

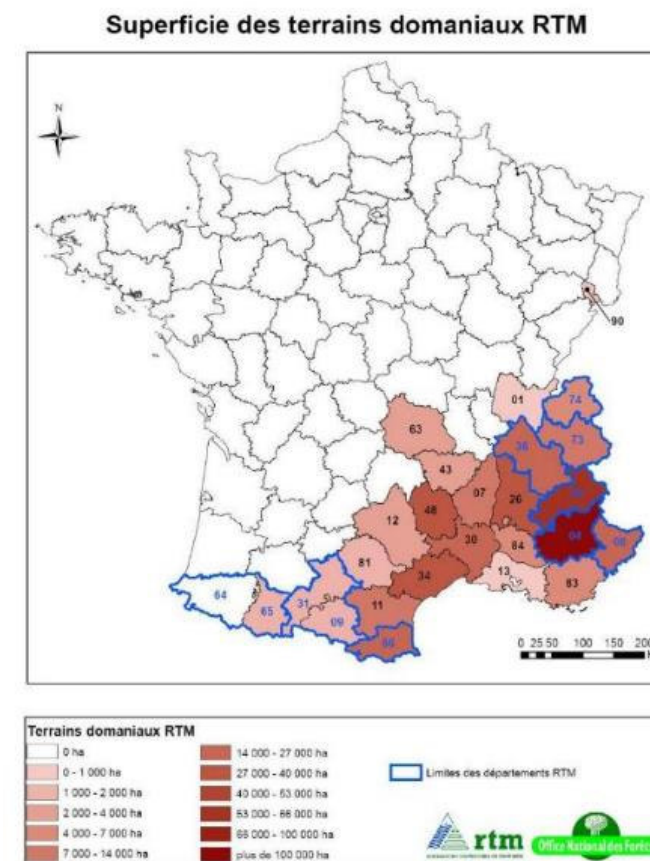
Journée technique GEMAPI et prévision des crues sur les Alpes du Nord

17 janvier 2023 – Grenoble

RTM – Spécificités du contexte torrentiel –
outils disponibles et limites



- **Mission RTM historique** (depuis 1860) pour le compte du ministère en charge des forêts (MASA) :
 - Depuis 1972, l'Etat a confié à l'ONF la gestion des ouvrages RTM (sous maîtrise d'ouvrage Etat) ;
 - Terrains acquis : 380 000 ha sur 25 départements - Superficie boisée : 210 000 ha boisés (2/3 reboisés volontairement - Sites traités : 1 100 bassins torrentiels, 115 versants en glissement, 100aine de sites d'avalanche
 - 23 000 ouvrages RTM répartis sur plus de 2100 dispositifs suivis régulièrement (81 % des ouvrages protègent contre les crues torrentielles + phénomène d'érosion (71% et 10%), 14 % contre les avalanches, le reste (5 %) sur glissements et chutes de blocs)



- Création des services RTM "contemporains" suite aux événements de 1970 (avalanche Val d'Isère (73) - 39 morts dans un centre UCPA ; glissement du plateau d'Assy (74) - 71 morts dans un sanatorium) ;
- Organisation actuelle : Services ONF-RTM répartis sur **3 agences** (Alpes du Nord, Alpes du Sud et Pyrénées) et **11 départements** (dont 74, 73 et 38) + pôle RTM et SI au DRN



- Mission d'intérêt général (MIG) de prévention des risques naturels en montagne pour le compte du ministère en charge de la prévention des risques (MTECT -DGPR) :
 1. Appui technique aux territoires (Préfecture, services de l'Etat et collectivités) avec notamment un **appui en cas d'événements naturels** (pour les collectivités avec l'accord des services de l'Etat - Préfecture/DDT) ;
 2. Assistance aux DREAL et à la DGPR ;
 3. Développements techniques et méthodologiques ;
 4. Connaissance des avalanches (EPA/CLPA) ;
 5. Mémoire du risque : relevé des événements naturels (BD RTM) ;
- Activités conventionnelles pour le compte de l'Etat et des collectivités :
 - AMO, Assistance technique : notamment à la mise en place de SDAL (Système d'avertissement local aux crues) ;
 - Études et expertises ;
 - Maîtrise d'œuvre de travaux de protection



Le service RTM n'est pas producteur de données servant à la prévision des crues, mais peut apporter son appui en cas d'événements ou en phase de préparation.



Un événement naturel survient sur votre territoire ?

Pensez à prévenir ou informer le service RTM :

- Appui technique en cas d'événement prévu dans le cadre de la MIG DGPR (pour les collectivités, avec l'accord des services de l'Etat - Préfecture/DDT) ;
- Relevé des événements pour conserver la mémoire du risque (plus de 45 000 événements recensés, dont la moitié en torrentiel / inondation) ;



Crue de l'Arbonne à Bourg-Saint-Maurice - Savoie - 2019



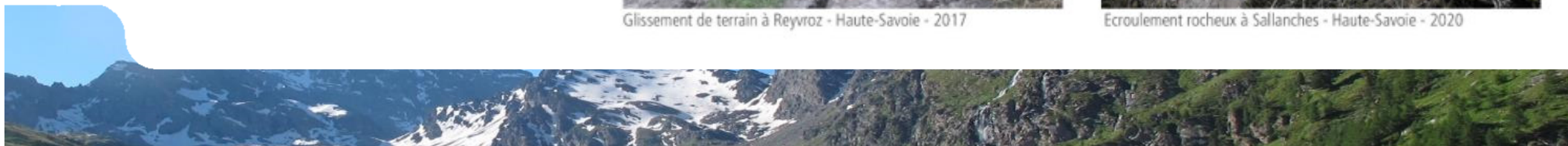
Avalanche à Vaujany - Isère - 2019



Glissement de terrain à Reyvroz - Haute-Savoie - 2017



Eroulement rocheux à Sallanches - Haute-Savoie - 2020



AGENCE RTM DES ALPES DU NORD

David BINET, directeur	06 28 63 30 12
Pierre VERRY, directeur adjoint	06 12 99 46 94
Rémy MARTIN, expert national paravalanche et risques géologiques ; management technique	06 09 62 12 30
Cécile BERTRAND, appui technique MOE	06 16 78 32 24
Antoine BLANC, spécialisé risques glaciaires	06 27 13 87 21

