



**HAL**  
open science

## Projet FORESEE: Enseignements de la tempête Alex et proposition de méthode de diagnostic territorial

Jean-Christophe Teobaldi, Dennis Fox, Margot Chapuis

### ► To cite this version:

Jean-Christophe Teobaldi, Dennis Fox, Margot Chapuis. Projet FORESEE: Enseignements de la tempête Alex et proposition de méthode de diagnostic territorial. MARALEX : Les bassins maralpins face aux changements, Académie 3 :, Jul 2023, Nice, France. hal-04167477

**HAL Id: hal-04167477**

**<https://hal.science/hal-04167477>**

Submitted on 20 Jul 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Projet FORESEE

Enseignements de la tempête Alex et proposition de méthode de diagnostic territorial



Académie 3 « Espace, Environnement, risques et résilience » de l'Université Côte d'Azur (UCA)

Jean-Christophe TEOBALDI  
Consultant géographe  
[jcteobaldi@protonmail.com](mailto:jcteobaldi@protonmail.com)

Dennis FOX  
Professeur de Géographie,  
UMR ESPACE CNRS  
[dennis.fox@univ-cotedazur.fr](mailto:dennis.fox@univ-cotedazur.fr)

Romain BOULINGUEZ  
Stagiaire M2 GEOPRAD  
Département Géographie de  
l'UCA  
[romain.boulinguez@etu.univ-cotedazur.fr](mailto:romain.boulinguez@etu.univ-cotedazur.fr)

## Objectif :

A partir du retour d'expérience de la Tempête Alex, proposer une méthode de diagnostic permettant d'identifier les zones de vulnérabilité de territoires comparables (d'autres vallées des alpes du Sud).

## Plan du diaporama :

Rappel du contexte

### **1. Les enseignements de la Tempête Alex**

- Deux phénomènes dévastateurs :
  - les glissements de terrains
  - la crue torrentielle
- Deux catégories d'infrastructures impactées :
  - les bâtiments
  - Les réseaux

### **2. Une proposition de méthode de diagnostic territorial**

- Méthode
- Terrains d'application potentiels

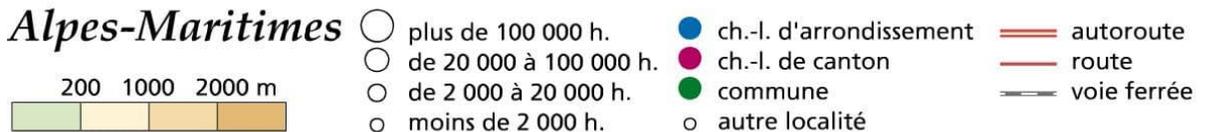
# Rappel du contexte

## Les Alpes-Maritimes :

- 75 % du territoire au dessus de 700 m d'altitude et 10 % au-dessus de 2000 m.
- Point culminant côté français la cime du Gelas à 3143 m sur la commune de St Martin Vésubie.
- Grandes variétés de climats, de biotopes (méditerranéen subtropical à arctique), de reliefs, de paysages et de densités de population.
- L'eau est y omniprésente avec la mer, des fleuves, des rivières, des sources, des lacs de montagne, des nappes souterraines, des gorges, des gouffres et des neiges permanentes.



### Alpes-Maritimes



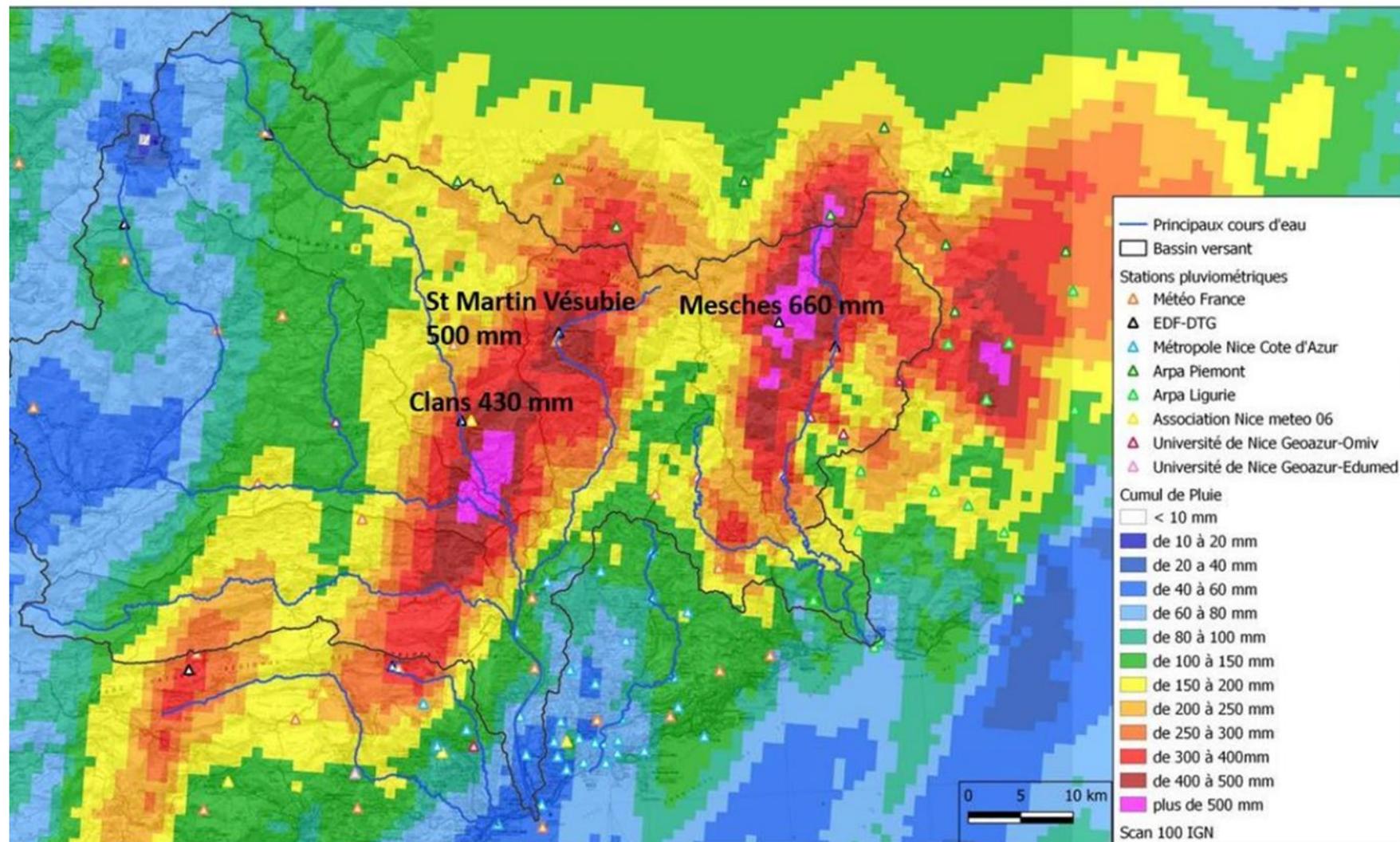
# Rappel du contexte

## Une tempête d'Ouest qui engendre un épisode méditerranéen inédit sur les Alpes-Maritimes

- Le 2 octobre 2020
- Cumuls pluviométriques records sur les BV Roya, Vésubie et basse Tinée (prévus par Météo France)
- 2000 km<sup>2</sup> ont reçu plus de 200 mm
- Lames d'eau de 50 à 100 millions de m<sup>3</sup>.

### Sources :

- CARREGA et MICHELOT (2020) ;
- CHOCHON et al. (2021).



Cumul maximal de pluie sur 24h lors de la Tempête Alex dans les Alpes-Maritimes (Source : DDTM o6, CEREMA, 2022)

## Facteurs aggravants

- ① Un massif du Mercantour avec des BV très raides qui culminent à plus de 3000 m.
- ② Des fonds de vallées très pentus aussi (jusqu'à 10 %).
- ③ Des mois précédents anormalement secs (- 70 %) d'où des sols peu perméables (hydrophobie).
- ④ Des températures anormalement élevées pour la saison (limite neige > 3200m).
- ⑤ Des « clapiers » instables qui se sont transformés en torrents de laves.
- ⑥ Un massif cristallin avec un substrat rocheux très peu perméable.



Lac des Bresses (alt. : 2 502 m) et lac Nègre (alt. : 2 354 m) - Photo : JC TEOBALDI

# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

## **2 phénomènes dévastateurs :**

- les glissements de terrains ;
- la crue torrentielle.

## **2 catégories d'infrastructures impactées :**

- les bâtiments ;
- les réseaux (routes, eau-assainissement, électricité, téléphone-Internet).

# I. Les enseignements de le Tempête Alex

> 2 phénomènes dévastateurs : les glissements de terrains et la crue torrentielle

## Les glissements de terrains

≈ 500 mouvements de masse repérés



Type 1 : glissements en coulées sur les couches superficielles

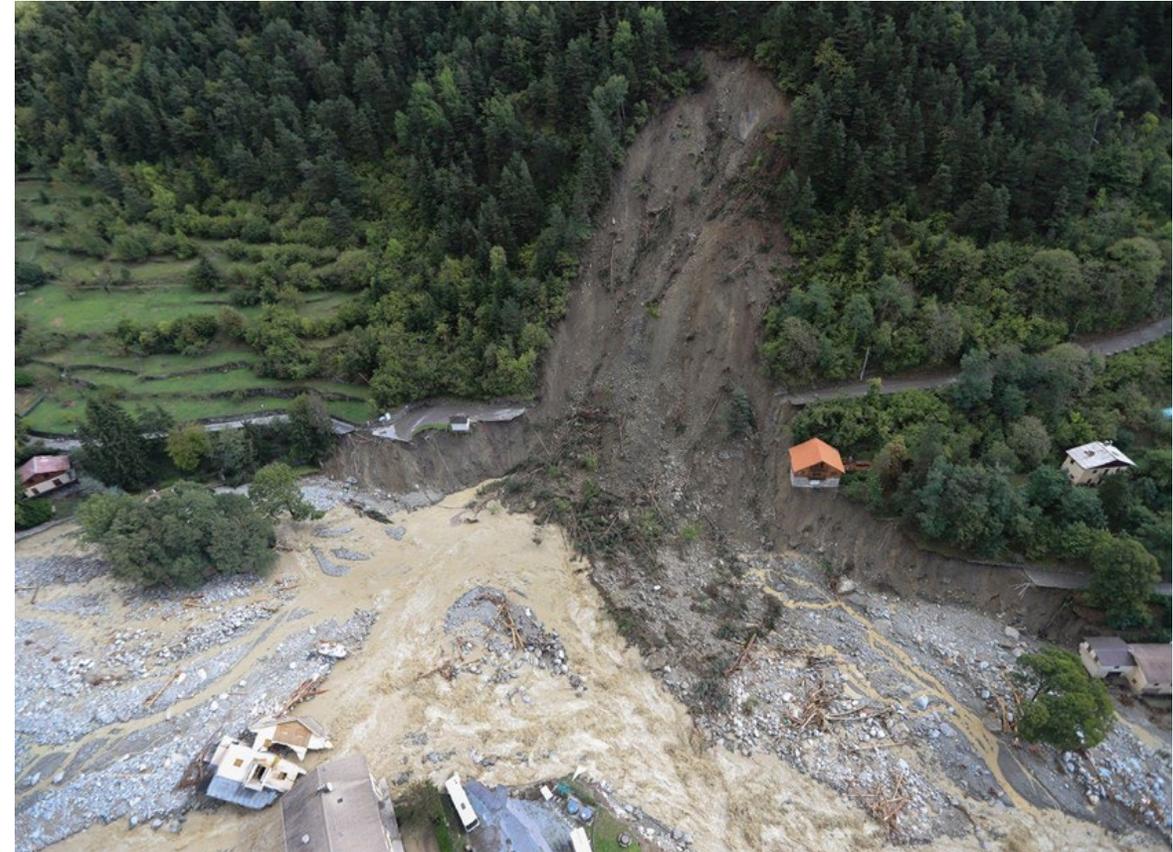
### Facteurs de prédispositions :

- épaisseurs et perméabilité des terrains ;
- forte pente ;
- présence de sources ;
- orientation du versant vis-à-vis de la direction de la pluie.

Source : Marie MALASCRABES (CEREMA) et Maleyka ASADOVA

Glissement en coulée sur la commune de Venanson (Photo JC TEOBALDI)

Type 2 : glissements induits par l'érosion de berges.



