



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

DIRECTION
GÉNÉRALE DE
LA PRÉVENTION
DES RISQUES
JUILLET 2023

Note méthodologique

Qualification et cartographie des
avalanches de référence exceptionnelles
dans les plans de prévention des risques
naturels (PPRN)

mise à jour juillet 2023



Avalanche du Cialancier (St Etienne de Tinée – 06) du 17/12/2008. Source : PGHM 06.

Sommaire

INTRODUCTION.....	3
1 L’AVALANCHE DE RÉFÉRENCE EXCEPTIONNELLE.....	4
2 LA PRISE EN COMPTE DE L’ALÉA DE RÉFÉRENCE EXCEPTIONNEL (ARE).....	4
3 LES SITES (HABITÉS) SENSIBLES AUX AVALANCHES (SSA (H)).....	5
4 LE PÉRIMÈTRE D’ÉTUDE DES ALÉAS EXCEPTIONNELS : UNE APPRÉCIATION LOCALE.....	5
5 UN NIVEAU D’INVESTIGATION PROPORTIONNÉ EN FONCTION DES SITES.....	6
I. LA PRÉ-IDENTIFICATION ET LE TRACÉ, AU SEIN DU PÉRIMÈTRE D’ÉTUDE RETENU, DES TRAJECTOIRES D’ARE SUSCEPTIBLES D’ATTEINDRE LE PÉRIMÈTRE RÉGLEMENTÉ DU PPR.....	6
II. L’ÉVALUATION SOMMAIRE DU NIVEAU DES ENJEUX POTENTIELLEMENT EXPOSÉS.....	7
III. LA PROPOSITION D’UN NIVEAU D’INVESTIGATION ADAPTÉ.....	7
6 L’INTÉRÊT D’UNE BONNE DESCRIPTION DES SCÉNARIOS POUR PERMETTRE LEUR EXPLOITATION.....	8
7 LES SCÉNARIOS POSSIBLES D’ARE DANS UN PPR.....	8
8 L’IMPACT DE L’ÉVOLUTION DE LA STRUCTURE DU MANTEAU NEIGEUX SUR LA CARTOGRAPHIE DE L’ALÉA RÉFÉRENCE EXCEPTIONNEL.....	13
9 LES MOYENS ET MÉTHODES À MOBILISER POUR QUALIFIER LES AVALANCHES EXCEPTIONNELLES.....	14
I. LA RECHERCHE D’ÉVÉNEMENTS HISTORIQUES DU PETIT ÂGE GLACIAIRE.....	14
II. L’ANALYSE GÉOMORPHOLOGIQUE DES SITES AVALANCHEUX.....	14
III. L’ANALYSE NIVO-MÉTRIQUE LOCALE.....	15
V. LES AUTRES APPROCHES.....	16
10 LA REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES ALÉAS DE RÉFÉRENCE EXCEPTIONNELS.....	17
11 LA VALIDATION DE L’ARE RETENU.....	19
12 LES PRINCIPALES ÉTAPES POUR LA PRISE EN COMPTE DES ARE DANS LES PPR.....	20
ANNEXES.....	21
ANNEXE 1 - GLOSSAIRE ET ABRÉVIATIONS.....	21
ANNEXE 2 - BIBLIOGRAPHIE.....	23
ANNEXE 3 - LISTE DES MEMBRES DU GROUPE DE TRAVAIL.....	26

Introduction

Le ministère de la transition écologique (MTE) a affirmé la nécessité de prendre en compte et de cartographier les zones d'aléas d'avalanches de référence exceptionnelles dans les plans de prévention des risques naturels (PPRN), par la publication, en août 2015, d'un guide méthodologique « PPR avalanche » actualisé, et par une instruction ministérielle datée du 28 septembre 2015

Si les zones d'interdiction de construire dites « zones rouges » et celles où des prescriptions s'imposent dites « zones bleues » sont fondées sur l'aléa de référence centennal et prévoient déjà des dispositions pour assurer la sécurité des biens et des personnes dans les PPRN existants et les documents d'urbanisme associés, l'aléa de référence exceptionnel est un élément complémentaire à prendre en compte pour assurer la sécurité des personnes. Il doit à ce titre être pris en considération dans les PPRN au plan réglementaire avec un zonage spécifique. Ainsi, en plus des zones « rouges » et « bleues » correspondant à l'aléa de référence centennal, est créée une zone « jaune » relevant de l'aléa de référence exceptionnel.

Dans les zones concernées par l'avalanche exceptionnelle, l'instruction ministérielle du 28 septembre 2015 demande uniquement d'interdire l'implantation des équipements publics nécessaires à la gestion des périodes à haut risque d'avalanches (centre de secours, centre de gestion de crise, hôpital, hélicoptère, etc.) et celle d'établissements recevant du public (ERP) avec hébergement qui ne possèdent pas de zones de confinement sécurisées. Par ailleurs, la détermination de l'aléa de référence exceptionnel vise à permettre la bonne information des occupants des bâtiments qui y sont situés afin d'organiser au mieux leur évacuation ou leur confinement si le bâtiment le permet.

La présente note a vocation à compléter le guide « PPR avalanche » sur la méthodologie de qualification et de cartographie de l'aléa exceptionnel d'avalanche, afin de garantir une homogénéité des études et des résultats.

Elle a été établie par la DGPR à partir des travaux d'un groupe de travail composé de services déconcentrés, d'experts et de scientifiques (liste des membres en annexe).

Cette note méthodologique complète ainsi le guide « PPR avalanche » par un éclairage technico-scientifique sur ces phénomènes et sur les moyens de les appréhender, mais aussi par une méthodologie pragmatique de cartographie basée sur l'état de l'art.

1

L'avalanche de référence exceptionnelle

Dans les plans de prévention des risques (PPR), une avalanche « exceptionnelle » doit être comprise comme une avalanche d'extension ou d'intensité supérieure à l'avalanche centennale, dans la limite d'un scénario « vraisemblable ». Il est convenu de considérer qu'une avalanche plus rare que l'avalanche tri-centennale, devient trop hypothétique pour être prise en compte dans les PPR.

Du point de vue statistique, un phénomène tri-centennal a une probabilité de 1 sur 300 de se produire en moyenne chaque année. S'agissant d'une moyenne, deux événements tri-centennaux peuvent se produire au cours du même siècle ou au contraire être espacés de plus de 300 ans. Il en résulte mathématiquement qu'un phénomène tri-centennal a seulement 24 % de probabilité d'être observé sur un siècle et 63 % au moins une fois sur trois siècles.

S'agissant des avalanches, il est délicat de parler de longue période de retour, car les données climatiques contribuant à leur réalisation ne sont pas connues au cours des siècles. En supposant qu'elles le soient, et que l'on dispose d'une chronique complète des principales avalanches sur un couloir donné depuis 300 ans, ce qui n'est quasiment jamais le cas, on aurait donc encore 37 % de probabilité de passer à côté de l'avalanche tri-centennale...

L'**avalanche de référence exceptionnelle**, lorsqu'elle est simulée à l'aide d'un modèle numérique, est le plus souvent assimilée à l'**avalanche mobilisant une épaisseur de manteau neigeux correspondant au cumul tri-centennal de neige fraîche sur 3 jours consécutifs**. On ne parle plus, alors, de période de retour du phénomène mais de période de retour des chutes de neige à l'origine du phénomène, en considérant par un raccourci simplificateur que les deux sont équivalentes.

2

La prise en compte de l'aléa de référence exceptionnel (ARE)

Conformément au point 2 de l'instruction du Gouvernement du 28 septembre 2015 relative à la mise en œuvre des PPRN avalanches, les trois objectifs principaux de la prise en compte des zones d'avalanches exceptionnelles (« zones jaunes » dans la carte réglementaire des PPR) sont de :

- permettre une bonne information des habitants/occupants des bâtiments jugés exposés au risque d'avalanche, y compris par les phénomènes plus rares que l'aléa de référence ;
- réglementer dans ces zones les établissements recevant du public (ERP) avec hébergement, ainsi que les équipements publics nécessaires à la gestion des périodes à haut risque d'avalanche (centre de secours, centre de gestion de crise, hôpital, hélicoptère...). Il s'agit par exemple de prescrire pour tout nouveau projet des confinements fiables¹, ceci notamment lorsque des établissements recevant du public avec hébergement sont projetés (cf. page 83 du guide méthodologique PPR avalanche (MEDDE, août 2015)) ;
- disposer d'éléments de connaissance utiles pour l'élaboration ultérieure du plan communal de sauvegarde (PCS), notamment des données d'intensité (mode de survenance et effets du phénomène de référence) dans ces zones pour permettre la mise en œuvre de mesures proportionnées en période de risque exceptionnel (évacuation, confinement...).

La définition de l'aléa de référence exceptionnel (ARE) dépasse donc le cadre des PPR et des documents d'urbanisme. Il est essentiel que toutes les données, études et résultats de

¹ Ceci nécessite une caractérisation de l'aléa et de son impact sur les bâtiments (notamment des surpressions, afin de dimensionner les structures de confinement).

concertation ayant conduit au choix de cet ARE soient conservés et communiqués aux collectivités, de même que pour l'aléa de référence centennal (ARC).

3

Les sites (habités) sensibles aux avalanches (SSA (H))

Après la catastrophe de Montroc en février 1999 (Chamonix – Haute-Savoie), le rapport d'inspection établi par le CGEDD préconisait de réaliser un inventaire des sites d'avalanches habités, pouvant être à l'origine d'autres catastrophes et désignés comme sites sensibles d'avalanche (SSA). Cet inventaire a été réalisé par l'ONF-RTM entre 2006 et 2009 en suivant un protocole élaboré par un groupe d'experts piloté par l'INRAE. L'inventaire final (2011) recense 1 431 sites qui ont été classés selon trois niveaux de sensibilité au risque (cf. www.avalanches.fr) : sensibilité « forte », « douteuse »² et « faible ». Les sites de sensibilité « forte » à « douteuse » (46 % des sites au total) sont ceux où l'étude de l'ARE doit être menée avec le plus de soin, car l'occurrence d'une ARE est susceptible d'y occasionner des dommages importants.