Dans la Drôme

Guillaume MONIER, correspondant RTM	06 27 02 59 58
-------------------------------------	----------------

Les équipes Isère

04 76 23 41 61

Service

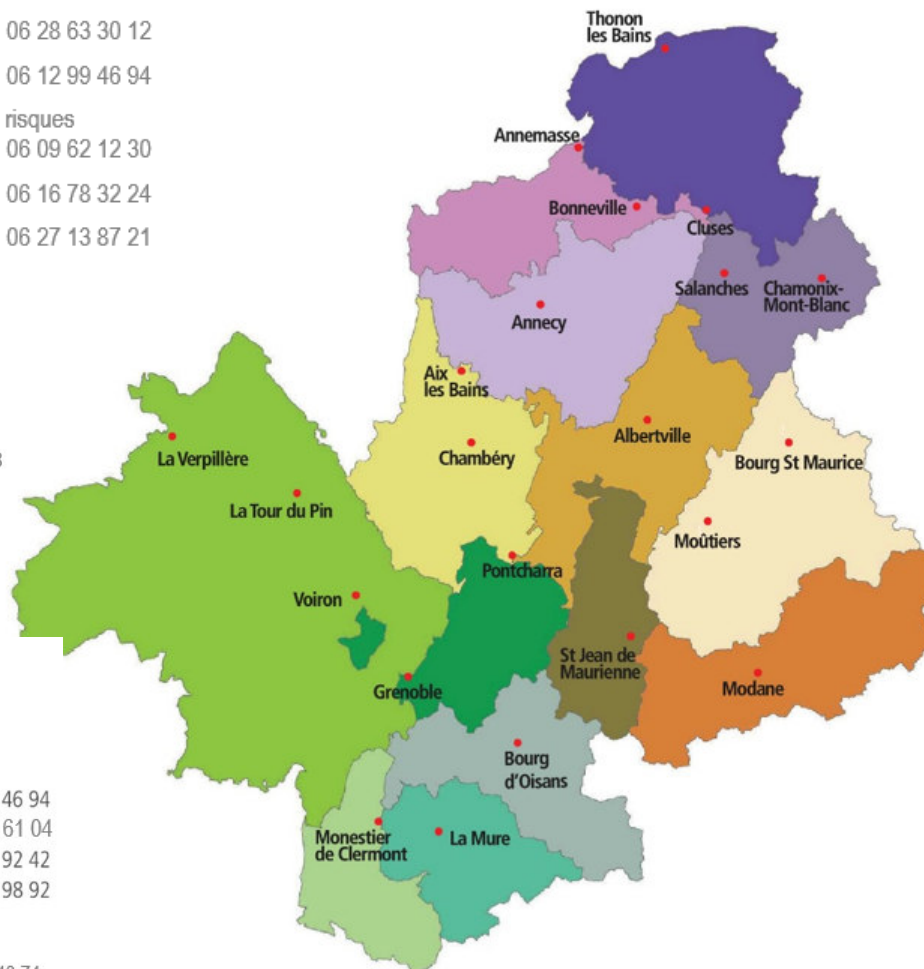
Pierre VERRY, chef de service	06 12 99 46 94
Mathieu SCHMITT, ingénieur travaux, adjoint	06 03 60 61 04
Pierre DUPIRE, ingénieur travaux	06 27 17 92 42
Clément ROUSSEL, dessinateur topographe	06 16 09 98 92

Responsables de secteurs

Charles RIBEYRE	06 19 07 43 74
Jean-Claude ZANCANARO	06 25 24 03 50
Kristian ROYER	06 07 16 57 60
Jean-Baptiste NICAISE	06 07 16 58 61
Julien MEUNIER	06 03 60 83 50

Pôle expertise

Yannick ROBERT, responsable du pôle, spécialiste géologie aléas	06 17 38 32 57
Robin MAINIERI, ingénieur spécialisé aléas de montagne	06 24 17 76 60
Vincent MANO, ingénieur spécialisé en hydraulique torrentielle	06 24 97 31 76
Arya GORGY, géologue	06 27 13 87 21



Les équipes Haute-Savoie

04 50 23 83 94

Service

Caroline BROBECKER, cheffe de service	06 09 62 17 36
Marine CAZY, ingénieur travaux, spécialiste géotechnique	06 26 05 51 84

Responsables de secteurs

Eric VULLIEZ	06 09 62 15 34
Jason DUPERTHUY	06 09 62 12 08
Jérémy BOILLON	06 28 96 43 39
Hors secteur. Contact : Alison EVANS	06 09 62 22 33

Pôle expertise

Alison EVANS, responsable du pôle, spécialiste géologie aléas	06 09 62 22 33
Bruno DEMOLIS, ingénieur spécialisé en hydraulique torrentielle et risques glaciaires	06 16 31 00 21
Guillaume GARCIA, géologue	06 26 05 51 84

Les équipes Savoie

04 79 69 96 05

Service

David BINET, chef de service	06 28 63 30 12
Guillaume LELEU, ingénieur travaux Savoie Sud	06 11 13 06 99
David ETCHEVERRY, ingénieur travaux Savoie Nord	06 11 13 05 99
Olivier BAGREAUX, dessinateur DAO/CAO	06 28 97 04 21

Responsables de secteurs

Philippe COQUET	06 18 03 88 86
Philippe LAROCHE	06 11 13 06 50
Rodolphe NEYROUD	06 24 97 31 64
Anthony DE RIGHI	06 11 13 06 30
Olivier LAMY	06 11 13 06 09

