



COMMUNES

d'Adervielle-Pouchergues, Avajan,
Bordères-Louron, Cazaux-Debat,
Cazaux-Fréchet-Aneran-Camors, Estarvielle,
Génos, Jézeau, Loudenvielle et Vielle-Louron

Plan de Prévention des Risques
naturels prévisibles
(PPR)

Résumé non technique

SOMMAIRE

I – Généralités

I.1 – Les risques naturels en France

I.2 – La politique de prévention en France

II – Les PPR multi-risque du secteur des Nestes

II.1 – Présentation du territoire et des études

II.2 – Méthodologie employée

III – Détermination des aléas et la traduction réglementaire

III.1 – Détermination des aléas

III.2 – La traduction réglementaire

I – Généralités

I.1 – Les risques naturels en France

La notion de risque naturel recouvre l'ensemble des menaces que certains phénomènes et aléas naturels font peser sur des populations, des ouvrages et des équipements. Plus ou moins violents, ces événements naturels sont toujours susceptibles d'être dangereux aux plans humain, économique ou environnemental.

Les séismes

Chaque année, plus de 150 séismes de magnitude supérieure ou égale à 6 sur l'échelle de Richter (séismes potentiellement destructeurs) se produisent à la surface du globe. En France, c'est à la Guadeloupe et à la Martinique que le risque sismique demeure le plus élevé car ces deux îles sont situées à la frontière de deux plaques tectoniques.

Les mouvements de terrain

Le terme mouvements de terrain regroupe plusieurs types de phénomènes bien différents :

- les affaissements et les effondrements liés aux cavités souterraines ;
- les éboulements et les chutes de pierres et de blocs ;
- les glissements de terrain ;
- le retrait-gonflement des sols argileux.

Ces mouvements, plus ou moins rapides, du sol et du sous-sol interviennent sous l'effet de facteurs naturels divers comme de fortes précipitations, une alternance de gel et dégel, des températures très élevées ou sous l'effet d'activités humaines touchant aux terrains comme le déboisement, l'exploitation de matériaux ou les travaux de terrassement.

Si ces mouvements restent ponctuels, ils constituent un risque majeur en raison des conséquences lourdes, matérielles et humaines, qu'ils peuvent entraîner.

Au plan mondial, les mouvements de terrain causent chaque année la mort de 800 à 1 000 personnes.

En France, ce risque concerne environ 7 000 communes et présente, pour un tiers d'entre elles, un niveau de gravité fort.

Les avalanches

Dans le monde, les avalanches font environ 500 victimes par an. En France, dans plus de 95% des cas, les accidents sont liés aux activités de loisirs et représentent une trentaine de décès par an. Ce chiffre reste faible par rapport au nombre d'usagers de la montagne.

Les avalanches sont parmi les catastrophes naturelles les moins meurtrières. Les accidents majeurs restent exceptionnels, même si la catastrophe de février 1999 à Montroc (Haute-Savoie) montre toute la réalité de ce risque en France. Les accidents sont généralement liés à la pratique des sports d'hiver. La prévision des avalanches reste une science difficile. C'est pourquoi des mesures de prévention et d'information des pratiquants se développent.

Les inondations

Au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde, elles font environ 20 000 victimes par an. Certaines résultent de phénomènes qui se renouvellent chaque année comme la mousson, d'autres sont le fait de circonstances particulières (cyclones, typhons, orages violents).

Le risque inondation en France concerne une commune sur trois à des degrés divers dont 300 grandes agglomérations. Pour 160 000 km de cours d'eau, une surface de 22 000 km² est reconnue particulièrement inondable ; deux millions de riverains sont concernés. Les dégâts causés par les inondations représentent environ 80 % du coût des dommages imputables aux risques naturels, soit en moyenne 250 M€ par an. La moitié de cette somme relève des activités économiques.

En effet, pour des raisons de pressions économiques, sociales, foncières ou encore politiques, les cours d'eau ont souvent été aménagés, couverts, déviés, augmentant ainsi la vulnérabilité des populations et des biens.

Pour remédier à cette situation, l'amélioration de la prévision et de la prévention des risques reste l'outil essentiel de l'État. Une meilleure information des populations exposées et la diminution de la vulnérabilité des biens situés dans les zones inondables sont à privilégier. Cependant, si l'État et les communes ont des responsabilités dans ce domaine, chaque citoyen doit également contribuer à se protéger efficacement et diminuer sa propre vulnérabilité.

I.2 - La politique de prévention en France :

Le Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR) vise, dans une perspective de développement durable, à réduire les conséquences négatives des risques sur les vies humaines, l'environnement, l'activité économique et le patrimoine culturel. Son objectif premier est la non-aggravation de l'exposition aux risques naturels ; le second est la réduction de la vulnérabilité des personnes et des biens.

L'objet du PPR est donc de délimiter les zones exposées directement ou indirectement à un risque et d'y réglementer l'utilisation des sols. **Cette réglementation va de l'interdiction de construire à la possibilité de construire sous certaines conditions**, le PPR n'ayant pas pour objectif d'apporter des solutions à tous les problèmes posés par les risques naturels. **Le PPR peut également définir des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde qui doivent être prises par les collectivités publiques et par les particuliers.**

Son élaboration est une **compétence de l'État**. Les **collectivités concernées sont consultées**. Le projet de plan est soumis à **enquête publique**.

Le PPR est un document qui peut traiter d'un ou plusieurs types de risques, et s'étendre sur une ou plusieurs communes. Une fois approuvé, **le PPR est une servitude d'utilité publique qui s'impose à tous** : particuliers, entreprises, collectivités, l'État. Il s'impose à tous les projets et notamment lors de la délivrance des permis de construire.

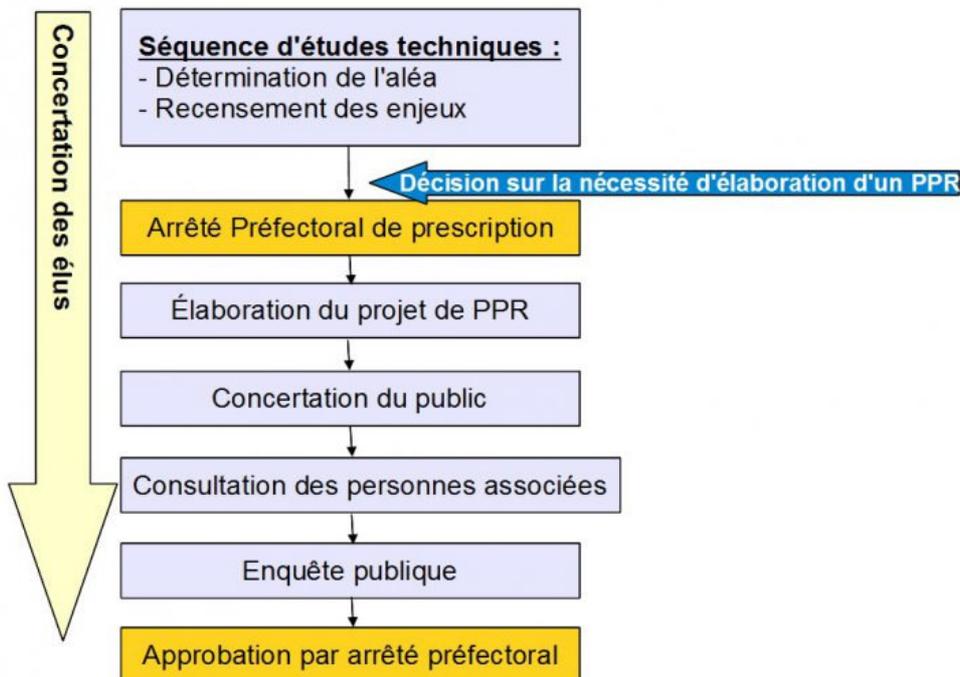
Le préfet est amené à prescrire un PPR sur un territoire quand celui-ci est soumis à un risque naturel important et reconnu par l'existence d'événements récents ou historiques, répertorié dans le dossier départemental des risques majeurs, et le bilan des arrêtés interministériels de constat de l'état de catastrophe naturelle.