Par rapport à une approche purement centrée sur l'aléa de type « définition de l'ARE », l'originalité de la démarche des SSA est de fournir un niveau de risque combinant aléa et enjeux. Il s'agissait entre autres d'évaluer l'importance des enjeux présents dans une extension de +5 %, +10 % et +20 % de la longueur totale de l'emprise maximale d'avalanche connue (F. Rapin, 2004). Cette méthode systématique a permis d'alerter les pouvoirs publics sur la possibilité d'une situation catastrophique, notamment en cas de dépassement longitudinal de la limite d'arrêt connue, au droit d'enjeux existants. *A contrario*, la classification des SSA ne décrit ni l'emprise ni la nature de l'ARE. En outre, la classification fait référence au niveau d'aléa, d'exposition et de vulnérabilité de 2003 environ. Elle n'a pas été réévaluée depuis, alors qu'une ou plusieurs des composantes du risque (ou de sa connaissance) ont pu évoluer significativement depuis.

4

Le périmètre d'étude des aléas exceptionnels : une appréciation locale

Si les ARC (cf. glossaire : aléa de référence centennal) peuvent être définis à la lumière des événements historiques recensés, la cartographie des ARE est souvent plus prospective et peut nécessiter davantage de recherche documentaire et de modélisation. Compte tenu de cette spécificité et des objectifs de la prise en compte de ces ARE (cf. II ci-avant), la zone étudiée pour définir l'ARE coïncidera avec le périmètre du PPR afin d'éviter des discontinuités qui amèneraient à terme à ne pas considérer certaines zones à risque. En font partie les bassins-versants pouvant menacer les zones urbanisées et urbanisables à court ou moyen terme, plus d'éventuels bâtiments ou ERP isolés mais habités l'hiver (ces zones d'enjeux constituant le plus souvent le périmètre réglementé du PPR).

² Le terme de « douteuse » employé dans la classification des SSA renvoie à la sensibilité et non à la réalité du risque (voir également le glossaire). Il est fortement préconisé de ne pas l'employer en dehors du contexte de l'inventaire des SSA et notamment pas dans le cadre de l'élaboration du PPR (en particulier pour les démarches de concertation du PPR) où le mot pourrait « semer le doute » dans les esprits alors qu'il signifie en fait « sensibilité intermédiaire ».

5

Un niveau d'investigation proportionné en fonction des sites

Au sein du périmètre d'étude, certaines trajectoires apparaissent plus complexes et/ou semblent menacer des enjeux plus importants que d'autres. Pour ces dernières, il est logique de déployer des moyens d'investigation plus élaborés que la moyenne (enquête historique spécifique, visite de terrain approfondie, modélisations numériques...). En revanche, pour les autres, les moyens peuvent être plus limités (exploitation des données existantes et accessibles, stéréoscopie, dire d'expert sommaire). Cette répartition des moyens suivant les caractéristiques de chaque site permet de mieux étudier les sites les plus à risque, tout en proportionnant l'effort.

L'intérêt d'une telle démarche vaut aussi pour les ARC mais est prioritaire pour la qualification des ARE qui nécessite plus souvent des outils spécifiques. Pour autant, la pré-identification des trajectoires d'ARE les plus problématiques va aussi, nécessairement, mettre en lumière les principaux ARC dont ils sont souvent l'extension. C'est donc un travail structurant, bénéficiant à l'ensemble du PPR Avalanche.

Le recours à ces outils sur certains sites avalancheux peut être proposé par le bureau d'études chargé du PPR, une fois l'inventaire des ARE engagé. Il appartient alors à la DDT(M) de valider ces choix.

Lorsque le contexte départemental s'y prête, cette modulation des moyens d'investigation en fonction des sites peut être réalisée en amont de la consultation des bureaux d'études, pour mieux cerner, dès le départ, les problématiques d'avalanche de la commune. Cela peut nécessiter l'assistance technique d'une assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO) auprès des directions départementales des territoires (et de la mer) (DDT(M)), par exemple de l'ONF-RTM (Office national des forêts/ services de restauration des terrains en montagne). L'ONF-RTM peut en effet, dans le cadre de la mission d'intérêt général « Risques » précisée par convention entre la DGPR et l'ONF, intervenir en AMO auprès des services déconcentrés pour l'élaboration des plans de prévention des risques naturels. L'AMO pré-identifie les trajectoires d'avalanches exceptionnelles menaçant le périmètre réglementé et propose des moyens d'investigation adaptés à chacune d'elles. Dans le détail, cela consistera à :

I. La pré-identification et le tracé, au sein du périmètre d'étude retenu, des trajectoires d'ARE susceptibles d'atteindre le périmètre réglementé du PPR.

Ce diagnostic peut être conduit en quelques heures depuis le bureau, en s'appuyant sur les emprises connues (CLPA, carte des sites –Enquête permanente sur les avalanches (EPA)-, carte d'aléa existante...) et sur un examen topographique rapide (carte des pentes sur fond topographique de l'IGN_ geoportail.gouv.fr, vues Google Earth® en 3D...). Il ne sera pas demandé, à ce stade, de réaliser une expertise détaillée mais d'entrevoir la problématique de chaque site : extension longitudinale dans l'axe d'écoulement connu (type méthode SSA), extension latérale, changement de trajectoire en zone d'écoulement, départ potentiel au vu de la pente... Il sera demandé, à ce niveau de réflexion, de rester large dans le choix des trajectoires, quitte à figurer en pointillés celles qui demandent un approfondissement et des études complémentaires (notamment les sites dont la sensibilité au risque (et non le risque) est indiquée comme « douteuse » dans le vocable des sites sensibles aux avalanches (SSA), à retrouver dans le glossaire).

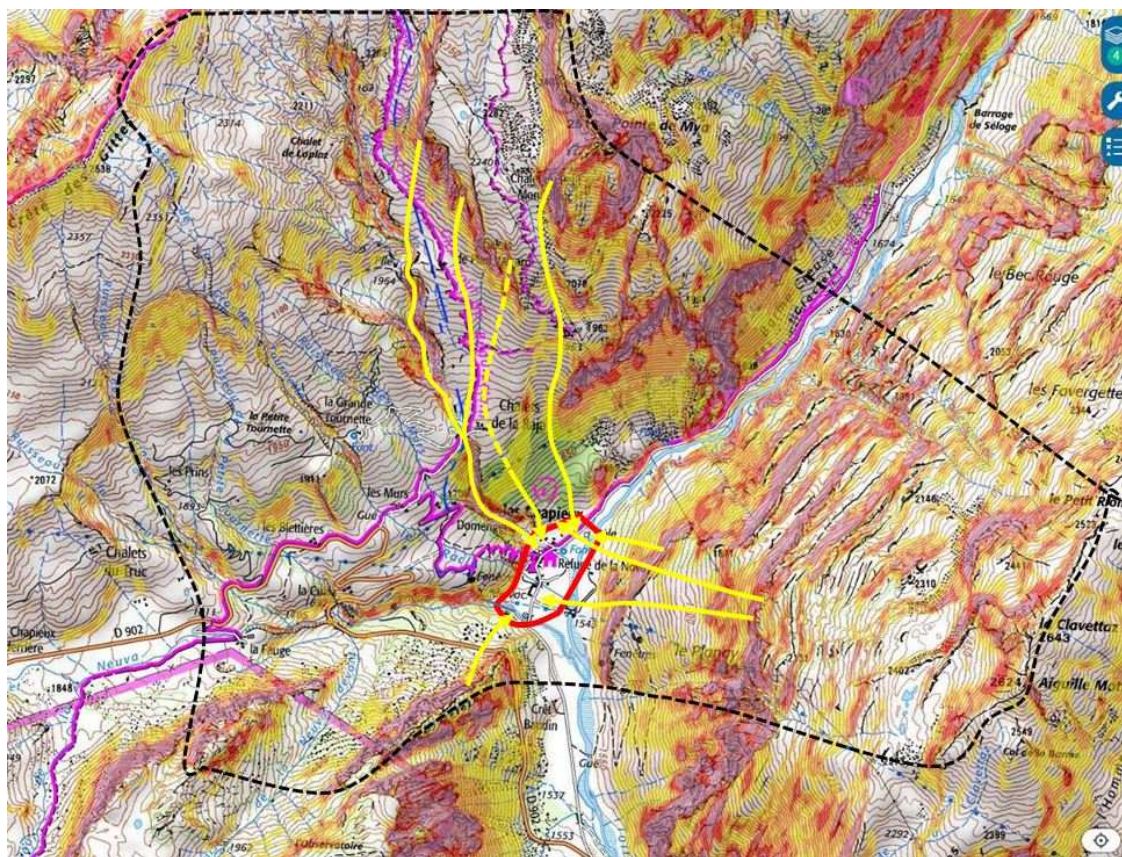
II. L'évaluation sommaire du niveau des enjeux potentiellement exposés

Ce diagnostic peut être conduit en croisant sommairement les extensions pré-identifiées avec le bâti existant (visible sur SCAN25®, ortho photos de l'IGN, photos...). Le cas échéant, il est aussi possible de se référer au paragraphe vulnérabilité de la fiche SSA. Les zones d'urbanisation programmées peuvent aussi être intégrées à la réflexion (zones AU du PLU, SCOT).

III. La proposition d'un niveau d'investigation adapté

Il convient de proposer un niveau d'investigation adapté y compris pour le choix des types de modèles numériques, le cas échéant pour chaque trajectoire retenue, en fonction du niveau de risque pressenti et de la complexité du couloir.

Ce « pré-diagnostic » doit permettre à la DDT(M) de préciser dans le cahier des charges les moyens d'investigation attendus, mais aussi d'identifier les sites à risque nécessitant une plus grande vigilance lors du contrôle de la production du bureau d'études. Si des modélisations sont demandées, elles seront conduites pour aider à déterminer l'ARE tout en s'assurant de la cohérence avec l'ARC. Il conviendra également de veiller à ce que les incertitudes soient précisées et affichées.



Exemple de trajectoires d'ARE pré-identifiées (en jaune), pouvant dépasser le périmètre réglementé du PPR (en rouge), sur fonds IGN disponibles sous www.geoportail.gouv.fr (source : ONF)

Si le bureau d'études retenu identifiait par la suite d'autres besoins, des études complémentaires pourront être menées.

La commune concernée peut légitimement être destinataire de ce pré-diagnostic, dans le cadre de la concertation locale lors de l'élaboration du PPR.