Pôle expertise

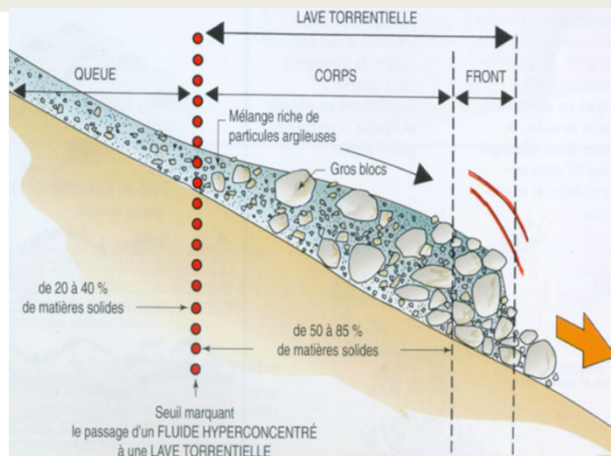
Thomas GEAY, responsable du pôle ; expert sénior	06 11 13 05 91
Stéphane ROUDNITSKA ; Spécialiste avalanche, nivologie	06 18 53 21 69
(Vacant), Ingénieur spécialisé en hydraulique torrentielle	06 24 97 32 38
(Vacant), ingénieur spécialisé aléas de montagne	07 63 88 28 94
Rémi LOUBET, géologue	07 62 37 49 36

SPECIFICITES EN CONTEXTE TORRENTIEL

TYPE DE PHÉNOMÈNES

➤ Laves torrentielles

Croquis extrait de « La vie de la Montagne », Bernard Fischesser, 1998



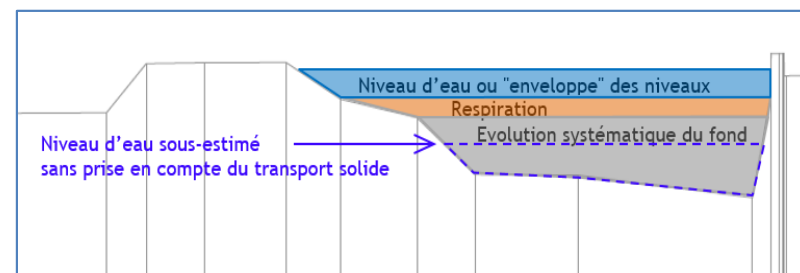
Illgraben (Suisse)
© P. Zufferey



➤ Charriage



Malnant (74) © A. Friez



➤ Facteurs aggravants : gros blocs – flottants



1998 - Boscodon (05)
© ONF-RTM 05



St Geoire en Valdaine -2002
© IRMa – Sébastien Gominet



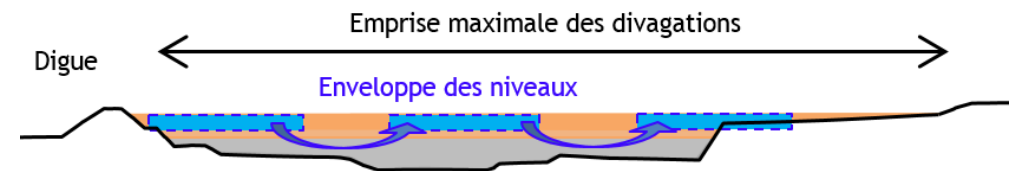
CHARRIAGE

Crue du Malnant à Thones
(74) – Mars 2015



Source : Réseaux sociaux - © A. Friez

- Lits larges propices aux divagations, aux fortes respirations et donc aux attaques de berges ; Section d'écoulement pas forcément connu ;



- Lits étroits quant à eux propices à l'incision du lit (peut fausser la mesure en cas d'abaissement du fond, voire provoquer la destruction du pont par affouillement de ses fondations sur lequel est implanté le capteur) ;



LAVE TORRENTIELLE



Lave sur l'Illgraben, La Souste - Valais - Suisse - 29 mai 2017

LAVE TORRENTIELLE

- Des laves qui vont plus ou moins vites : usuellement en France entre 1 m/s (voir parfois moins) et 10 m/s ;
- En cas de laves torrentielles, les délais d'anticipation sont généralement trop courts, incompatibles avec une évacuation (au mieux une mise en sécurité est possible) ;

Août 2017 – Bondo (Suisse)