Le PPR doit permettre de prendre les décisions de prévention les plus adaptées à l'occupation future et actuelle des espaces exposés afin de ne pas augmenter la vulnérabilité des biens et des activités.

Le document final du PPR se compose :

- d'une **note de présentation** qui expose : les raisons de la prescription du PPR, les phénomènes naturels connus, les aléas, les enjeux, les objectifs recherchés pour la prévention des risques, le choix du zonage et des mesures réglementaires,
- de **documents graphiques** qui indiquent : l'hydrogéomorphologie et des informations sur les phénomènes naturels, les aléas, les enjeux au regard de la vulnérabilité, un zonage réglementaire,
- d'un **règlement** qui précise : les mesures d'interdiction et les prescriptions ; les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde.

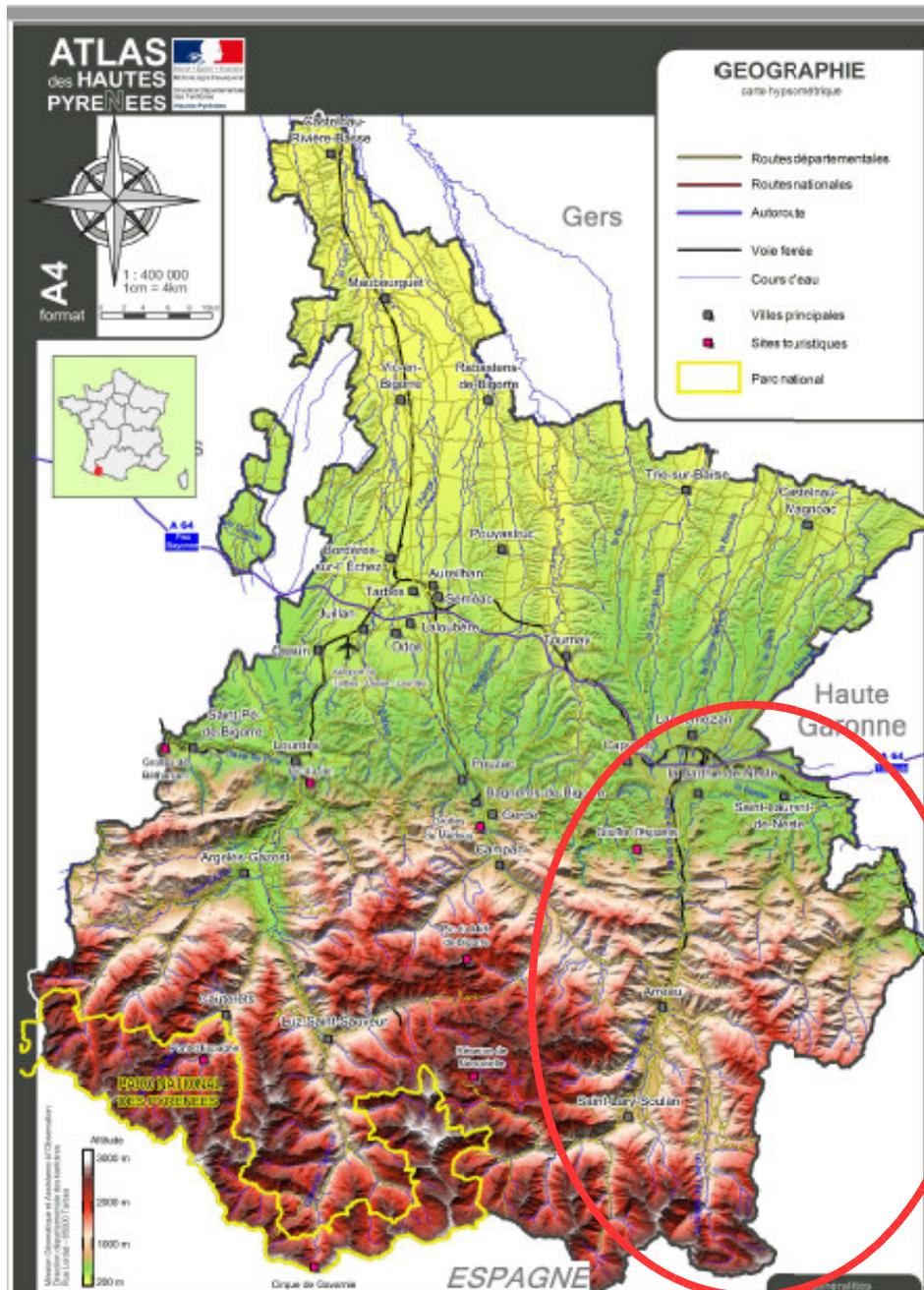
Procédure d'élaboration des plans de prévention des risques naturels



II – Les PPR du secteur des Nestes

II.1 – Présentation du territoire et des études :

