peuvent entailler des versants érodables. Certains cours d'eau torrentiels peuvent être intermittents.

Source : guide PPRI CET de 2023

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

A ce phénomène sont rattachées : les inondations par remontée de nappe de secteurs communiquant avec le réseau hydrographique caractérisé en « crue des ruisseaux torrentiels, des torrents et des rivières torrentielles » et contribuant ainsi aux crues de ce dernier → symbolisée Tn

Caractérisation de l'aléa [T]

1. Préambule

Un **pré-diagnostic** du territoire sera à réaliser par le prestataire, aboutissant, pour chaque cours d'eau, à qualifier :

- s'il s'agit d'une rivière torrentielle ou d'un torrent (et par conséquent, la méthodologie qui sera privilégiée)

¹³ **Torrents** : ils présentent la caractéristique de transporter de grandes quantités de matériaux pendant leurs crues majeures (ainsi que parfois pour des crues mineures). Ils drainent des bassins versants de taille limitée (en général inférieur à quelques dizaines de km²) et présentent des pentes fortes (souvent supérieures à 6 % quasiment toujours supérieure à 2%). Le phénomène de lave torrentielle ne se rencontre que dans les torrents.

¹⁴ **Rivières torrentielles** : elles s'écoulent en fond de vallée. Elles présentent la caractéristique principale de divaguer et de générer ainsi des dommages par érosion de berge et de versant. Leur pente est toujours inférieure à 6 % et souvent supérieure à 1 %. Certaines rivières torrentielles, alimentées par de nombreux torrents et/ou à l'hydrologie particulière, sont très actives et maintiennent leur comportement torrentiel en deçà d'une pente de 1 %.

¹⁵ A contrario, dans le domaine fluvial, l'aléa est considéré principalement au prisme du phénomène d'inondation, ayant pour effet l'envahissement et la submersion par les eaux.

- et en fonction des enjeux et des caractéristiques des phénomènes, l'approche qui sera mise en œuvre : approche détaillée avec plusieurs sous-scénarios ou approche simplifiée (un scénario de référence) et méthodologies associées : photo-interprétation, hydrogéomorphologie uniquement, approche complète détaillée dans ce CCTP.
L'ensemble de ces éléments sera explicité dans le rapport méthodologique.

2. Généralités

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 torrentiel tient compte :

- **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...) ;
- **du degré de correction active** (cf p.37 et annexe 7.3 du guide PPRi torrentiels) 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** (cf p.37 et annexe 7.3 du guide PPRi torrentiels) 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. Ce dernier point dépend du recensement et de l'analyse des ouvrages faits conformément à l'annexe 10.

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.

Le rapport de présentation précise pour chaque zone d'affichage de l'aléa torrentiel lesquels des phénomènes cités (charriage, lave torrentielle, embâcles) sont présents, leurs extensions et participations respectives à la qualification de l'aléa.

Au regard des fortes incertitudes sur la quantification des processus et du manque fréquent des données sur les cours d'eau torrentiels, l'étude des aléas en contexte torrentiel nécessite **une approche multidisciplinaire combinant : une analyse des informations historiques, une étude de la géomorphologie du site et éventuellement des approches calculatoires**¹⁶. La combinaison éclairée de ces trois approches permet d'affiner les analyses en bâtissant des faisceaux d'indices concordants, d'écarter les incohérences par des approches croisées et finalement de retirer le meilleur de chaque méthode.

¹⁶ Le terme « calculatoire » englobe dans le présent document l'ensemble des analyses impliquant des calculs tels que les modélisations hydrauliques 1D et 2D, les calculs de hauteur d'écoulement dans une section, mais aussi différents types d'analyses : probabilité d'embâcle de pont, ou d'obstruction de dalot par des blocs, analyse statistique de la variabilité du niveau du lit, analyse géométrique du profil en long du lit, etc...

Le niveau de détail des analyses, en particulier des approches calculatoires (quantification fine de la magnitude du scénario de référence, utilisation ou non de modélisations, etc) **doit être adapté selon le contexte (cf pré-diagnostic précédent)**. Dans tous les cas, les approches historiques et géomorphologiques ne doivent pas être négligées.

3. Précisions sur les pentes, le transport solide et l'hydraulique

Analyse du profil en long (pentes constantes ou variables) : fondamentale pour appréhender le transport solide

La pente est une variable de première importance pour déterminer les volumes transportés par les cours d'eau torrentiels et pour anticiper les évolutions possibles du fond du lit lors des crues. Le profil en long des torrents et des rivières torrentielles doit en conséquence faire l'objet d'une attention particulière, qui portera notamment sur les variations de la pente locale. Les réductions de pente (de l'amont vers l'aval) constitueront souvent des zones de dépôt privilégiées, alors qu'inversement, on devra a priori suspecter une reprise d'érosion là où la pente se raidit (toujours de l'amont vers l'aval) si la zone n'est pas pavée ou inaffouillable (substratum rocheux).

Il est nécessaire de confronter l'analyse du profil en long à une lecture attentive du terrain. Il arrive assez fréquemment que la forte pente d'un tronçon (plus forte que les tronçons amont) soit uniquement due à la présence d'affleurements rocheux ou d'un pavage. Ce pavage - ou affleurements rocheux - impose des augmentations de la pente du lit alors que le transport solide reste parfaitement continu sur l'ensemble du linéaire. Il faut donc bien se garder de prévoir une reprise d'érosion dans un tronçon à la seule observation de sa pente plus raide. On n'observera en général sur ces tronçons que le seul transit des sédiments provenant de l'amont.

Les données topographiques (levé terrestre, bathymétrie, MNT...) seront à exploiter pour cette analyse.

A noter également que l'identification de la capacité à engendrer des laves torrentielles est un élément essentiel de toute analyse de torrent.

Par ailleurs, la prise en compte de la présence de flottants dans les études des crues des cours d'eau torrentiels doit être systématique. Des guides ont été édités sur cette thématique fournissant des approches et méthodes permettant d'en estimer la quantité et les dimensions, mais aussi de qualifier les probabilités de blocages d'ouvrages hydrauliques (OFEV, 2019 ; Quiniou et Piton, 2022).

Si le recrutement par les écoulements des éléments mobilisables (flottants, véhicules, citernes, dépôts, ...) est considéré probable, ou même certain, ce phénomène **doit être pris en compte dans l'analyse des sous-scénarios d'obstruction des ouvrages** (cf ci-dessous).

Remarque sur l'hydraulique en contexte torrentiel :

Les écoulements en contexte de fortes pentes font l'objet de nombreuses spécificités rendant complexe la détermination des hauteurs d'eau. La hauteur de charge hydraulique¹⁷ est une grandeur beaucoup moins variable que la hauteur d'eau. Elle permet (hors cas particuliers) de définir les hauteurs d'écoulement maximales en intégrant par exemple l'effet des vagues et des autres instabilités de surface de l'eau. **En contexte torrentiel, elle est généralement plus appropriée pour analyser les sections d'écoulement et les risques de débordement. Cette grandeur pourra être utilisée par l'expert en tant que facteur aggravant pour la qualification de l'aléa ou pour identifier les secteurs susceptibles d'être mis en charge.**

¹⁷ La hauteur de charge hydraulique correspond à l'énergie mécanique. Elle est définie par $H=h+V^2/2g+z$ avec h la hauteur d'écoulement (m), V la vitesse moyenne de la lame d'eau (m/s), g l'accélération de la pesanteur ($9,81\text{m/s}^2$) et z la cote du fond du lit (m).

A ce stade, le prestataire devra faire apparaître dans son rapport méthodologique :

- le pré-diagnostic du territoire : identification des différents cours d'eau du territoire avec l'approche de qualification de l'aléa qui est retenu pour chacun
- une synthèse des informations historiques
- les ouvrages pouvant impacter les phénomènes et leurs modes d'impact (défaillance, obstruction, etc.)
- la caractérisation du transport solide
- le cas échéant, si la charge hydraulique est un paramètre qu'il prendra en compte dans son analyse et comment.

4. La cartographie de l'aléa de référence

La cartographie de l'aléa de référence est élaborée sur la base d'un scénario de référence (ou plusieurs) décliné en sous-scénarios. Cette cartographie est l'aboutissement de la réalisation de plusieurs étapes **dont le prestataire devra rendre compte.**

Les étapes techniques (détaillées ensuite dans les sous parties suivantes) de caractérisation de l'aléa torrentiel sont :

- **étape 1** : définition d'un (ou plusieurs) « **scénario(s) de référence** »
- **étape 2 (si nécessaire)** : définition d'un (ou plusieurs) « **sous-scénario(s) de référence** », traduisant la variabilité potentielle des manifestations des scénarios de référence, du fait notamment de la multiplicité des comportements possibles d'éléments anthropiques ou de caractéristiques secondaires des événements
- **étape 3** : évaluation des **niveaux d'intensité** pour chacun des **sous-scénarios de référence** retenus (dans le cas où peu (3-4) de sous-scénarios seront déterminés¹⁸)
- **étape 4** : élaboration d'une **carte de probabilité d'atteinte** par sous-scénario de référence, en modulant à dire d'expert le résultat en fonction des probabilités de survenue du sous-scénario
- **étape 5** : élaboration d'une **carte des aléas** par sous-scénario de référence, sur la base d'un **croisement entre intensité (issue de l'étape 3) et probabilité d'atteinte (issue de l'étape 4)**
- **étape 6¹⁹** : évaluation des **bandes de précaution**
- **étape 7** : élaboration d'une **carte de synthèse** de l'aléa de référence, reprenant le niveau d'aléa maximal sur l'ensemble des sous-scénarios de référence. Si plusieurs scénarios de référence ont été déterminés, il conviendra de réaliser également la carte de synthèse en retenant en chaque point l'aléa maximal obtenu sur l'ensemble des scénarios de référence sur laquelle est ajoutée les bandes de précaution (avec un tramage spécifique). A noter cependant que si l'un des scénarios de référence correspond à une lave torrentielle, la

18 Dans le cas contraire il conviendra de se rapporter à la partie 3.2 du guide torrentiel, après validation du maître d'ouvrage, dans laquelle il est précisé qu'une carte des intensités peut être élaborée par sous-scénario puis pour le scénario de référence en retenant en chaque point l'intensité maximale identifiée pour les sous-scénarios associés. La carte des probabilités d'atteinte est élaborée pour le scénario de référence. La carte de synthèse de l'aléa de référence est alors le croisement de ces deux cartes.

19 Dans le guide, il est question de la détermination des sur-aléas. La prise en compte du sur-aléa intervient à deux niveaux : le premier correspondant à la définition de sous-scénarios prenant en compte des défaillances potentielles (traités à l'étape 2), le second, en identifiant les bandes de précaution (zonage réglementaire spécifique, voir annexe 11) correspondant aux secteurs où une défaillance entraînerait un sur-aléa, c'est l'objet de cette étape 6.

carte de synthèse devra rester spécifique à chacun des scénarios de référence. Les phénomènes étant très différents, une adaptation des contraintes réglementaires pourra être faite.

