

# 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

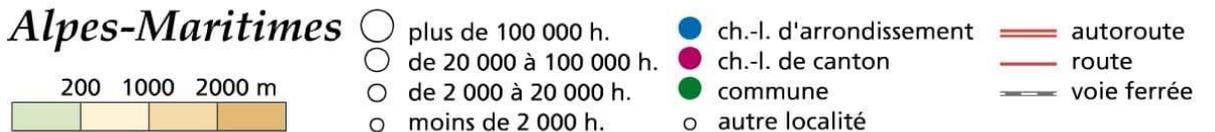
# Rappel du contexte

## 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



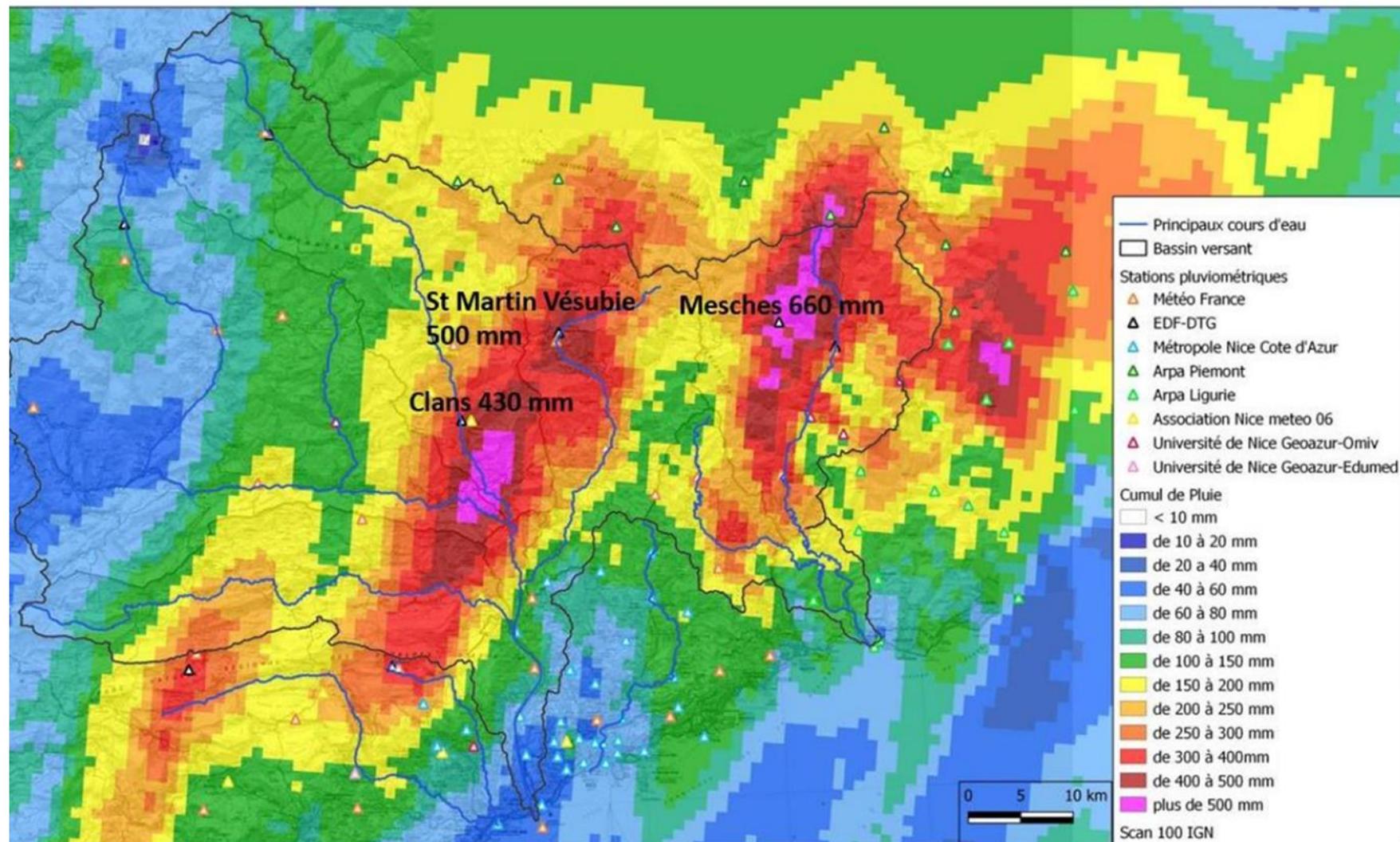
# Rappel du contexte

## 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)

# Rappel du contexte

## 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 :**

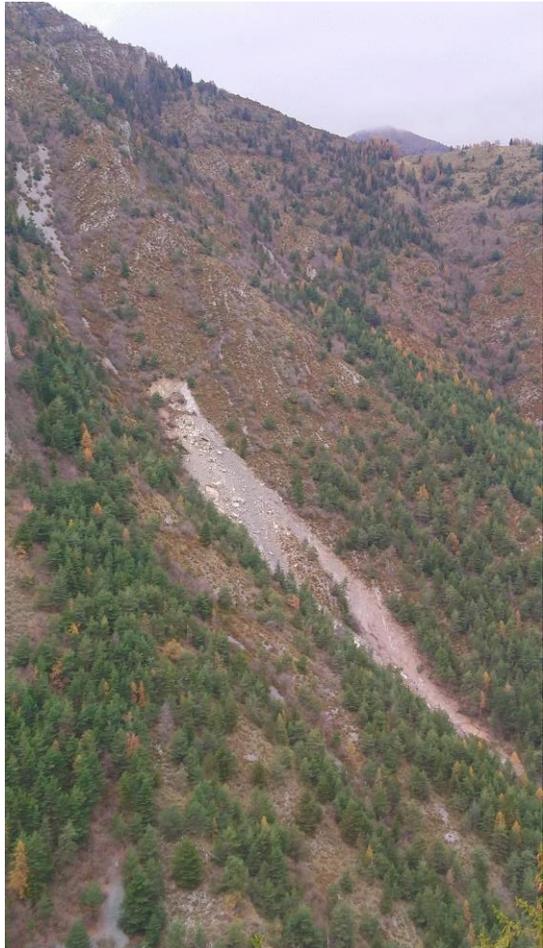