6

L'intérêt d'une bonne description des scénarios pour permettre leur exploitation

Le niveau d'approfondissement de l'étude de l'ARE ne doit pas dépasser celui des études liées à l'ARC, sauf cas particulier identifié par le service de l'État chargé de l'élaboration du PPR. Cependant, il apparaît indispensable, comme pour l'ARC, que la note de présentation du PPR, dans un souci de traçabilité, affiche sous forme d'un paragraphe les éléments principaux du ou des scénarios de l'ARE retenus zone par zone : facteurs nivo-météorologiques déclencheurs, localisation de la zone de départ, conjonction éventuelle de plusieurs phénomènes, type d'écoulement, trajectoire, extension et impact prévisible sur les enjeux (surpression, etc.). Les méthodes utilisées pour modéliser les avalanches seront également précisées.

Le PCS relève de la responsabilité du maire, et doit s'appuyer, entre autres sources d'information, sur les éléments descriptifs du PPR, établi sous la responsabilité du préfet.

Le tracé d'une zone d'ARE dans un PPR implique aujourd'hui des mesures de sauvegarde des personnes dans le PCS, au même titre que pour les autres niveaux d'aléa, avec si nécessaire des prescriptions adaptées (niveau d'alerte, etc.). Pour être efficaces, ces mesures doivent tenir compte du mode de survenance et des effets du phénomène de référence. Il importe donc que le ou les scénarios à l'origine de la zone soient clairement explicités, décrits³ et rendus publics. Il serait dommage que ces éléments descriptifs, qui ont vocation à figurer dans le PCS, ne bénéficient pas de toutes les réflexions menées à l'amont lors de la réalisation des PPR.

7

Les scénarios possibles d'ARE dans un PPR

Le guide « PPR avalanche » (cf. pages 54 et 55) présente trois approches permettant de définir les scénarios possibles d'ARE.

Les retours d'expérience et les articles scientifiques sur le sujet montrent que plusieurs clés d'entrée doivent être envisagées. Le bureau d'études devra donc utiliser l'ensemble des « clés d'entrées » présentées ci-dessous.

I. Les clés d'entrée

1) **LA CONNAISSANCE D'UN ÉVÉNEMENT HISTORIQUE MAJEUR, ANTÉRIEUR À LA FIN DU PETIT ÂGE GLACIAIRE (MILIEU DU XIX^E SIÈCLE).**

Comme rappelé précédemment, les conditions climatiques du Petit Âge Glaciaire (PAG : considérer globalement la période de 1 300 à 1 860 environ) étaient plus froides qu'au cours des siècles suivants (températures moyennes inférieures d'un 1 °C en Europe et de 2 °C dans les Alpes aux valeurs de référence du XX^e siècle, avant accélération du réchauffement climatique depuis la fin des années 80). Les avalanches durant cette période étaient donc en moyenne plus volumineuses, poudreuses et étendues que celles observées depuis le milieu du XIX^e siècle. Sauf modification significative de la morphologie du couloir empêchant le retour d'un tel phénomène, ce dernier peut être qualifié d'exceptionnel et associé à des chutes de neige froide devenues extrêmes.

Outre le fait que, par leur ancienneté, les événements du PAG sont peu documentés, leur analyse dans les scénarios de référence du PPR (scénarios prospectifs) doit intégrer le fait que les conditions climatiques étaient différentes durant le PAG, et méritent donc un traitement différencié dans la prise

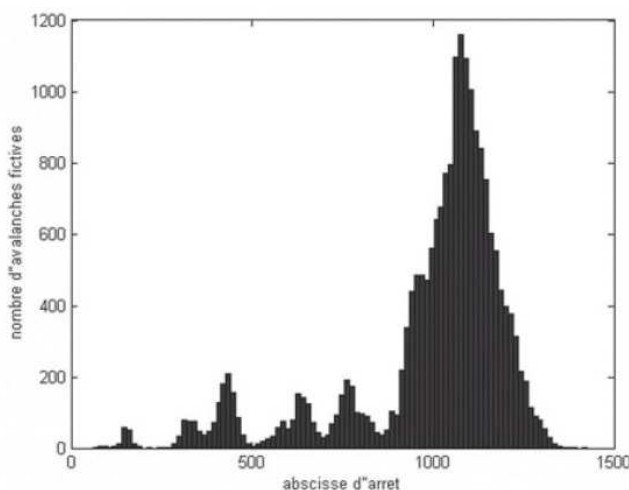
3 Par les paramètres physiques pertinents pour la bonne mise en œuvre des prescriptions du PPR.

en compte des événements historiques : une avalanche remarquable datant du PAG doit au moins constituer l'ARE mais n'est considérée comme ARC que dans le cas où il est estimé qu'un tel scénario répond aux critères d'un aléa de référence au sens du guide méthodologique PPR Avalanche (MEDDE, août 2015), p.53 : « Pour mémoire, l'aléa de référence est déterminé à partir de l'évènement le plus important connu et documenté depuis le milieu du 19^{ème} siècle ou d'un évènement théorique de fréquence centennale, si ce dernier est plus important. »

2) LA PRÉSENCE D'UNE TOPOGRAPHIE FAVORABLE À UN DÉPASSEMENT DES LIMITES CONNUES.

L'ARE peut être assimilé à une extension au-delà de l'emprise connue d'une avalanche historique telle qu'elle peut être prise en compte pour définir l'aléa de référence centennale, cette extension pouvant recouvrir différents cas de figures :

- un événement extrême, souvent documenté de façon imprécise (cas cité dans le guide méthodologique PPR avalanche -août 2015-), dans la mesure où l'analyse géomorphologique n'écarte pas une telle possibilité ;
- un dépassement envisagé à dire d'expert au vu de la topographie ;
- un ajustement d'une loi de comportement statistique à partir d'une chronique d'événements bien fournie.



Distribution statistique de distance d'arrêt d'une avalanche fictive.

Source : Eckert et al. 2014

Exception : il n'est pas toujours nécessaire de prévoir une extension exceptionnelle au-delà d'une avalanche connue survenue après le Petit Âge Glaciaire si les archives et la modélisation peuvent montrer qu'il s'agit d'une avalanche au moins tri-centennale et que d'autres trajectoires/extensions ne sont pas vraisemblables. L'avalanche connue, même si elle est considérée comme très rare, est alors prise en référence en tant qu'ARC et il n'y a pas d'ARE supplémentaire sur ce couloir.

3) LA SIMULATION NUMÉRIQUE D'UNE AVALANCHE GUIDÉE PAR DES PARAMÈTRES NIVOLOGIQUES « TRICENTENNAUX »

Comme nous l'avons vu au chapitre 1, l'avalanche exceptionnelle peut être assimilée à un écoulement mobilisant une épaisseur de neige correspondant au cumul de neige fraîche d'occurrence tri-centennale, à laquelle on associe des paramètres de frottements supposés correspondre à une avalanche de grande ampleur. Une des clés d'entrée des ARE peut donc être la simulation numérique d'une avalanche ainsi définie, en retenant simplement la zone de départ connue ou la plus probable, sans autre hypothèse particulière. Cette simulation ne reposant pas sur des données historiques, qui peut avoir été commandée dans le cadre du PPR ou avoir été réalisée préalablement, fournit une trajectoire et/ou une extension souvent révélatrice, mais pas forcément représentative de la diversité des scénarios possibles. D'autres hypothèses (départ élargi, avalanches multiples...) peuvent être testées par simulations numériques.

4) LA PRÉSENCE D'UNE TOPOGRAPHIE FAVORABLE À UN EFFET DE SEUIL

Certaines situations nivo-météorologiques conduisent à des départs volumineux de neige sèche. Les avalanches sont alors rapides et les effets inertiels peuvent donner des trajectoires différentes des avalanches connues. Cette inertie s'observe parfois aussi sur de très grosses avalanches de neige humide. Dans certaines configurations topographiques particulières, l'avalanche peut franchir un replat et basculer dans une pente inférieure ou même sauter d'un couloir à un autre et prendre une direction radicalement différente. La puissance du phénomène en pied de versant n'a alors plus rien à voir avec ce que peut donner le seul couloir inférieur (Ancey, 2010). L'avalanche du 9 février 1999 sur la montagne de Péclerey à Chamonix (74) en est un exemple dramatique. Il importe alors de bien identifier le point de bascule et de préciser le scénario.

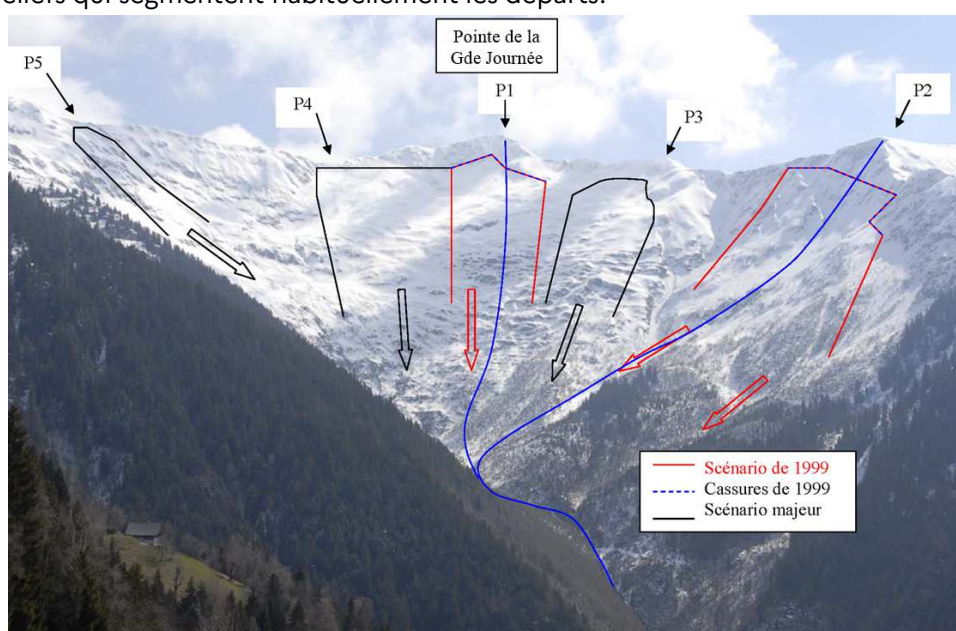


Trajectoire de l'avalanche de Péclerey (vallée de Chamonix) du 09/02/1999. Source : Ancey, 2010 / RTM74

Ces mêmes conditions (gros cumuls de neige à faible cohésion) peuvent aussi provoquer des départs sur des pentes habituellement stables (pentes de 28-30°, sous-bois...).