Pour chaque étape, en fonction du nombre de scénarios et sous-scénarios à traiter, le prestataire pourra s'affranchir du rendu de chacune des cartes des sous-étapes intermédiaires, et les remplacer par des cartes schématiques (par exemple, représentation des contours des zones d'aléas sans en détailler les niveaux).

Dans le cas d'un PPR concernant un cours d'eau (et éventuellement ses affluents), une carte des aléas par cours d'eau sera élaborée.

Dans le cas d'un PPRn multi-aléas (ou carte des aléas), la cartographie finale tiendra compte de l'ensemble des aléas déterminés pour chaque torrent en retenant en chaque point l'aléa maximal. Par contre, le prestataire devra garder une trace des aléas déterminés sur chaque torrent indépendamment les uns des autres, dans une échelle à définir selon les cas.

Il est attendu a minima : la carte d'intensité pour le scénario de référence et la carte de synthèse de l'aléa de référence.

Chacune de ces étapes, et tout particulièrement les deux premières, font l'objet d'une validation par le maître d'ouvrage, sur proposition motivée du prestataire qui élabore la carte des aléas.

A noter qu'il est attendu du prestataire, une justification détaillée à chacune des étapes permettant d'aboutir à la qualification de l'aléa. Les choix retenus peuvent être différents de la méthodologie proposée dans ce CCTP à condition qu'ils aient fait l'objet d'une validation par le maître d'ouvrage, qu'ils soient explicités et justifiés dans le rapport méthodologique accompagnant la carte des aléas (schémas explicatifs plutôt que cartes d'intensités par sous-scénario par exemple).

Étape 1 : Détermination du (des) scénario(s) de référence

L'aléa est déterminé à partir d'un (ou de plusieurs) scénario(s) de référence décrivant le type d'évènement dont il est cherché à prévenir les conséquences. Dans la mesure du possible, le type d'évènement est associé à une période de retour, qui traduit la probabilité qu'un évènement de la même magnitude²⁰, ou d'une magnitude supérieure, se produise dans une année.

Le choix du paramètre décrivant la magnitude est justifié par son caractère prépondérant dans les effets de la crue. Les incertitudes associées à sa valeur doivent être indiquées.

La première étape de la détermination des scénarios de référence consiste à identifier les évènements historiques et à chercher à en évaluer la période de retour :

- lorsqu'il est possible de caractériser un (ou plusieurs) évènement(s) historique(s) d'occurrence au moins centennale, le(s) scénario(s) de référence est (sont) déterminé(s) à partir du (des) plus important(s) évènement(s) de ce type
- lorsque cela n'est pas possible ou lorsque qu'il serait complémentaire (en termes de conséquences envisageables) à l'évènement historique, le(s) scénario(s) de référence est (sont) déterminé(s) à partir d'un évènement théorique d'occurrence centennale à construire.

²⁰ La magnitude : ampleur/ puissance globale d'un évènement. La magnitude est évaluée au moyen d'un paramètre physique mesurable ayant une importance prépondérante sur les conséquences de la crue. Elle est décrite par une valeur numérique unique à l'échelle de l'évènement. La magnitude peut correspondre par exemple au débit liquide de pointe ou au volume total d'apport solide. Cette notion est notamment utilisée pour décrire la période de retour de l'évènement. La magnitude ne doit pas être confondue avec l'intensité, qui est une notion locale et plus fine.

Dans le cas où un scénario théorique serait complémentaire à l'évènement historique de référence, ces deux scénarios constituent les scénarios de référence à prendre en compte.

Les paramètres secondaires décrivant l'évènement et pouvant influencer significativement son déroulement et ses effets seront aussi identifiés, ainsi que les valeurs retenues et les incertitudes associées.

Les principales caractéristiques permettant de décrire une crue de cours d'eau torrentiel sont :

- le mode de transport solide (charriage ou lave torrentielle)
- celles qui décrivent la magnitude (paramètre caractérisant l'ensemble de l'évènement) et qui peuvent être évaluées au prisme de différentes grandeurs ou caractéristiques :
 - hydrogrammes :
 - ✓ les débits (aussi bien les débits liquides que les débits solides, et leur ratio qui permet d'estimer la concentration solide)
 - ✓ les volumes en jeu pendant la totalité de l'évènement (le volume total d'eau et le volume total de matériaux transportés ou déposés)
 - ✓ le temps de montée de la crue ou la durée de l'évènement
 - la dimension d'éléments solides aggravants (flottants, gros blocs)
- celles qui décrivent l'intensité de la crue, qui contrairement à la magnitude, varient spatialement dans la zone exposée :
 - ✓ les affouillements et les dépôts de matériaux
 - ✓ les vitesses et les hauteurs d'écoulement (ou la charge hydraulique)
 - ✓ les impacts des blocs ou flottants
 - ✓ la soudaineté des phénomènes et la vitesse locale de montée des eaux.

Les évènements de référence sont souvent bâtis par croisement des données historiques, avec des observations géomorphologiques et des approches hydrologiques et hydrauliques.

Pour les torrents qui connaissent les deux types de transport solide (charriage et laves torrentielles), chacun de ces types d'écoulement fera l'objet d'au moins un scénario de référence afin de tenir compte des dynamiques très différentes. Dans ce cas, chacun des scénarios de référence aura sa propre carte de synthèse des aléas.

Si le domaine étudié comprend plusieurs bassins versants (plusieurs torrents, ou une rivière torrentielle et ses affluents), un scénario de référence doit a minima être identifié pour chaque bassin versant.

Focus sur la prise en compte du changement climatique

Il reste à ce jour des incertitudes scientifiques pour caractériser l'impact du changement climatique sur les aléas des cours d'eau torrentiels à l'échelle locale. Des travaux sont en cours et les connaissances dans ce domaine évoluent rapidement. Le présent CCTP ne propose donc pas de modalités de prise en compte du changement climatique.

Cependant, l'élaboration d'une carte des aléas peut être une opportunité pour étudier, à titre informatif, un (ou plusieurs) scénario(s) se basant sur une période de retour plus élevée que

celle de l'aléa de référence, par exemple pour identifier d'éventuels effets de seuils.

C'est pourquoi, un échange spécifique sera fait avec le maître d'ouvrage sur ce sujet afin de déterminer le(s) scénario(s) à éventuellement étudier et connaître les éventuelles évolutions méthodologiques nationales.

Le choix des scénarios utilisés est précisé et motivé par le rapport, ainsi qu'éventuellement la date et les caractéristiques du plus fort événement connu.

Parmi les scénarios²¹ 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.

Etape 2 : Détermination des sous-scénarios d'un scénario de référence

Un scénario de référence est caractérisé par une magnitude. Deux événements ayant la même magnitude peuvent cependant engendrer des phénomènes naturels sensiblement différents. **Afin de tracer le raisonnement menant à la construction d'une carte des aléas pour un scénario de référence et de justifier de la bonne prise en compte de la variabilité des manifestations potentielles associées à un scénario, il peut ainsi être nécessaire d'identifier et d'étudier des sous-scénarios représentatifs des différentes déclinaisons possibles du scénario de référence.**

Les sources de variabilité des effets d'un événement justifiant potentiellement l'émergence de sous-scénarios peuvent être associées :

- au comportement d'ouvrages (obstruction, défaillance,...). Le guide sur l'élaboration des PPRi des cours d'eau torrentiels détaille plus précisément la prise en compte des ouvrages anthropiques dans la caractérisation de l'aléa de référence et la définition des sous-scénarios²². Il convient de s'y référer.

- à un paramètre secondaire (durée de la crue, quantité et taille de bois flottant, viscosité de la lave torrentielle) pouvant influencer sensiblement les conditions d'écoulements, de dépôts et les modes de comportement des ouvrages

- à une variabilité des conditions aval.

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 (cf. annexe 10 sur le recensement des ouvrages et leur prise en compte dans la cartographie des aléas).

En particulier, aucun ouvrage de protection ne permet d'assurer une protection absolue contre « toutes » les crues sur le long terme. La probabilité de dépassement ou de défaillance de l'ouvrage peut être faible mais jamais nulle. Les conséquences des dépassements et/ou défaillances structurales des ouvrages de protection doivent être évaluées et prises en

21 Point de vigilance également selon les objectifs de la mission : selon que l'aléa de référence doit concerner un cours d'eau principal ou le cours d'eau principal ET ses affluents, il conviendra d'avoir des scénarios de référence soit uniquement pour le cours d'eau principal en déterminant l'hydrologie des affluents associés lors de la survenue du scénario de référence, soit un scénario de référence pour le cours d'eau principal PUIS un scénario de référence pour les affluents.

22 Pour rappel, l'étude de l'aléa de référence doit appréhender trois types de sous-scénarios : un sous-scénario dans lequel les ouvrages de protection passive n'existent pas, un sous-scénario avec défaillance des ouvrages, un sous-scénario dans lequel les ouvrages existent et jouent leur rôle sans défaillance (en présence d'ouvrage anthropique clairement inadapté ou indubitablement sous-dimensionné pour le scénario de référence, ce sous-scénario peut être écarté).

compte dans la carte des aléas. Notamment, les secteurs protégés par des systèmes d'endiguement²³ doivent toujours être affichés avec un aléa correspondant à des scénarios de défaillance, intégrant le fait que ces secteurs sont intrinsèquement inondables, et par ailleurs soumis à un risque de sur-aléa en cas de rupture de l'ouvrage.

Le tableau 4 du guide PPRi cours d'eau torrentiels de 2023 détaille les défaillances possibles pour les différents types d'ouvrage. Cependant, une analyse au cas par cas reste nécessaire pour définir les sous-scénarios à retenir, sur proposition du prestataire, à valider par le maître d'ouvrage.

L'aléa de référence est à établir à partir d'un nombre limité de sous-scénarios. Pour les cas les plus simples, un scénario de référence sans sous-scénarios peut être utilisé.

Sur les sites nécessitant une décomposition en sous-scénarios, il est préférable de limiter leur nombre à 3 ou 4.

Le choix de définir un ou plusieurs sous-scénarios de référence dépend des spécificités locales et des enjeux. La validation des choix relève du service chargé de l'élaboration de la carte des aléas, sur la base de propositions motivées du prestataire. Le plus important dans cette étape étant de retranscrire le raisonnement ayant abouti à la définition d'éventuels sous-scénarios.

Une priorisation des sous-scénarios est à effectuer, dans l'objectif de trouver un bon équilibre entre la variabilité des configurations étudiées et les moyens dédiés pour la cartographie des aléas. Par exemple, un scénario d'effacement peut remplacer plusieurs sous-scénarios de rupture. Ainsi il est tout à fait possible de ne pas cumuler scénarios d'effacement et scénarios de brèches, le choix des sous-scénarios à retenir étant à valider par le maître d'ouvrage sur proposition des prestataires. Les étapes et arguments permettant de proportionner l'analyse sont présentés en annexe 7.2 du guide PPRi des cours d'eau torrentiels de 2023. D'autres approches peuvent être utilisées, sous réserve que l'ensemble du raisonnement soit tracé.