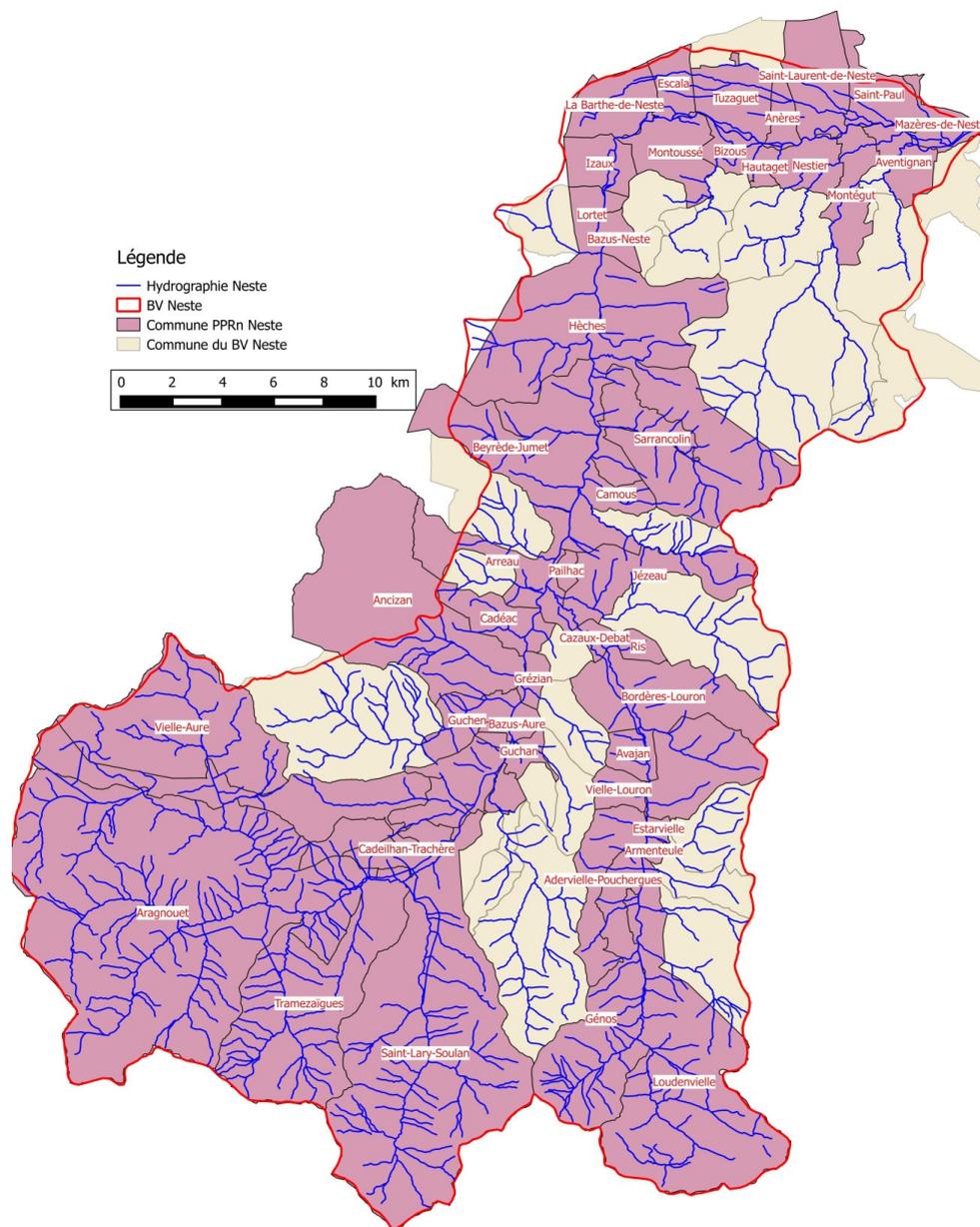
Localisation du territoire des Nestes



Le territoire :

Les communes concernées par ces études sont situées au sud-est du département des Hautes-Pyrénées, en bordure des Nestes et ses affluents.

Communes concernées par les études des aléas



La Neste prend naissance sur la commune d'Aragnouet à plus de 2500 mètres d'altitude. Son réseau hydrographique s'articule autour de deux cours d'eau torrentiels : la Neste d'Aure et la Neste du Louron qui se rencontrent à Arreau, avant de rejoindre la Garonne.

Les enjeux sont plutôt agricoles et touristiques. Le climat est de type atlantique tempéré, mais sous l'influence montagnarde avec de grandes variations de températures et de précipitations d'un versant à l'autre. Les principales plus grandes crues récentes datent du 18 juin 2013, 5 juillet 2001 et 7 novembre 1982. Des crues importantes plus anciennes datent du 27 octobre 1937, 3 octobre 1960 et 13 juillet 1931.

Les études :

Études sous maîtrise d'ouvrage de la direction départementale des Territoires des Hautes-Pyrénées, s'inscrivent dans le cadre de l'élaboration des PPR de 47 communes qui longent la Neste.

- **La première étude concerne les aléas inondations (Neste et affluents)** notifiée à la CACG (Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne), complétée par deux expertises sur la méthodologie en 2016 :

Une expertise de l'aléa inondation de la Neste réalisée par IRSTEA.

Une expertise de l'aléa inondation des affluents réalisée par le RTM sur la méthodologie.

Ces deux expertises ont validé les résultats de l'étude de la CACG.

Une étude de l'aléa inondation par crues torrentielles a été lancée par la commune de Loudenvielle et de Génos. Cette étude par modélisation des laves torrentielles réalisée par le bureau d'étude IDEALP.

Ces résultats apportent une précision supplémentaire à ceux de l'étude de la CACG et ont été intégrés en compte dans la carte des aléas multi-aléas.

- **La deuxième étude concerne les aléas avalanches, chutes de blocs et mouvements de terrain**, notifiée à AGERIN (Aménagement et Gestion de l'Environnement et des Risques Naturels). Une étude complémentaire (modélisations) a été notifiée à ARIAS Montagne le 25 janvier 2018, afin d'affiner les résultats sur certains secteurs.

II.2 – Méthodologie employée

II.2.a – Étude CACG : inondations fluviales et torrentielles

L'étude des aléas inondations s'est déroulée en cinq phases :

- **Phase 1 : Enquête de crue et analyse hydrogéomorphologique**
- **Phase 2 : Étude hydrologique de la Neste et des affluents**
- **Phase 3 : Caractérisation des aléas**
- **Phase 4 : Cartographie des aléas**
- **Phase 5 : Mesures de prévention**

Phase 1 :

- Enquête de crue :

Afin de s'imprégner de la configuration hydraulique et géomorphologique de la zone d'étude (lits mineurs et moyens, ponts, seuils, ...), les ingénieurs hydrauliciens et hydrogéomorphologues ont procédé à une enquête approfondie qui a permis d'effectuer une reconnaissance générale des caractéristiques morphologiques naturelles (talus, chenaux, terrasses alluviales, ...) et artificielles (remblais, murs, bras de décharge, ...) du secteur d'étude.

Cette approche basée sur l'observation et l'interprétation du terrain naturel, nous a permis d'identifier sur le secteur d'étude le réseau hydrographique existant et les différentes unités hydrogéomorphologiques à partir de témoignages, de documents et études existants afin d'appréhender le contexte local et l'historique des crues les plus récentes.

- Analyse hydrogéomorphologique :

L'étude hydrogéomorphologique met en œuvre deux types d'investigations :

- Une analyse des images aériennes couplée avec l'analyse du modèle numérique de terrain (MNT) de la base ALTI + de l'IGN acquis par la méthode du LIDAR de télédétection par laser exploité en courbes de niveau d'équidistance verticale de 0,50 m. Une première cartographie des zones inondables est établie.
- Une analyse de terrain qui consiste à vérifier la cartographie initiale en intégrant en particulier les repères de crue, dont en particulier les repères des crues de 1982, 2001 et 2013 sachant que nous considérons la crue de 1937 comme celle des Plus Hautes Eaux Connues (PHEC).

Phase 2 :

- Étude hydrologique de la Neste :

Cette étude repose sur l'analyse des documents existants, l'analyse des crues historiques, l'exploitation des données du réseau des stations de mesures du bassin de la Neste.

À partir de ces analyses on obtient par des statistiques une évaluation du débit de pointe pour diverses périodes de retour en divers points de calcul.