5) LA CONFIGURATION DE LA ZONE DE DÉPART FAVORABLE À DES DÉPARTS ÉLARGIS

Ce cas mérite d'être envisagé notamment en présence d'un vaste bassin d'alimentation ou de combes voisines convergeant vers le même couloir. L'absence d'événement historique connu mentionnant une vidange complète du bassin d'alimentation ou des départs simultanés sur des panneaux connexes ne doit pas suffire à exclure ce type de scénario. Certaines conditions nivologiques (par exemple un gros cumul de neige fraîche tombée avec peu de vent sur une couche fragile omniprésente) peuvent en effet conduire à une extension exceptionnelle de la ligne de fracture supérieure, au-delà des microreliefs qui segmentent habituellement les départs.



Identification de différents panneaux dans le bassin d'alimentation de l'avalanche du Saint-Clément

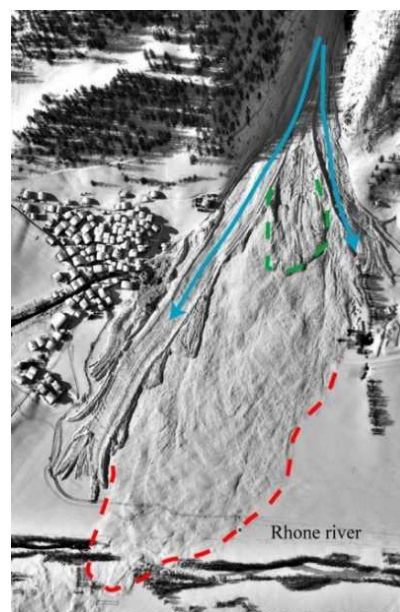
Source : rapport de présentation du PPRN de Tours-en-Savoie (Préfecture de la Savoie, RTM).

L'extension des surfaces mobilisées vers l'amont ou latéralement conduit généralement à de fortes modifications d'emprises latérales en zones de versant et à de fortes extensions longitudinales à l'aval du couloir collecteur.

6) LE CONTEXTE MORPHO-CLIMATIQUE À PRENDRE EN COMPTE POUR QUALIFIER ET CARTOGRAPHIER L'ALÉA

Le contexte morpho-climatique favorable à des avalanches multiples sur un même site au cours de la saison nivologique est à prendre en compte. En effet, un ou plusieurs épisodes de chutes de neige peuvent conduire à plusieurs pics d'activité avalancheuse au sein du même massif, et parfois à plusieurs avalanches volumineuses sur un même couloir. La (ou les) première(s) avalanche(s) peuvent modifier les conditions d'écoulement de la suivante, par exemple en lissant le couloir ou en créant un dépôt intermédiaire. Sans être elle-même exceptionnelle ni même centennale, une nouvelle avalanche peut alors largement dépasser la distance d'arrêt que sa propre dynamique lui aurait imposé, ou déborder pour changer de trajectoire. Son extension peut alors devenir exceptionnelle (exemple des deux avalanches de février et mars 1988 à Tacconnaz - Chamonix - 74).

Avalanches successives de février 1999 à Geschinen (Vallée de Conches en Suisse) par ordre de survenue : rouge, vert, puis bleu
Source : OFT / Ancey, 2010.



En pied de versant, les dépôts d'avalanches antérieures peuvent également modifier très sensiblement la topographie de la zone d'arrêt et favoriser des extensions latérales exceptionnelles (exemple des avalanches de février 1999 à Geschinen, en Suisse).

II. Les facteurs d'ajustement à prendre en compte

1) LA MODIFICATION NATURELLE ET PÉRENNE DE LA ZONE DE DÉPART

Cette modification peut, dans des cas marginaux, être le résultat d'une évolution naturelle ou climatique : disparition d'une barre de séracs qui générait des départs massifs, fonte d'un glacier de paroi qui uniformisait la zone de départ et amplifiait la taille des avalanches...

L'évolution de la zone de départ peut conduire, au-delà des effets du changement climatique, à une très nette diminution de la fréquence et/ou du volume des avalanches (constatés parfois depuis plusieurs dizaines d'années), et de fait à réduire corrélativement l'ARC et l'ARE.

2) LA MODIFICATION ARTIFICIELLE DE LA ZONE DE DÉPART

La modification de la zone de départ est le plus souvent le résultat de la mise en place d'un dispositif paravalanche actif et dit « permanent », généralement conçu pour l'ARC.

La règle générale (cf. p. 22, 44, 74 et 75 du guide méthodologique PPR Avalanche – août 2015) est d'établir la qualification de l'aléa sans tenir compte des ouvrages de protection. En effet, rien ne garantit leur pérennité dans le temps.

Le cas des ouvrages paravalanches actifs, installés dans les zones de départ pour fixer le manteau neigeux (protections de type écrans et plantations paravalanches, banquettes, murs...), mérite d'être souligné : contrairement à une rupture de barrage ou à une rupture de digue due au dépassement de la crue de projet, une étude d'accidentologie (Marco, 2010) montre que la rupture d'écrans paravalanches ne conduit pas, dans les faits, à des phénomènes plus volumineux que ceux envisageables en leur absence (pas de sur-aléa). Il n'y a pas lieu, en plus de la transparence du dispositif, d'augmenter les hypothèses de départ d'une avalanche par la seule présence de ces ouvrages.

Aussi, pour la cartographie de l'aléa :

- l'ARE est la zone « modélisée » sans prendre en compte les éventuels dispositifs paravalanche ;
- il pourra être utilement fourni en complément et pour information une cartographie avec prise en compte de ces dispositifs pour en mesurer les effets.

3) LA MODIFICATION DE LA ZONE DE TRANSIT OU DE DÉPÔT

Cette modification topographique est souvent le résultat d'ouvrages paravalanches passifs et « permanents » destinés à dévier, freiner ou arrêter l'avalanche de référence (généralement l'ARC) : tourne, digue, plage de dépôt, tas freineurs, étrave...

Elle peut aussi provenir d'autres types d'ouvrages et terrassements importants modifiant de fait les conditions d'écoulement et de dépôt : plage de dépôt torrentielle, large piste de ski traversante, stade, parking public formant un replat significatif...

Vis-à-vis de l'ARC et *a fortiori* vis-à-vis de l'ARE qui peut avoir une dynamique différente, l'effet protecteur de l'ouvrage n'est pas pris en compte. L'influence de l'ouvrage ou du terrassement sur l'écoulement doit en outre être étudiée au cas par cas. Cette analyse peut notamment conduire à identifier des effets aggravants (ex : changement de trajectoire par débordement ou déviation...). Il conviendra par exemple d'analyser le comportement de l'ouvrage en cas de dépôts multiples, si cette hypothèse est retenue. À ce titre, la modélisation numérique peut apporter un éclairage intéressant sur l'interaction écoulement – ouvrage passif.

4) LA MODIFICATION DU COUVERT FORESTIER

Une forêt présente en zone de départ potentiel d'avalanche peut avoir un effet de protection, même si elle n'est pas considérée comme un dispositif de protection (cf p. 22 du guide PPRA d'août 2015). Sa disparition soudaine (par chablis ou incendie) ou sa dégradation naturelle peut être à l'origine d'avalanches jamais observées jusqu'alors.

Dans la plupart des cas, même si la probabilité d'une « disparition du boisement » suivie d'un départ d'avalanche apparaît faible, l'effet protecteur de la forêt n'est pas pris en compte.

Cependant, dans le cas de forêts à fonction de protection, les zones protégées par un couvert forestier peuvent être délimitées sommairement, afin de souligner cette fonction et motiver les adaptations aux prescriptions imposées, particulières pour ces secteurs boisés.

Exemple de forêt à fonction de protection au-dessus de La Thuile à Granier (73). Source : RTM73



8

L'impact de l'évolution de la structure du manteau neigeux sur la cartographie de l'aléa référence exceptionnel

À moyenne et basse altitude, la réduction d'activité avalancheuse depuis 1980 a été très sensible, en lien avec la forte réduction de l'enneigement induite par le changement climatique, alors qu'en haute altitude, cette activité a récemment augmenté, en lien avec de brusques redoux hivernaux (Eckert et al, 2015). Une autre tendance significative est la diminution nette et régulière de la proportion d'avalanches avec aérosol depuis les années 1970 (-12 % dans les Alpes françaises). Des études récentes ont montré que ces tendances allaient vraisemblablement se poursuivre au cours du XXI^e siècle.

L'influence du changement climatique sur les précipitations hivernales extrêmes est cependant encore mal connue. Certains travaux (Lopez-Moreno et al., 2011) montrent que l'intensité et la fréquence des chutes de neige extrêmes vont vraisemblablement baisser de manière significative au cours du XXI^e siècle en basse et moyenne montagne. La probabilité de survenance des avalanches poudreuses dites en aérosol ou souffle en fond de vallée pourrait donc diminuer.

En revanche, il faut craindre une augmentation de la fréquence des avalanches de neige humide dites coulantes, notamment au cœur de l'hiver, du fait des brusques redoux évoqués. Par la forte teneur en eau liquide de la neige mobilisée, ce type d'avalanche peut surprendre, tant au niveau de ses trajectoires qui pourraient s'allonger que de leurs impacts sur les obstacles (pression d'impact accrue liée à la densité et au comportement de la neige humide).

L'influence globale du changement climatique sur le risque d'avalanche est donc à nuancer. Il semble conduire à :

- un net raccourcissement de la saison hivernale ;
- la raréfaction des avalanches de grande ampleur dans les vallées de basse altitude ;
- de nouveaux phénomènes en amont, liés notamment à des neiges saturées en eau liquide.

Il importe d'avoir à l'esprit ces évolutions pour procéder au choix des scénarios de référence.

9

Les moyens et méthodes à mobiliser pour qualifier les avalanches exceptionnelles

I. La recherche d'événements historiques du Petit Âge Glaciaire

L'EPA⁴ a commencé au début du XX^e siècle dans le nord des Alpes françaises. Elle ne mentionne donc pas les événements antérieurs à la fin du Petit Âge Glaciaire. De même, ce ne sont pas les fiches d'enquête de la CLPA⁵ qui pourront renseigner sur les événements antérieurs à 1860, sauf exception.