Etape 3 : Détermination du niveau d'intensité pour chaque sous-scénario

Les niveaux d'intensité sont décrits sous la forme de 5 classes d'intensité : « faible », « modéré », « forte », « très forte », « très forte aggravée ».

Les lits mineurs et chenaux de divagation habituels sont classés en aléa très fort aggravé (T5) jusqu'aux sommets des berges.

Lits mineurs et chenaux jusqu'au sommet des berges	Très fort aggravé T5
--	----------------------

Sont également classées en aléa très fort aggravé (T5) les bandes de terrain au-delà des sommets de berges du lit mineur susceptibles d'être concernées par le recul des berges par érosion durant le phénomène de référence ou à une échéance 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 (cf annexe 8) (Remarques : ces marges de recul incluent généralement également les marges/bandes minimum nécessaires à l'entretien des cours d'eau et à la circulation des engins).

Berges susceptibles d'être concernées par l'érosion (marges de recul)	Très fort aggravé T5
---	----------------------

23 Pour rappel, cette approche doit être considérée pour les systèmes d'endiguement mais également pour tout ouvrage anthropique faisant obstacle aux crues (non transparents) et mis en charge.

Les paramètres prépondérants pour estimer les niveaux d'intensité sont :

- la hauteur de l'engravement qui peut affecter les terrains exposés et la profondeur des affouillements possibles localement. Les affouillements liés à l'érosion de berge doivent faire l'objet d'une attention particulière.
- la taille des plus gros blocs transportés ainsi que celles des bois flottants.
- les hauteurs d'eau (et les vitesses d'écoulement). Ces critères seront à déterminer par le dire d'expert et uniquement si pertinent (cf ci-dessous), par des modélisations.

A noter que les paramètres sur la hauteur d'engravement ou d'affouillement et sur les matériaux transportés sont indirectement liés à la vitesse d'écoulement. Ainsi, il est proposé, sauf à démontrer sa nécessité, de ne pas considérer obligatoirement la vitesse d'écoulement comme un critère prioritaire pour qualifier l'intensité, étant donné qu'elle est déjà « intégrée » dans les autres paramètres. Les seuils d'intensité concernant les paramètres engravement/affouillement/transports solides ont été définis pour être en cohérence avec les vitesses d'écoulement probable lors de leurs survenues. La vitesse sera éventuellement à considérer comme un facteur aggravant.

Dans le cas des rivières torrentielles (pentes entre 1 % et 2%), le critère vitesse d'écoulement pourra avoir toute son importance, en le croisant avec la hauteur d'eau. Dans ce cas, le croisement hauteur-vitesse d'écoulement pourra être utilisé comme paramètre de caractérisation de l'aléa au même titre que les autres paramètres. Ce point fera l'objet d'un échange avec le maître d'ouvrage.

Une vigilance particulière est à avoir concernant l'utilisation de méthodes permettant de déterminer les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement. La détermination des valeurs quantitatives est un exercice délicat, particulièrement lorsque l'écoulement a lieu en dehors du lit ordinaire du cours d'eau. L'absence de prise en compte du transport solide dans la plupart des modèles numériques rend leur pertinence limitée en contexte torrentiel. Ainsi, l'utilisation des critères hauteurs et vitesses ne devra être qu'un élément d'aide à l'analyse pour l'expert, mais elle ne devra pas constituer à elle seule la détermination du niveau d'intensité. Ce point fera l'objet d'un point d'arrêt avec le maître d'ouvrage pour déterminer dans quelle mesure la connaissance des hauteurs et des vitesses devra être utilisée dans la caractérisation de l'aléa.

Chacun des paramètres précédents permet d'estimer un niveau d'intensité selon les modalités du tableau suivant.

Puisque plusieurs critères existent, plusieurs niveaux d'intensité peuvent être assignés à un point donné. **Le niveau d'intensité retenu pour qualifier le niveau d'aléa est le niveau d'intensité maximum des niveaux d'intensité évalués selon les différents critères.** Ainsi pour définir un niveau d'intensité très forte, il suffit d'identifier un seul paramètre vérifiant une intensité très forte. Par contre, pour déterminer un niveau d'intensité plus faible, il faut vérifier que l'ensemble des paramètres d'intensité soit du niveau assigné à la zone, ou moindre.

Certains paramètres pourront ne pas être disponibles, ou ne pas être suffisamment précis (voir les développements ci-après relatifs aux estimations des hauteurs d'eau et de vitesses d'écoulement). Il conviendra dans ce cas d'exploiter au mieux les informations disponibles notamment historiques et géomorphologiques, et de vérifier la cohérence globale de l'analyse.

Paramètres	Niveaux d'intensité retenus				
	Très fort aggravé	Très fort	Fort	Moyen	Faible
Ordres de grandeur des paramètres hydrauliques	La hauteur d'écoulement ou d'engravement dépasse 2 m. ou Les affouillements verticaux ont une profondeur supérieure à 2 m. ou La taille des plus gros sédiments transportés excède 1 m.	La hauteur d'écoulement ou d'engravement est comprise entre 1 m et 2 m. ou Les affouillements verticaux ont une profondeur comprise entre 1 m et 2 m. ou La taille des plus gros sédiments transportés est entre 0,5 et 1 m., quelques éléments plus grossiers peuvent être ponctuellement présents.	Un des seuils de l'intensité faible est dépassé, mais : La hauteur d'écoulement ou d'engravement est comprise entre 0,5 et 1 m ou Les affouillements verticaux ont une profondeur entre 0,5 et 1 m ou La taille des plus gros sédiments transportés est entre 10 et 50 cm, quelques éléments plus grossiers peuvent être ponctuellement présents.	La hauteur d'écoulement ou d'engravement reste inférieure à 0,5 m. ou Les affouillements verticaux ont une profondeur inférieure à 0,5 m. ou La taille des plus gros sédiments transportés est inférieure à 10 cm, quelques éléments plus grossiers peuvent être ponctuellement présents.	La hauteur d'écoulement ou d'engravement est marginale. et Les affouillements verticaux ont une profondeur négligeable. et La taille des plus gros sédiments transportés sont de tailles centimétriques, quelques éléments plus grossiers peuvent être ponctuellement présents.
Flottants	De nombreux flottants de très grande taille et de gros diamètres (>50cm) sont susceptibles d'atteindre la zone	De nombreux flottants de grande taille (arbres) sont susceptibles d'atteindre la zone	Peu de flottants de grande taille sont susceptibles d'atteindre la zone	Les flottants sont de petite taille uniquement.	Les flottants sont de petite taille uniquement.
Laves torrentielles	Le secteur à forte pente est situé dans l'axe potentiel des laves torrentielles si elles venaient à sortir de leur lit. Il serait alors atteint par des écoulements de laves en pleine puissance et/ou des laves pouvant contenir des blocs de 1 m de diamètre.	Le secteur est en zone de transit de laves torrentielles ou en zone de dépôts épais pouvant contenir des blocs de plus de 50 cm.	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 transportés de plus de 50 cm.		

Relation entre paramètres et niveaux d'intensité

Les niveaux d'intensité peuvent également être déterminés, en complément, en termes de dommages potentiels. Le guide de PPRi Torrentiels propose une grille d'analyse selon les effets prévisibles sur les enjeux (tableau 6 du guide).

La vitesse d'écoulement n'apparaît pas en tant que telle dans le tableau précédent comme paramètre permettant de qualifier l'intensité. Cependant elle pourra être prise en compte comme critère à part entière en tant que facteur aggravant ou combiné avec la hauteur d'écoulement par le prestataire selon une méthodologie à valider avec le maître d'ouvrage ou selon le tableau suivant.

Dans le cas où une modélisation serait appropriée sur le cours d'eau (par exemple cours d'eau à faible pente, rivières torrentielles), le niveau d'intensité pourra être défini en tenant compte du croisement entre une hauteur d'eau et une vitesse d'écoulement. **ATTENTION, ce choix ne doit pas être celui retenu par défaut par le prestataire. S'il est envisagé d'utiliser cette méthode, un temps d'arrêt avec le maître d'ouvrage est nécessaire.**

Paramètres	Niveaux d'intensité retenus					
	Vitesse d'écoulement (m/s) Hauteur d'eau (m)	$V_e < 0,2$	$0,2 < V_e < 0,5$	$0,5 < V_e < 1$	$1 < V_e < 3$	$3 < V_e$
Hauteurs d'eau et vitesse d'écoulement	$H < 0,20$	Faible	Faible	Modéré	Modéré	Fort
	$0,20 < H < 0,50$	Faible	Modéré	Fort	Fort	Fort
	$0,50 < H < 1$	Modéré	Modéré	Fort	Fort	Très fort
	$1 < H < 2$	Fort	Fort	Fort	Très fort	Très fort
	$H > 2$	Très fort	Très fort	Très fort	Très fort	Très fort

Points de vigilance vis-à-vis des modélisations numériques 2D : Les outils de modélisations numériques 2D à géométrie fixe, conçus pour le fluvial, ne sont pas adaptés pour les cônes de déjection ou pour le lit majeur de certaines rivières torrentielles à fortes pentes et pour les cours d'eau avec un transport solide significatif. Si de tels modèles sont utilisés, un premier contrôle de pertinence consiste à vérifier que la gamme de vitesses obtenue est compatible avec l'hypothèse de non érosion des terrains sur lesquels ils découlent (en première approximation, elles ne devraient pas dépasser les 2 à 3 m/s (selon la nature du terrain), ce qui est rarement le cas avec de fortes pentes). Leur utilisation devrait être exclue sur les cônes de déjection et en bordure de rivières torrentielles dès lors que les pentes dépassent 1,5-2 %.

Ainsi, le prestataire proposera au préalable, lors de son pré-diagnostic (cf préambule) l'identification des secteurs où une modélisation est pertinente et les secteurs où seuls les paramètres précédents pourront être pris en compte dans la qualification de l'intensité. Par exemple, pour les petits cours d'eau, il sera plus pertinent voire suffisant de privilégier les approches historiques et hydrogéomorphologiques.

Que les modèles numériques incluent ou non le transport solide, il est systématiquement nécessaire d'opérer une interprétation experte des résultats permettant d'intégrer la variabilité réelle des processus modélisés et les effets des phénomènes non modélisés.

La fourniture de résultats de modélisation numérique bruts en guise de carte d'intensité ne sera ainsi jamais recevable : la modélisation doit être systématiquement croisée avec une approche experte basé sur l'ensemble des paramètres décrits précédemment.

En cas d'incertitudes importantes sur un paramètre ou une variable, des tests de sensibilité peuvent être faits pour appréhender les conséquences des choix retenus. Les choix allant dans le sens de la sécurité devront être retenus.