Effondrement de versant suite à l'érosion de la berge sur le torrent du Boréon à St Martin Vésubie (Photo France Télévision)

# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

## La crue torrentielle a entraîné :

Un changement de la morphologie des cours d'eau avec :

- Un cours d'eau en tresses
- une amplification de la « bande active » (≈ extension maximale du lit majeur)



St Martin-Vésubie 2018

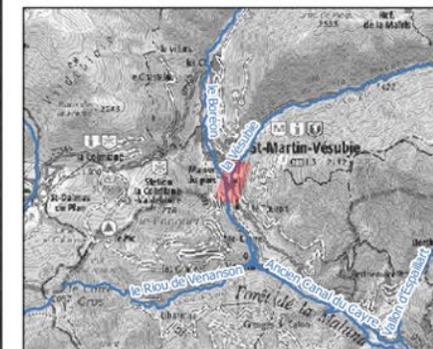
IGN BDORTHO Été 2020



2020

IGN ORTHO ALEX 05/10/2020

La Vésubie 10



Source INRAE et ONF-RTM

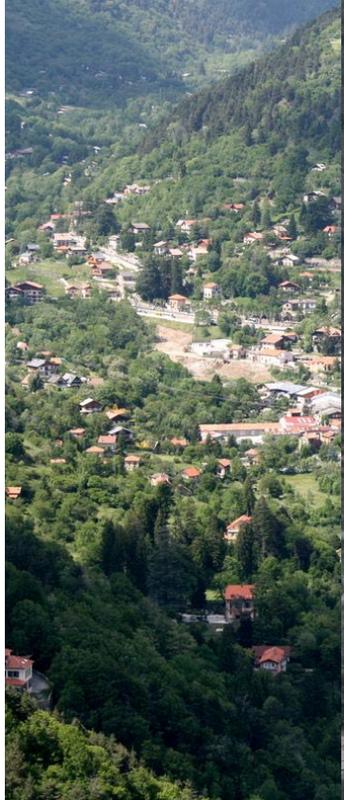
 Bande active avant crue (2017-2018)

 Bande active après crue (2020)



# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

Changement de la morphologie des cours d'eau



# I. Les enseignements de le Tempête Alex

> 2 phénomènes dévastateurs : les glissements de terrains et la crue torrentielle

## La crue torrentielle a entraîné (suite) :

- Une mobilisation exceptionnelle de sédiments (jusqu'à 12 m)



Le stade de football de St Martin Vesubie (Photo : AS Monaco)



Le toit de la tribune du stade de football de St Martin Vesubie (Photo : JC TEOBALDI)

# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

Deux phénomènes dévastateurs : les glissements de terrains et la crue torrentielle

## La crue torrentielle a entraîné (suite) :

- Une érosion intensive des berges



# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

> 2 phénomènes dévastateurs : les glissements de terrains et la crue torrentielle

## La crue torrentielle :

Une dynamique en boucles de rétroactions qui amplifient le phénomène



Le processus de la crue torrentielle  
(Source : Service RTM, 2021)



La charriage de sédiments dans le torrent du Boréon en amont du village de St Martin Vésubie (Source : Service RTM, 2021)



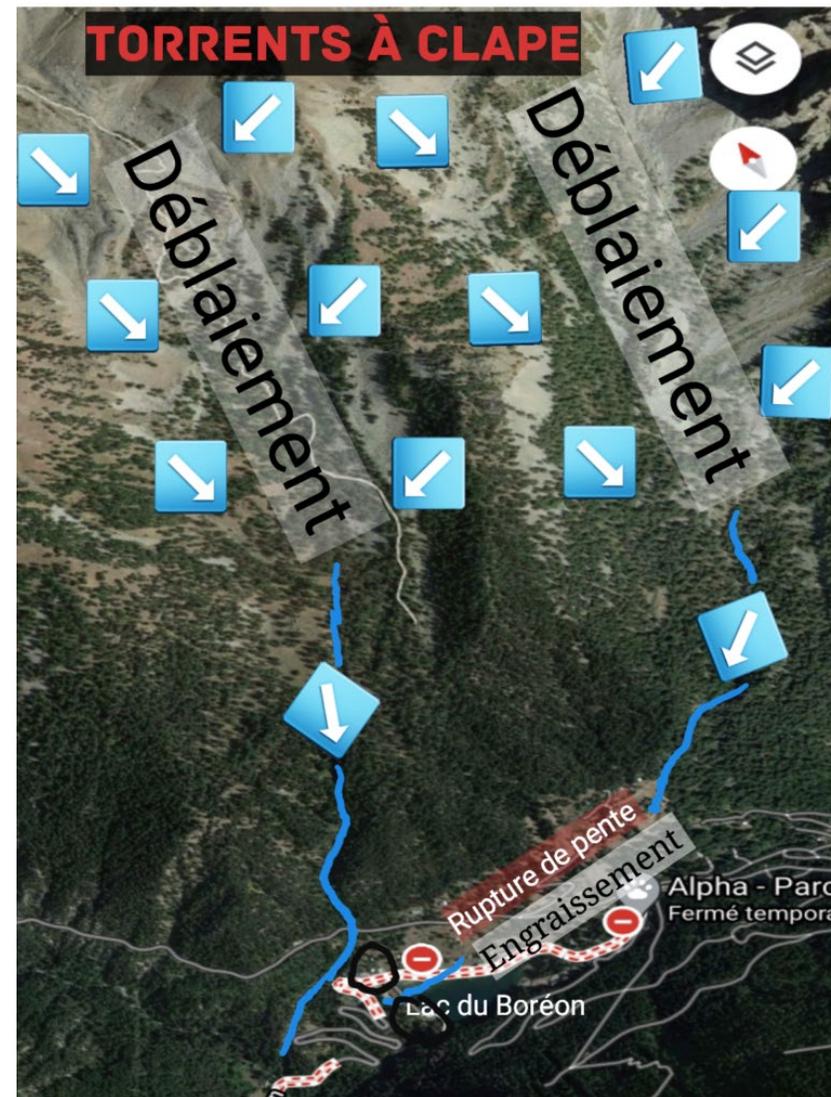
Un apport exceptionnel de sédiments provenant des hautes altitudes

# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

> 2 phénomènes dévastateurs : les glissements de terrains et la crue torrentielle

## La crue torrentielle : l'apport des phénomènes gravitaires provenant des hautes altitudes

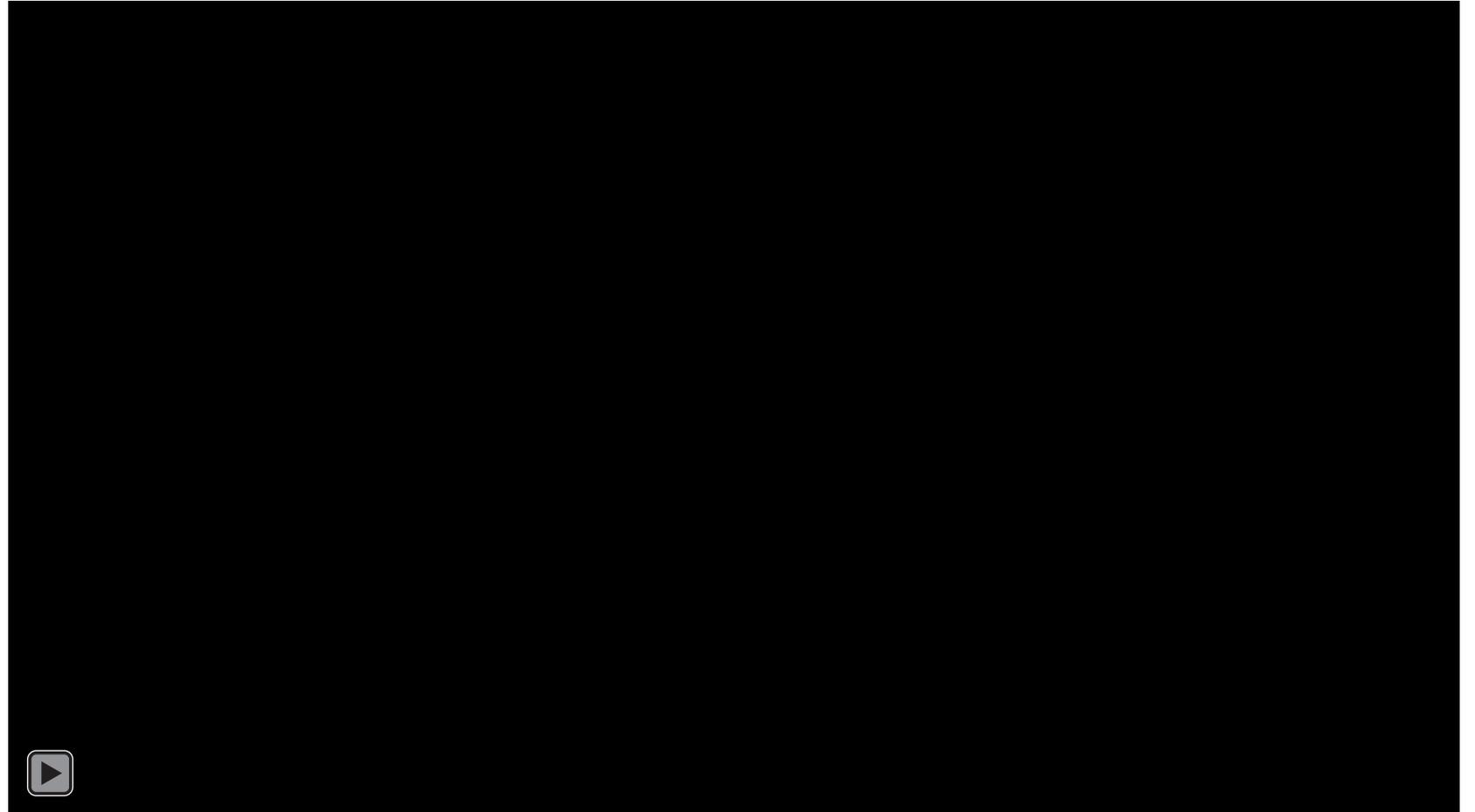
- Torrents à clape à l'origine des coulées de laves torrentielles se produisant en masse au-dessus de 2000 m.
- Taux de concentration en débris > à 50 % par rapport à celui de l'eau.
- + apports de matériaux des glissements de terrains aux affluents.
- Une connectivité sédimentaire maximale.



L'apport des des torrents à clape et torrents de laves en amont du lac du Boréon sur la commune de St Martin Vésubie (Source : BERTHET, 2020)

# La crue torrentielle : l'apport des phénomènes gravitaires provenant des hautes altitudes

## 1. Les enseignements de le Tempête Alex



Lac du Boréon : 115 000 m<sup>3</sup> (Vidéo JC TEOBALDI, 2020)

# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

2 catégories d'infrastructures impactées : les bâtiments et les réseaux

## Impacts sur les bâtiments

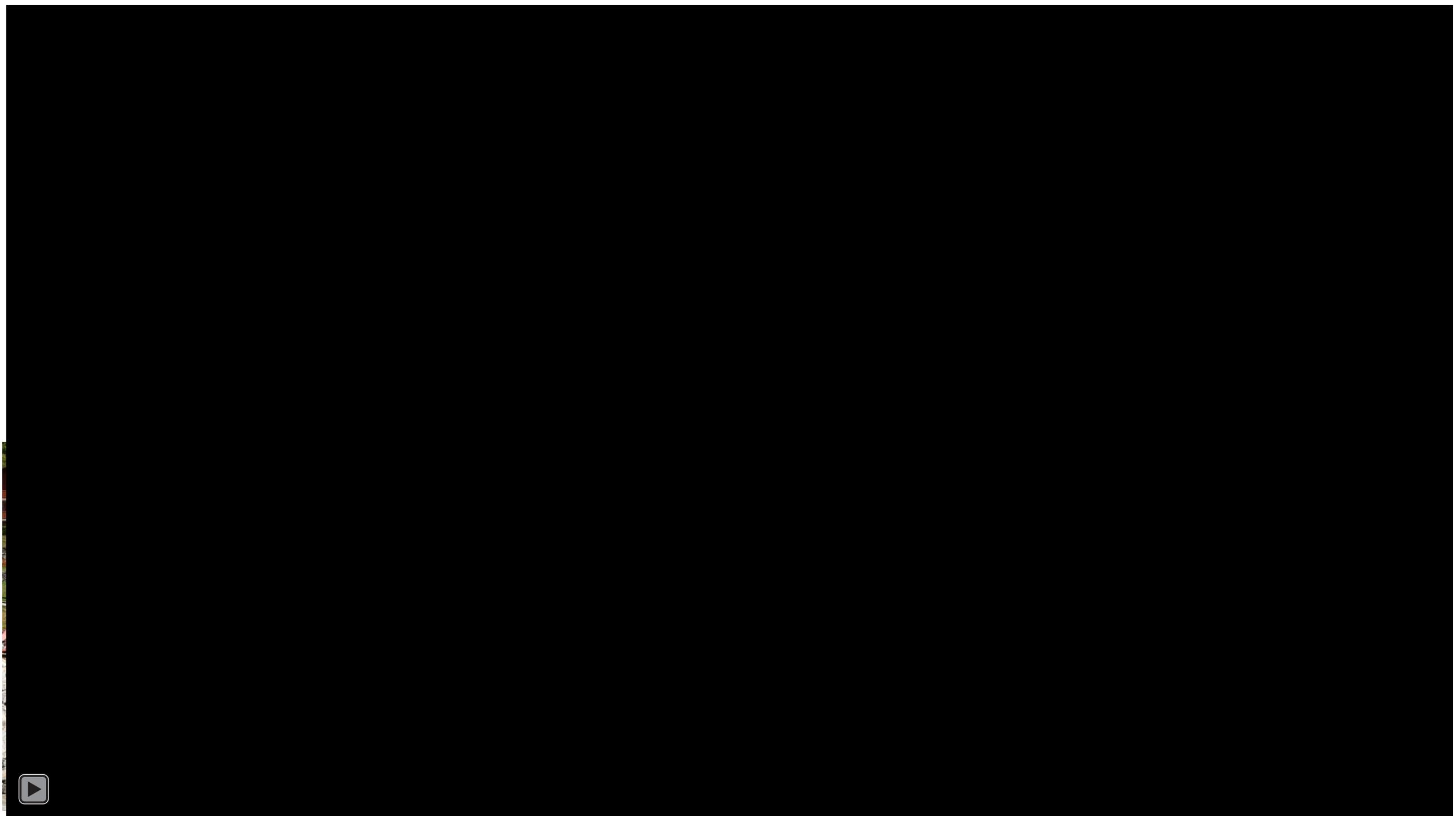
Le bilan :

- 429 bâtiments impactés (du parc privé), dont 277 habitations individuelles et collectives

Les taux d'endommagement :

- 40 % sont totalement détruits
- 12 % menacent ruine
- 31 % présentent des dommages mineurs
- 14 % ne présentent aucun dommage mais sont situés à des endroits critiques

Source : DDTM 06, 2022.