Or, une des façons les plus fiables d'apprécier l'ARE est de s'appuyer sur le plus fort événement historique de ces trois derniers siècles. Certaines avalanches catastrophiques du XVIII^e ou XIX^e siècle sont restées dans les mémoires et ont été consignées dans la base de données événements RTM⁶. Les détails de ces événements sont disponibles dans les archives papier des services départementaux RTM qui peuvent être mises à disposition. Il est à noter que ces données ne sont pas exhaustives. L'expérience montre que d'autres événements du XVIII^e siècle peuvent être exhumés par l'exploration des archives départementales et de monographies régionales disponibles dans les principales bibliothèques municipales. Une recherche historique réalisée pour le compte des DDT(M) par des professionnels (archivistes, historiens) pourrait utilement compléter les archives des services RTM, en particulier dans les Alpes du Nord.

Dans certains cas, l'examen de très vieux fonds cadastraux ou de photos du XIX^e siècle peut utilement compléter ces recherches d'événements historiques (ex : remonterletemps.ign.fr). Ces documents peuvent montrer notamment l'évolution des zones bâties et leur interaction avec d'anciennes avalanches.

II. L'analyse géomorphologique des sites avalancheux

Outre l'approche historique, souvent lacunaire, l'analyse géomorphologique du site est une étape incontournable pour mieux cerner l'ARC mais également pour l'expertise des ARE. Il s'agit de considérer le potentiel du site, au-delà des faits connus, tant au niveau de la zone de départ que des trajectoires et des zones d'arrêt.

L'analyse du relief se fait classiquement par analyse de cartes topographiques, par observation stéréoscopique de photos aériennes et par observation directe du terrain, avec ou sans neige. Elle peut désormais s'enrichir d'une exploitation sur système d'information géographique (SIG) du modèle numérique de terrain (MNT) le plus précis disponible sur zone (levé LIDAR... *a minima* la couche RGE ALTI® de l'IGN). Ceci permet de générer une carte des pentes ou des ombrages, une carte des orientations, une carte des panneaux déclencheurs...

L'identification des pentes comprises entre 30 ° et 50 ° est nécessaire (seulement conseillée⁷ entre 28 et 30°), de même que les crêtes et combes propices aux suraccumulations de neige. Cette identification des panneaux déclencheurs sera aussi utile pour la localisation des forêts à fonction de protection (identifiées dans le PPR, cf. page 13 - paragraphe 7-II-4 de la présente note).

Les types de scénarios retenus, en lien avec l'analyse géomorphologique du site, seront passés en revue, même rapidement, et ceux jugés vraisemblables seront étudiés plus en détail, afin de préciser s'ils peuvent correspondre à un aléa de référence et si oui, lequel (centennal ou exceptionnel). Cette analyse nécessite un point d'arrêt, dans la mesure du possible après avis d'un second spécialiste.

4 Enquête Permanente sur les Avalanches disponible sur www.avalanches.fr

5 Cartes de Localisation des Phénomènes d'Avalanche disponibles sur www.avalanches.fr

6 Ces données sont actuellement accessibles sur www.rtm-onf.ifn.fr et prochainement sur le portail du ministère de la transition écologique.

7 Faute d'exemples d'avalanches issues de zone de départ partout inférieure à 30°, le groupe de travail n'a pas jugé utile d'intégrer systématiquement les pentes comprises entre 28 et 30° dans l'étude des ARE.

III. L'analyse nivo-métrique locale

Comme cela a été souligné précédemment, la période de retour des avalanches est souvent assimilée à la période de retour des chutes de neige sur plusieurs jours consécutifs (cumul sur 3 jours le plus souvent). L'estimation du quantile tri-centennal de hauteur de neige fraîche en 3 jours sur la zone de départ est donc une étape importante pour quantifier le volume mobilisable par une avalanche de période de retour analogue.

La méthode « Voellmy-Salm-Gubler » (IFENA-SLF, 1992) reste à ce jour la référence des praticiens pour proposer une épaisseur moyenne mobilisable à partir du cumul de neige fraîche retenu, et donc un volume d'écoulement initial suivant la surface de départ retenue. Ce volume catégorise la puissance de l'avalanche et influence le paramétrage et les résultats des modèles déterministes.

IV. Les modélisations numériques déterministes

Comme l'évoque le guide d'élaboration des plans de prévention des risques d'avalanche, cette approche complémentaire aux incontournables analyses historiques et géomorphologiques peut être envisagée pour l'étude de l'ARE. De manière générale, plus le couloir est complexe et plus la période de retour recherchée est grande, plus la modélisation peut être une aide pour l'expert (notamment sur les extensions latérales). Le maître d'ouvrage (DDT(M)) peut décider du recours aux modélisations numériques, en s'appuyant le cas échéant sur la proposition du maître d'œuvre, ou de l'assistant à maîtrise d'ouvrage.

Dans la grande majorité des cas, les modélisations numériques actuellement utilisées pour qualifier les aléas de référence sont des modèles de propagation déterministes⁸ à composante probabiliste réduite. Une seule variable d'entrée est probabilisée : l'épaisseur de neige mobilisable en zone de départ, liée au cumul de neige fraîche.

Vu la bonne qualité des résultats qui peut être atteinte par une bonne analyse historique et géomorphologique et les limites actuelles des modèles disponibles, **il n'y a pas lieu de systématiser les modélisations**. Elles peuvent néanmoins apporter un éclairage supplémentaire pour enrichir la réflexion humaine et préciser les efforts engendrés, notamment sur des sites à forts enjeux et/ou sujets à discussion.

Le cahier des charges établi par le service de l'État chargé de l'élaboration du PPR devra notamment porter sur :

- le choix, sur la base d'une pré-identification des sites à risque (cf. chapitre V), du type de modélisation approprié au scénario retenu et au site (modèle pour avalanche coulante ou aérosol, modèle 1D sur profil en long ou 2D sur MNT) ;
- le choix et la fourniture d'un MNT de qualité appropriée, notamment en tenant compte de l'enneigement hivernal ;
- le calage préalable du modèle sur un événement du site bien renseigné et un test de sensibilité des résultats au choix des valeurs de paramètres ;
- le mode de qualification de l'épaisseur de neige mobilisable, au départ et éventuellement en reprise, et les données nivo-météorologiques disponibles à cet effet (corrigées pour être représentatives du site) ;
- le mode de sélection et la justification des valeurs de paramètres de dissipation (frottement, obstacles...);
- la traçabilité des hypothèses et des paramètres de calcul ;
- l'analyse critique des résultats et de leur fiabilité, en affichant si possible le degré d'incertitude ;
- les références et la qualification attendues du bureau d'étude prestataire en matière de modélisations d'avalanches.

⁸ *Modèle traduisant des relations de causes à effets entre les variables caractérisant l'avalanche. L'approche déterministe consiste par exemple à décrire le mouvement d'une avalanche à partir d'un jeu d'équations déterministes différentielles. Elle permet le calcul d'un grand nombre de variables dynamiques de l'avalanche telles que les vitesses, les hauteurs, ou les pressions en tout point de la trajectoire.*

V. Les autres approches

Différentes approches, autres que les modélisations numériques évoquées ci-dessus (approche déterministe/dynamique), sont présentées p.95 à 97 du guide méthodologique PPR avalanches (MEDDE, août 2015) :

- statistique basée sur des séries de données de terrain (relations empiriques déterministes et modèles probabilistes) ;
- conceptuelle (combinaison des approches déterministe et statistique) ;
- physique (modèle physique en laboratoire) ;
- symbolique (reproduction, dans un système informatique, du raisonnement de l'expert).

Leur utilisation pour la définition et la qualification des aléas appellent les mêmes commentaires dans le cadre de l'ARE que dans le cadre des ARC.

Parmi ces approches, signalons toutefois que les modèles statistiques⁹ peuvent paraître intéressants pour appréhender ou tester des scénarios très rares (par exemple les ARE), au-delà des emprises historiques connues. Ils sont encore très peu utilisés en ingénierie française, contrairement à la pratique d'autres pays où ils constituent un outil central pour l'évaluation des aléas de référence. Ces modèles ne peuvent être utilisés que sur des sites à la topographie relativement simple. En pratique, bien que ce type de modèle soit effectivement destiné à permettre l'extrapolation au-delà des plus fortes valeurs observées, il convient tout de même de manier les résultats fournis avec prudence dans la mesure où ces derniers ne tiennent pas explicitement compte de la morphologie de la zone d'arrêt. Il s'agit d'outils simples utiles pour apprécier la distance d'arrêt d'une avalanche exceptionnelle (si dans leurs gammes de validité), mais qui ne sont pas adaptés pour préciser l'intensité du phénomène (Eckert et al., 2018).

On citera notamment :

- les modèles basés sur des relations empiriques (de type ligne d'énergie, ou « $\alpha\beta$ » (Lied et Bakkehoi, 1980)) qui permettent de calculer une distance d'arrêt d'une avalanche en fonction du profil en long du site ;
- les modèles probabilistes qui modélisent les distances d'arrêt élevées des avalanches avec les lois de probabilité dont l'usage est justifié par la statistique des valeurs pour les périodes de retour recherchées. Le modèle POT (*Peak Over Threshold* – 1975) est particulièrement bien adapté aux sites bien documentés de l'EPA. Il est inversible, donnant accès directement au niveau de retour (quantile) correspondant à n'importe quelle période de retour (dans sa gamme de validité).

Pour les couloirs non (ou insuffisamment) documentés, des méthodes permettant d'interpoler l'information disponible dans l'esprit des méthodes de régionalisation utilisées en hydrologie pour la prédétermination des débits de crue sur les bassins versants non jaugés commencent à être développées. Ainsi, à l'échelle française, des résultats spatialisés utilisant l'ensemble de l'information de l'EPA existent déjà pour deux grandeurs : les décomptes d'avalanches (Eckert et al., 2007 ; Lavigne et al., 2012) et les altitudes d'arrêt (Lavigne et al., 2017). Leur combinaison permet d'obtenir des niveaux de retour spatialisés. Le transfert opérationnel de ces résultats à l'ingénierie française n'a pas encore été réalisé au jour de la parution de la présente note mais des outils utilisables pour la détermination des ARC et ARE sont susceptibles d'être développés dans les années à venir.

⁹ *Modèle basé sur l'exploitation des données de terrain et les corrélations entre celles-ci. Cette approche permet, s'il existe une série de données suffisamment longue dans le temps, d'estimer la relation statistique entre la distance d'arrêt et la période de retour de l'avalanche.*

La représentation graphique des aléas de référence exceptionnels

Comme évoqué précédemment, l'ARE retenu pour la carte des aléas du PPR doit être justifié et décrit dans la note de présentation, au même titre que l'ARC. Le scénario correspondant peut être présenté sous forme d'un paragraphe au sein d'une fiche spécifique au secteur et au phénomène, ou au sein d'un tableau inventaire à l'échelle du périmètre d'étude. Il convient alors de bien référencer la zone pour la retrouver facilement sur la carte.