Conclusion sur l'intensité :

L'évaluation de l'intensité doit se faire pour chaque sous-scénario identifié, puis une carte des niveaux d'intensité par scénario de référence est élaborée, **en retenant en chaque point l'intensité maximale identifiée pour les sous-scénarios associés.**

Pour chaque site, un optimum entre d'une part les moyens d'étude mis en œuvre et d'autre par l'importance des aléas, des enjeux et des incertitudes est à rechercher. L'association des approches historique et hydro-géomorphologique, avec des éléments simplifiés d'hydrologie et d'hydraulique, peut suffire pour qualifier l'intensité des aléas torrentiels dans certains cas, tandis que des modélisations poussées pourront être justifiées dans d'autres configurations (à justifier).

Etape 4 : Détermination de la probabilité d'atteinte pour chaque sous-scénario

La notion de probabilité d'atteinte caractérise la plus ou moins grande prédisposition d'une zone à être affectée par les débordements **du sous-scénario de référence**. Il est ainsi reconnu qu'à probabilité d'occurrence d'un événement (celle du scénario de référence), toutes les zones exposées ne sont pas toujours atteintes. La caractérisation des niveaux d'aléas intègre cette notion en faisant une distinction, à niveau d'intensité équivalent, entre les secteurs très exposés et submergés quasiment à chaque débordement et ceux bénéficiant d'une situation plus favorable et plus rarement atteints.

De façon analogue aux intensités, des classes de probabilité d'atteinte sont proposées dans le tableau suivant. Dans la quasi-totalité des cas, **il ne sera possible d'utiliser que la description littérale**. La valeur numérique proposée est une convention, fournie à titre indicatif, pour l'évaluation subjective de cette probabilité d'atteinte, à la manière de la démarche mise en œuvre par le GIEC (Mastrandrea et al, 2011).

Pour chaque sous-scénario de référence, la probabilité d'atteinte est définie de la manière suivante :

Probabilité d'atteinte	Description littérale	Probabilité d'atteinte (en %)
Forte	La zone est régulièrement atteinte lorsque survient le sous-scénario de référence. C'est également la probabilité d'atteinte donnée aux secteurs touchés lors du sous-scénario de défaillance d'un ouvrage.	Supérieure à 50 %
Modérée	La submersion de la zone est possible en cas de survenue du sous-scénario de référence, mais est loin d'être systématique.	Entre 10 % et 50 %
Faible	La submersion de la zone est rare et correspond à au moins l'un des sous-scénarios de référence avec concomitance de plusieurs facteurs aggravants.	Entre 5 % et 10 %
Très faible	La zone n'est pas atteinte par les différents scénarios et sous-scénarios, mais les incertitudes liées à la nature et à la propagation des phénomènes ne permettent pas de conclure que la probabilité d'atteinte est nulle ; par exemple, la zone est située dans l'emprise géomorphologique du cône de déjection ou du lit majeur de la rivière.	Entre 1 % et 5 %
Quasiment nulle	La zone est située en dehors de l'emprise géomorphologique du cône de déjection ou du fond de vallée alluviale, ou est dans une situation topographique qui la met à l'abri des phénomènes, même de très faible probabilité d'occurrence.	Inférieure à 1 %

L'approche proposée, croisement d'une probabilité d'atteinte et d'une carte d'intensité au niveau de chaque sous-scénario de référence, peut être mise en œuvre dans de nombreuses configurations.

Une carte de probabilité d'atteinte est ainsi préparée pour chaque sous-scénario.

Étape 5 : Élaboration d'une carte des aléas par sous-scénario de référence

Cette carte se base sur le croisement entre intensité et probabilité d'atteinte déterminées pour chaque sous-scénario de référence selon les critères de croisement suivants :

Aléa de référence		Intensité				
		Faible	Modérée	Forte	Très forte	Très forte aggravée
Probabilité d'atteinte	Très faible	Faible - T1	Faible - T1	Faible - T1	Moyen – T2	Fort - T3
	Faible	Faible - T1	Faible - T1	Moyen – T2	Fort - T3	Très fort - T4
	Modérée	Faible - T1	Moyen – T2	Moyen – T2	Fort - T3	Très fort aggravé - T5
	Forte	Faible - T1	Moyen – T2	Fort - T3	Très fort - T4	Très fort aggravé - T5

Pour chaque zone cartographiée, il est important que le prestataire décrive et affiche explicitement les critères qui l'ont conduit à retenir tel ou tel niveau d'aléa.

L'insertion d'indices spécifiques (cf tableau ci-dessous) pour préciser l'origine de la qualification des niveaux d'aléas est nécessaire dans la cartographie finale (ou sera optionnelle : à décider au cas par cas avec le maître d'ouvrage en fonction des spécificités souhaitées dans le règlement associé). Cette information devra apparaître dans les données SIG (tables attributaires) et dans les cartographies « minutes ».

Aléa de référence		Intensité				
		Faible	Modérée	Forte	Très forte	Très forte aggravée
Probabilité d'atteinte	Très faible	Faible - T1a	Faible - T1b	Faible - T1c	Moyen – T2d	Fort - T3e
	Faible	Faible - T1a	Faible - T1b	Moyen – T2c	Fort - T3d	Très fort - T4e
	Modérée	Faible - T1a	Moyen – T2b	Moyen – T2c	Fort - T3d	Très fort aggravé - T5
	Forte	Faible - T1a	Moyen – T2b	Fort - T3c	Très fort - T4d	Très fort aggravé - T5

Le prestataire doit également veiller à assurer la traçabilité des informations (en communiquant les cartes intermédiaires des intensités et probabilités d'atteintes par sous-scénarios et leur concaténation, cartes qui peuvent être élaborées de manière synthétique en ne représentant que les contours des zones concernées sans entrer nécessairement dans la délimitation fine des niveaux d'aléas, ou en représentant sur une seule carte les aléas/intensités en indiquant par des flèches l'origine des écoulements (=sous-scénario)), afin que des mesures adaptées à la nature et à l'intensité des phénomènes prévisibles soient définies.

Étape 6 : Évaluation des bandes de précaution

Les secteurs protégés par des systèmes d'endiguements et/ou par des ouvrages anthropiques jouant un rôle de protection contre les crues, sont toujours affichés comme soumis à un aléa, correspondant à des sous-scénarios de défaillance.

La carte des aléas doit afficher, sans nuire à sa lisibilité, pour les différents ouvrages de protection, les zones de bandes de précaution, qui seront par ailleurs, au moment de la définition des règles associées, à considérer comme les secteurs en aléa très fort aggravé. Dans tous les cas, le prestataire fournira un fichier SIG permettant l'identification du tracé de ces bandes de précaution. (méthodologie de qualification en annexe 11).

Étape 7 : Synthèse

Chaque scénario de référence (cf étape 1) fait l'objet d'une caractérisation des niveaux d'aléas. **Le niveau d'aléa final est ensuite construit en retenant, par secteur exposé, le niveau d'aléa le plus élevé parmi les niveaux identifiés par chaque scénario de référence** (sauf si l'un des scénarios correspond à une lave torrentielle, dans ce cas il y a une carte des aléas par scénario de référence).

Cette dernière étape correspond à l'élaboration d'une carte de synthèse de l'aléa de référence, reprenant le niveau d'aléa maximal sur l'ensemble des sous-scénarios de référence.

Par ailleurs, le cas particulier des confluences sera également à traiter conformément aux informations fournies en annexes 7.1 du guide et après un temps d'arrêt auprès du maître d'ouvrage pour expliciter et décider des choix possibles.

Rappel : Une analyse à dire d'expert ou sur la base d'études et de témoignages devra déterminer, si à proximité d'un torrent, une accumulation / stagnation d'eau est liée spécifiquement à une remontée de nappe. Dans ce cas, l'aléa doit être qualifié avec la même méthodologie que précédemment mais un indice « n » doit être ajouté afin de garder trace de cette expertise et de l'origine de l'accumulation d'eau : T1n, T2n, T3n. Si l'accumulation/stagnation est liée à la fois à la remontée de nappe et au débordement du cours d'eau, alors l'aléa sera qualifié en « T ».

Cas de l'existence d'ouvrages jouant un rôle de protection contre les inondations

Un recensement des ouvrages doit être fait conformément à l'annexe 10. Ce recensement et le tableau d'analyse associé permettra de déterminer la façon dont ces ouvrages doivent être considérés pour la qualification de l'aléa.

Pour rappel, en présence d'ouvrages, il est nécessaire de réaliser une carte des aléas « sans prise en compte des ouvrages » et une carte des aléas « avec prise en compte des ouvrages ». La première a un objectif pédagogique, elle est informative. La seconde sera la référence pour la traduction réglementaire du risque dans le PLU/PLUi ou le PPRn

Pour les ouvrages linéaires, une bande de précaution sera à déterminer (cf. annexe 11).

L'aléa ravinement et ruissellement sur versant [V]²⁴

Rappel de la définition du phénomène

Divagation des eaux météoriques **en dehors du réseau hydrographique**²⁵, suite à de fortes précipitations, en tout point d'un territoire (zones naturelles et urbanisées). Ce phénomène peut générer l'apparition d'érosions localisées provoquées par ces écoulements superficiels, nommées ravinement.

Critères de caractérisation de l'aléa [V]

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.

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, ...). Dans le cas de vitesses importantes, des phénomènes d'érosion localisées avec transport de matériaux peuvent apparaître : le phénomène est alors qualifié de « ravinement ».

Les axes majeurs de concentration de l'écoulement (talwegs des combes en zones naturelles) 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. Le rapport de présentation précise pour les combes naturelles les largeurs mises en aléa très fort de part et d'autre de l'axe.

Les chemins et voiries, en zones anthropiques et naturelles, peuvent s'apparenter sur certains secteurs à des axes de concentration des écoulements. Un classement en aléa fort V3 est alors recommandé, circonscrit à la largeur de la chaussée.

Remarque importante : à noter que dans le cas où le ravinement peut être important (charriage, érosion, ravinement pouvant impacter les enjeux), ce qui fait la différence entre un aléa V et un aléa T est la présence d'un chenal bien matérialisé et pérenne (dans ce cas : aléa T).

Fossés, ravins, axes de concentration des écoulements Marges de recul (cf annexe 8)	Très fort V4
--	--------------

(Remarques : ces marges de recul incluent généralement également les marges/bandes minimum nécessaires à l'entretien des cours d'eau et à la circulation des engins).

Qualification de l'aléa sans modélisation :

Dans l'analyse de terrain de l'approche historique et hydrogéomorphologique, le critère « hauteur d'écoulement » reste prédominant.

²⁴ Au niveau national, ce phénomène correspond au terme « ruissellements et coulées de boue » (codification GASPAR)

²⁵ La définition du réseau hydrographique retenue dans l'étude par le prestataire et son maître d'ouvrage sera à préciser et justifier dans le rapport de présentation et le rapport méthodologique accompagnant la carte des aléas.

Globalement quatre cas sont distingués :

1/ Les ruissellements sur voiries ou des ruissellements concentrés dans un talweg topographique (hors fossés), l'aléa est classé en niveau fort V3 (a minima), le paramètre « vitesse » étant jugé important par les chargés d'études. Pour les axes hydrauliques clairement formalisés (fossés, voiries encaissées, axes de combes encaissés), l'aléa est systématiquement qualifié en niveau très fort V4.