# Impacts sur les bâtiments

Les types de dégâts engendrés



L'engravement

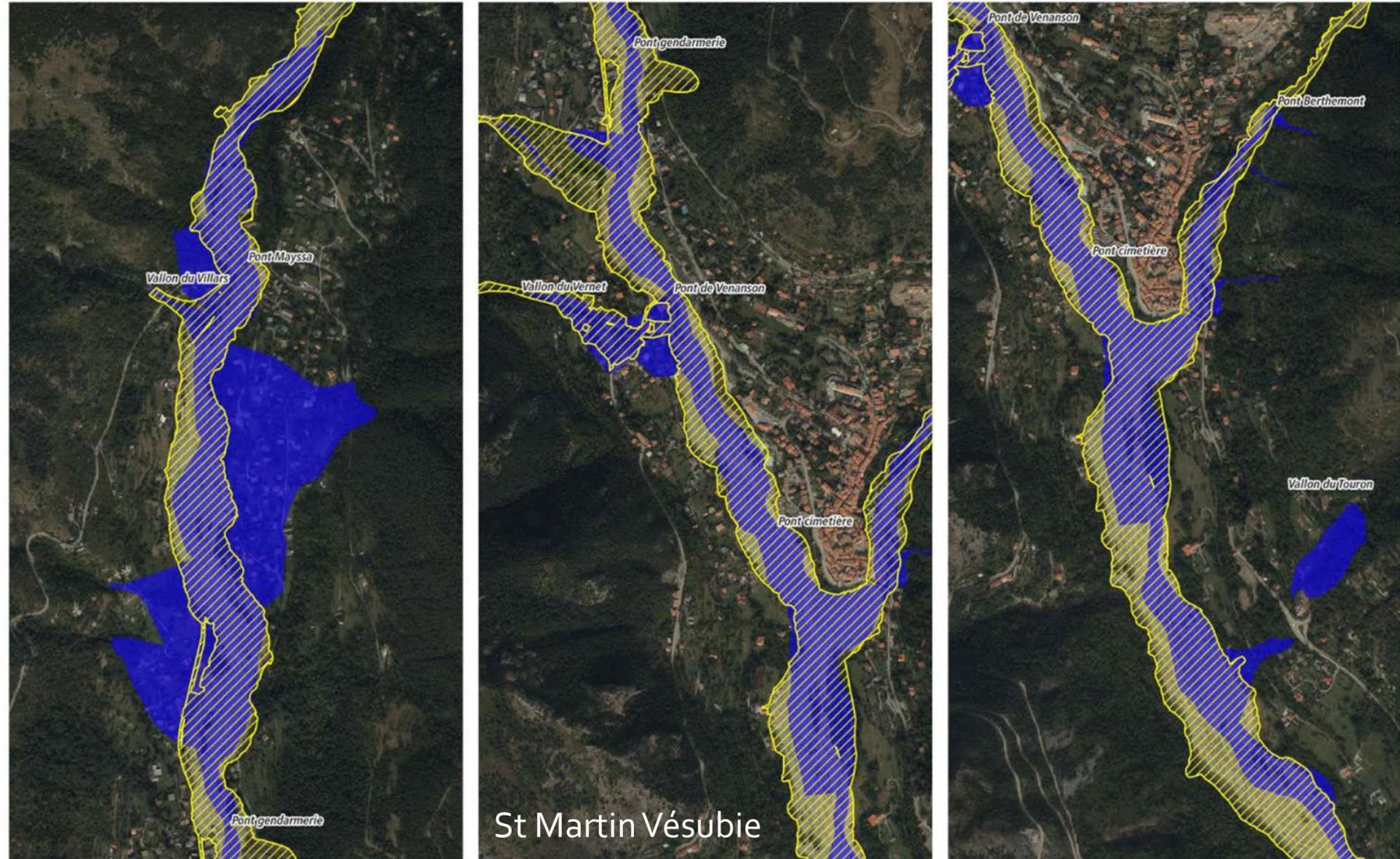
Affouillement des fondations



# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

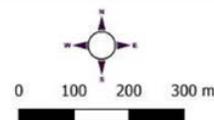
- Correspondance faible de la bande active du 2 octobre 2020 avec les PPRI existants
- Le PPRI se base sur la crue de référence la plus forte connue ou une crue d'occurrence cent ans.
- Problème : occurrence de la crue du 2 octobre : de 500 à 7000 ans selon les sources.

## La localisation des infrastructures impactées



### Légende

- Intensité crue 02/10/2020
- Zonage PPR (approuvé)

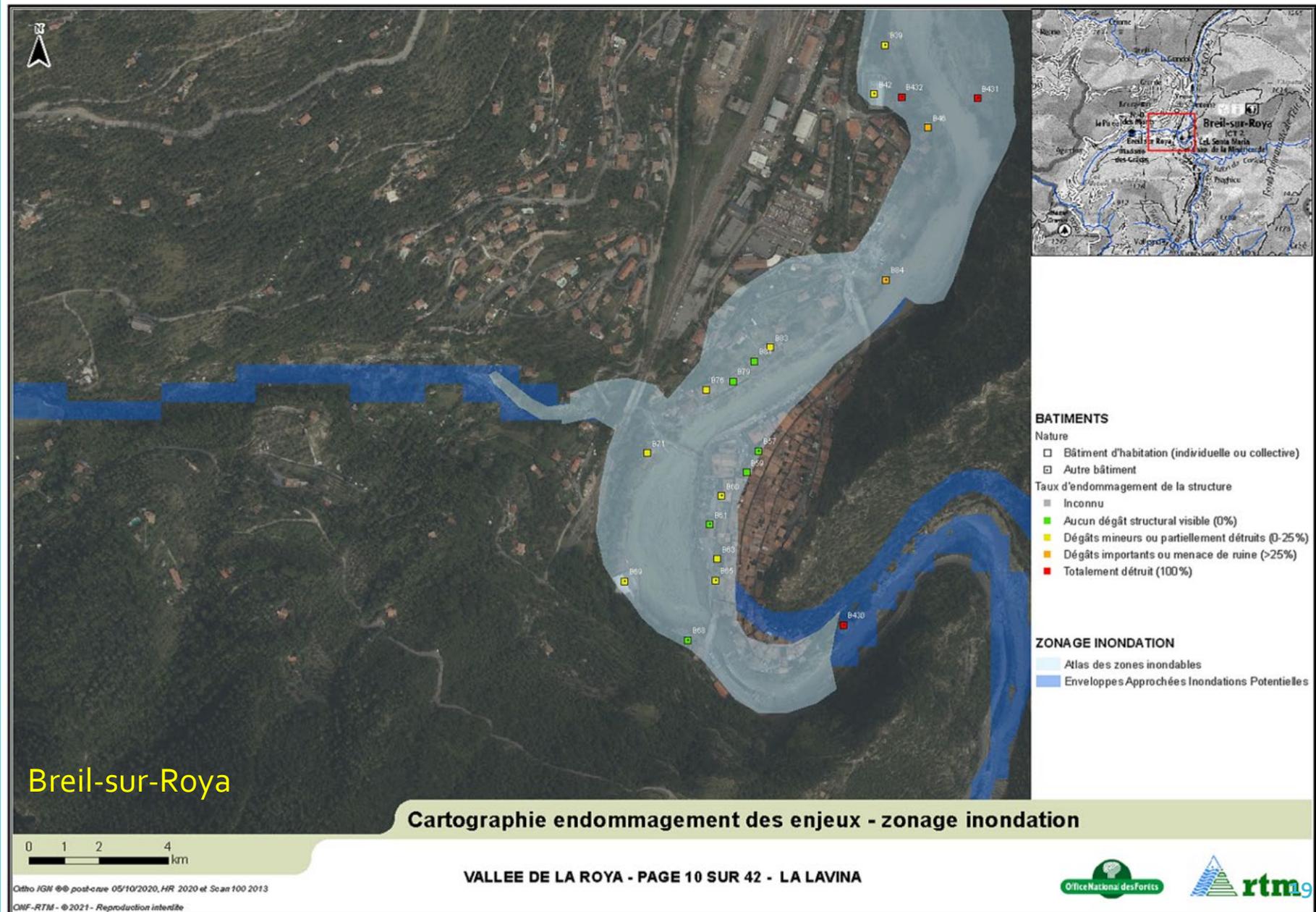


Croisement de la cartographie d'intensité de la crue du 02/10/2020 avec le PPR de Saint Martin-Vésubie - Traversée du village

# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

- Correspondance forte (à 95 % pour les bâtiments) entre le zonage de l'Atlas des zones inondables (AZI) de la DIREN.
- L'AZI délimite l'emprise maximale de la zone potentiellement inondable.
- Zonage à partir du fonctionnement naturel des cours d'eau (méthode HydroGéoMorphologique)

## Les infrastructures impactées : à 95 % dans l'AZI de 2006

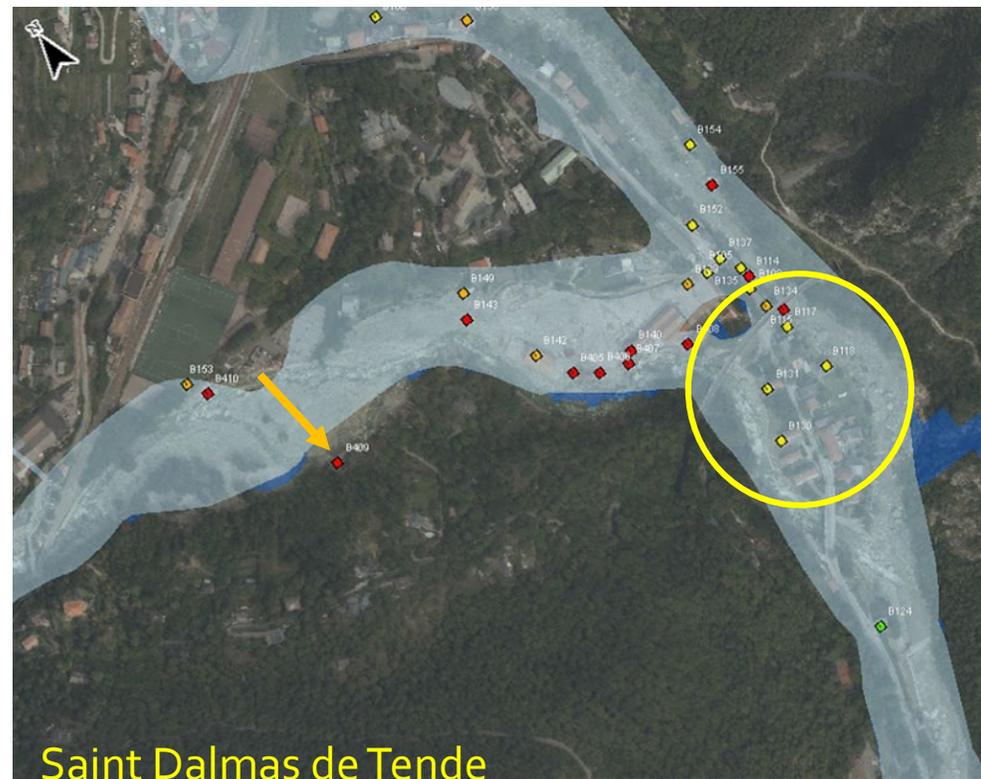


# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

Forte correspondance mais des limites :

- Tous les bâtiments du zonage AZI n'ont pas été impactés (idem pour les routes).
- et quelques uns sont en dehors du zonage.
- L'AZI ne permet pas de quantifier l'impact des aménagements anthropiques.
- Ne donne pas d'indications directes de hauteurs d'eau, de vitesses d'écoulement ou de débits.