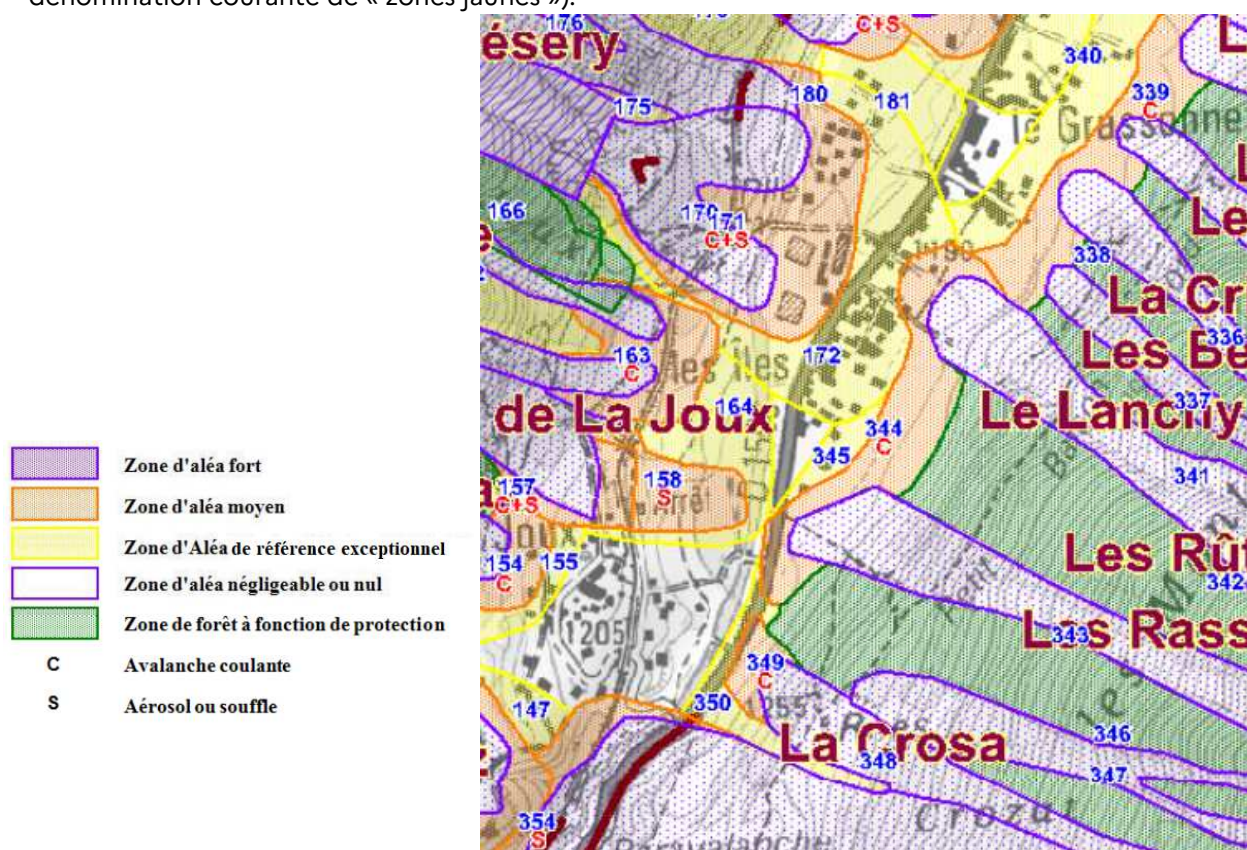
L'ARC est décliné en trois niveaux d'intensité permettant le zonage réglementaire. Cette subdivision n'est pas demandée pour l'ARE, car ce sous-zonage d'intensité est entaché d'une incertitude pouvant être forte pour les avalanches exceptionnelles (*a fortiori* s'il ne s'appuie sur aucune modélisation).

Aussi, en l'absence de données d'entrée permettant la détermination de courbes d'iso-pression au sein de l'enveloppe de l'ARE, utile à l'analyse de vulnérabilité des bâtiments et au choix des mesures de sauvegarde (confinement, évacuation), une analyse peut être conduite sur la typologie de l'avalanche. Cette distinction entre écoulement dense et aérosol permet de mieux estimer les niveaux d'impact prévisibles.

Cette distinction pourra être déterminée à la lumière de l'analyse géomorphologique, à dire d'expert, complétée le cas échéant par les résultats des modélisations numériques.

Il y a plusieurs possibilités pour représenter l'ARE.

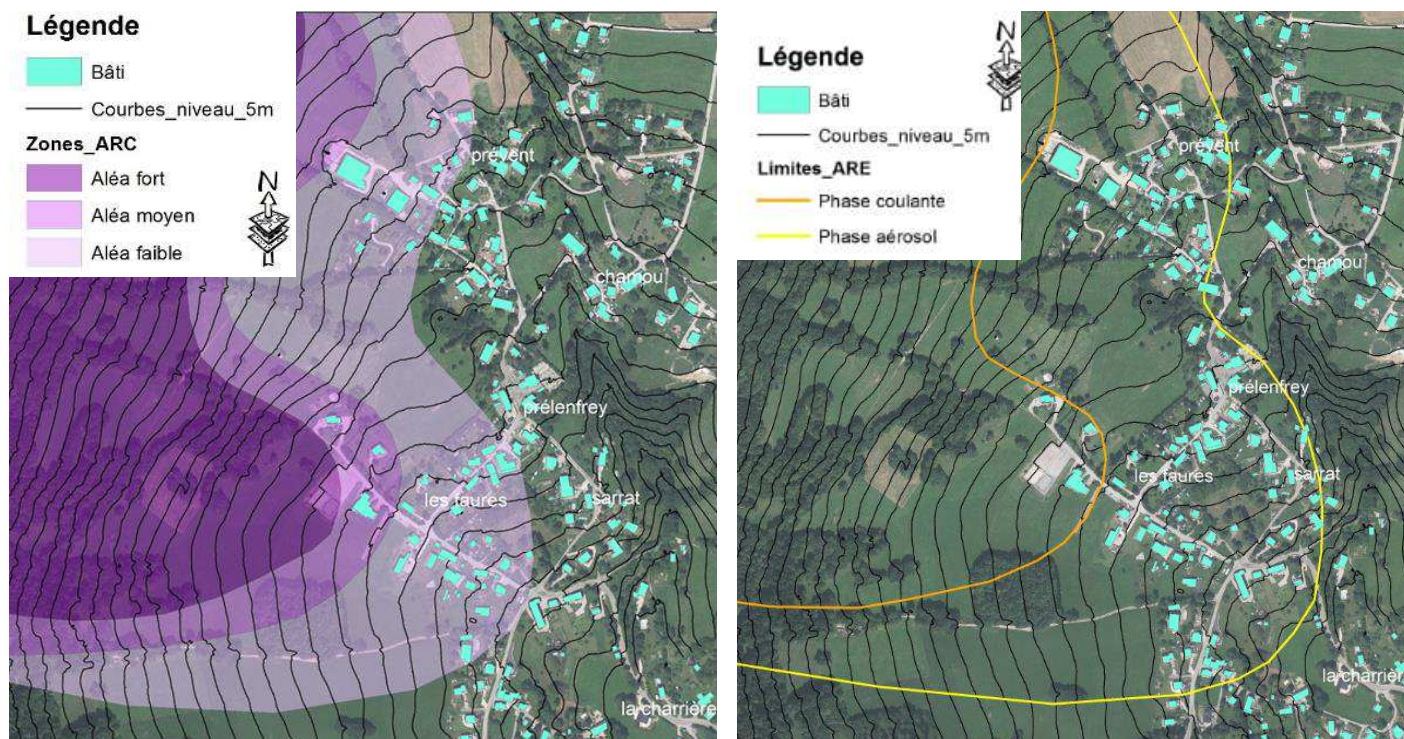
Classiquement, les zones d'aléa sont figurées par des aplats en dégradé de couleurs correspondant à leur niveau d'intensité. L'aléa exceptionnel est souvent représenté en jaune, dans la carte d'aléa (comme représenté ci-dessous) et la carte réglementaire (d'où la dénomination courante de « zones jaunes »).



Exemple de carte des aléas avalanches - :
carte d'aléas du PPR avalanche de Chamoni-Mont-Blanc approuvé le 28 mai 2015 (échelle : 1/10000)

L'inconvénient de ces aplats est qu'ils ne permettent pas de superposition sans masquer la couche inférieure, alors qu'il peut exister une superposition de deux phénomènes d'occurrence et de portées différentes. Une solution semble se trouver dans un figuré lui aussi différent : aplats pour l'aléa centennal et contour pour l'aléa exceptionnel.

Une autre option est de représenter d'une part l'ARC et d'autre part l'ARE.



Exemple de représentation des aléas avalanches sur deux cartes distinguant le scénario centennal (à gauche) et le scénario exceptionnel (à droite). Source : ONF-RTM

Cette représentation cartographique nécessite alors que les deux cartes soient présentées ensemble afin d'éviter des extraits partiels ou une mauvaise compréhension si une seule des deux cartes est consultée.

La cartographie des aléas doit, comme cela est précisé au chapitre 6, être associée à un paragraphe descriptif site par site précisant les éléments principaux du ou des scénarios de l'ARE retenus : facteurs nivo-météorologiques déclencheurs, localisation de la zone de départ, conjonction éventuelle de plusieurs phénomènes, type d'écoulement, trajectoire, extension et impact prévisible sur les enjeux (surpression...), etc. Lorsque des méthodes de modélisation des avalanches auront été utilisées, celles-ci devront également être décrites.

11

La validation de l'ARE retenu

Le choix des scénarios est établi par la DDT(M), le plus souvent après avoir fait l'objet d'échanges entre celle-ci (le cas échéant assistée par son AMO) et le prestataire, afin de caler les scénarios retenus. Cet échange doit permettre de valider les hypothèses.

Dans un second temps, il est préconisé d'organiser **une concertation avec la commune concernée**. Cet échange apparaît d'autant plus important pour le choix du scénario d'ARE que les incertitudes sont significatives et d'origines diverses : incertitudes historiques, nécessité de choisir un (des) scénario(s) parmi ceux proposés sans connaître les effets sur le zonage de chacun d'eux ; zonage pouvant reposer sur des hypothèses difficiles à appréhender pour les acteurs locaux. Cet échange est l'occasion de vérifier la bonne appropriation des scénarios retenus et d'aider la collectivité à les intégrer à son plan communal de sauvegarde (PCS).