Une autre approche hydrologique pour la détermination des crues de fréquences rares est basée sur l'application de la méthode du GRADEX, à partir d'une analyse des débits et des pluies. Le principe de la méthode du GRADEX est donné en bas de page (note ¹).

Choix des crues de référence :

L'analyse hydrologique statistique des crues de la Neste à Sarrancolin a conclu au classement suivant :

¹ La méthode du Gradex est une approche hydropluviométrique probabiliste du calcul des débits de crues extrêmes (événement de durée de retour située entre 100 et 10 000 ans), développée par EDF et d'emploi très répandu en France. Elle repose sur l'hypothèse qu'au-delà d'une certaine hauteur de pluie, généralement voisine de la pluie décennale sur les bassins imperméables à faible rétention (jusqu'à cinquantennale sur les bassins perméables à forte rétention), la saturation des sols fait que tout accroissement de précipitation se traduit par un accroissement équivalent du volume ruisselé. Autrement dit, au-delà d'un certain point pivot, la répartition statistique des volumes ruisselés pendant une durée caractéristique choisie suit la même loi de répartition (de Gumbel) que les pluies de même durée caractéristique, le GRADEX étant la pente de cette loi.

<u>Crue d'Octobre 1937 :</u>	461 m ³ /s (période de retour de 130 ans)
<u>Crue de Juin 2013 :</u>	392 m ³ /s (période de retour de 50 ans)
<u>Crue de Novembre 1982 :</u>	317 m ³ /s (période de retour de 22 ans)
<u>Crue de Juillet 1897 :</u>	312 m ³ /s (période de retour de 20 ans)
<u>Crue de Juillet 2001 :</u>	287 m ³ /s (période de retour de 16 ans)
<u>Crue de Juin 1979 :</u>	257 m ³ /s (période de retour de 12 ans)
<u>Crue d'Octobre 2012 :</u>	175 m ³ /s (période de retour de 8 ans)

Crue de référence pour le PPR :

L'analyse des chroniques, le classement des grandes crues et les reconnaissances de terrain permettent de mettre en évidence deux types de grandes crues :

- Les récentes, 1982, 2001 et 2013, très présentes dans les mémoires des riverains de la Neste et dans les services de l'état et des collectivités.
- Les plus anciennes, surtout 1937, encore présente dans certaines mémoires et sur quelques plaques de crue et photos, à l'opposé de celles du XIXe siècle (1875 et 1897)

La crue de 1937 apparaît comme la plus grande crue connue de la Neste sur le bassin aval. Sa période de retour est supérieure à 100 ans. C'est donc la crue de référence pour le PPRi en aval d'Arreau. En amont d'Arreau, c'est la crue centennale qui est la crue de référence.

- Étude hydrologique des affluents :

La zone d'étude est très étendue de Saint-Lary et Loudenvielle à l'amont jusqu'à la confluence à la Garonne à l'aval. Au regard important d'affluent sur le bassin de la Neste, uniquement les affluents pouvant présenter un risque pour la population et les infrastructures seront pris en compte.

Les secteurs de la Neste d'Aure et de la Neste du Louron sont très montagneux et tous les affluents de ces deux cours d'eau ont des altitudes maximales supérieures à 1 300 m NGF. La pente moyenne de ces sous-bassins versants est forte, elle varie de 12% pour le ruisseau de Lastie à 43% pour le ruisseau dont l'exutoire est situé à Avajan. Ces valeurs laissent augurer du régime torrentiel de ces cours d'eau. Par conséquent, les vitesses atteintes en crues seront très fortes.

Identification des caractéristiques du bassin versant sur la commune, puis analyse de celles-ci.

Les données de pluviométrie utiles sont les quantités de précipitations maximales et estimées pour différentes périodes de retour. Les stations METEO France d'Arreau-Bordères et de Génos sont jugées représentatives de la zone d'étude.

Les valeurs de précipitations de durée 24h pour différentes périodes de retour sont issues d'un ajustement statistique à une loi GEV des maxima de la période traitée.

Estimation des débits par la méthode ANETO (Approche Naturaliste et statistique pour l'Estimation des débits de crue de référence des bassins versants Torrentiels pyrénéens). La crue de référence centennale est obtenu par le biais de coefficients multiplicateurs forfaitaires calées sur données statistiques régionales et nationales (CEMAGREF et RTM).

Seule l'enquête de terrain, permet d'estimer les débits de crue passées à partir de lois d'hydraulique simples.

À partir là, sera déterminée la caractérisation des aléas sur chaque secteur à enjeux.

Phase 3 : Caractérisation des aléas :

Phase 3-1 – inondation de la Neste

La précision relative attendue des résultats (connaissance des zones inondées en vue de caractérisation des zones à risques) et la facilité de définition de ces zones inondées nous dictent de modéliser la totalité du cours de la Neste depuis Saint-Lary en vallée d'Aure et Loudenvielle en vallée du Louron jusqu'à la confluence à la Garonne.

La mise à disposition du LIDAR sur tout le secteur d'étude permet de mieux modéliser le lit majeur, notamment pour l'analyse hydrogéomorphologique. Les modèles hydrauliques permettent d'affiner les limites des différentes zones inondables et de donner les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement du cours d'eau pour la crue de référence sur les zones à enjeux. De plus, des levés topographiques ont été réalisés sur le lit mineur et certains repères de crue.

Une modélisation hydraulique a donc été menée sur le cours principal de la Neste. Le secteur est divisé en quatre modèles distincts pour décrire la totalité de la zone d'étude :

- Un modèle des Nestes réunies d'Arreau à la confluence à la Garonne,
- Un modèle de la Neste d'Aure de Saint-Lary à Arreau,
- Un modèle de la Neste du Louron de Loudenvielle à l'amont du lac de Génos,
- Un modèle de la Neste du Louron de l'aval du lac de Génos à Arreau.

avec les caractéristiques globales géométriques suivantes :

Caractéristiques physiques du secteur d'étude :

Modèles	Nestes réunies	Neste d'Aure	Neste du Louron amont de Génos	Neste du Louron aval de Génos
Nombre de profils	373	56	13	61
Nombre de ponts	21	14	5	11
Nombre de seuils et barrages	15 dont 5 barrages	3 barrages	-	2 dont 1 barrage important
Largeur minimum	15 m	16 m	13 m	7 m
Largeur maximum	136 m	90 m	39 m	55 m
Largeur moyenne	36 m	35 m	25 m	23 m
Longueur	39 500 m	12 200 m	1 700 m	14 000 m
Pente moyenne	0,007 m/m	0,01 m/m	0,012 m/m	0,17 m/m

Le calage d'un modèle hydraulique consiste à régler les coefficients de frottement et d'écoulement sur les seuils et sous les ponts pour que les résultats du modèle s'approchent de la réalité donnée par les repères de crue.

Le calage des modèles hydrauliques est réalisé à partir des repères de crue et témoignages recueillis lors de l'enquête de terrain et des estimations de débit effectués in situ et par l'analyse hydrologique. Les crues de calage sont les crues historiques mais récentes de la Neste si l'information est disponible. Les crues les plus renseignées sont celles de 1982, 2001 et 2013.