## La localisation des infrastructures impactées



Saint Dalmas de Tende

### BATIMENTS

#### Nature

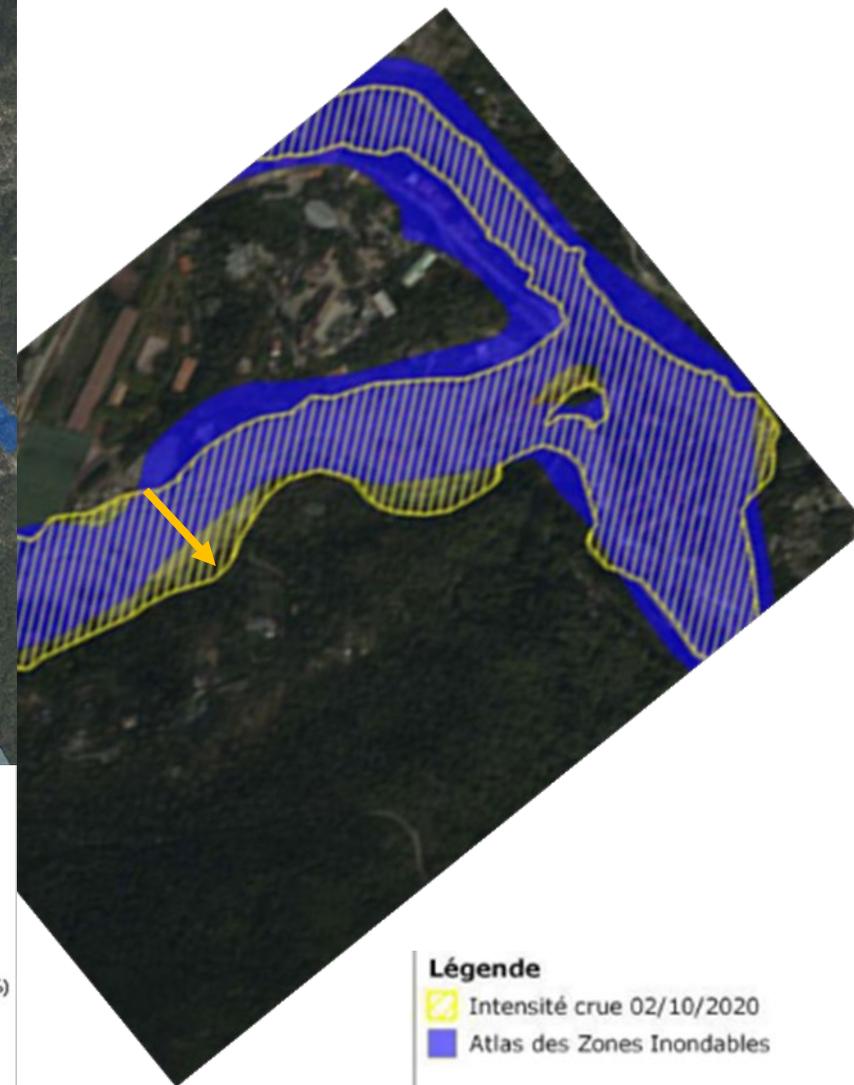
- Bâtiment d'habitation (individuelle ou collective)
- Autre bâtiment

#### Taux d'endommagement de la structure

- Inconnu
- Aucun dégât structural visible (0%)
- Dégâts mineurs ou partiellement détruits (0-25%)
- Dégâts importants ou menace de ruine (>25%)
- Totalement détruit (100%)

### ZONAGE INONDATION

- Atlas des zones inondables
- Enveloppes Approchées Inondations Potentielles



### Légende

- Intensité crue 02/10/2020
- Atlas des Zones Inondables

# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

2 catégories d'infrastructures impactées : les bâtiments et les réseaux

## Impacts sur les réseaux

> routes, électricité, téléphone-Internet, eau-assainissement

Une observation générale :

L'imbrication des réseaux.

Avec notamment :

- Une dépendance de tous les réseaux vis-à-vis des routes.
- Une dépendance du réseau d'antennes relais téléphoniques vis-à-vis du réseau électrique qui les alimente.

# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

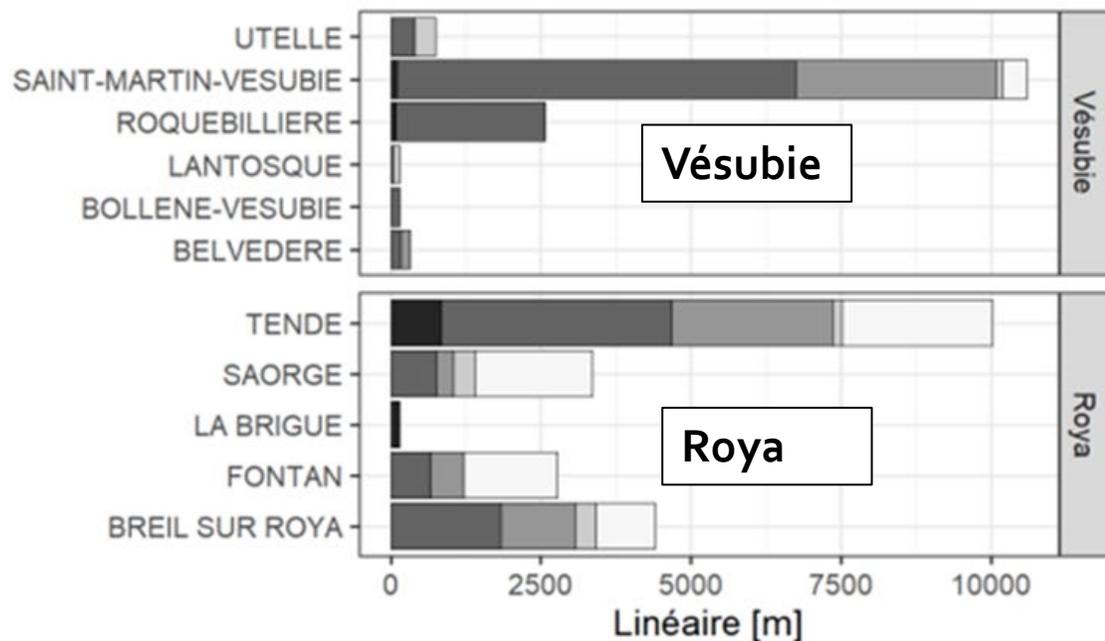
## Impacts sur les réseaux

### Le réseau routier

#### Bilan :

- Des dizaines de km de voiries impactées ; plus de 200 brèches.
- L'érosion des berges génère les taux d'endommagement les plus forts.
- Les portions de route les plus impactées sur des dépôts fluvioglaciers.

#### Types de désordres réseaux routiers Roya et Vésubie :



#### Type désordre

- Voie inondée
- Dépôts de flottants
- Voie recouverte de matériaux
- Voie impactée par érosion de berge
- Voie impactée par glissement de versant

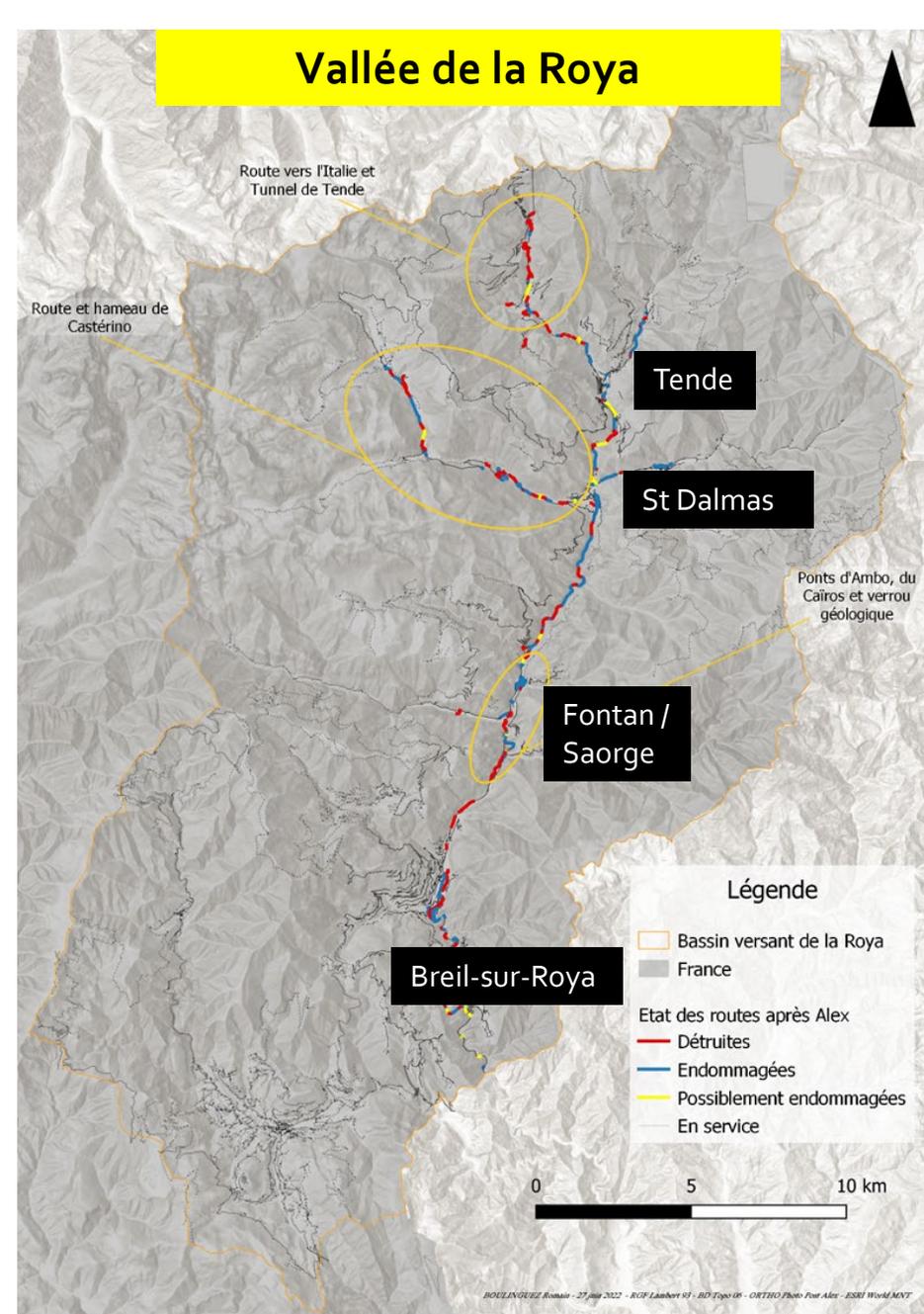
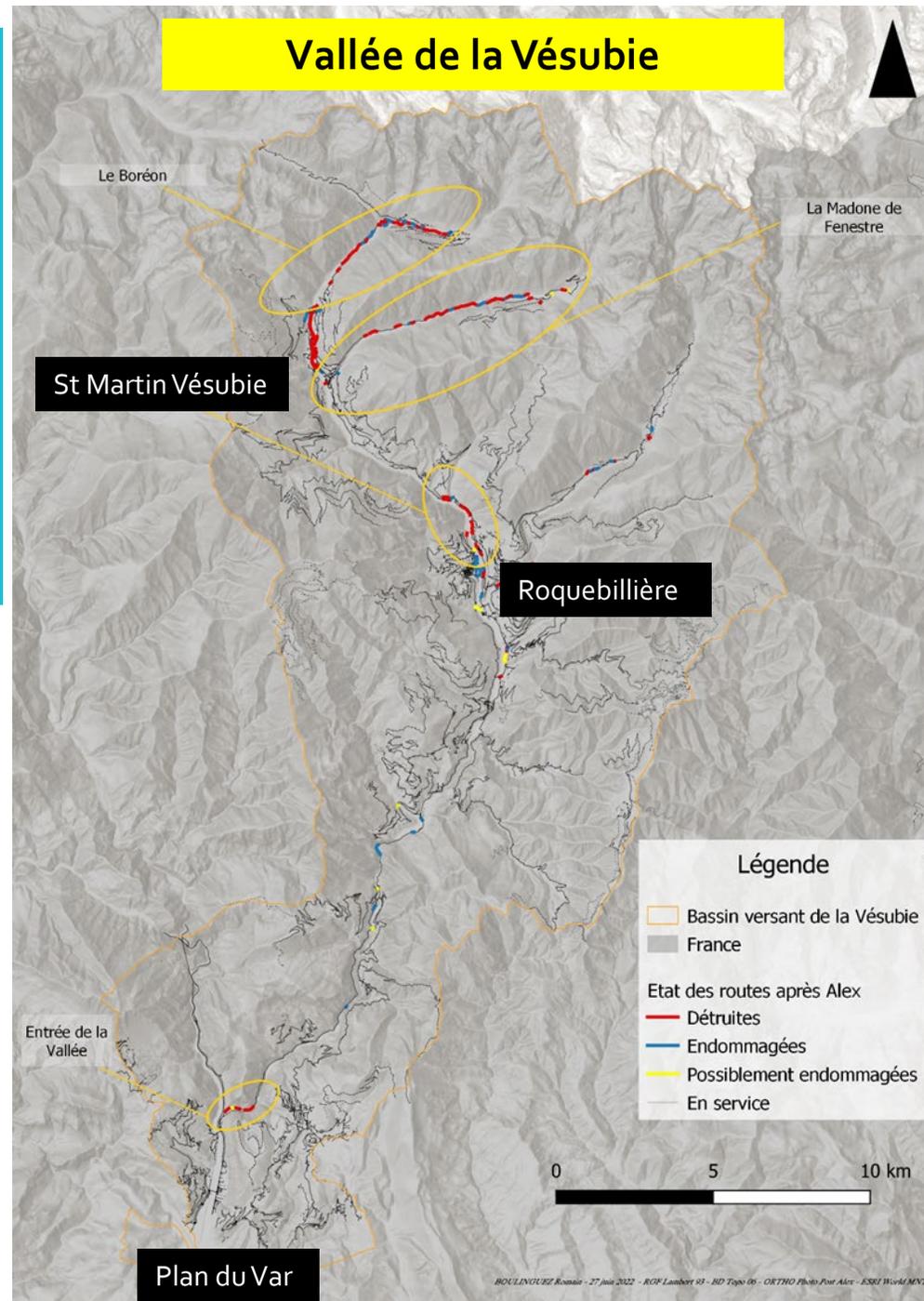
Sources : Romain BOULINGUEZ, 2022.

# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

Impacts sur les réseaux

## L'état des routes après le passage de la Tempête Alex

Source : BOULINGUEZ, 2022.

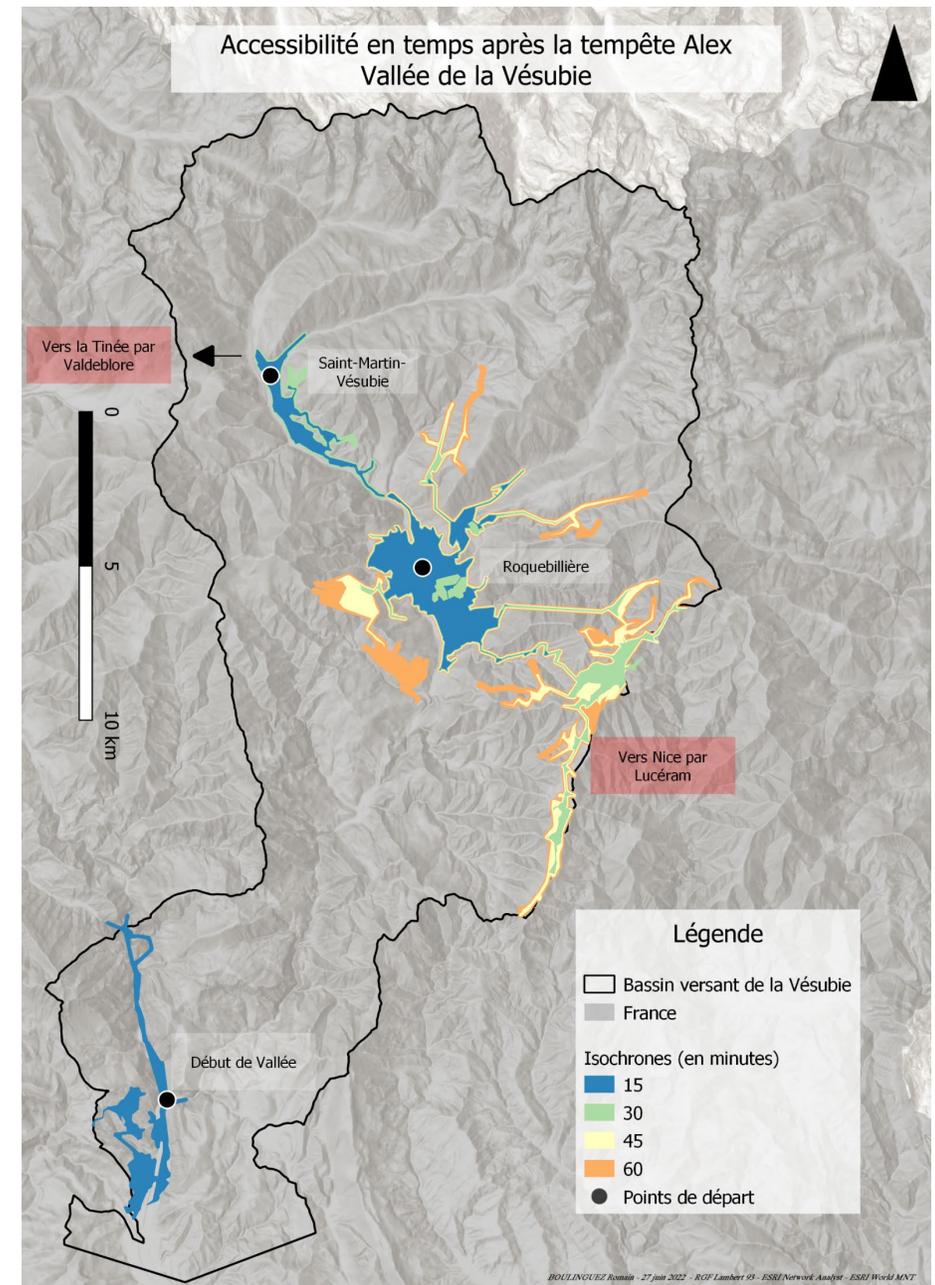
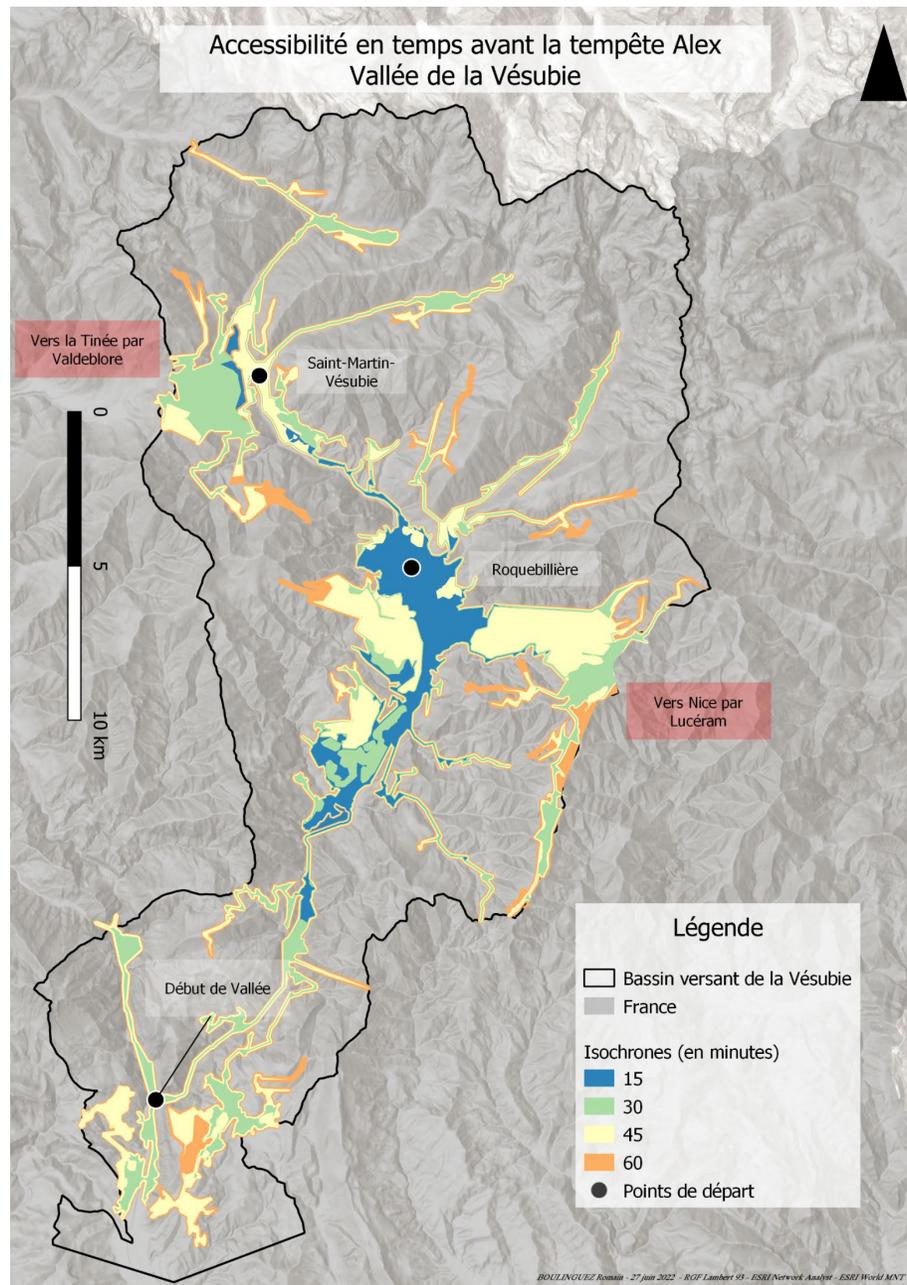


# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

Impacts sur les réseaux

Accessibilité fortement réduite voire coupée (Vésubie)