À ce titre, il convient de rappeler ici que la qualification de l'aléa (dont les scénarios d'ARE) est établie sans tenir compte des déclenchements préventifs ni des effets positifs des infrastructures existantes (notamment des immeubles). Ce positionnement peut conduire à des scénarios jugés pessimistes dans les domaines skiables où les zones de départ d'avalanches sont gérées par un plan d'intervention et de déclenchement des avalanches (PIDA) et où les zones d'arrêt extrêmes sont parfois barrées de plusieurs rangées d'immeubles. La définition des modalités de gestion de crise nécessite de considérer les constructions déjà existantes, qu'elles aient été construites ou pas pour résister à une avalanche exceptionnelle.

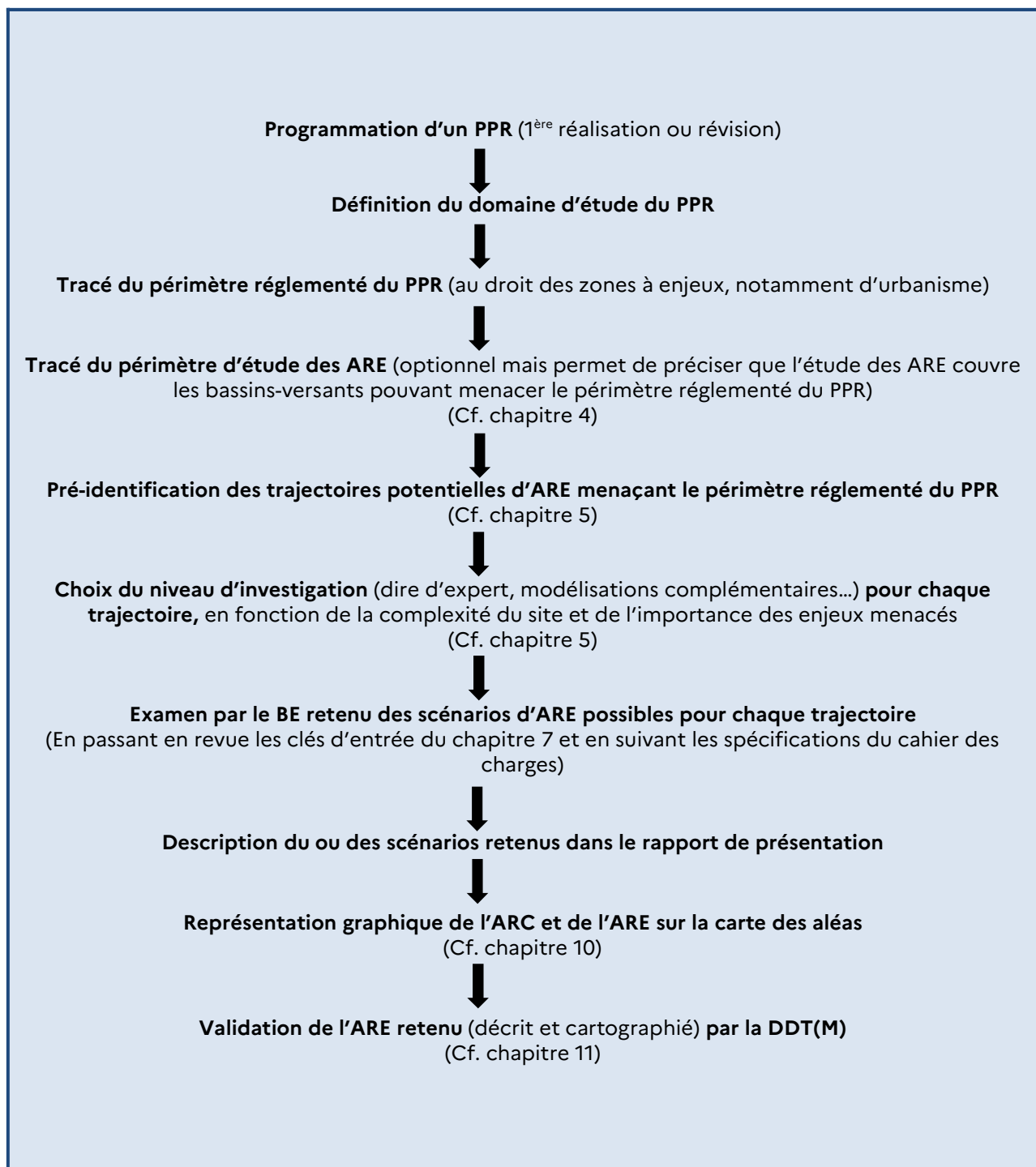
Il faut dans ce cas retenir que la zone d'aléa représente une enveloppe intégrant le contexte actuel et potentiel (fonction des évolutions du terrain et des infrastructures). Au sein de cette enveloppe d'ARE, le PCS pourra adapter les modalités de gestion de crise au contexte urbanistique du site.

Les modalités de concertation avec la commune sont déterminées par chaque DDT(M) en déclinaison du cadre global de concertation fixé par l'arrêté préfectoral de prescription. Il est préconisé d'associer la commune dès le choix des scénarios de référence.

12

Les principales étapes pour la prise en compte des ARE dans les PPR

Les étapes conseillées pour la qualification et la cartographie des ARE dans un PPR sont rappelées par ordre chronologique dans le logigramme ci-dessous :



ANNEXES

Annexe 1 - Glossaire et abréviations

AMO : assistant à maîtrise d'ouvrage.

AMV : aléa maximal vraisemblable, ce terme a pu être utilisé dans la littérature antérieure à 2015. Il correspond désormais à l'aléa de référence exceptionnel (voir ARE).

ARC : aléa de référence centennal, définissant le scénario (types d'avalanche, emprises, intensités) à prendre en compte pour le zonage réglementaire des zones rouges et bleues.

ARE (ou AE) : aléa de référence exceptionnel, définissant le scénario (types d'avalanche, emprises, intensités) à prendre en compte pour le zonage réglementaire des zones jaunes. Il peut concerner soit un évènement historique extrême du petit âge glaciaire, soit un évènement ancien issu d'un témoignage imprécis (l'évènement en lui-même n'est pas remis en cause mais plutôt sa qualification en l'absence de mesure, de prise de vue...), soit un évènement tri-centennal théorique (modélisation), Voir chapitres 2 et 7.

Aléa : phénomène naturel de probabilités d'occurrence et d'intensité données.

Anthropique : qui est dû directement ou indirectement à l'action de l'homme.

CLPA : carte de localisation des phénomènes d'avalanches. Carte informative, descriptive des phénomènes observés ou historiques, ne constituant pas une carte des aléas (voir <http://www.avalanches.fr>).

Danger naturel : état qui correspond aux préjudices potentiels d'un phénomène naturel probable sur les personnes.

Douteux (sensibilité douteuse) : adjectif qualifiant, dans le cadre de l'inventaire SSA (sites sensibles aux avalanches), le niveau de risque classé selon 3 niveaux de sensibilité au risque d'avalanche, à savoir « faible », « douteuse » et forte. Le vocable « douteuse » ne s'entend pas comme présentant un doute sur l'existence de l'aléa mais sur son extension et intensité (et donc sur le risque pour les enjeux). C'est pourquoi un site classifié comme étant de sensibilité « douteuse » demande une attention particulière et d'éventuelles études complémentaires. Attention la classification fait référence au niveau d'aléa, d'exposition et de vulnérabilité de 2003 environ. Elle n'a pas été réévaluée depuis alors qu'une ou plusieurs des composantes du risque ont pu évoluer significativement depuis.

Enjeux : personnes, biens, activités, moyens, patrimoines susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.

EPA : enquête permanente sur les avalanches. Dispositif de suivi des couloirs d'avalanche depuis plus d'un siècle (voir <http://www.avalanches.fr>)

ERP : établissement recevant du public

Névé : plaque de neige isolée, mais relativement importante persistant l'été, de masse volumique supérieure à 500 kg/m³.

Nivologie : science de la neige et par extension des avalanches.

PAG : Petit Âge Glaciaire ; période entre le début du 14^e siècle et le milieu du 19^e siècle.

PCS : plans communaux de sauvegarde

PIDA : plan d'Intervention et de déclenchement des avalanches

PPR : plan de prévention des risques

Risque naturel : exposition probable de vies humaines, de biens et d'activités consécutives à l'occurrence d'un aléa naturel.

SSA / Sites sensibles avalanches : inventaire national des sites sensibles au risque d'avalanches ayant conduit, selon le niveau de sensibilité (« faible » / « douteuse » / « forte ») à une gradation de la nécessité d'approfondissement de l'évaluation du risque avalanche. Voir chapitre 3.

Talweg : ligne qui relie les points les plus bas d'une vallée.

Vulnérabilité : au sens le plus large, exprime le niveau de conséquences prévisible d'un phénomène naturel sur les enjeux.

Annexe 2 - Bibliographie

Avalanche exceptionnelle

- Ancey C. (2010), Les avalanches extrêmes sont-elles des horsains ? *Revue Neige et avalanches n°133 d'avril 2011*, 6p.
- Bernard JM. (2008), Aléa exceptionnel, éléments de méthode. *DPPR/SDPRM/BRN*. 13p.
- Liévois J. (2009), Zones jaunes ou Aléa Maximal Vraisemblable (AMV). *PPT de 27p pour la préfecture de Haute Savoie*.
- Marco O. (2007), Zones jaunes : note sur les pratiques départementales des Alpes et des Pyrénées à l'attention du MEDAD. 2p.
- ONF DN-RTM – Irstea – PARN (2011), Zonage des phénomènes d'avalanches exceptionnelles. Pratiques dans les pays européens alpins. 24p.
- RTM05 (2008), Mise en œuvre de l'AMV dans le département des Hautes Alpes. Exemple des PPR de Molines en Queyras et de Vallouise. *PPT pour réunion Dreal Lyon sur AMV*, 29p.
- Schläppy et al, (2014), Evaluer les avalanches rares – apport de l'analyse dendrogéomorphologique. *PPT pour formation MOPERA Irstea Grenoble*, 20p.