Phase 3-2 – inondation de l'aléa torrentiel des affluents de la Neste

Le cahier des charges fixé par l'État distingue les niveaux d'aléas selon le tableau suivant :

Tableau 1 : Grille d'analyse de l'aléa torrentiel

Aléa		Probabilité d'atteinte		
		Forte	Moyenne	Faible
Intensité	Forte	Fort	Fort	Fort à Moyen
	Moyenne	Fort	Fort à Moyen	Moyen à Faible

Il s'agit donc de croiser un critère d'intensité, décliné en deux niveaux, fort et moyen, d'une part et un critère de probabilité d'atteinte pour le phénomène de référence considéré, d'autre part.

On voit bien que ces deux critères sont partiellement liés du fait que la probabilité d'atteinte est conditionnée généralement par la distance au lit torrentiel ou à ses annexes (chenaux) et que l'intensité du phénomène tendra à se réduire avec la distance.

L'intensité du phénomène est principalement dépendante :

- Des critères hauteur d'écoulement et vitesse, facteurs dépendants en un point donné du débit de la crue et de la pente ;
- Des modalités d'écoulement dépendant de la pente et du potentiel d'apports en matériaux du bassin versant par glissement ou par érosion du chenal (enfouissement / élargissement) ;
- Du transport solide relevant l'altitude des lits torrentiels par sédimentation et réduisant la capacité apparente du lit ;
- De l'affouillement des berges pouvant déstabiliser des constructions ou ouvrages ;
- De la formation d'embâcles pouvant générer des écoulements violents après rupture ;
- De la sédimentation de matériaux en lit majeur (cône de déjection) ;
- D'autres critères particuliers doivent être intégrés, tels que la présence de lits « suspendus » sur les cônes de déjection, historiquement endigués, souvent sommairement, pour limiter les divagations des petites crues, la protection contre les fortes crues étant illusoire par ce type d'ouvrage.

La probabilité d'atteinte doit être abordée avec prudence sur les torrents du fait de leur capacité de divagation en forte crue induite par les phénomènes de sédimentation conduisant à l'exhaussement du lit existant, soit en amont d'un ouvrage mis en charge, soit au niveau d'une rupture de pente modifiant la capacité de transport.

Dans ce dernier cas, des chenaux peuvent être identifiés sur les cônes de déjection et constituer des axes préférentiels de divagation. Cette situation se rencontre souvent dans la partie amont des cônes de déjection (zone apicale) car la rupture de pente du chenal torrentiel à l'apex du cône est une zone privilégiée de dépôt et c'est à ce niveau que se produisent les divagations principales qui organisent la morphologie du cône.

C'est pour cette raison qu'il est fondamental de toujours vérifier les conditions actuelles d'incision du cône à l'apex, sachant qu'une incision importante du chenal (2-3 m) ne signifie pas une impossibilité de débordement. Selon les capacités d'apport sédimentaire dans le bassin versant et la fréquence des crues capables de mobiliser les matériaux disponibles, l'incision apicale pourra signifier une durée longue sans crue à forte charge solide, donc une période favorable à l'incision, plutôt que l'absence définitive de risque de débordement et divagation à l'apex.

A la suite, il sera généralement prudent de considérer comme possible le risque de divagation depuis l'apex, ce qui doit conduire à manier avec prudence le critère de probabilité d'atteinte.

Le seul contexte géomorphologique permettant de conclure à l'absence de risque de divagation sur un cône de déjection depuis l'apex correspond au basculement du chenal sur l'une ou l'autre des marges du cône, en vérifiant que le degré d'incision du lit à l'apex rend improbable un débordement. Ceci indique un déséquilibre sur le long terme de la relation entre débit solide et débit liquide déterminant l'incision irréversible du cône de déjection.

De ce fait, les différences cartographiques avec les Plans de Prévention des Risques existants résultent principalement :

- de la prise à compte du transport solide sur les risques de divagation sur les cônes de déjection, cette prise en compte étant généralement insuffisante dans les PPR en vigueur ;
- de l'intégration de modélisation numérique d'extension de laves torrentielles (torrent du Rioulong à Loudenvielle) postérieure à l'établissement des PPR en vigueur ;
- de l'intégration des champs d'inondation et de hauteurs de crues torrentielles majeures récentes : cas de la Mousquère à Bourisp en particulier (crue du 18 juin 2013) ou d'Adervielle-Pouchergues (crues de 2003 et 2009).

II.2.b – Étude AGERIN : mouvements de terrains et avalanches

La méthodologie retenue pour évaluer les aléas mouvements de terrains et avalanches consiste à obtenir en continuité une connaissance fine de la morphologie de la zone d'étude, du fonctionnement des cours d'eau et une qualification des aléas adaptée aux spécificités des espaces exposés.

Elle est fondée sur la complémentarité des approches, qui doivent être organisées en une suite d'étapes de manière à couvrir l'ensemble du champ de connaissance, tout en progressant du général au particulier, du qualitatif au semi-quantitatif, voire au quantitatif.

Ces approches, bien que successives, ne doivent pas être disjointes de manière à permettre une analyse transversale du risque.

Au contraire, elles doivent s'interpénétrer, se recouper, de manière à permettre une vérification et un ajustement réciproque des résultats.

Le but doit être la réalisation d'une étude comportant plusieurs volets à distinguer de plusieurs études différenciées et non interactives entre elles.

L'importance de chacun des volets est fonction des caractéristiques propres du secteur à étudier, à savoir le mode de fonctionnement du bassin versant, et les données disponibles.

Ainsi, nous pouvons distinguer quatre étapes :

- La constitution d'une base documentaire et son analyse.
- L'analyse par photo-interprétation et l'analyse spatiale de la zone d'étude.
- L'analyse de la morphologie du terrain. (Sur le terrain)
- Le croisement des données spatialisées sous SIG et la cartographie des aléas.

- **La constitution d'une base documentaire et son analyse**

Elle consiste à obtenir les données d'archives :

- Les sources communales ou intercommunales (compte rendus de conseils municipaux ou syndicaux, compte rendu de travaux ou d'accidents, plans divers...).
- Les archives paroissiales et départementales.
- Les sources administratives (Préfecture, Services de l'Etat, ONF, RTM, DREAL, Services Départementaux, SIDPC...).
- Les documents techniques (CETE, EDF, Météo-France, bureaux d'études, banques de données...).
- Les données spatiales (cartes précises, plans cadastraux, plans topographiques, photographies aériennes, cartes géologiques et géomorphologiques...).
- Articles de presses (presse locale, nationale, spécialisée...).
- Témoignages, photographies.

- **L'analyse par photo-interprétation et l'analyse spatiale de la zone d'étude**

Dans un premier temps, l'ensemble des données collectées est spatialisé sous un système d'information géographique de manière à pouvoir en étudier les emprises et les relations. Pour ce faire, les informations font l'objet de classements et d'analyses des superpositions (requêtes SIG).

Dans un second temps, une analyse en photo-interprétation est réalisée, notamment par un examen stéréoscopique (en relief) des photographies aériennes existantes (photographies à plusieurs échelles et de plusieurs natures).