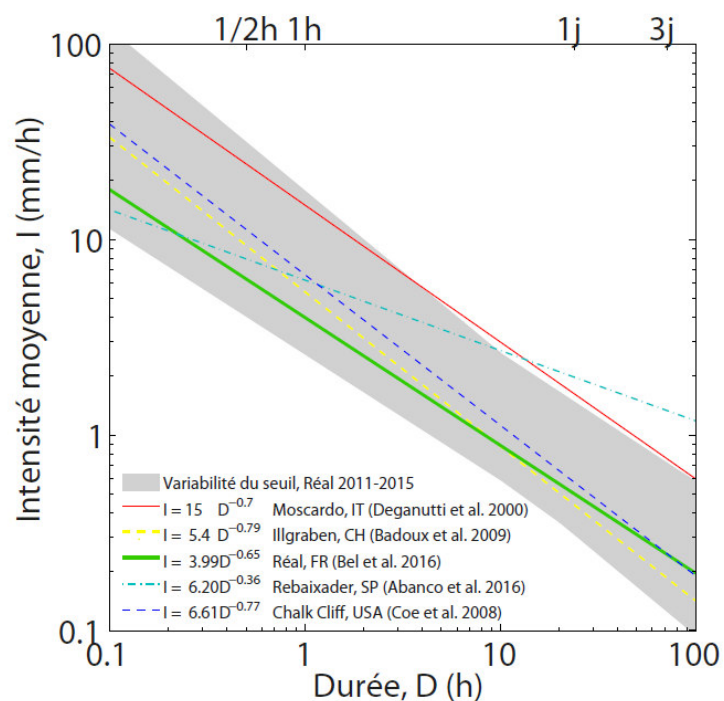


Bondo (Suisse) – Août 2017
© R. & B. Salis

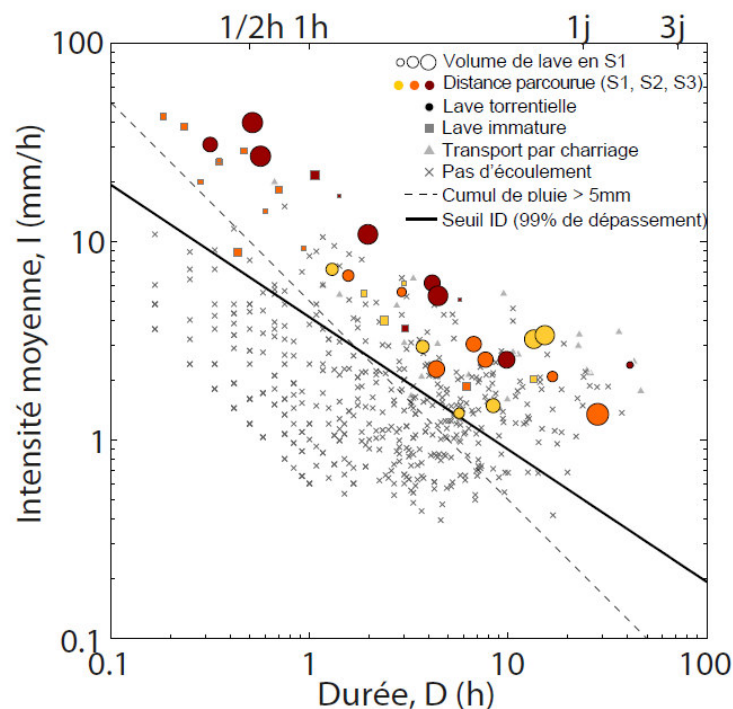


DIFFICULTÉ DE PRÉVISION DU DÉCLENCHEMENT DES LAVES TORRENTIELLES

- Déclenchement de LT, lorsque la combinaison entre les facteurs de prédisposition et le facteur déclenchant atteint un seuil critique ;
- Distinction entre les bassins à seuil de déclenchement intrinsèque (facteur limitant : disponibilité en matériaux) ou extrinsèque ;
- En l'absence de limitation en matériaux, recherche d'un seuil de précipitations « intensité /durée »



Variabilité inter-sites des seuils intensité/durée menant au déclenchement de laves torrentielles



Variabilité de la réponse du bassin du Réal (06) à la sollicitation hydrologique

Détermination d'un seuil encore très difficile → trop de fausses alertes

DIFFICULTÉS D'ANTICIPATION DES CRUES EN CONTEXTE TORRENTIEL

- Taille réduite des BV : parfois $< 1 \text{ km}^2$; BV à laves $< 10\text{-}20 \text{ km}^2$; BV torrent $< 50\text{-}100 \text{ km}^2$; BV rivières torrentielles $< 500\text{-}1000 \text{ km}^2$;
- Fortes pentes ;
- Fortes, voire très fortes précipitations : effet orographique, phénomènes convectifs (encore difficilement prévisibles), stationnarité des certaines cellules... ; Impact de la neige (notamment de la fonte rapide),
 - Crues soudaines et violentes ;
 - Montées des eaux potentiellement très rapides :
 - Dizaine de minutes à quelques heures (voire moins avec les laves torrentielles) ;
 - Hausse rapide du niveau d'écoulement atteignant parfois un à plusieurs mètres en moins d'une heure ;
- Réseaux de mesure encore lacunaires (selon les secteurs, surtout pour les petits BV) :
 - Faible densité des réseaux de suivi pluviométriques et hydrologiques notamment en altitude (constat fait sans intégrer le réseau de mesure EDF) ;
 - Fiabilité des stations hydrométriques en crue : risques de destruction, impact des flottants et du transport solide ;

Déjà évoqué dans les autres présentations



DIFFICULTÉS D'ANTICIPATION DES CRUES EN CONTEXTE TORRENTIEL

Difficultés liées aux spécificités des écoulements torrentiels et aux facteurs aggravants :

- **Divagations**, cheminements aléatoires des écoulements, **changement brusque de lit**, débordement amont ;
- **Evolutions morphologiques majeures** : fortes érosions des berges, modifications importantes des sections, engravement ou incision du lit ;
- **Affouillements / Défaillances des ouvrages de protection** ;
- **Formations d'embâcles** : amas de flottants de grande taille, déviation des écoulements, risques de débâcles ;
- Concomitance avec d'autres phénomènes : **glissement de terrain, écoulement**, dépôt de lave dans la zone de confluence, rupture de poche glaciaire...



Conséquences :

Débordements / érosions potentiellement brusques et prématuré(e)s par rapport aux prévisions (scénarii envisagés)



DIFFICULTÉS D'ANTICIPATION DES CRUES EN CONTEXTE TORRENTIEL

Fiabilité des stations hydrométriques en crue ?
Risques de destruction, impact des flottants et du transport solide ;

1 seule station hydrométrique sur la Vésubie au Pont du Cros – Cros d'Utelle (06) - BV=382 km²

- ✓ Lit engravé sur près de 3 m de hauteur au niveau de l'échelle ;
- ✓ Atteinte (dépassement ?) du niveau maxi du capteur