Exemples d'expertises avec prise en compte des avalanches exceptionnelles

- RTM38 (2011), Commune de Oz en Oisans – Etude des risques naturels sur le secteur Royer/Souget, en vue de la réactualisation du projet de PPRN porté à connaissance le 29/10/1999. 30p.
- RTM73 (2015), Etude pour l'actualisation de la connaissance des risques d'avalanches sur le plateau du Pré – pour la commune de Villaroger, 42p.
- RTM73 (2015), Etude pour l'actualisation de la connaissance des risques d'avalanches sur La Thuile, Bon Conseil, Raffort et Le Villard – pour la commune de Ste Foy Tarentaise, 52p.
- RTM73 + 38 (2016), Etude pour la requalification des aléas d'avalanche sur le village de Prénelfrey – pour la commune de Le Gua, 61p.
- Toraval (2006), Diagnostic du risque d'avalanche sur le Mottaret – pour la commune de Les Allues, 29p + annexes.
- Toraval (2006), Note de calcul n°1 : analyse nivo-météorologique de Méribel – pour la commune de Les Allues, 20p.
- Toraval (2006), Dossier d'étude du risque d'avalanches sur Tralenta et le chef-lieu – pour la commune de Bonneval-sur-Arc, 127p + annexes.

Expertise avalanche

- Irstea (2014), Traçabilité de l'analyse d'un événement – exemple de la CLPA. 4p
- Naaim-Bouvet F. et Richard D. (2015), Les risques naturels en montagne. Editions Quae. 392p.
- ONF DN-RTM et Irstea (2011), Démarche qualité : application à l'expertise avalanche, 6p+annexes.
- Truche M. (2013), Etude des bassins versants domaniaux (MIG MAAF) relative au risque avalanche. *Pour la DTN RTM*. 28p.

Gestion de crise avalanche

- ANENA (2013), Guide pratique à l'attention des élus et des services communaux pour la gestion d'une crise avalanche, hors activités sportives. 101p.

Intensité et pression d'avalanche

- Guillaude et al, (2002), Détermination d'une échelle d'intensité en 5 classes par type d'aléa, *Rapport au MEDD*, 155 p. Etude coordonnée par le bureau Géosciences Consultants (GSC) et réalisée en partenariat avec Météo-France et le Cemagref.
- Naaim M. (2007), À propos de la pression dans le zonage de l'aléa avalanche. *Convention Cemagref/MAP*. 11p.
- Naaim M. et Roudnitska S. (2011), Pression des avalanches de neige sur les obstacles et zonage réglementaire. *Cemagref et RTM pour la DGPR*. 35p.
- Tacnet JM et al, (2010), Conception et comportement dynamiques des structures de génie civil : application aux ouvrages paravalanches. *Sciences Eaux et Territoires n°02*. 12p.
- Sovilla B, Faug T, Köhler A, Baroudi D, Fischer J-T and Thibert E. (2016). Gravitational wet-avalanche load on pylon-like structures, *Cold Regions Science and Technology*, 126, 66-75.

Modélisation numérique des avalanches

- Ancey C. (2004), Guide du calcul d'avalanche pour le praticien. *Cemagref éditions – ANENA – EPFL*. 226p.
- Ancey C. (2013), Zonage avalanche et outil numérique : point sur un état de l'art. *EPFL*, 108p.
- Bühler Y. et al, (2011), Sensitivity of snow avalanche simulations to digital elevation model quality and resolution. *Annals of Glaciology* 52. 9p.
- Eckert, N., Parent, E., Belanger, L., Garcia, S. (2007). Hierarchical modelling for spatial analysis of the number of avalanche occurrences at the scale of the township. *Cold Regions Science and Technology* 50. pp 97-112.
- Eckert N. et al, (2014), Evaluating extreme avalanches in long-term forecasting. *Présentation pour formation MOPERA Irstea Grenoble*, 60p.
- IFENA (1990), Calcul des avalanches coulantes : une méthode pour le praticien avec des exemples. *Communication interne n°47*, 38p.
- IFENA (1992), Estimation de l'épaisseur moyenne de déclenchement d_0 pour le calcul des avalanches denses. *Rapport interne n°668*, 18p.
- Lavigne, A., Bel, L., Parent, E., Eckert, N. (2012). A model for spatio-temporal clustering using multinomial probit regression: application to avalanche counts in the French Alps. *Environmetrics*. 23. pp 522–534.
- Lavigne, A., Eckert, N., Bel, L., Deschâtres, M., Parent, E. (2017). Modelling the spatio-temporal repartition of right-truncated data: application to avalanche runout altitudes in Haute-Savoie. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 3. pp. 629–644.
- Marco O. (2010), Les approches probabilistes de la modélisation des avalanches : rappel des travaux récents du Cemagref (Irstea). *Note technique DN RN RTM*. 9p.
- ONF DN-RTM et Irstea (2013), L'apport de la modélisation numérique pour la cartographie des aléas d'avalanche à visée réglementaire, 43p.
- SLF, Irstea (2015), Workshop on the application of numerical models in avalanche engineering : Le Bourgeat avalanche track case study, 19p.

Période de retour des avalanches

- Ancey C. (1999), Vers une estimation pratique de la période de retour des écoulements gravitaires.
- Ancey C. (2011), La qualification incertaine et discutée des temps de retour, in , 3p.

Plans de Prévention des Risques (PPR)

- BBCM (2013), PPR avalanches Chamonix – Rapport d'étude – pour la DDT74/SAR.
- Bouvet P. (2014), Les recherches historiques pour les PPR en zone de montagne. *ONF-RTM*. 35p.
- Conseil général de l'Environnement et du Développement durable (2010), Retour d'expérience sur les avalanches de l'hiver 2008 – 2009 - pour le MEDD, 87p.
- DREAL Rhône Alpes (2014), Révision des guides méthodologiques PPR. Cotech 2 : constructibilité à l'aval d'un ouvrage de protection en montagne. 49p.
- Eckert, N., Naaim, M., Giacona, F., Favier, P., Lavigne, A., Richard, D., Bourrier, F. Parent, E. (2018). Repenser les fondements du zonage réglementaire des risques en montagne « récurrents ». *La Houille Blanche*. 2. pp. 38-67.
- Glass et al, (2000), Retour d'expérience sur l'avalanche du 9 février 1999 à Montroc, commune de Chamonix, pour le MATE, 34p.
- Le Gallou et al, (2011), Modalités de prise en compte des avalanches exceptionnelles pour améliorer la prévention des risques et renforcer la sécurité des personnes, - pour le MEDDTL et le MIOMC, 86p.
- Léonard C. (2015), Points-clés pour la révision des guides méthodologiques relatifs à l'élaboration des PPRN en montagne. Travaux menés lors des cotech en 2013-2014. *MEDDE*. 19p.
- MAAPRAT, MEDDTL (2012), Standard de données COVADIS pour les PPRN – PPRT. 70p.
- Marco O. (2010), Protection active paravalanche et augmentation de l'aléa. *Note technique DN RN RTM*. 6p.
- MEDDE (2015), Guide méthodologique - Plan de prévention des risques naturels avalanche. 101p.
- Roudnitska S. (2010), Méthode et pratiques du zonage réglementaire du risque d'avalanches en France, *Université Européenne d'Eté sur les risques naturels, module7*, 16p.
- Roudnitska S. (2015), Le zonage d'avalanche en France : de l'évaluation des aléas aux mesures de prévention, *Présentation lors d'une mission en Turquie*.

- RTM73 (2016), Note technique concernant l'application du guide méthodologique pour les PPR avalanches publiés en août 2015, 4p.

Pratiques du zonage en Suisse

- Burkard A. (2010), Connaissance de base et méthode de la cartographie du risque avalancheux en Suisse. *Université Européenne d'Eté sur les risques naturels, module7*, 12p
- Fellay F. (2014), Approche suivie par le Canton du Valais dans le classement des risques liés à la montagne ? – *Service Forêt et Paysage – SDN – Valais central suisse, PPT* 54p.

Prise en compte du changement climatique

- Castebrunet et al, (2014), Projected changes of snow conditions and avalanche activity in a warming climate: the French Alps over the 2020-2050 and 2070-2100 periods. *In The Cryosphere*. 25p.
- Eckert N. et al, (2015), Réponse de l'activité avalancheuse au changement climatique : observations et projections pour le futur, *in revue Neige et Avalanche n°151*, 4p.
- Lopez-Moreno JI et al. (2011), Effect of climate change on the intensity and frequency of heavy snowfall events in the Pyrenees. *Climatic Change Vol 105*, 20p.
- Nicolet G. et al. (2016), Decreasing spatial dependence in extreme snowfall in the French Alps since 1958 under climate change. *Geophys. Res. Atmos. 10.1002/2016JD025427*. 14p.

Sites Sensibles Avalanche (SSA)

- Bouvet P. (2011), Sites sensibles avalanches (SSA), analyse et typologie des dépassements constatés sur 4 CLPA. 33p.
- Rapin F. et al. (2004), Une nouvelle méthode d'identification des sites à haut risque d'avalanche. In *Ingénieries n°39* – p43 à 53.

Annexe 3 - Liste des membres du groupe de travail

Christophe ANCEY (EPFL Suisse – Toraval)
Julien ASSANTE (DREAL PACA)
Philippe BERTHET-RAMBAUD (Engineerisk)
Fanny BOURJAILLAT (Engineerisk)
Philippe BOUVET (ONF-RTM Hautes-Alpes)
Vincent COURTRAY (MTES-DGPR – Paris)
Nicolas ECKERT (IRSTEA-ETNA – Grenoble)
Sandrine FAUCHET (MTES-DGPR – Paris)
Nadia HASSINE (ONF-RTM Hautes-Pyrénées et Pyrénées-Atlantiques)
Carine LEONARD (MTES-DGPR – Paris)
Jérôme LIEVOIS (ONF-RTM Haute-Savoie)
Olivier MARCO (ONF-DRN Grenoble)
Nathalie NEYRET (DREAL-ARA – Lyon)
Gilles PIROUX (DREAL-ARA – Lyon)
François RAPIN (IRSTEA-ETNA – Grenoble)
Didier RICHARD (IRSTEA-ETNA – Grenoble)
Stéphane ROUDNITSKA (ONF-RTM Savoie)
Ariane STEPHAN (DDT-SAR Haute-Savoie)
Christian TRACOL (DDT-SSR Savoie)

Animation et secrétariat (ONF/RTM) : Jérôme LIEVOIS, Olivier MARCO, Stéphane ROUDNITSKA et David BINET