Pour les mouvements de terrain, il sera recherché toutes les traces relevant du fonctionnement morphodynamique des versants (fluage, reptations, décrochements...) et les facteurs favorisants seront recherchés (ruptures de pentes héritées, circulations d'eau sous-jacentes...). Dans ce dernier cas, il peut être utilisé des couples stéréoscopiques couleur (données IGN, 1/25000). En effet, en dehors même d'une très bonne définition de l'image et d'une échelle assez grande (1/25000), les images permettent une analyse fine des circulations d'eau, notamment en mettant en évidence les sorties d'eau ou les discordances dans les circulations. Concrètement, cela permet une très bonne et très précoce détection des phénomènes et particulièrement des fluages et des glissements par décrochements ou rotation. Cette méthode permet aussi d'affiner la localisation des contacts géologiques argileux, sièges fréquents de mouvements. Il est ainsi mené une recherche des indices de mouvements tels que bourrelets, arbres penchés, dégâts aux structures des constructions, dégâts aux réseaux, blocs erratiques, accidents de drainage, ravines plus ou moins végétalisées. Ces investigations se concentrent sur les phénomènes connus dans les formations géologiques rencontrées.

Une analyse similaire est menée pour la définition fine de l'emprise des phénomènes avalancheux par la définition des zones de départ, de propagation et d'arrivée. Ces dernières sont déterminées dans un premier temps par photo-interprétation et visent la définition des zones d'accumulation de plaques à vent (généralement sous les crêtes), les zones de décrochements du manteau neigeux (analyse diachronique), les pentes des terrains (stéréoscopie), les zones non végétalisées (analyse diachronique), l'analyse de la morphologie (thalwegs et axes préférentiels de propagation) et l'analyse des indices d'activité (arbres déracinés...).

- **L'analyse des caractéristiques de la morphologie du terrain**

Cette approche permet de prendre en compte, par une observation de terrain et par le calcul, des phénomènes atypiques ou des singularités.

Les moyens mis en œuvre :

Les moyens mis en œuvre pour l'application l'affinage et la validation des cartes sont donc multiples.

L'utilisation des documents existant (études, photographies...).

L'examen détaillé, sur le terrain et par photo-interprétation de la morphologie.

L'analyse des structures stratigraphiques superficielles des alluvions.

Une enquête de terrain auprès des riverains et des différents acteurs.

Pour les mouvements de terrain, une étude géomorphologique de terrain très détaillée est réalisée sur le territoire d'étude. Il s'agit d'affiner la connaissance des conditions de mise en place du modelé récent, de vérifier les phénomènes morphodynamiques en cours et leurs limites précises. Notamment, cela conduit à mener une recherche des indices de mouvements tels que :

- Les bourrelets, les fluages, les décrochements, les affaissements ou encore les gradins dans les pentes.
- Les arbres ou poteaux penchés ou mal alignés.
- Les dégâts aux structures des constructions et les dégâts aux réseaux.
- Les blocs erratiques à l'aval des zones rocheuses ou des talus.
- Les accidents de drainage.
- Les ravines plus ou moins végétalisées.

- **Le croisement des données spatialisées sous SIG et la cartographie des aléas**

A la fin de cette démarche, l'ensemble des données collectées et des résultats d'analyse est regroupé au sein d'un SIG (Système d'Information Géographique), les différents éléments sont cartographiés, et de multiples analyses spatiales permettent d'obtenir une vue synthétique des phénomènes et de leur intensité.

Ainsi, cela permet l'établissement de cartes d'aléas précises en appliquant les valeurs discriminantes pour chaque classe d'aléas dans chaque type de phénomènes, en application de la réglementation et des doctrines régionales définies par la DREAL Occitanie.

II.2.c – Les modélisations (Laves Torrentielles, chutes de blocs et avalanches)

- Modélisation des laves torrentielles (IDEALP)
- Modélisation des avalanches (ARIAS Montagne)
- Modélisation des chutes de blocs (Engineerisk)

- **Modélisation des laves torrentielles (IDEALP)**

Topoflow est un outil de modélisation bidimensionnel d'hydrologie, d'hydraulique et de charriage, ainsi que de laves torrentielles. Ce modèle a été mis au point par le bureau d'étude IDEALP.

Les modélisations bidimensionnelles permettent de simuler des écoulements de crue et de préciser les comportements hydrauliques et les enjeux impactés pour un scénario donné.

Le périmètre d'étude est modélisé à l'aide d'un réseau de mailles entre lesquelles les échanges liquides et solides sont calculés dans huit directions selon les lois de comportement de l'hydraulique et du charriage. Un bilan est pour chacune des mailles à chaque pas de temps de calcul.

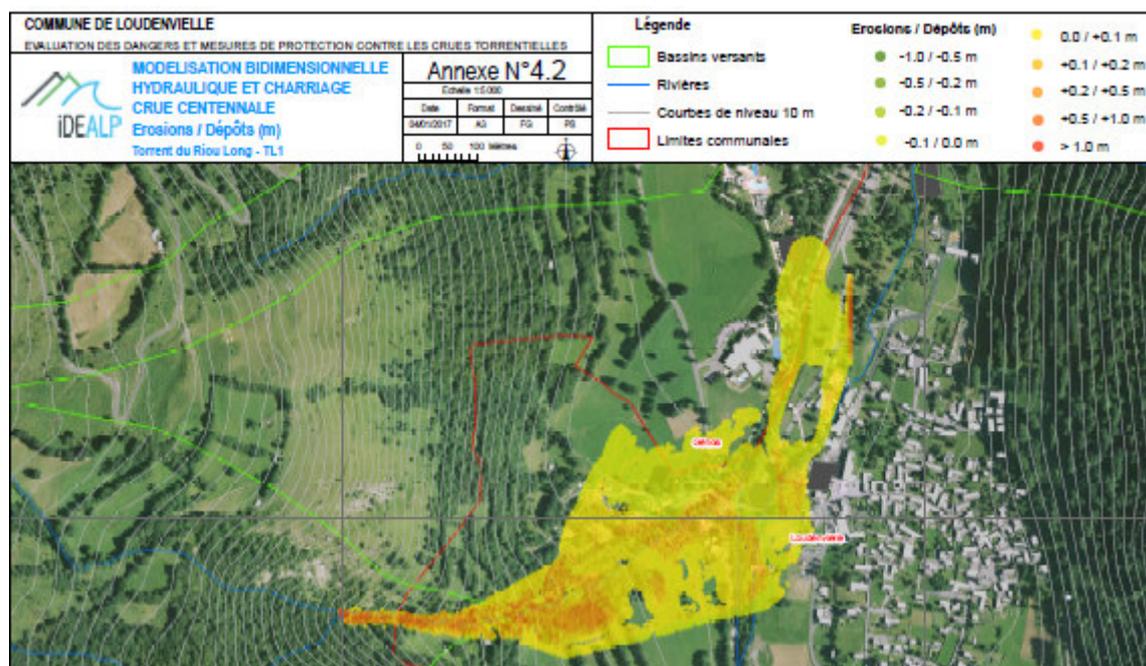
Les résultats déterminants fournis par les modélisations bidimensionnelles à l'aide du logiciel topoflow sont les suivants :

- Hauteurs maximales d'écoulement
- Hauteurs maximales d'érosions / dépôts de matériaux solides
- Vitesses maximales d'écoulement

Le modèle utilise un schéma explicite de type volumes finis pour résoudre l'équation complète de Barré St-Venant. Pour les champs d'inondation, l'approximation par l'onde diffuse est généralement utilisée.