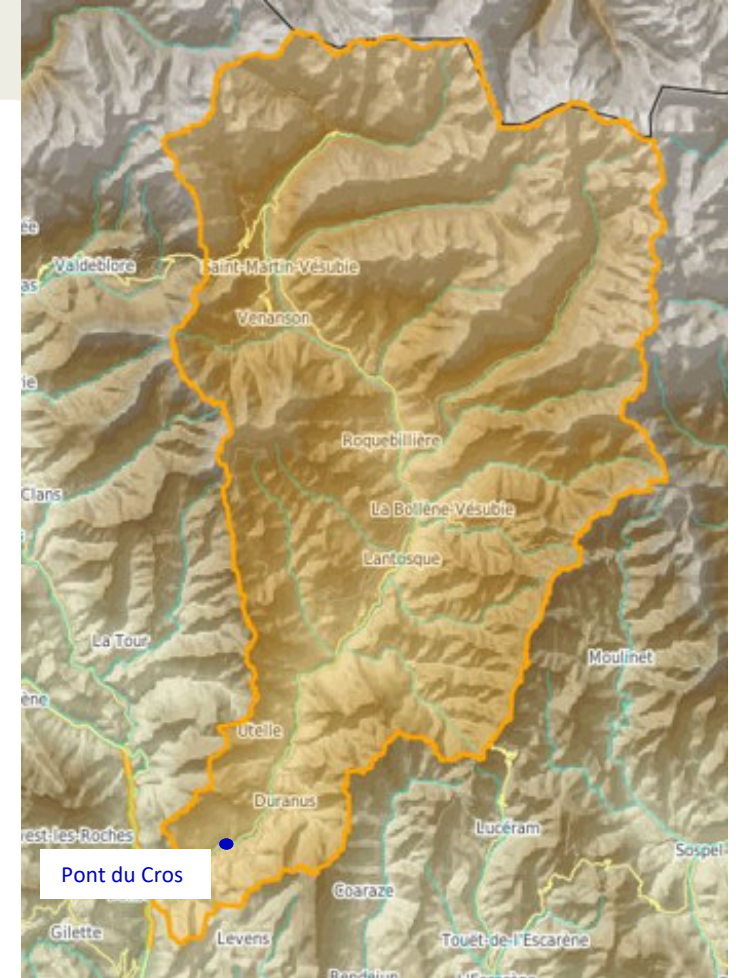


© Dominique Matheudi



© ONF-RTM

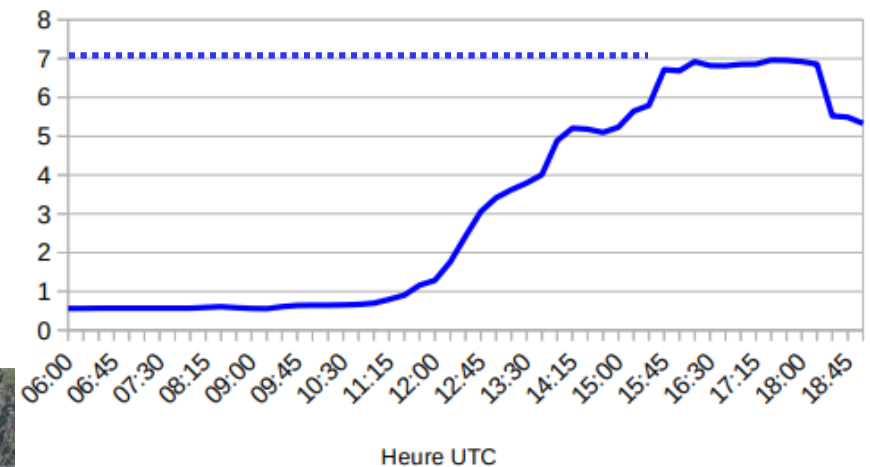
Hauteur d'eau relevée
Source : © SPC
Document provisoire