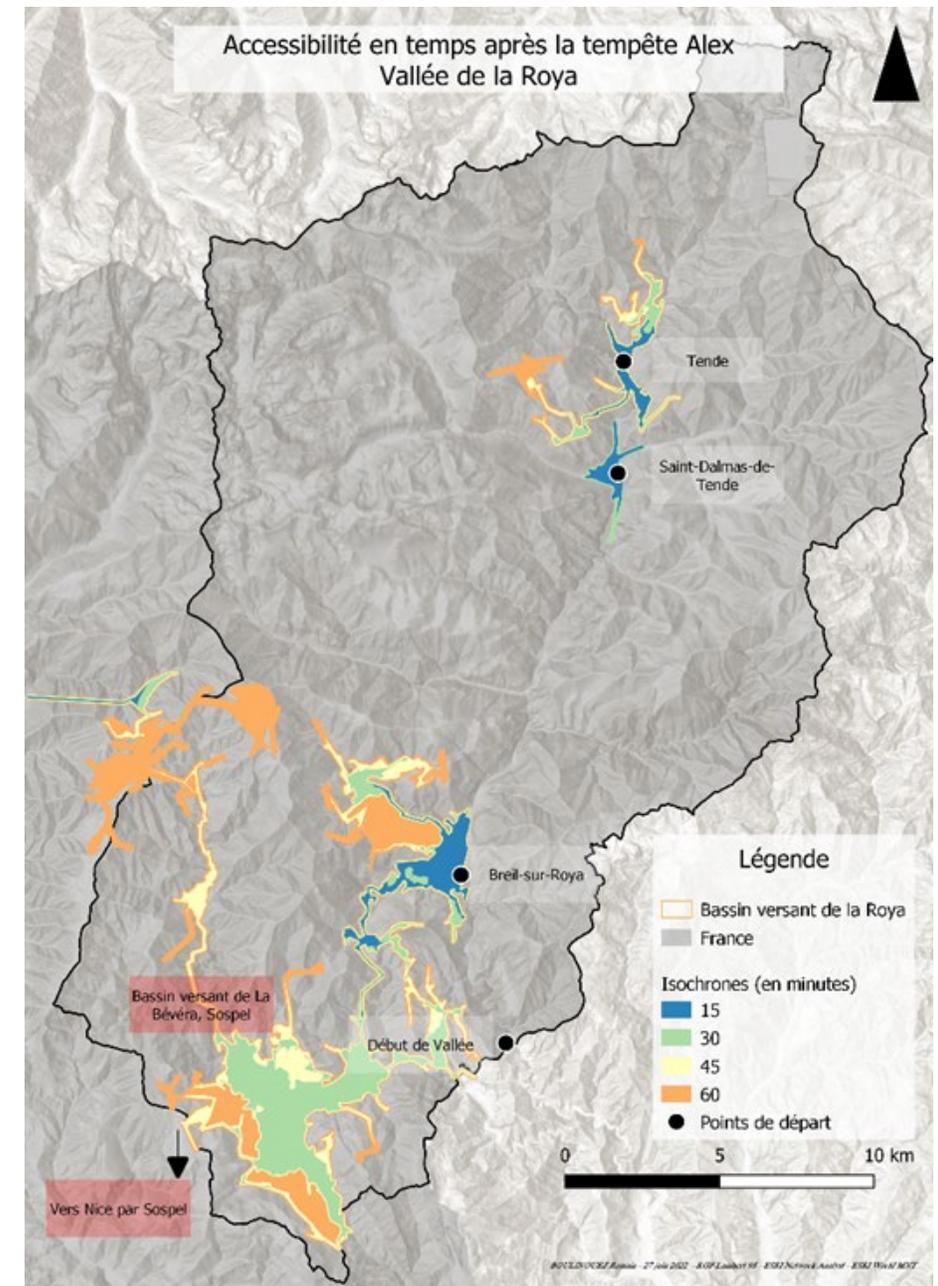
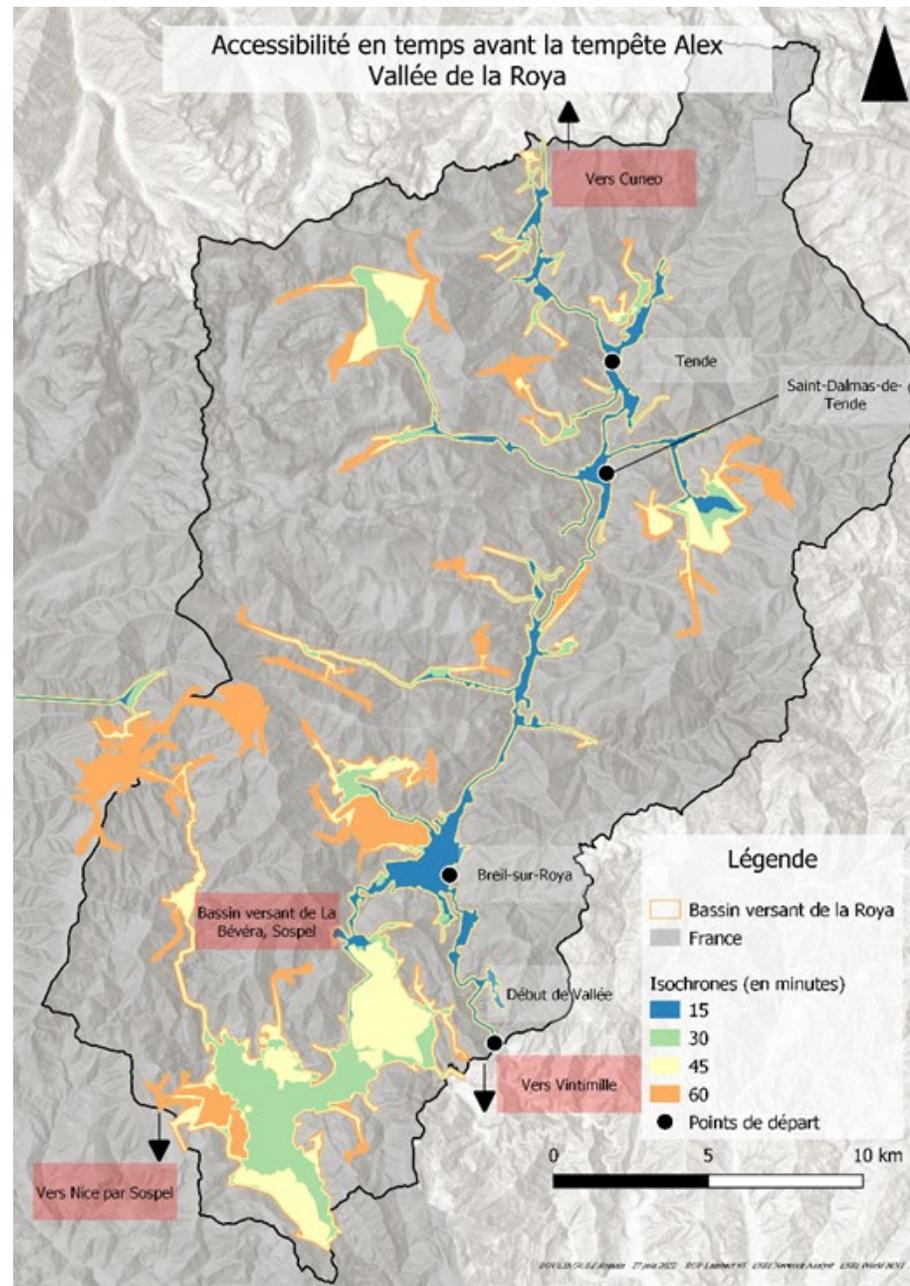
Source : BOULINGUEZ, 2022.



# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

Impacts sur les réseaux

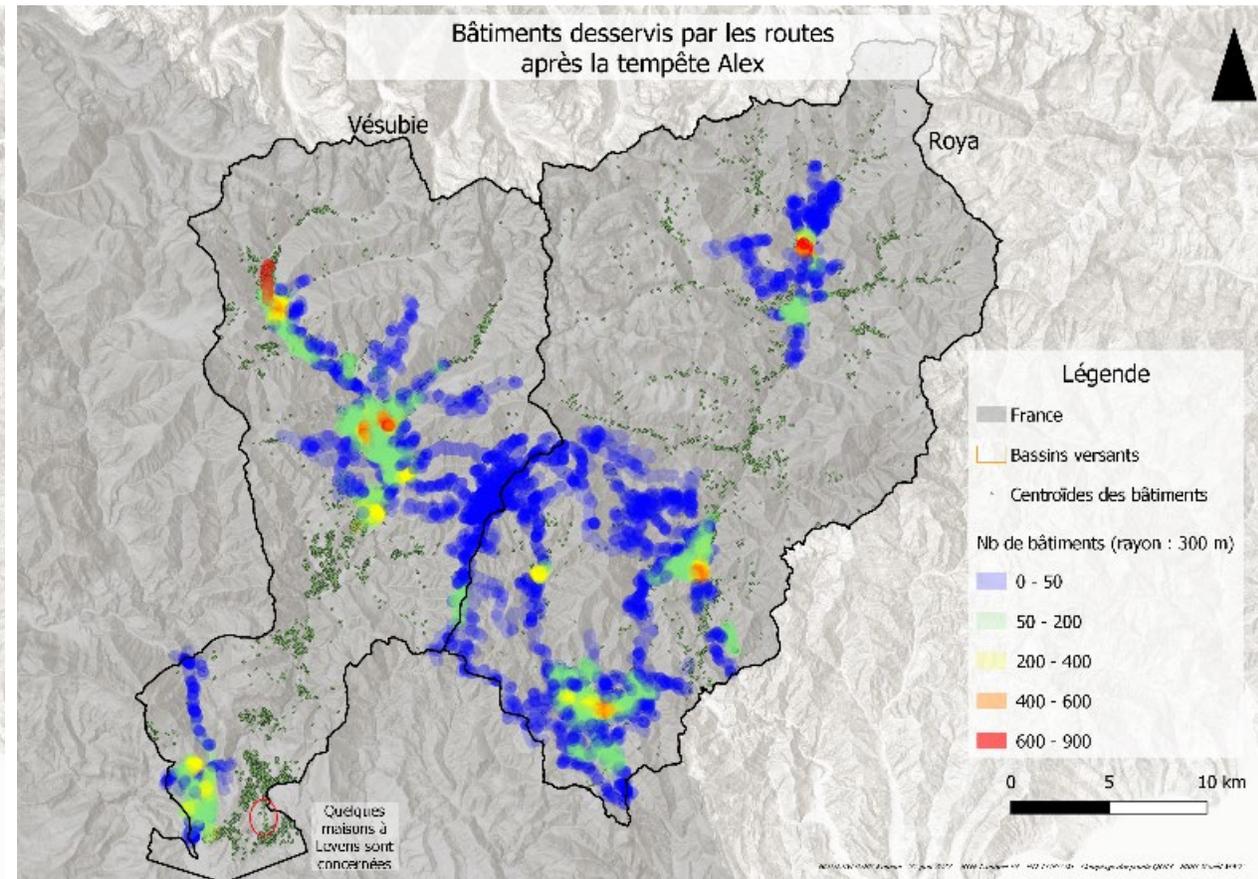
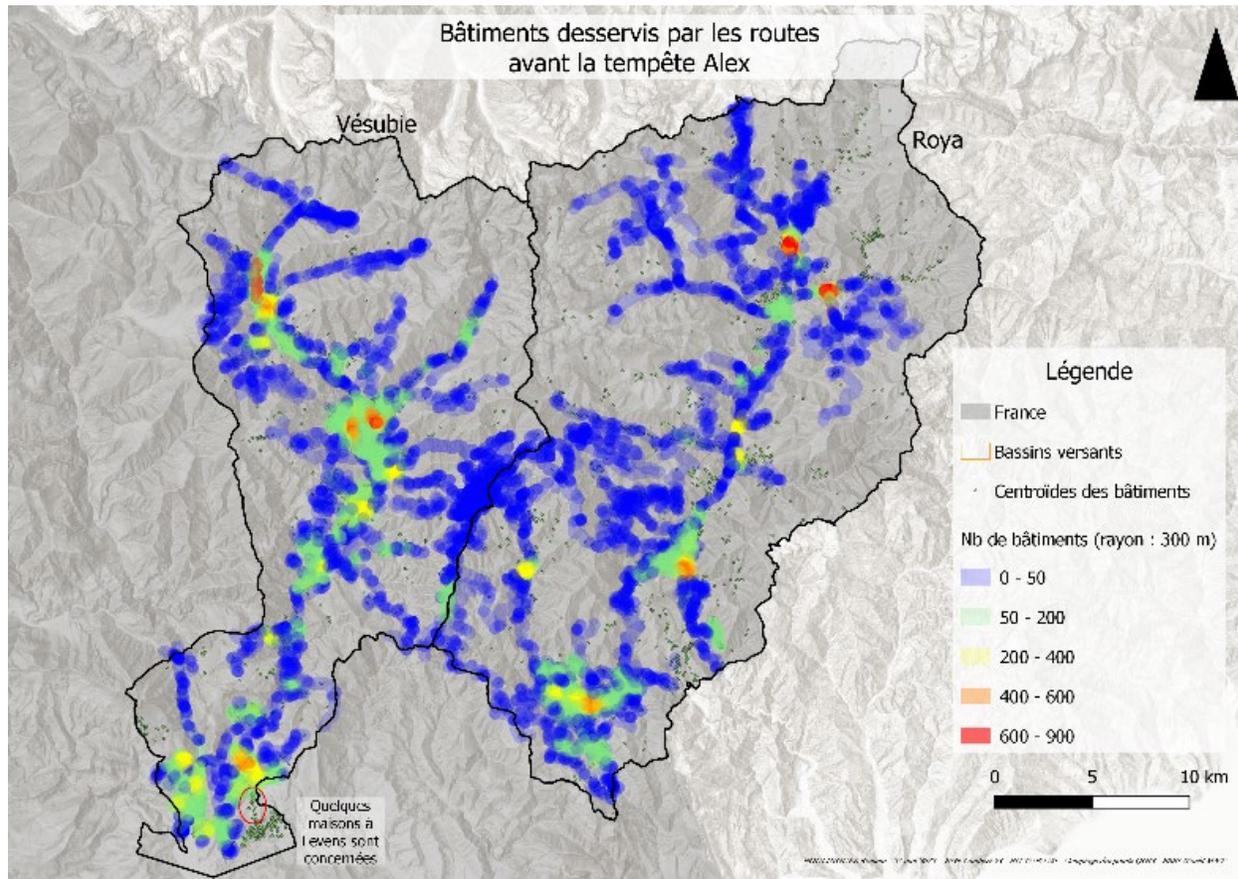
Accessibilité fortement réduite voire coupée (Roya)



# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

## Impacts sur les réseaux

### Des secteurs isolés



# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

## Impacts sur les réseaux

### Le réseau routier

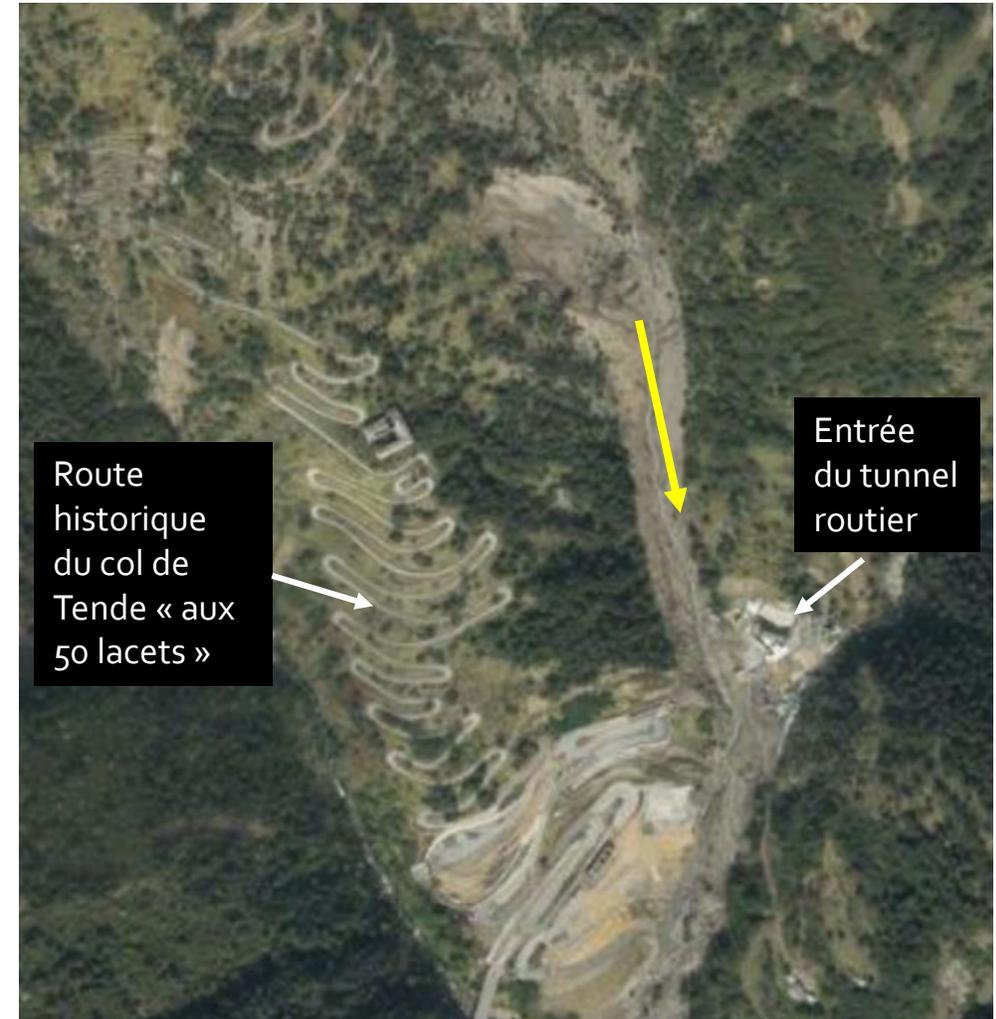
Bilan (suite) :

Des vallons ont grandement participé à la destruction des routes.

Ainsi que les glissements de terrain



Le vallon du villars affluent du torrent Boréon dans la Haute Vésubie (source : DDTM o6)



Glissement de terrain du col de Tende qui a entraîné la fermeture du tunnel (photo DDTM o6)

# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

## Impacts sur les réseaux

**Le réseau routier** : certains aménagements anthropiques ont aggravé les dégâts sur le réseau routier



Source : Google Map

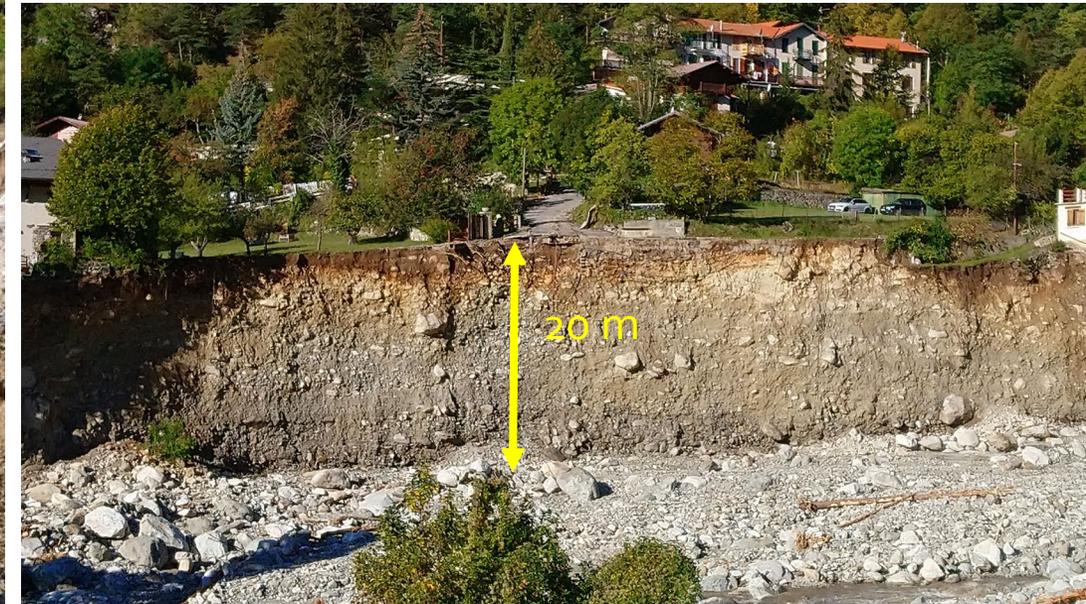
Source : Géoportail IGN



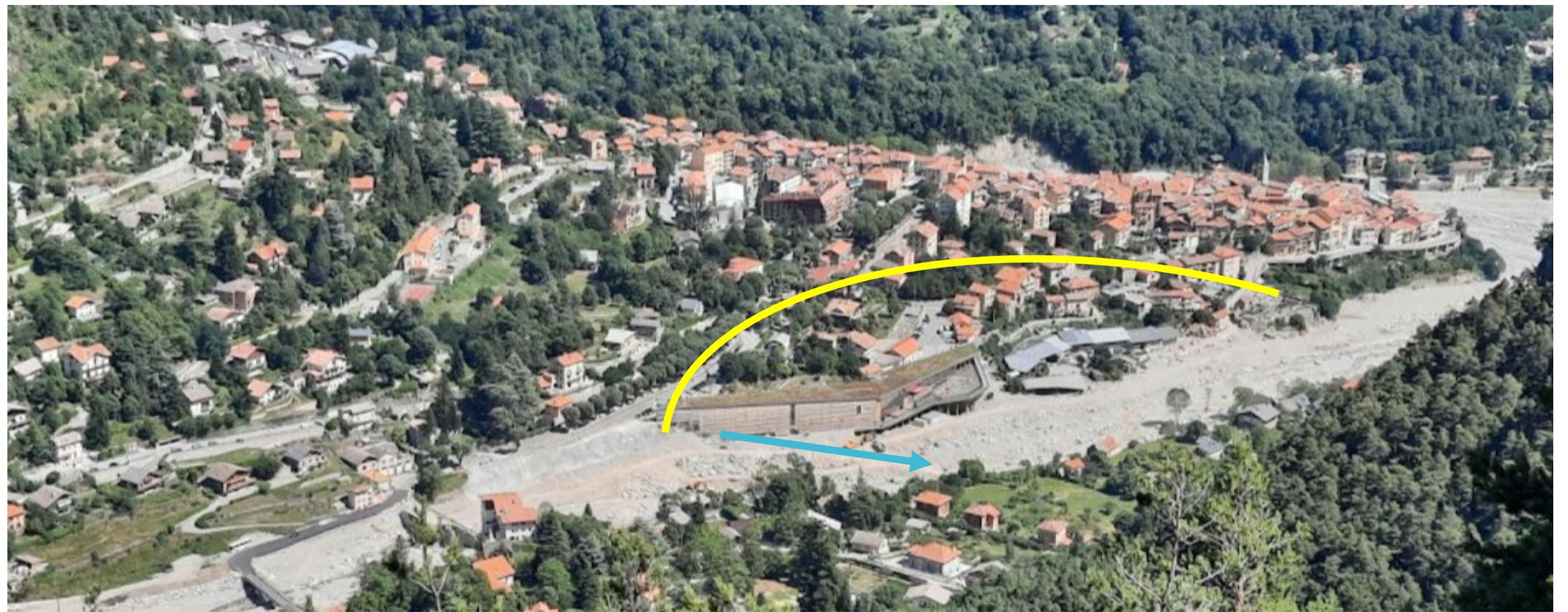
Effondrement de versant suite à l'érosion de la berge sur le torrent du Boréon à St Martin Vésubie (Photo France Télévision)

# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

Le réseau routier : certains aménagements anthropiques ont aggravé les dégâts sur le réseau routier



# Inversement : le bâtiment du Vesubia MP a protégé la quartier de la gare de St Martin Vésubie



# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

## Impacts sur les réseaux

### Le réseau routier

#### Les dégâts sur les ponts :

- 34% des 132 ouvrages en Vésubie et Roya présentent des dommages élevés (menace de ruine ou destruction totale).
- La plupart des ouvrages ont été endommagés par affouillement et contournement.
- Le taux d'endommagement dépend du gabarit et de l'emprise de l'ouvrage dans le corridor fluvial.

Sources : DDTM 06, 2022.



Pont à arche unique et pont à travées multiples à Roquebillière (Photo : La voix du Nord)

# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

## Impacts sur les réseaux

### Le réseau routier

#### Les dégâts sur les ponts (suite) :

- Endommagements les plus sévères sur :
  - les passerelles
  - les ponts à travées multiples
  - les ponts à travée unique quand faible ouverture hydraulique.
- Les ouvrages les plus résistants : ouvrages de longue portée, sans pile en rivière.



Photo : France Bleu Azur

Pont à travée unique à la sortie Nord de St Martin Vésubie (Photo : France Bleu Azur)

Source : DDTM 06, 2022.

# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

## Impacts sur les réseaux

### Le réseau électrique

#### Bilan (suite) :

- ≈ 50 km de lignes détruites en Roya et la Vésubie + 16 transformateurs.
- Une dépendance forte vis-à-vis du réseau routier.

Sources : Romain BOULINGUEZ, 2022.



# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

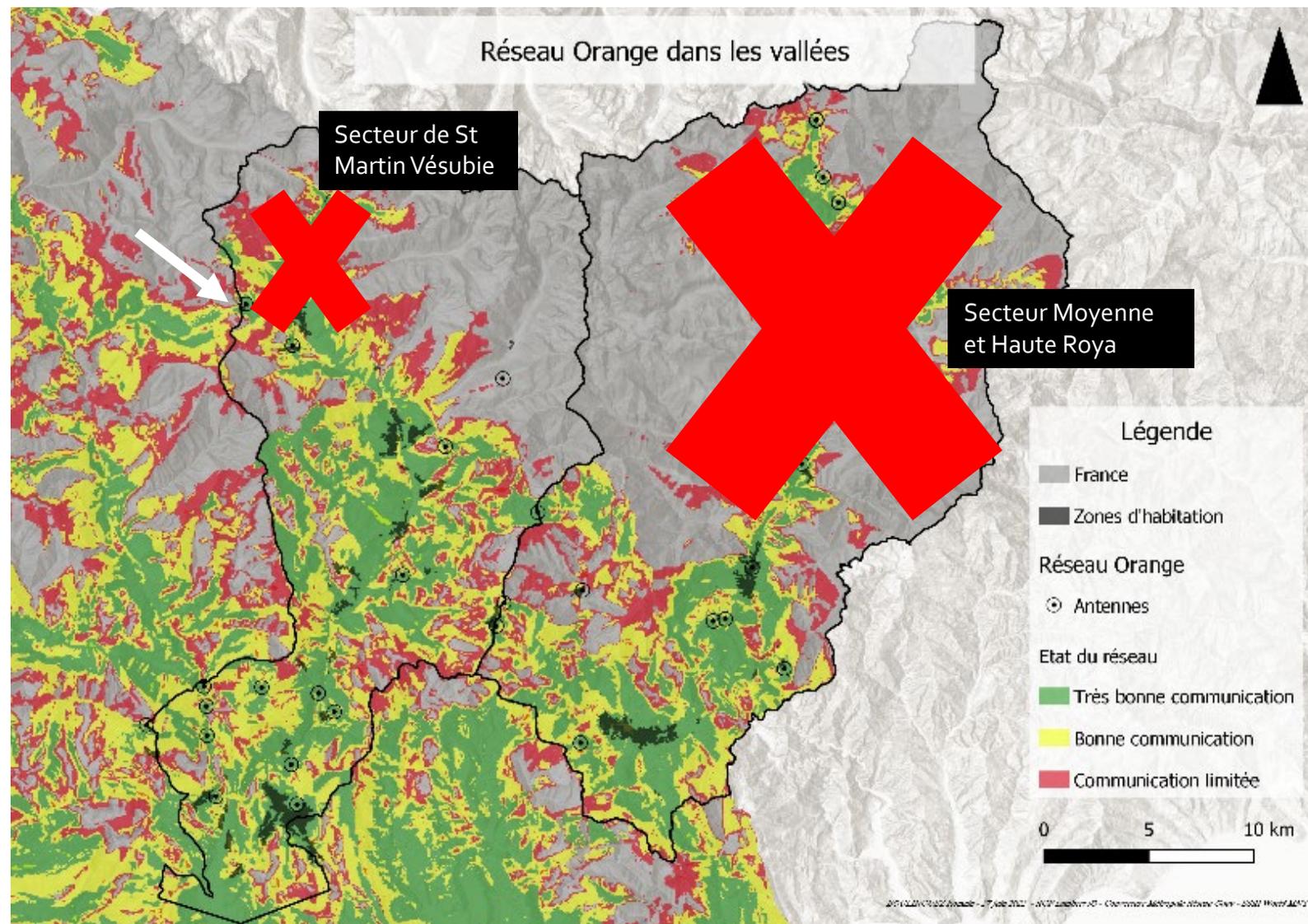
## Impacts sur les réseaux

### Le réseau Téléphone-Internet

#### Bilan (suite) :

- Dépendance des antennes relais vis-à-vis du réseau électrique
- ...et donc *in fine* vis-à-vis du réseau routier.