Le calcul du charriage se fait de manière fractionnaire et permet de prendre en considération le tri granulométrique (Hunziker, 1995). D'autres formules de charriage peuvent être utilisées (Smart et Jaeggi, VAW, Lefort, Rickenman,...).

Extrait du rapport d'IDEALP



Pour le cas des laves torrentielles, différentes lois de comportement peuvent être utilisées. Les apports de laves peuvent être faits en déterminant un hydrogramme de lave ou en considérant des volumes de laves. Dans le cas présent nous avons utilisé une loi de comportement correspondant à des laves boueuses (Coussot) et considéré les pertes de charges par turbulence.

- **Modélisation des chutes de blocs (ARIAS Montagne)**

Il concerne la réalisation de modélisations trajectographiques de blocs rocheux en vue de préciser l'aléa de propagation actuellement défini selon une approche naturaliste utilisée sur le secteur des Nestes pour la cartographie des aléas mouvements de terrain (aléa chute de pierres et de blocs).

Le logiciel utilisé pour les modélisations est Drop3D, développé par Arias Montagne.

D'une manière générale et indépendamment des paramètres propres à chaque secteur d'études, on retiendra :

- Les modélisations concernent des chutes de blocs isolés, sans interaction entre elles.
- Le nombre de trajectoires successivement simulés sur un même site d'étude est de 1 000 000.
- Le rôle des habitations ou bâtiments dans l'arrêt, la déviation ou le ralentissement des trajectoires n'est pas pris en compte. En effet, ce rôle est propre à chaque construction et n'a pas été évalué.
- La détermination de l'aléa de propagation :

Une grille de comptage de passage de maille 5 m x 5 m a été positionnée sur l'ensemble du Modèle Numérique Terrain. Sur chacune des cellules de cette grille, le nombre de blocs qui la traverse (soit par survol, soit par impact) est comptabilisé.

Le ratio nombre de passage / nombre de blocs au départ permet d'obtenir l'aléa de propagation.

- **Modélisation avalanche (Engineerisk)**

La modélisation des écoulements denses est testée à l'aide du logiciel de référence RAMMS de l'Institut Fédéral Suisse d'Etudes des Avalanches à Davos.

La loi d'écoulement utilisée est basée sur des équations hydrauliques classiques d'un milieu continu moyenné sur l'épaisseur. La masse de l'avalanche est entraînée par la gravité tout en subissant la résistance au sol d'un frottement combiné de type Coulomb et visqueux qui dépend du carré de la vitesse d'écoulement. Il s'agit ici de ne modéliser que la partie dense de l'écoulement, la plus préjudiciable pour les structures.

Les hypothèses suivantes sont utilisées :

- Jeu complet de paramètres correspondant à des avalanches **centennales** et **tri-centennales** : l'ensemble des préconisations quant au choix des paramètres du SLF sont respectées sans ajustement ou modification
- Les hauteur et épaisseur de référence sont définis selon le même processus que celui ayant abouti au tableau ci-dessous :

		PERIODE DE RETOUR			
		10 ans	30 ans	100 ans	300 ans
Epaisseurs mobilisables	1j	37 cm	45 cm	54 cm	63 cm
	2j	53 cm	63 cm	75 cm	88 cm
	3j	62 cm	73 cm	86 cm	102 cm

Tableau 2; Extrapolation à la zone de l'étude des épaisseurs de neige mobilisables à partir des données des stations Météo France [3] de Genos, Oo et St Lary Soulan et pour des pentes moyennes à 39° et 2500m d'altitude

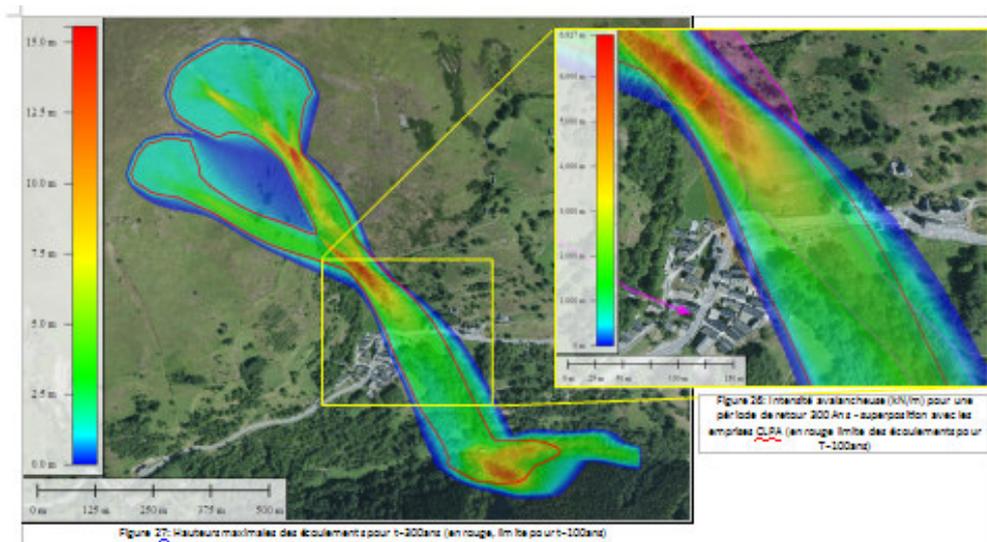
- Densité : 300 kg/m³. Cette densité est celle de "l'écoulement". Des références comme [7] montrent en effet une majoration importante de la densité "dans" l'avalanche par rapport à celle de la neige fraîche mobilisée et cette valeur de 300kg est communément admise notamment s'agissant d'évaluer les valeurs de pression [8] qui sous-tendent également le zonage.

- Résolution de la grille régulière représentant la topographie : 4m [4].

Un des paramètres prépondérants pour ces modélisations est le choix de la catégorie de volume qui va gouverner le comportement de l'avalanche. Ce volume doit s'entendre comme celui qui va "interagir avec lui-même" au sein des lignes d'écoulements et pour cela, Ramms permet le choix entre "tiny" ($<5000\text{m}^3=T$), "small" ($<25000\text{m}^3=S$), "medium" ($<60000\text{m}^3=M$) et "large" ($>60000\text{m}^3=L$).

A noter que le paramètre de cohésion disponible dans les dernières versions du logiciel est utilisé le cas échéant dans la gamme des neiges froides / sèches (valeur jusqu'à 100Pa) pour privilégier les trajectoires les plus importantes et intenses tout en permettant d'affiner les résultats.

Extrait du rapport d'Engineerisk



Les modélisations sont ensuite interprétées de manière experte afin d'en ressortir le zonage le plus représentatif possible.