=> Dans ces cas les vitesses peuvent être fortes à très fortes (3 à 5 m/s et nettement plus). Les dégâts peuvent être importants : sur les chaussées revêtues avec des matériels emportés (poubelles, véhicules..) et donc tous les risques associés pour les personnes comme pour les biens sur les axes non revêtus, ou les zones de fragilité des revêtements, des ravinements brutaux et importants pouvant déstabiliser des constructions, en particulier anciennes (absence de chaînage). De plus dans certains cas en V4, les débits peuvent devenir importants, augmentant les dégâts potentiels, sans oublier qu'en cas de ravinement, le transport de matériaux peut être conséquent et générer également des dégâts.

Voiries, talwegs, ruissellements concentrés	Très fort V4	Fort V3
---	--------------	---------

2/ Sinon, dans la majorité des situations, on constate souvent par rapport à l'historique, de très faibles hauteurs (<0.2 m) et on reste en aléa faible (V1a). La hauteur d'eau n'augmente très ponctuellement qu'en cas d'obstacles, mais avec alors une chute de la vitesse.

=> Dans ces cas les écoulements restent de vitesse limitée (1 à 2 m/s maximum) et surtout de très faible hauteur. Ils sont associés à des durées d'inondations limitées, les faibles lames d'eau pouvant se déplacer rapidement sur un même secteur. Ce type d'écoulement ne provoque pas de risque pour un bâti, un équipement standard, ni même pour un adulte. Par contre si des ouvertures sont mal situées (ouvertures amont, accès par l'amont pour une rampe de garage semi-enterrées), des inondations des bâtiments sont probables.

Ruissellement généralisé, en nappe, de très faible hauteur	Très faible V1a
--	-----------------

3/ Quelques zones ressortent en aléa faible (V1), mais avec multiplication d'obstacles et donc des hauteurs estimées entre 0.2 et 0.5 mètres mais des vitesses majoritairement faibles vue la très forte « rugosité » des terrains.

=> On retrouve les exemples précédents mais avec plus de hauteur possible et moins de vitesse. A nouveau pas de risque pour les bâtis standards ni pour un adulte, par contre demeurent des risques d'inondation de bâtiments en cas d'ouvertures non suffisamment surélevées.

Ruissellement généralisé, en nappe, de faible hauteur	Faible V1
---	-----------

4/ Un aléa moyen (V2) est affiché particulièrement aux débouchés d'axes de concentration (cf. premier point), et pour des zones de concentration peu marquées, n'ayant pas motivé l'affichage d'un aléa fort (V3).

=> La différence avec l'aléa faible tient à une dispersion moins forte, des hauteurs souvent proches de 0.5m, pouvant aller jusqu'à 1 mètre, et donc une sensibilité très forte à la moindre concentration des écoulements. En l'absence de garantie collective de non-concentration d'écoulements, les mesures doivent être plus contraignantes qu'en aléa faible (hauteur, RESI).

Débouchés d'axes de concentration et zones de concentration peu marquées	Moyen V2
--	----------

Qualification de l'aléa avec modélisation :

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

		Vitesse d'écoulement (m/s)			
		0 à 0,2	0,2 à 0,5	0,5 à 1,0	> 1,0
Hauteur de submersion (m)	0 à 0,2	(*)	Très faible - V1a	Très faible - V1a	Très faible - V1a
	0,2 à 0,5	(*)	Faible - V1	Moyen - V2a	Moyen - V2a
	0,5 à 1,0	(*)	Moyen - V2b	Fort - V3	Fort - V3
	> 1,0	(*)	Fort - V3	Très fort - V4	Très fort - V4

(*) : Pour la classe des vitesses inférieures à 0,2 m/s, une analyse au cas par cas est essentielle. En effet, cette classe correspond au cas où le phénomène à cartographier peut relever de l'inondation en pied de versant (l') plutôt que du ruissellement sur versant.

Dans le cas où l'aléa ruissellement est qualifié à partir d'une modélisation hydraulique, il ne sera pas possible de se contenter d'un simple report de ce résultat de calcul qui ferait apparaître de la pixelisation ou du bruit de modèle (cellules de calcul, indentation, etc.). Le prestataire devra impérativement fournir un tracé lissé, vérifié sur le terrain et recalé, si nécessaire, sur les limites topographiques.

L'aléa glissement de terrain [G]

Rappel de la 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.

Critères de caractérisation de l'aléa [G]

L'aléa de référence prend en compte le plus fort événement historique connu 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 potentiels résultant de scénarios jugés possibles au cours des 100 prochaines années. Le choix des scénarios utilisés est précisé et motivé par le rapport, ainsi que la date et les caractéristiques du plus fort événement connu.

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),
- analyse des événements historiques,
- 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

Exemple d'identification des différentes zones liées aux aléas de glissements :

Gp = profond, Gsup = superficiel, Gsol = solifluxion, Gc = coulées boueuses, Ga = zones d'extension en aval des zones de départ, Go = zones hors aléa en amont de zones de départ, où des interventions inappropriées ou des rejets d'eau pourraient aggraver la probabilité d'occurrence.

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 tels par le rapport de présentation et la cartographie.

Le rapport de présentation fournit pour chaque zone unitaire classée en zone de glissement de terrain l'ensemble des données listées aux 2 paragraphes précédents et la motivation de la qualification retenue en tant que nature et en tant que niveau. 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.

Qualification des niveaux d'aléas

<i>Zones hors aléa en amont de zones de départ, où des interventions inappropriées ou des rejets d'eau pourraient aggraver la probabilité d'occurrence.</i>	G0
---	----

Il est à noter que les secteurs où un glissement ne peut être provoqué que par des travaux (facteurs anthropiques) sont identifiés en tant que zones de glissement potentiel et classées en **aléa faible avec un indice spécifique (G1)**.

Les travaux susceptibles de provoquer un glissement de terrain sont, par exemple, une surcharge par remblai ou construction au sommet d'un talus ou d'un versant déjà instable, un affouillement en pied de talus, une mauvaise gestion des eaux (infiltration concentrée), etc.

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 ²⁶ à celle d'un glissement constaté à proximité, 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.
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.

²⁶ Situation équivalente : en termes de géologie, de topographie, d'épaisseur de matériaux instables ou potentiellement instables. Il y a une appréciation « experte » de la vraisemblance de l'occurrence à long terme (100 ans).

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 caractérisée à partir du niveau des dommages prévisibles pour un bâti considéré en cas de survenue du phénomène. Les critères retenus sont présentés dans le tableau ci-après :

Intensité	Faible (gi1)	Modérée (gi2)	Élevée (gi3)	Très élevée (gi4)
Description	Bâti standard : dommages limités et non structurels	Bâti standard : dommages structurels Bâti adapté à l'aléa : pas de dommages	Bâti standard : destruction Bâti adapté à l'aléa moyen : dommages structurels	Bâti adapté à l'aléa moyen : destruction (phénomènes de grande ampleur)

Le choix de l'intensité par rapport à ces critères sera étayé pour chaque zone unitaire classée à partir du type et des caractéristiques du glissement et de l'expérience du chargé d'étude, s'appuyant autant que possible sur des exemples de cas concrets de dommages.

Indépendamment des critères d'intensité ci-dessus, les zones de départ et d'extension des coulées boueuses sont considérées comme étant exposées à une intensité élevée ou très élevée.

Le « bâti standard » correspond à une construction réalisée selon les règles de l'art et dans le respect des normes de constructions en vigueur (normes parasismiques comprises), sans renforcement particulier. Les fondations sont en général des semelles filantes superficielles hors gel avec un chaînage à chaque niveau de la construction. Ces chaînages sont éventuellement reliés par des poteaux verticaux.

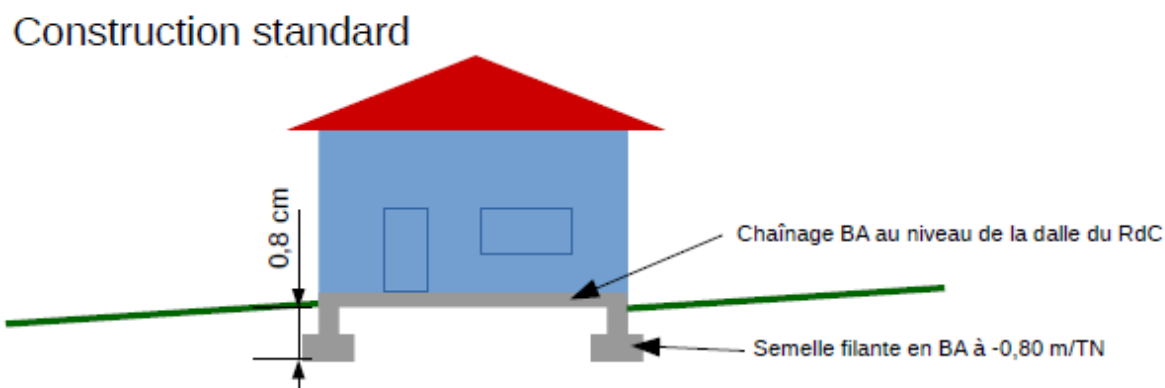
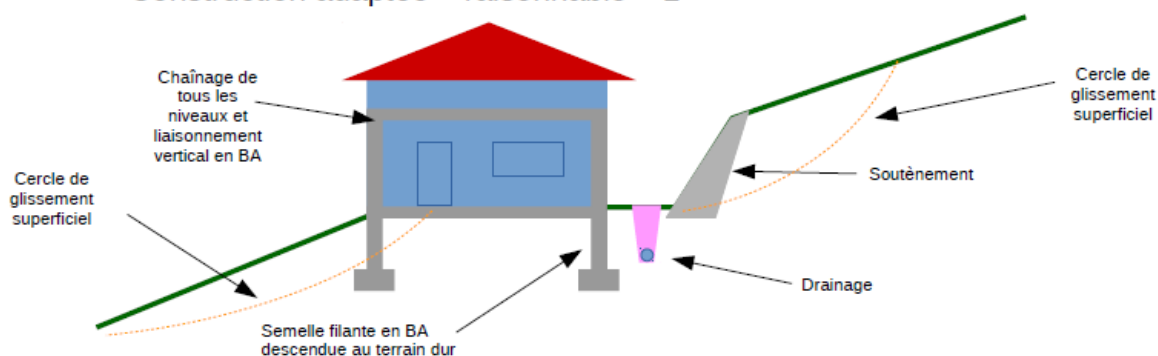


Illustration 1 : Schéma d'un bâti standard © Alp'Géorisques

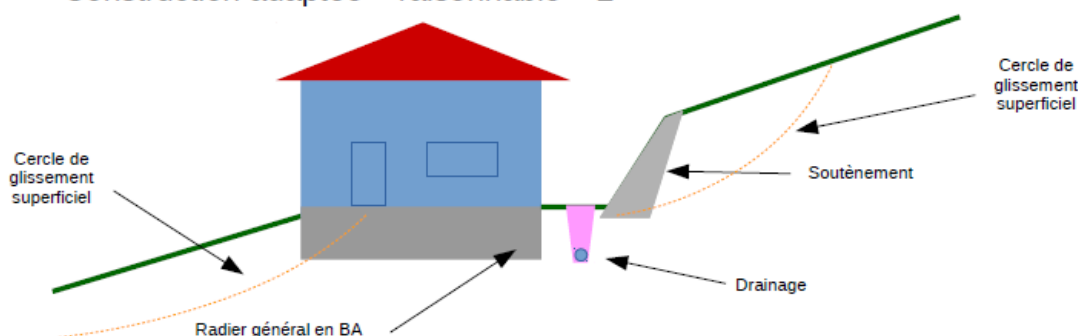
Le « bâti adapté » implique que des adaptations de la construction sont nécessaires en raison de l'exposition au glissement de terrain. L'importance de ces adaptations est volontairement limitée afin de contenir le surcoût induit par rapport à un « bâti standard » en dessous des 10 à 15 %.