Pont du Cros

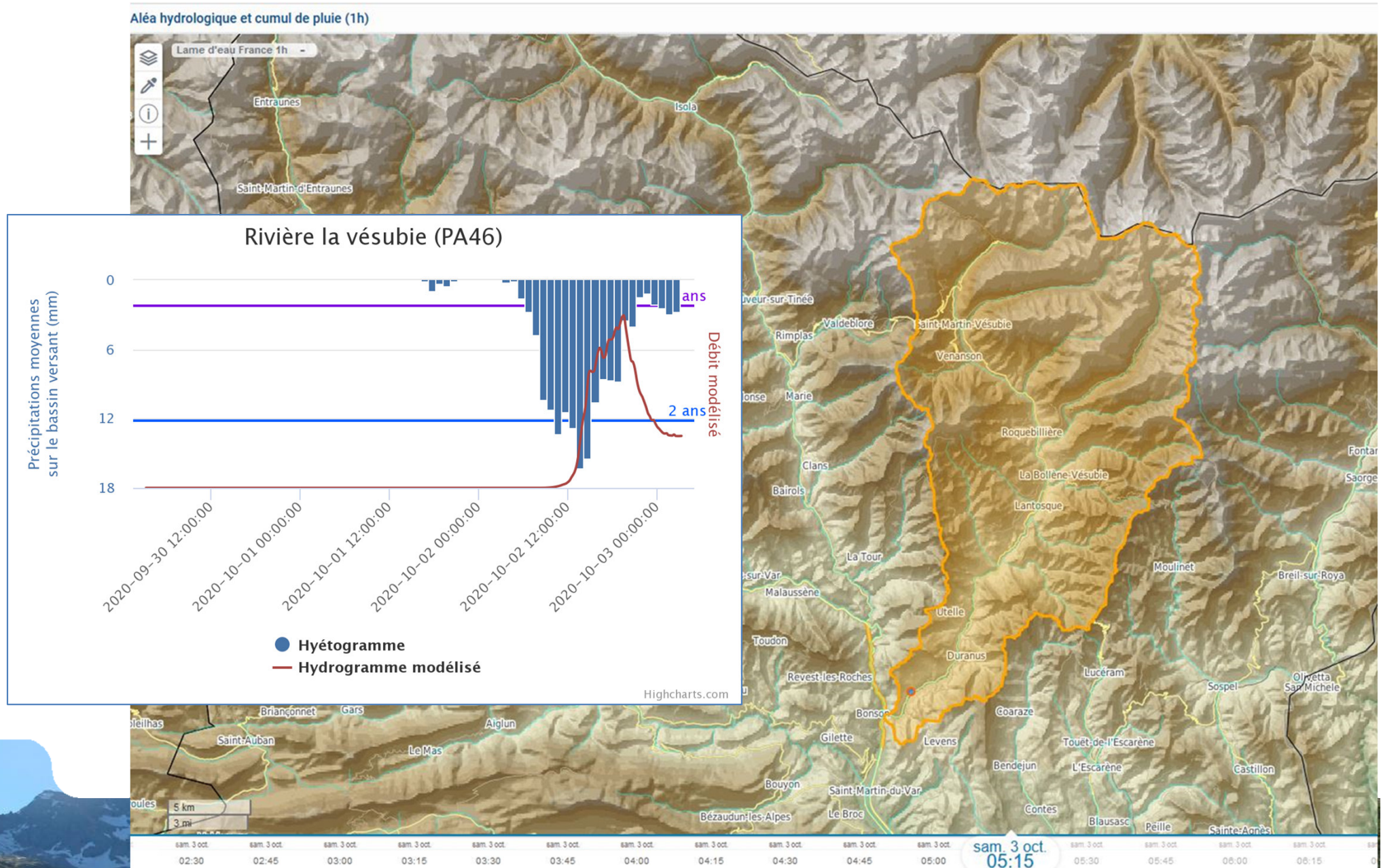
Station DREAL de Cros d'Utelle

Evolution de la hauteur mesurée le 02/10/2020



DIFFICULTÉS D'ANTICIPATION DES CRUES EN CONTEXTE TORRENTIEL

- Extrait plateforme Rhythme (le 3 octobre 2020)

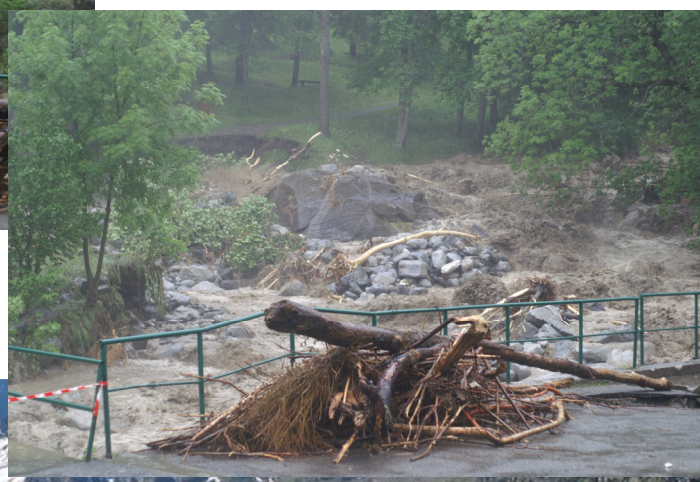


DIFFICULTÉS D'ANTICIPATION DES CRUES EN CONTEXTE TORRENTIEL

© ONF-RTM 65 – Vol sécurité cicile



Le Bastan à Barèges (65)
18-19 juin 2013



Source : Photos de riverains



SURVEILLANCE DES FACTEURS AGGRAVANTS

- Risques de rupture d'ouvrages (notamment par érosions, affouillements des fondations ou surverse) :
 - Dispositifs locaux de surveillance des ouvrages ;
- Risques d'embâcles /débâcles (glissement, amas de flottants ...) :
 - Dispositifs locaux de surveillance ;
 - Reconnaissances hélicoptérées, drones, pédestres ;
 - Le constat de l'abaissement brusque du débit doit alerter ;
- Risques de débâcles glaciaires :
 - Phénomènes difficilement prédictibles, si non repérés au préalable ;



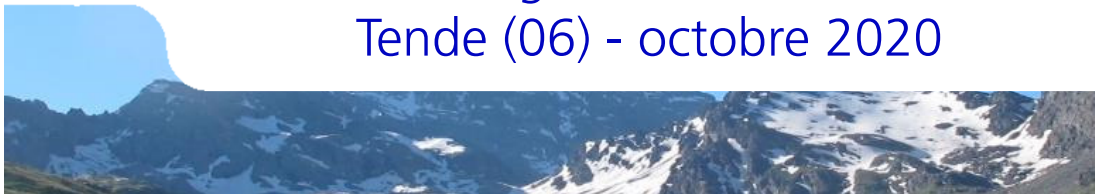
Difficultés : surveillance nocturne (souvent impossible en sécurité, donc à exclure), mauvaise visibilité et conditions de circulation hasardeuses ;



SURVEILLANCE DES FACTEURS AGGRAVANTS



Le Bieugne à Saint Dalmas de Tende (06) - octobre 2020



RECOMMANDATIONS [1]

Constat : Malgré les améliorations récentes (extension APIC, Vigicrues Flash, déploiement de radars à bande X...), certaines communes en montagne ne sont encore couvertes par aucun dispositif d'avertissement en dehors de la vigilance météo.

A défaut d'avertissement (vigicrues Flash), il est recommandé de faire appel à des services dédiés à la prévision des crues (exemple des produits ou prestations proposées par des sociétés comme Météo-France, PREDICT, NOVIMET, HYDRIQUE, ... sur la base de traitements automatisés des données et/ ou d'interventions de prévisionnistes) pour analyser/surveiller les données météorologiques disponibles.

En complément, il est fortement recommandé de mettre en place des dispositifs locaux de surveillance et d'alerte (SDAL) :

- Pluviographes automatiques, capteurs de niveau, caméras ...
- Détecteur de laves torrentielles ;



- Dispositif d'alerte automatique utilisé principalement pour arrêter la circulation routière (feux routiers), ferroviaire ... pour déclencher une alarme (sirène) ou prévenir les pratiquants des sports d'eaux vives ;
- Capteur(s) placé(s) en haut du bassin pour détecter le passage d'une LT et disposer d'un temps suffisant pour l'alerte – temps souvent limité : dépend de la vitesse de la LT et de la distance du capteur aux enjeux ;

		1 km	2 km	5 km
Vitesse	2 m/s	8 min	17 min	42 min
	5 m/s	3 min	7 min	17 min
	10 m/s	2 min	3 min	8 min

- Implantation : au niveau d'un barrage de correction torrentielle RTM, au niveau d'un pont ou de gorges ;
- Plusieurs dispositifs de capteur : à câbles, à pendules (masselottes), à palettes ;