Sources : Romain BOULINGUEZ, 2022.



# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

## Impacts sur les réseaux

### Le réseau Eau & Assainissement

- Le réseau d'eau est aussi dépendant du réseau routier + ou – selon les communes.
- Dépendance totale du réseau d'assainissement vis-à-vis du réseau routier qui supporte les canalisations.
- Forte vulnérabilité des stations d'assainissement construites à proximité des cours d'eau.

Sources : Romain BOULINGUEZ, 2022 et observations de terrain.



La station d'épuration reconstruite à St Martin Vésubie suite à la Tempête Alex (photo : Cohin Environnement)

## 2. Méthode de diagnostic territorial – Evaluer la vulnérabilité des territoires

**Objectif :** estimer le nombre d'habitants et d'activités (entreprises, organismes publics) potentiellement concernés (directement ou indirectement) afin d'optimiser la gestion de crise et post-crise.

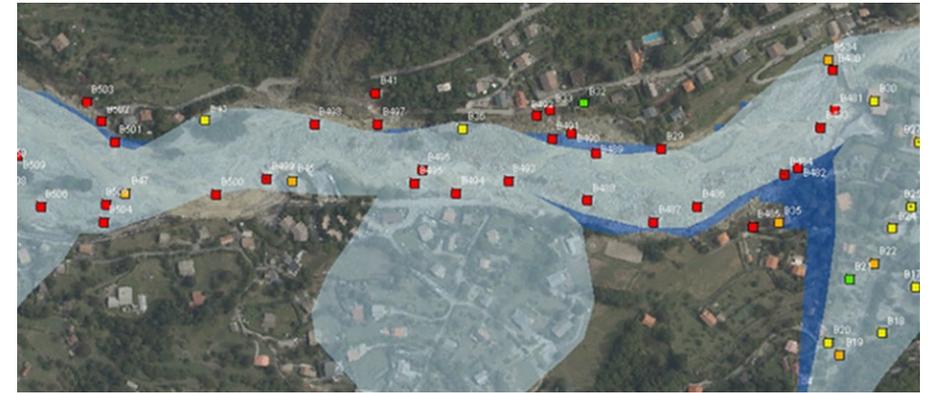
### Étapes :

#### 1. Repérer les bâtiments potentiellement impactés

- Croisement avec l'outil SIG de l'AZI de la DIREN avec la BD TOPO Bâti de l'IGN.
- Evaluation qualitative du nombre d'habitants concernés en lien avec les mairies.

#### 2. Identifier les réseaux potentiellement coupés

- Cartographie des réseaux (hors routes).
- Croisement de l'AZI avec la cartographie des réseaux (évaluer leur vulnérabilité propre)
- Croisement de la carto des réseaux avec BD TOPO routes (évaluer l'interdépendance)
- Croisement du résultat avec carte géologique du Service géologique national (BRGM) pour identifier les routes sur dépôts fluvioglaciers
- Modélisation glissements de terrain
- Evaluation de la vulnérabilité des ponts (typologie, capacité hydraulique)



Electricité



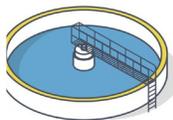
Téléphonie-Internet



Eau potable



Assainissement



Légende

Etat des routes après Alex

■ Détruit

■ Endommagé

■ En service

Les lignes électriques

— Basse tension aérien

— Basse tension sous-terrain

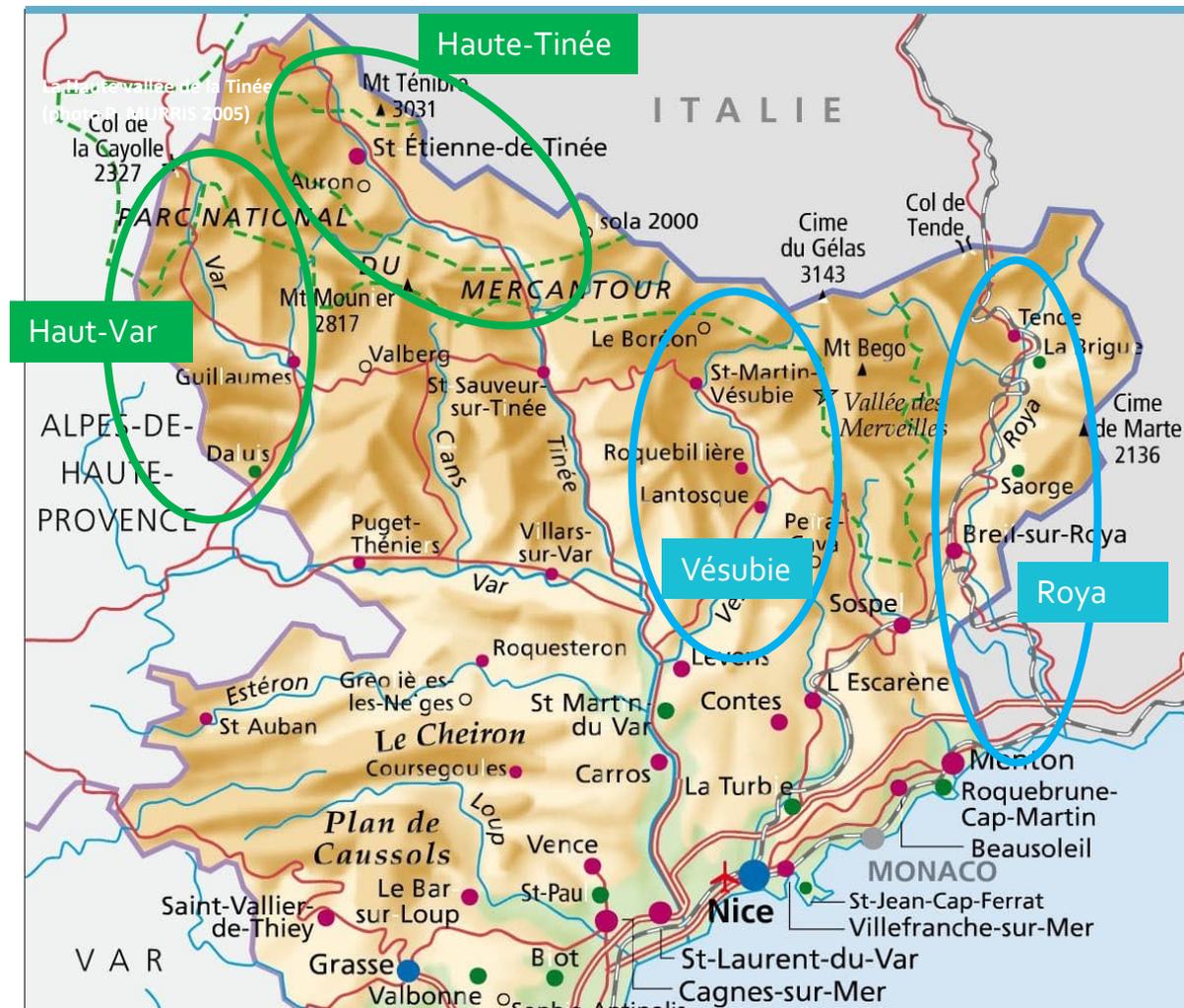
— Moyenne tension aérien

— Moyenne tension sous-terrain

0 25 50 m

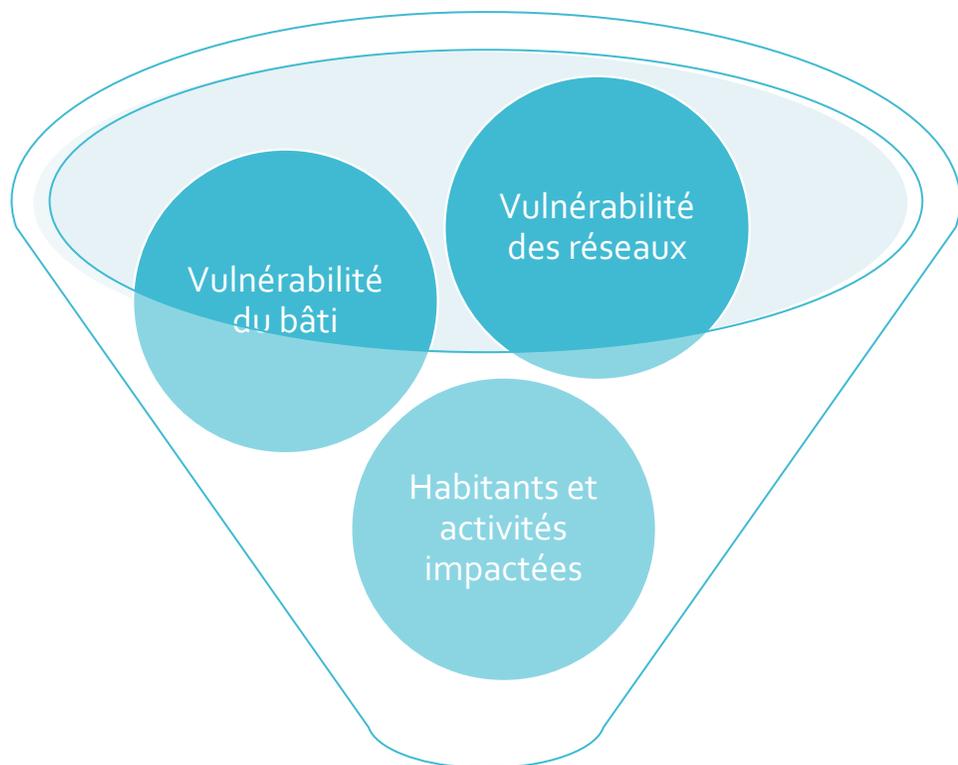
# Territoires potentiels d'application de la méthode de diagnostic

- Deux territoires identifiés dans les Alpes-Maritimes avec des caractéristiques comparables aux vallées de la Vésubie et de la Roya.
- Les vallées du Haut-Var et de la Haute-Tinée



- Territoires peu impactées par la Tempête Alex en termes de cumul de précipitations avec 82 mm en moyenne pour le Haut-Var et 74 mm pour la Haute-Tinée (source : SMIAGE).
- Si des précipitations de 500 à 600 mm avaient touchées ces deux territoires, il est fort probable que les conséquences auraient été tout aussi catastrophiques.

## 2. Méthode de diagnostic territorial : utilité pour les collectivités territoriales



Optimiser la gestion de crise

(Plan de sauvegarde communal & Plan de sauvegarde familial)

### Identification des secteurs potentiellement sinistrés et isolés

- Gestion des évacuations (ajuster les besoins humaines et matériels)
- Adapter la capacité et les besoins en nourriture et en eau des lieux d'accueil d'urgence.
- Ravitaillement des zones isolées

### Communication

- Moyens téléphoniques de substitution
- Plan d'information à la population

### Electricité & Eau

- Electricité (transformateurs & lignes)
- Eau potable (bassins, canalisations)

### Mobilité

- Parcours routiers alternatifs
- Passages à gué / ponts provisoires

### Assainissement

- Canalisations
- STEP provisoires

### Relocalisation d'urgence

- Services publics
- Sinistrés habitations détruites / en péril
- Entreprises et exploitations agricoles

# Questions / Réponses

- Projet FORESEE :
  - Enseignements de la Tempête Alex
  - Proposition de méthode de diagnostic à appliquer sur un territoire comparable (Haute-Tinée, Haute vallée du Var, Stura di Demonte, Val Gesso).
- Autres sujets non traités mais importants dans la gestion post-crise :
  - Relations des sinistrés avec leurs assurances.
  - Relations des sinistrés avec l'Etat concernant la procédure Fonds Barnier et les décisions de « relocalisation » (destruction).
  - Le relogement pérenne des sinistrés et la perte de population des communes impactées versus délais de révision du PLU.
  - L'accompagnement psychologique des sinistrés
  - La relocalisation des entreprises et des activités.
  - La coordination des associations humanitaires et des bénévoles par les collectivités locales.
  - L'information de la population.