Il est important de noter qu'un bâti adapté à la pente (construction sur plateforme terrassée, renforcement structurel, construction semi-enterrée, etc.) est à considérer comme un bâti standard.

Construction adaptée « raisonnable » 1



Construction adaptée « raisonnable » 2



II

Illustration 2 : Schémas d'un bâti adapté à l'aléa de glissement de terrain © Alp'Géorisques

Les adaptations envisageables correspondent notamment à des fondations plus profondes, une structure rigidifiée, le drainage des sols aux abords du projet et le soutènement des talus.

L'évaluation de l'intensité apparaît donc comme complexe et l'analyse des critères montre que la profondeur probable de la surface de glissement est un indicateur essentiel. Si cette profondeur est supérieure à la profondeur des fondations préconisées pour le « bâti standard », des désordres importants sont possibles en l'absence d'adaptation. Compte-tenu de la limite fixée pour les travaux d'adaptation, une profondeur de glissement excédant 3 m exclut la réalisation de fondations dans le terrain stable et des désordres importants sont alors possibles pour le « bâti adapté » et a fortiori pour le « bâti standard ».

Le choix de l'intensité par rapport à ces critères sera étayé pour chaque zone unitaire classée à partir du type et des caractéristiques du glissement et de l'expérience du chargé d'étude, s'appuyant autant que possible sur des exemples de cas concrets de dommages.

Niveau d'aléa :

Le niveau d'aléa de glissement de terrain est déterminé à partir du croisement de la probabilité d'occurrence et de l'intensité selon la grille définie ci-dessous²⁷.

Intensité Probabilité d'occurrence	Faible (gi1)	Modérée (gi2)	Elevée (gi3)	Très élevée (gi4)
Faible (go1)	Faible (G1)	Moyen (G2+)	Fort (G3+)	Très fort (G4)
Moyenne (go2)	Moyen (G2-)	Fort d'intensité modérée (G3-)	Fort (G3+)	Très fort (G4)
Forte (go3)	Moyen (G2-)	Fort d'intensité modérée (G3-)	Très fort (G4)	Très fort (G4)

Les glissements actifs ou anciens ont une probabilité forte et sont donc classés en aléas moyen (G2-) ou fort (G3-) ou très fort (G4) selon l'intensité.

En cas de doute sur la classification en G2- ou G2+ (ou G3- et G3+), le principe de précaution s'applique en indiquant uniquement un aléa G2 (ou G3).

Ouvrages de protection

Pour rappel, les murs de soutènement ne sont pas pris en compte dans la qualification de l'aléa de glissement de terrain.

Les éléments disponibles sur ces ouvrages permettant d'évaluer leur stabilité sont très difficiles voire impossibles à retrouver. De plus, ils jouent davantage un rôle de prévention que de protection en empêchant le glissement de se produire.

²⁷L'insertion d'indices spécifiques pour préciser l'origine de la qualification des niveaux d'aléas est optionnelle dans la cartographie finale et sera à décider au cas par cas avec le maître d'ouvrage en fonction des spécificités souhaitées dans le règlement associé. Cependant cette information devra apparaître dans les données SIG (tables attributaires) et dans les cartographies « minutes ».

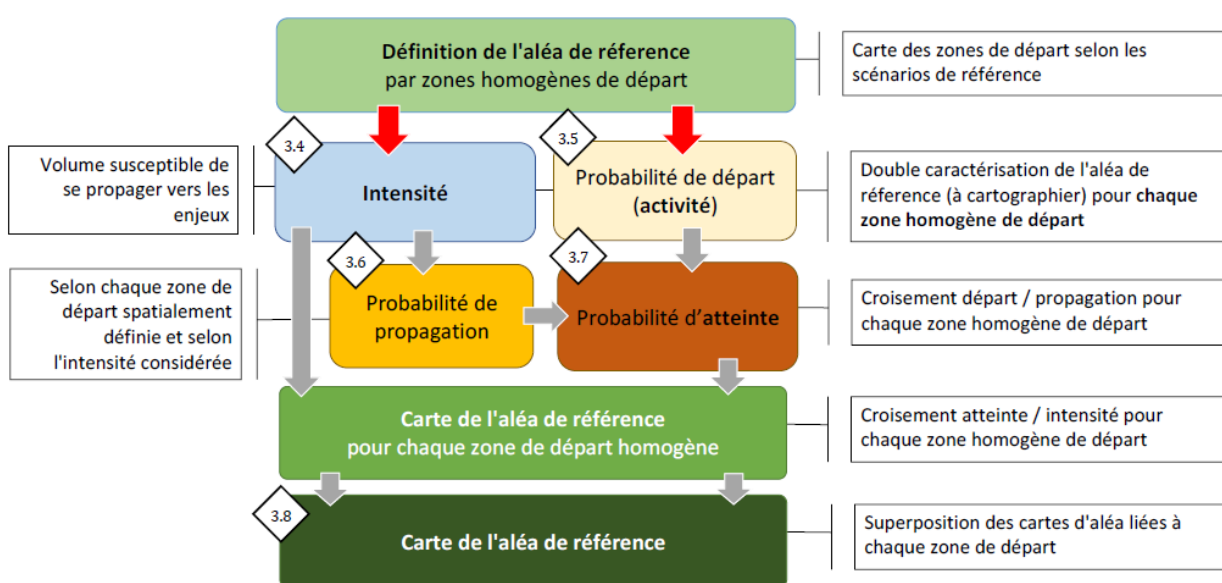
Aléa chute de pierres et de blocs [P]

Rappel de la définition du phénomène

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.

Critères de caractérisation de l'aléa [P]

La caractérisation de l'aléa chute de pierre et de blocs repose sur la MEZAP (Méthodologie de Zonage d'un Aléa rocheux dans le cadre d'un PPRN), dont le guide officiel est paru en janvier 2022, et dont la lecture est obligatoire en parallèle de cette annexe méthodologique.



Logigramme simplifié MEZAP pour cartographie de l'aléa rocheux

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 100 prochaines années. Le choix des scénarios utilisés est précisé et motivé par le rapport, ainsi que la date et les caractéristiques du plus fort événement connu

Aléa de départ

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), à identifier sur une carte à établir par le titulaire.

Détermination du scénario de référence

Un travail de détermination des scénarios de référence est fait pour chaque zone de départ ainsi définie. Il doit traiter des 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 mètres cubes) et, si oui, importance des paquets et taille des blocs après fracturation
- possibilité d'éboulement (volume supérieur à 100 mètres cubes) d'occurrence centennale et, si oui, ordre de grandeur du volume.

Il 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.

Sur les zones à forts enjeux anthropiques, les zones d'aléas correspondant au recul prévisible des parois au cours des cent prochaines années pourront être identifiées spécifiquement sur la carte des aléas. Elles seront qualifiées en aléa fort P3r. En zones sans enjeux anthropiques, ces zones pourront être intégrés à l'aléa très fort P4.

Recul prévisible des parois rocheuses au cours des cent prochaines années	Fort P3r
--	-----------------

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

Zones non exposées à l'aléa, mais où des aménagements pourraient aggraver les risques ou en provoquer de nouveaux	P0
--	-----------

Détermination de l'intensité et de la probabilité de départ

Conformément à la méthodologie du guide MEZAP, l'analyse devra intégrer l'intensité (caractérisée par son volume) et la probabilité de départ sur une période de 100 ans. Ces éléments seront appréhendés selon les critères détaillés ci-après :

Intensité :

Le niveau d'intensité du phénomène est défini en fonction des dommages au bâti qu'il engendre. En théorie le niveau de dommage à l'impact d'un phénomène rocheux, pour une structure donnée, est lié au volume en mouvement mais également à la vitesse du projectile et à l'énergie libérée (de translation et de rotation) mais également à la nature des contacts à l'impact (arête, face, sommet).

En l'état des connaissances la MEZAP considère que l'intensité de phénomène est définie par le **volume du bloc du scénario de référence** et propose une classification formelle de l'intensité de l'aléa.

Pour mémoire, une énergie à l'impact de l'ordre de 30 kJ (début d'endommagement sévère du bâti) correspond sensiblement à l'atterrissement d'un bloc cubique de 1 m³ chutant d'une hauteur de 1 m.

<i>Indice d'intensité</i>	<i>Description</i>	<i>Indications sur les dommages</i>
<i>Très faible</i>	Le volume unitaire pouvant se propager est inférieur ou égal à 0,05 m ³	Peu ou pas de dommage au gros œuvre, perturbation des activités humaines.
<i>Faible</i>	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur à 0,05 m ³ mais inférieur ou égal à 0,25 m ³	Peu de dommage au gros œuvre, perturbation des activités humaines.
<i>Moyen</i>	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur ou égal à 0,25 m ³ mais inférieur ou égal à 1 m ³	Dommage au gros œuvre sans ruine. Intégrité structurelle sollicitée.
<i>Fort</i>	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur à 1 m ³ mais inférieur ou égal à 10 m ³	Dommage important au gros œuvre. Ruine probable. Intégrité structurelle remise en cause.
<i>Très fort</i>	Le volume unitaire pouvant se propager dépasse 10 m ³	Destruction du gros œuvre. Ruine certaine. Perte de toute intégrité structurelle

Probabilité de départ sur une période de 100 ans :

L'observation des affleurements rocheux, quelles que soient les méthodes utilisées, ne permet pas d'indiquer avec certitude les probabilités de rupture pour des périodes de retour données. Dans le cadre de la réalisation d'une étude d'aléa, la probabilité de départ des blocs s'estime, outre l'approche historique / documentaire à partir des traces de départ visibles (cicatrices en falaises), du nombre des blocs observés dans la pente ou des traces d'impact laissées sur les arbres, elle peut aussi être appréciée par les observations faites dans des contextes similaires (géologie, topographie...). Il est proposé d'apprécier cette probabilité sous la forme d'un **indice d'activité** pour l'aléa de référence considéré.