DLT - DISPOSITIFS A PENDULES (MASSELOTES)



DLT SFTRF -
PDD St Martin
(73)



DLT - L'Arbonne Bourg
Saint Maurice (73)

DLT Merdaret Chantelouve (38)



DLT Boscodon -
Crots (05)



DLT - DISPOSITIFS AVEC MASSELOTTES

Calage avec des calettes pour éviter des fausses alertes à cause du vent



DLT Riou sec L'Argentière-La-Bessée (05)



DLT - DISPOSITIFS A PALETTES



DLT SNCF – La Ravoire
de Pontamafrey (73)



DLT EDF – Le Claret à St-Julien-
Montdenis (73)





Nant de l'Armancette – Les Contamines Montjoie (74)
© ONF-RTM 74

DLT – DISPOSITIF À CÂBLES

L'Abéous – Méolans Revel (04)



Autres dispositifs alternatifs au DLT ou complémentaires

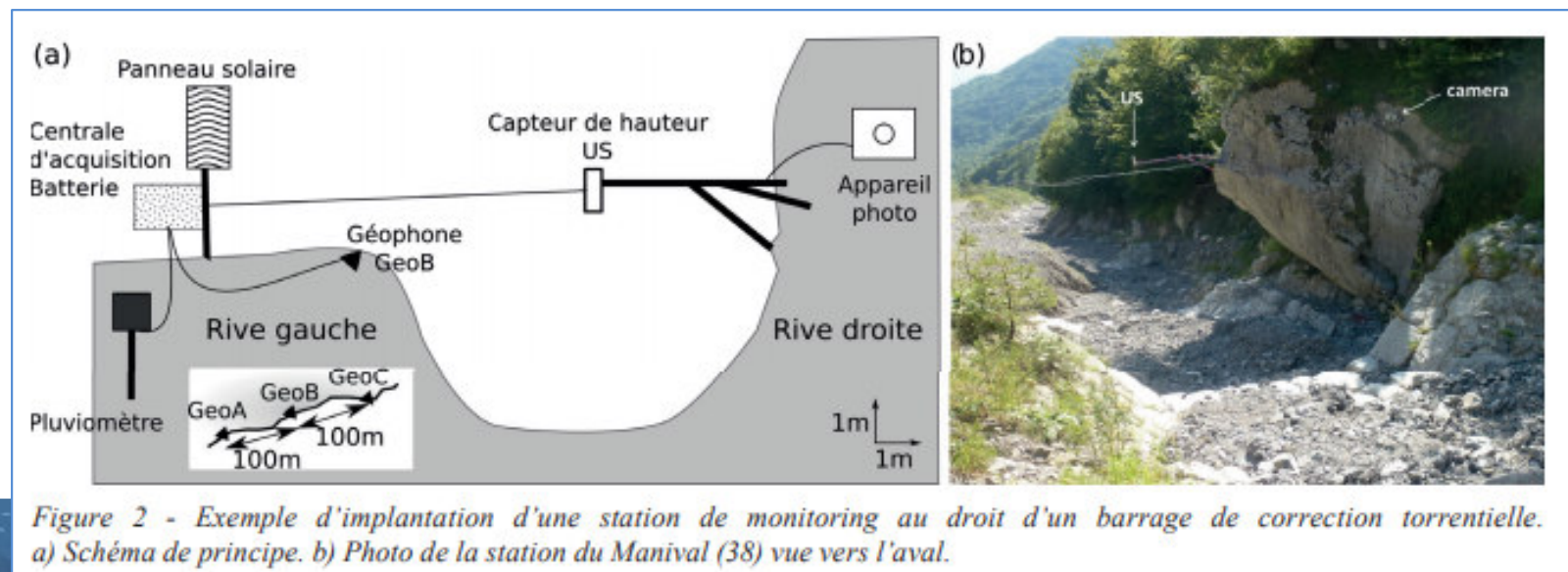
- géophones,
- capteurs de niveau,
- caméra ou appareil photo pour prise de vue ;
- Pluviographes/pluviomètres (recherche d'un seuil d'intensité de précipitations (intensité/durée) comme facteur de déclenchement des LT, valable uniquement sur les BV sans limitation de stock sédimentaire → réponse non univoque)

Plusieurs géophones espacés à courte distance de l'ordre de 50 m, permettent d'estimer la vitesse de la LT ; La vitesse peut être estimée également par analyse vidéo; Associés à un capteur de niveau, un hydrogramme de la LT peut être reconstitué et ainsi le volume de la LT ;



Géophone
© INRAE

Extrait de Fontaine
et Al. 2017 [2]



DÉTECTION DE LAVES TORRENTIELLES



Capteurs/détecteurs	avantages	limites
Masselottes/ Pendules	Dispositif simple et robuste Possibilité de mettre plusieurs masselottes décalées en hauteur pour une estimation «grossière» de la hauteur d'écoulement	Dispositif tout ou rien ; Pas de mesure du niveau d'écoulement en continu Difficultés d'installation : au-dessus du torrent, si les berges sont instables ;
Palettes	Dispositif simple et robuste	Fausse alertes liées au vent parfois rencontrées avec les pendules (en phase de calage du dispositif : mise en place de câbles fins transversaux supplémentaires) ;
Câbles	Dispositif simple et robuste Possibilité de mettre plusieurs câbles pour une estimation « grossière » de la hauteur d'écoulement	Dispositifs à câbles : Intervention nécessaire après fonctionnement pour remettre en place les câbles Risque de fausse alerte due à des causes accidentelles (passage d'animaux, chute d'arbres, etc.) Limitation de l'avantage lié à plusieurs câbles si présence d'arbres et de gros blocs dans l'écoulement
Capteurs ultrason, radar et laser	Mesure de la hauteur d'écoulement en continu Facilité pour modifier les niveaux d'alerte	Système plus sophistiqué ; Difficultés d'installation du capteur : au-dessus du torrent, si les berges sont instables ;
Géophones	Détection du passage de la lave par mesure des vibrations du sol Estimation de la vitesse en cas d'installation de plusieurs géophones suffisamment espacés cf. Fontaine et Al. 2017 [2] ; Facilité et sécurité d'installation (les capteurs sont enterrés à un endroit sûr sur les berges)	Système plus sophistiqué : Difficulté pour définir les seuils d'alerte ; Augmentation de la complexité du système par la nécessité de filtrer le signal (cela tend tout de même à s'améliorer cf. Fontaine et Al. 2017 [2]) ; Risque de fausse alerte due à d'autres sources de vibration des sols (passage de trains ou de camions, chutes de blocs, etc.)
Cellules photoélectriques (faisceaux photos infrarouge, etc.)	Détecteur du passage d'une lave torrentielle sans contact : ne nécessite pas d'intervention après fonctionnement	Système plus sophistiqué ; Précision de l'installation pour éviter que le capteur ne soit en contact avec l'écoulement
Caméra CCD* pour détection par ordinateur	Reconnaissance d'une lave torrentielle Sécurité d'installation (la caméra est implantée en dehors du lit du torrent)	Utilisation et exploitation du système limitée par la présence de brouillard ou la survenance d'une lave torrentielle pendant la nuit (dispositif infrarouge à mettre en place)