III.2 – La traduction réglementaire :

Afin de limiter les conséquences humaines et économiques de catastrophes naturelles pour la collectivité, le principe à appliquer est l'arrêt du développement de l'urbanisation et donc l'interdiction d'aménager des terrains et de construire dans toutes les zones à risque.

Les terrains protégés par des ouvrages de protection existants sont toujours considérés comme restant soumis aux phénomènes étudiés, et donc vulnérables, en particulier pour ce qui est des constructions et autres occupations permanentes. Les mêmes prescriptions doivent être appliquées, qu'il y ait ouvrages ou pas, l'intérêt majeur de ces derniers devant rester la réduction de la vulnérabilité de l'existant.

Dans les zones d'aléas les plus forts

Lorsque la sécurité des personnes est en jeu, ou lorsque les mesures de prévention ne peuvent apporter de réponse satisfaisante, l'interdiction sera appliquée strictement. On ne peut exclure que certaines situations conduisent à bloquer la croissance d'une commune ; il conviendra alors de rechercher d'autres solutions d'avenir, par exemple dans l'intercommunalité.

Dans les autres zones d'aléas

Le principe de réglementation est de ne pas urbaniser les zones exposées en dehors des zones urbanisées.

TABLEAU ET CARTE RÉGLEMENTAIRE
Schéma synthétique du croisement des enjeux avec les aléas

Aléas	Enjeux	Zones non urbanisées		Zones urbanisées
	Aléa fort	I		I
	Aléa moyen/faible hors inondation	I		A
	Aléa moyen / faible	I (champ d'expansion des crues)	A (avalanche exceptionnelle)	A



A : constructions autorisées avec prescriptions particulières



constructions autorisées avec prescriptions particulières (avalanche exceptionnelle)



I : constructions nouvelles interdites, sauf cas particulier : voir règlement (champ d'exceptionnelle des crues)



I : constructions nouvelles interdites (sauf cas particulier : voir règlement)

La cartographie

- Les zones à risque sont repérées par :

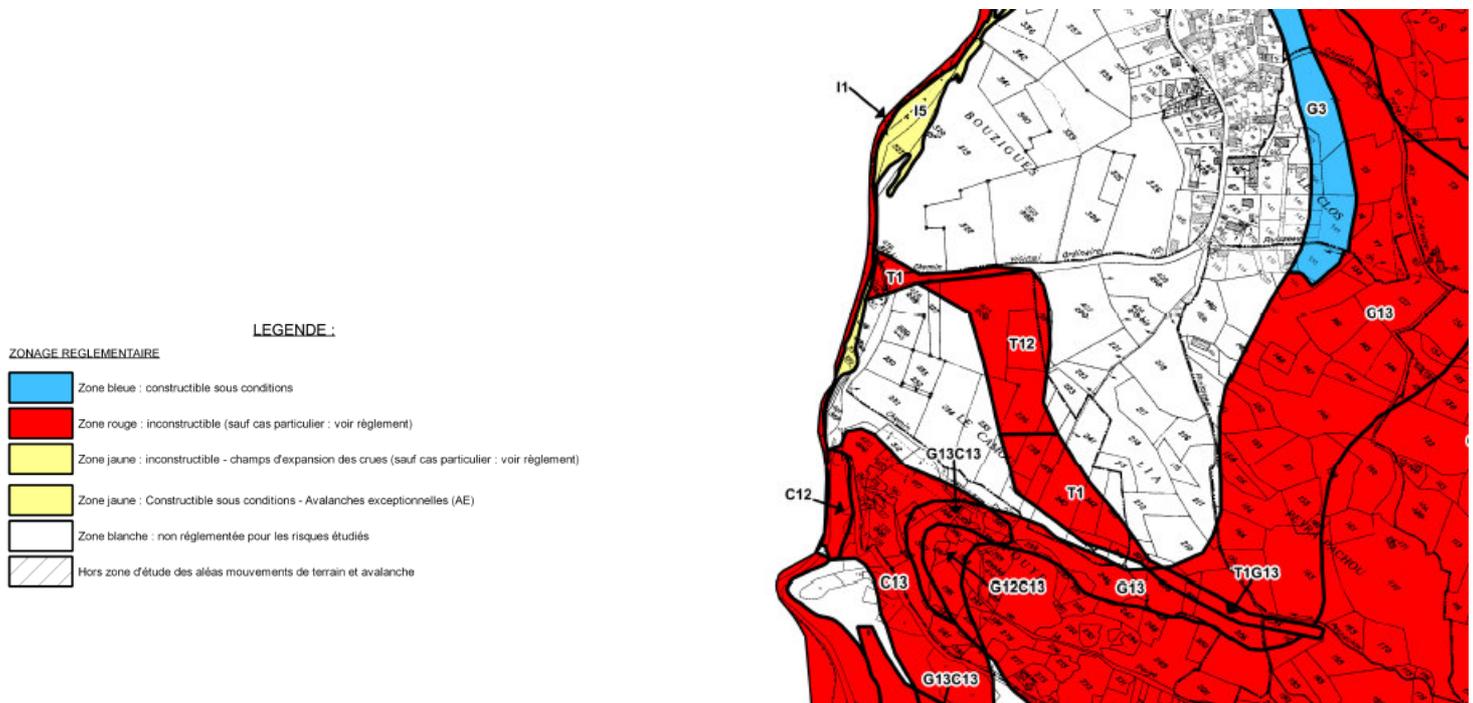
- une lettre, qui définit le type de risque :
 - A : avalanche
 - C : chute de blocs
 - G : glissement de terrain
 - I : inondation
 - R : ravinement
 - T : crue torrentielle
- un chiffre et une couleur qui définissent le niveau de l'aléa et la constructibilité :
 - 1 (rouge) : fort
 - 2 (bleu) : moyen
 - 3 (bleu) : faible
 - 12 (rouge) : moyen
 - 13 (rouge) : faible
 - 4 (jaune) : moyen champ d'expansion des crues
 - 5 (jaune) : faible champ d'expansion des crues

Les zones soumises à l'**aléa avalanche de référence exceptionnel** sont repérées par deux lettres AE et une couleur jaune.

	Zone bleue : Constructible sous conditions
	Zone rouge : Inconstructible (sauf cas particulier : voir règlement)
	Zone jaune : Inconstructible – champ d'expansion des crues (sauf cas particulier : voir règlement)
	Zone jaune : Constructible sous conditions – avalanche exceptionnelle
	Zone blanche : non réglementée pour les risques étudiés

Le **zonage sismique**, qui est un zonage national, s'applique à tout le périmètre mis à l'étude.

Extrait de la carte réglementaire de la commune de Loudenvielle



Le schéma ci-dessous synthétise l'analyse qui est faite pour chaque zone considérée "à risque". A chaque phénomène est ainsi attribué un niveau d'aléa relatif à son intensité et sa fréquence. L'appréciation des enjeux résulte d'une analyse des occupations du sol actuelles ou projetées. Le niveau de risque induit par l'évaluation des enjeux menacés et le niveau d'aléa permet de déterminer les zones réglementaires du plan de zonage du PPR.