Afin de qualifier de façon comparable l'activité de zones homogènes d'ampleur différente, cet indice doit intégrer une référence spatiale (nombre de bloc par hm² de surface ou par hm de longueur de falaise). Le JTC-1²⁸ propose de retenir pour la qualification de l'aléa sur linéaire de falaise :

- Très élevé > 1 chute/an/hm
- Elevé 0,1 à 1 chute/an/hm soit 1 à 10 chutes / 10 ans / hm
- Modéré 0,01 à 0,1 chute/an/hm soit 1 chute / 10 ans à 1 chute / 100 ans / hm
- Faible < 0.01 chute/an/hm soit < 1 chute/100 ans/hm

Sur cette base la MEZAP propose de retenir pour qualifier l'indice d'activité :

Indice d'activité par zone d'homogène	Description (pour un linéaire d'environ 100 m de zone de départ)
Faible	De l'ordre d'un bloc correspondant à l'aléa de référence tous les 100 ans
Moyen	De l'ordre d'un bloc correspondant à l'aléa de référence tous les 10 ans
Fort	De l'ordre d'un bloc correspondant à l'aléa de référence tous les ans

Comme pour l'intensité de phénomène, cet indice d'activité doit être justifié au regard en particulier des chroniques événementielles. Dans le cas d'absence d'historique sur le site, cet

²⁸ JTC-1 : Joint Technical Committee. Le comité technique joint (ISSMGE, ISRM, IAEG) sur «Landslides and Engineered Slopes» a préparé des directives cadrant les définitions et terminologies à utiliser sur le plan international ainsi que les descriptions des types et des niveaux de zonage de mouvements de terrain (Fell et al., 2008)

indice devrait être a priori faible, sauf justification par le prestataire. Le volume le plus fréquemment observé sur un site ne correspond pas forcément au volume de l'aléa de référence.

Probabilité de propagation

La zone de propagation représente la zone parcourue potentiellement par des éléments rocheux lors d'un éboulement : il s'agit de la zone dans laquelle les éléments rocheux passent et s'arrêtent. La probabilité de propagation (P_p) est la probabilité qu'un phénomène atteigne une zone donnée en considérant les zones de départs susceptibles de l'atteindre. Cette grandeur est indépendante de toute période d'observation. La cartographie de la probabilité de propagation permet de représenter la distribution spatiale des points d'arrêts potentiels d'une chute de bloc.

Cette probabilité est fonction des caractéristiques du versant étudié (pente, présence d'obstacles, nature du sol, etc.) et du projectile (forme, dimensions, etc.). La combinaison de ces nombreux paramètres régissant la propagation la rend relativement aléatoire.

Les observations de site et analyses de terrain donnent à l'expert des éléments indispensables et parfois suffisants pour estimer l'aléa de propagation.

Sur la base du guide MEZAP (paragraphe 3.6 et annexe 3 du guide MEZAP), des méthodes empiriques (type principe de la ligne d'énergie et des aires normalisées) devront être utilisées et sont laissées à l'initiative du titulaire pour estimer l'emprise globale de propagation (enveloppe d'arrêt des blocs).

Des méthodes prospectives (type modélisation des trajectoires en 2D/3D) sont également possibles sur les zones d'enjeux (voir le paragraphe consacré aux modélisations).

Le choix de la méthode d'évaluation de l'aléa de propagation et de la valeur d'angle de ligne d'énergie sera justifié par le chargé d'étude en fonction de sa connaissance du site, de son expérience sur des sites équivalents et des éventuelles modélisations trajectographiques permettant une comparaison avec une situation ou un site servant de référence.

Aléa résultant

Il s'agit de s'appuyer sur l'approche MEZAP dont le principe est de croiser la probabilité d'atteinte (elle-même donnée par l'indice d'activité définissant la probabilité de rupture et la probabilité de propagation) avec l'intensité (volume). Le principe extrait de MEZAP est détaillé ci-après :

Probabilité d'atteinte :

L'atteinte de phénomènes en tout point du territoire (probabilité d'atteinte P_a) est liée à la probabilité de rupture (P_r) et à la probabilité de propagation (P_p) précédemment définies. Pour le cas d'un bloc isolé : $P_a = P_r \times P_p$. La MEZAP propose de qualifier la probabilité d'atteinte à partir de la matrice ci-dessous. Cette matrice croise la **probabilité de propagation** et la **probabilité de départ** qualifiée par l'**indice d'activité**. Cette matrice prend en compte les recommandations du JTC-1 en matière de relation entre qualification et quantification du risque.

		Probabilité de propagation					
Activité		Très faible 10^{-6}	Faible 10^{-5}	Moyenne 10^{-4}	Forte 10^{-3}	Très forte 10^{-2}	Extrêmement forte
Indice d'activité	Faible (1 / 100 ans) 10^{-2}	Très faible			Faible	Moyenne	Forte
	Moyen (1 / 10 ans) 10^{-1}	Très faible		Faible	Moyenne	Forte	Très forte
	Fort (1 / an) 1	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte	Très forte

Qualification du niveau d'aléa :

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

Intensité	Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très fort	Phénomène de grande ampleur
Probabilité d'atteinte	Bloc $\leq$ 0.05m ³	0.05m ³ < Bloc $\leq$ 0.25m ³	0.25m ³ < Bloc $\leq$ 1m ³	1m ³ < Bloc $\leq$ 10m ³	Bloc >10m ³	
Très faible	Nul à négligeable	Nul à négligeable	Nul à négligeable	Nul à négligeable	Nul à négligeable	Très fort aggravé (P5)
^{10⁻⁶} Faible	Faible (P1)	Faible (P1)	Moyen (P2)	Fort (P3)	Fort (P3)	
^{10⁻⁵} Moyenne	Faible (P1)	Faible (P1)	Moyen (P2)	Fort (P3)	Fort (P3)	
^{10⁻⁴} Forte	Faible (P1)	Moyen (P2)	Fort (P3)	Fort (P3)	Très fort (P4)	
^{10⁻³} Très forte	Moyen (P2)	Fort (P3)	Fort (P3)	Très fort (P4)	Très fort (P4)	

* La probabilité d'atteinte Très faible génère un aléa négligeable. Pour le cas particulier d'intensités fortes ou très fortes, on peut cependant recommander une étude de mise en sécurité si des enjeux forts ou particuliers sont présents.

Ouvrages de protection :

Un recensement des ouvrages doit être fait conformément à l'annexe 10. Ce recensement et le tableau d'analyse associé permettra de déterminer la façon dont ces ouvrages doivent être considérés pour la qualification de l'aléa.

L'aléa à l'arrière de l'ouvrage correspondra à l'aléa sans prise en compte de l'ouvrage. Si l'ouvrage peut être pris en compte, des hachures afficheront la zone protégée, permettant ainsi de déterminer le zonage réglementaire associé.

Bâtiments existants en zone de propagation et d'arrêt :

La configuration particulière des sites urbanisés avec des affleurements directement à l'aplomb des enjeux bâtis ne doit pas conduire l'expertise à considérer un arrêt des blocs contre les bâtiments. Les Cotech nationaux ont confirmé que le bâti et ses annexes (murs, murets) ne devaient pas être considérés comme un obstacle. Ils seront donc transparents aux blocs (et remplacés par un « replat » en cas de modélisation - voir ci-après) et l'affichage des limites de propagations de l'aléa n'en tiendra pas compte.

Rôle de la forêt

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 peuvent néanmoins être identifiées dans la cartographie pour permettre la mise en place d'une politique de leur préservation autant que possible.

Modélisations

Pour rappel, la modélisation n'est qu'un outil d'aide à la décision, indissociable de l'expertise. La modélisation trajectographique ne peut être vue comme une méthode qui apporte une préci-

sion sur l'aléa par rapport à la ligne d'énergie ou le dire d'expert. Il s'agit plutôt d'une méthode qui complète le spectre d'analyse et apporte des éléments d'aide à la décision de l'expert.

Obligatoires : sur l'ensemble des parois et corniches générant des chutes de blocs. Les méthodes empiriques (type principe de la ligne d'énergie et les aires normalisées) seront utilisées.

Facultatives, au cas par cas selon le niveau d'enjeux : sur l'ensemble des parois et corniches surplombant des zones d'enjeux anthropiques, hors infrastructures de transports (zones d'habitations, zones industrielles et économiques, enjeux localisés habités, ERP, ...).

Les cadrages méthodologiques sont précisés dans l'annexe 9 « Cadrage et prise en compte des modélisations pour aider à la qualification des aléas. »

Aléas effondrement et suffosion - F

Rappel de la définition des phénomènes

Affaissement, effondrement :

Evolution de cavités souterraines d'origine naturelle (karst) ou anthropiques* avec des manifestations en surface lentes et progressives (affaissement) ou rapides et brutales (effondrements).

**Celles d'origine minière ne relèvent pas des PPRN, mais peuvent y être signalées pour information sous forme de hachures par exemple.*

Suffosion :

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.

Caractérisation de l'aléa

Ces mouvements sont liés à l'existence et à l'évolution de cavités souterraines d'origine naturelle, donc difficilement décelables, créées souvent par dissolution de roches salines (gypse, anhydrite, halite, évaporites) ou par formation de karst dans les roches carbonatées (calcaire, dolomie...) ou encore par entraînement de particules fines (argiles, limons) dans des terrains meubles constitués aussi de sables et graviers, dû à des circulations d'eaux souterraines (suffosion). Mais il peut aussi s'agir de cavités d'origine anthropique (tunnels, carrières...)

Cavités souterraines d'origine anthropique

Pour les cavités souterraines d'origine anthropique autres que les mines, 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 (DGPR, octobre 2012).

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.

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.

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 prédisposition²⁹ 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

29 Note Ineris juin 2024 : « imminent = de quelques jours à quelques mois (cette notion est notamment utilisée pour les arrêtés de péril) », « court terme = quelques années », « long terme = une centaine d'année »

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.³⁰

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.

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.