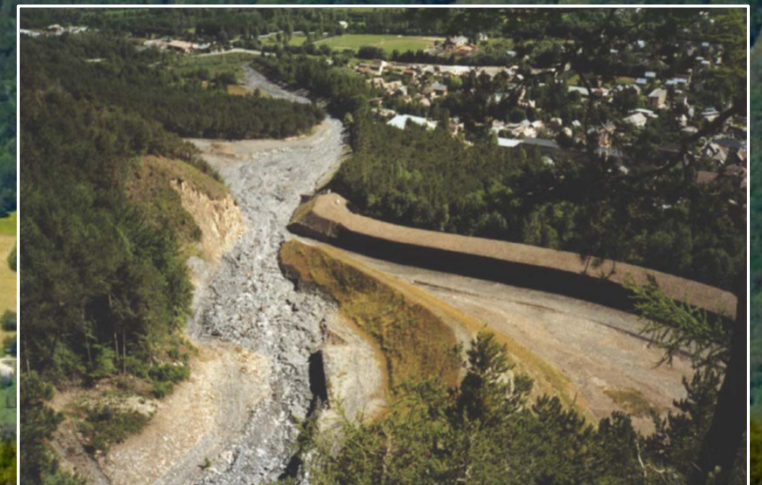
*CCD : charge coupled device (dispositif à couplage de charge)

Principaux capteurs pour dispositifs d'alerte aux laves torrentielles (adapté à partir de Arattano et Marchi, 2008 [3])

Le torrent du Saint-Antoine – Bourg d'Oisans (38)

BV < 1 km²

BV trop petit pour mettre en place une procédure fiable d'alerte et d'évacuation, nécessité de mettre en place des ouvrages de protection correctement dimensionnés





A défaut de disposer d'un temps suffisant pour mettre les personnes exposées en sécurité, il est nécessaire de mettre en place des ouvrages de protection correctement dimensionnés, résistants, surveillés en crue et entretenus régulièrement.

Objectifs principaux :

- Arrêter et stocker tout ou partie du transport solide (plages de dépôts, barrage de régulation, façonnage de lits larges ...)
- Gérer les sédiments - Augmenter les capacités de dépôt (zone de régulation, curage, reprofilage des lits ...)
- Favoriser le transit des écoulements (Système d'endiguement, chenalisation...)

Plage de dépôt



Piège à blocs



Piège à flottants



Zone de régulation / Lit large



Système d'endiguement



Chenal / protection de berges



- Temps de réponse potentiellement très court des bassins versants torrentiels ;
- Plusieurs communes des Alpes et Pyrénées restent en 2023 non couvertes par les dispositifs d'avertissement (type Vigicrues Flash). La couverture a été améliorée en 2021 pour APIC ;
- Recommandation de souscrire à un abonnement auprès d'un prestataire spécialisé dans la prévision des crues ;
- En cas de laves torrentielles, les délais d'anticipation sont généralement trop courts, incompatibles avec une évacuation ; Si les délais sont trop courts pour une mise en sécurité, nécessité de disposer d'ouvrages de protection correctement dimensionnés, résistants, surveillés en crue et entretenus ;
- Pour certains BV de taille réduite, l'anticipation de crues torrentielles passe forcément par une surveillance attentive des précipitations (temps de réaction du BV potentiellement trop rapide pour se baser uniquement sur la surveillance des niveaux d'eau) ; Nécessité d'une réactivité importante du maire et de ses services et/ou du gestionnaire de camping ;
- Mettre en œuvre des dispositifs locaux de mesure, de surveillance et d'alerte ;
- Ne pas négliger l'impact des facteurs aggravants, notamment des flottants ;



BIBLIOGRAPHIE

1. Mission interrégionale "Inondation Arc Méditerranéen" (MIIAM), Cerema, Cyprès, ONF-RTM, Syndicat Mixte de l'Argens - *Campings et prévention de risques d'inondation sur l'Arc Méditerranéen – Rapport d'observations de bonnes pratiques et de recommandations à destination des professionnels - juillet 2020* <http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/recueil-de-bonnes-pratiques-campings-et-inondation-r2342.html>
2. F. Fontaine, C. Bel, H. Bellot, G. Piton, F. Liébault, et al. *Suivi automatisé des crues à fort transport solide dans les torrents : stratégie de mesure et potentiel des données collectées. Collection EDYTEM. Cahiers de géographie, Laboratoire EDYTEM, 2017, Monitoring en milieux naturels - Retours d'expériences en terrains difficiles, pp.213-219. ffhal-01656535*
3. Arattano M. et Marchi L. (2008). *Systems and Sensors for Debris-flow Monitoring and Warning. Sensors 2008 (8), p. 2436-2452*





Office National des Forêts

Merci pour votre attention