Grille de caractérisation

Cette grille de caractérisation s'inspire de la grille élaborée par le Cerema en 2018 (cf Bibliographie)

Aléa	Indice	Critères
Fort	F3	• Effondrement existant (fontis) • Zone tampon autour du fontis, d'environ 30 m en contexte de roches solubles/karst et d'environ 10 m en contexte de suffosion (cône d'influence) • Affaissement existant avec mise en pente > 3%, pouvant provoquer des désordres incompatibles avec la fonctionnalité d'un bâtiment • Zone de présence avérée (par sondage) de cavités de dissolution à une profondeur < 20 m et auréole de sécurité d'environ 30 m • Formation karstifiable et/ou soluble (essentiellement gypse, anhydrite, halite, voire cargneule) affleurante ou sub-affleurante (profondeur maximale de l'ordre de 20 m), avec formation probable de cavités au cours du siècle (karstification, fracturation, circulation d'eau agressive non saturée en sulfates ou carbonates...) • Zone de suffosion avérée dans les matériaux alluvionnaires et morainiques (entraînement de particules fines par circulations d'eaux souterraines), avec désordres apparents ou historiques en surface • Zone de galeries anthropiques abandonnées ou reconnues comme instables, à une profondeur < 20 m
Moyen	F2	• Zone tampon élargie autour du fontis, à une distance comprise entre 30 et 200 m en contexte de roches solubles/karst et entre 10 et 30 m en contexte de suffosion (modulable suivant les cas et la géologie observée) • Affaissement existant très localisé, avec une mise en pente < 3% pouvant provoquer des désordres légers, sans atteinte aux fonctionnalités d'un bâtiment • Formation karstifiable et/ou soluble (essentiellement gypse,

30 Note Ineris juin 24 : « L'aléa de référence doit être défini par configurations homogènes (géologie, méthode d'exploitation, profondeur...similaires). Si les facteurs ayant contribué aux déclenchements et au développement de l'évènement historique le plus important, ne sont plus réunis sur le site étudié ou que les configurations sont différentes pour les autres cavités du site, cet effondrement ne pourra pas constituer l'aléa de référence pour l'ensemble du site étudié [...] Aussi, un même site d'étude pourra intégrer plusieurs aléas de référence si plusieurs configurations homogènes de cavités sont définies»

Aléa	Indice	Critères
		anhydrite, halite, voire cargneule, dolomie) affleurante ou suspectée à une profondeur < 20 m, sans désordre apparent ou historique en surface, sans circulation d'eau avérée et sans indice de présence de cavité • Zone d'extension possible de galeries anthropiques non reconnues
Faible	F1	• Formation karstifiable et/ou soluble suspectée à une profondeur comprise entre 20 et 50 m, sans désordre apparent ou historique en surface • Karst calcaire, avec très faible probabilité d'effondrement • Zone de suffosion possible mais sans désordre apparent ou historique en surface sur le secteur • Zone de galeries anthropiques reconnues comme résistantes et non évolutives

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.

Rappel de la définition du phénomène

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.

Caractérisation de l'aléa

L'aléa avalanche est qualifié sur la base du guide méthodologique PPRN avalanches d'août 2015 et sur la base de la note DGPR de qualification et cartographie des avalanches de référence exceptionnelles de janvier 2022.

Le présent paragraphe en rappelle les principaux principes en les précisant sur quelques points.

La qualification porte sur un aléa de référence centennal (ARC) pour tous les couloirs de la zone d'étude et sur un aléa de référence exceptionnel (ARE) pour certains couloirs préalablement identifiés par le maître d'ouvrage de la carte des aléas (sur la base d'un pré-diagnostic réalisé par l'ONF-RTM)

Définition détaillée des phénomènes avalancheux et de leurs effets :

Une avalanche est la mise en mouvement brutale et rapide d'une masse de neige sur une pente généralement comprise entre 30 et 55°, lorsque les forces de résistance interne et externe du manteau neigeux deviennent inférieures à la force de pesanteur.

L'avalanche est amorcée par une rupture mobilisant tout ou partie de l'épaisseur du manteau neigeux en zone de départ. Elle transite ensuite dans un couloir ou sur un versant, que l'on qualifie de zone d'écoulement. Elle décélère et finit par s'arrêter sur une zone à faible pente et souvent évasée que l'on appelle zone d'arrêt (ou de dépôt).

On peut distinguer :

- les avalanches coulantes de neige dense humide, qui sont généralement peu rapides, qui suivent la ligne de plus grande pente et les micro-reliefs, mais qui peuvent exercer des pressions très importantes sur les obstacles ;
- les avalanches coulantes de neige froide, non transformée, peu denses et rapides.
- les aérosols, mélange turbulent d'air et de particules de neige se déplaçant à grande vitesse (100 km/h et plus) L'aérosol est généré par la vitesse élevée de certaines avalanches de neige froide.

Les biens exposés aux avalanches subissent une poussée dynamique (pression d'impact) sur les façades exposées à l'écoulement mais aussi à un moindre degré sur les autres façades. Les façades pourront également subir des efforts de poinçonnement liés à la présence, dans l'avalanche, d'éléments étrangers : arbres, branches, blocs rocheux, etc. Ces contraintes peuvent entraîner la ruine des constructions. Par ailleurs, les constructions pourront être ensevelies par les avalanches.

Détermination de l'Aléa de Référence Centennale (ARC)

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 %.

Plusieurs scénarios de référence peuvent être déterminés pour un même couloir. La variabilité des scénarios tient à des conditions de déclenchement ou de propagation différentes (exemples : type d'avalanche, comparaison au plus fort événement connu, hypothèse de zone de départ ou d'extension longitudinale ou latérale différentes de celles connues...).

Pour chaque couloir le prestataire explicitera le ou les scénarios de référence retenu(s) et les raisons de son choix.

La qualification de l'intensité de l'aléa de référence se fait au travers d'une valeur de pression d'impact exercée par l'avalanche. Pour autant, étant donné les difficultés de quantification des pressions dans l'avalanche, et les différences entre la pression dynamique dans l'écoulement et la pression d'impact subit par un obstacle (référence pour le règlement), l'appréciation du prestataire s'appuiera aussi sur les possibles impacts de l'écoulement sur les enjeux. Il pourra pour cela s'appuyer sur la « grille d'intensité des avalanches ».

Alea	Indice	Critères
Fort	A3	Zone d'écoulement des avalanches coulantes et mixtes. Zone d'arrêt des avalanches coulantes, avec des dépôts denses et épais de plusieurs mètres. Zone où des bâtiments, même renforcés, ont subi des dommages structurels lourds. Zone de transit de puissants aérosols, avec destruction de boisements entiers. Zone soumise à des pressions d'impact > 30 kPa, en cas de simulations numériques.
Moyen	A2	Fin de zone d'arrêt des avalanches coulantes/mixtes de neige sèche, avec des dépôts peu denses et peu épais. Zone d'écoulement et d'arrêt de coulées de neige diffuses et non canalisées. Zone où des bâtiments renforcés n'ont subi que des dommages mineurs. Zone de transit des aérosols avec dégâts localisés dans le boisement... Zone soumise à des pressions d'impact comprises entre 30 et 3 kPa, en cas de simulations.
Faible	A1	Zone de dispersion des aérosols, avec des dégâts isolés et limités (branches cassées...), purge de petits talus < 20 m. Zone où des bâtiments, même non renforcés, n'ont subi que des dommages mineurs (vitres cassés, tuiles ou lauzes déplacées, plâtre...). Zone soumise à des pressions d'impact comprises entre 1 et 3 kPa, en cas de simulations.

La fixation de la limite entre A2 et A3 sur la base de l'intensité est déterminée à dire d'expert, ce dernier pouvant s'appuyer notamment sur le résultat de modélisations.

Prise en compte de la forêt :

La doctrine actuellement retenue est de ne pas prendre en compte le rôle de la forêt dans l'affichage réglementaire du risque, même si une expertise au cas par cas peut permettre d'affiner l'aléa en amont de secteurs urbanisés.

On distingue deux cas de figure :

- en présence d'une forêt ayant toujours existé en zone de départ potentiel d'avalanche, si cette forêt est jugée efficace 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 dans un objectif de préservation, voire de gestion optimisée.
- en présence d'une forêt récente, ayant par exemple été introduite afin de limiter l'aléa avalanche, le rôle de protection de cette forêt n'est pas retenu. En revanche, il est possible de réglementer la gestion de ces zones boisées et il appartient donc au prestataire de les identifier ainsi que d'associer les grandes règles de gestion afférentes.

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

Un recensement des ouvrages doit être fait conformément à l'annexe 10. Ce recensement et le tableau d'analyse associé permettra de déterminer la façon dont ces ouvrages doivent être considérés pour la qualification de l'aléa.

Cas général :

- La carte des aléas est établie en ne tenant pas compte des effets favorables d'éventuels dispositifs de protection, bâtiments, infrastructures et modifications topographiques. Les effets défavorables (augmentation du niveau d'aléa ou extension de la zone d'aléa vers d'autres terrains du fait de ces modifications anthropiques) doivent par contre être pris en compte dans la carte.

Exceptions justifiées :

- Les seuls ouvrages de protection potentiellement pris en compte pour la cartographie des aléas sont les tournes, les digues de limitation de l'extension de la partie terminale de l'avalanche et les étraves, sous réserve qu'ils soient correctement dimensionnés et gérés par un maître d'ouvrage public administrativement et financièrement pérenne.
- Les modifications topographiques importantes (terrassements) peuvent également être prises en compte, sous réserve d'une validation au cas par cas et fonction de leur impact sur l'écoulement et des enjeux concernés.
- Par ailleurs, le prestataire pourra proposer au maître d'ouvrage la prise en compte d'autres ouvrages dans des cas particuliers si cela se justifie et lui paraît pertinent.

Des modélisations spécifiques sont attendues pour les ouvrages pris en compte afin de valider les dimensionnements fonctionnels (Le prestataire pourra utilement s'appuyer sur la note « Dimensionnement fonctionnel des digues paravalanches »).

L'affichage des zones protégées sur les rendus cartographiques ne concernera que les ouvrages pris en compte.

Détermination de l'Aléa de Référence Exceptionnelle (ARE)

Aléa exceptionnel	AE
-------------------	----

Il prend en compte les événements plus forts que l'aléa de référence centennal et a pour objectifs principaux : l'information des habitants occupants, la réglementation des établissements recevant du public dans ces zones et de disposer d'information de connaissances utiles pour l'élaboration du plan communal de sauvegarde.

Conformément à la note DGPR 2022 (mise à jour en 2023) sur les ARE, on distingue 6 types de scénarios possibles d'ARE qui devront être réfléchis sur les différentes trajectoires du diagnostic proposé par le maître d'ouvrage.

1. Connaissance d'un événement historique majeur antérieur à la fin du petit âge glaciaire (milieu XIXe siècle)
2. Présence d'une topographie favorable à un dépassement des limites connues
3. Simulation numérique guidée par des paramètres nivologiques « tricentennaux » → sera demandée pour tous les couloirs identifiés dans le pré-diagnostic.
4. Présence d'une topographie favorable à un effet de seuil (avalanche à ressaut)
5. Configuration de la zone de départ favorable à des départs élargis
6. Contexte morpho-climatique favorable à des avalanches multiples sur un même site au cours de la saison

Le prestataire retenu veillera à bien analyser l'impact des ouvrages et des modifications durables de la topographie sur l'avalanche de référence exceptionnel. Il veillera aussi à prendre en compte des phénomènes émergeant liés au réchauffement climatique, comme de grosses avalanches de neige humide en plein hiver, avec des trajectoires surprenantes pouvant suivre des voiries ou diffuser latéralement (warm plug notamment).

Pour chaque couloir le prestataire explicitera le ou les scénarios de référence exceptionnels retenu(s) ou non et les raisons de son choix. Le paragraphe présentant le scénario retenu s'inspirera de l'exemple de l'annexe 1 de la note DGPR 2022 (mise à jour en 2023) sur les ARE, en veillant à produire le niveau de description attendu au chapitre VI de la note ARE. Ces scénarios feront l'objet d'un point d'arrêt de validation avec le donneur d'ordre.

En ce qui concerne l'usage des modélisations, voir l'annexe 9.