- les bâtiments ;
- les réseaux (routes, eau-assainissement, électricité, téléphone-Internet).

# 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

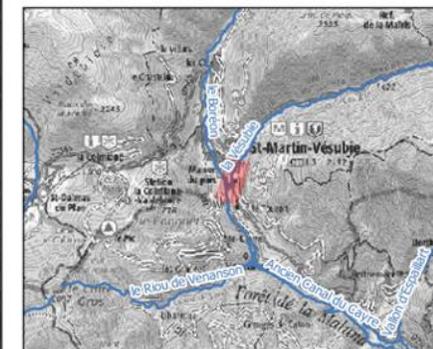
IGN BDORTHO Été 2020



2020

IGN ORTHO ALEX 05/10/2020

La Vésubie 10



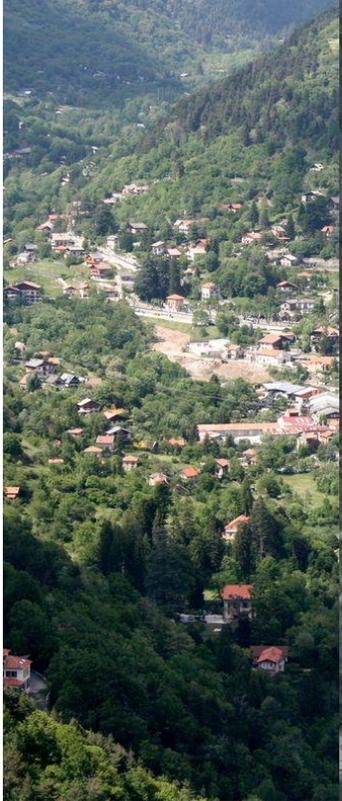
Source INRAE et ONF-RTM

-  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)



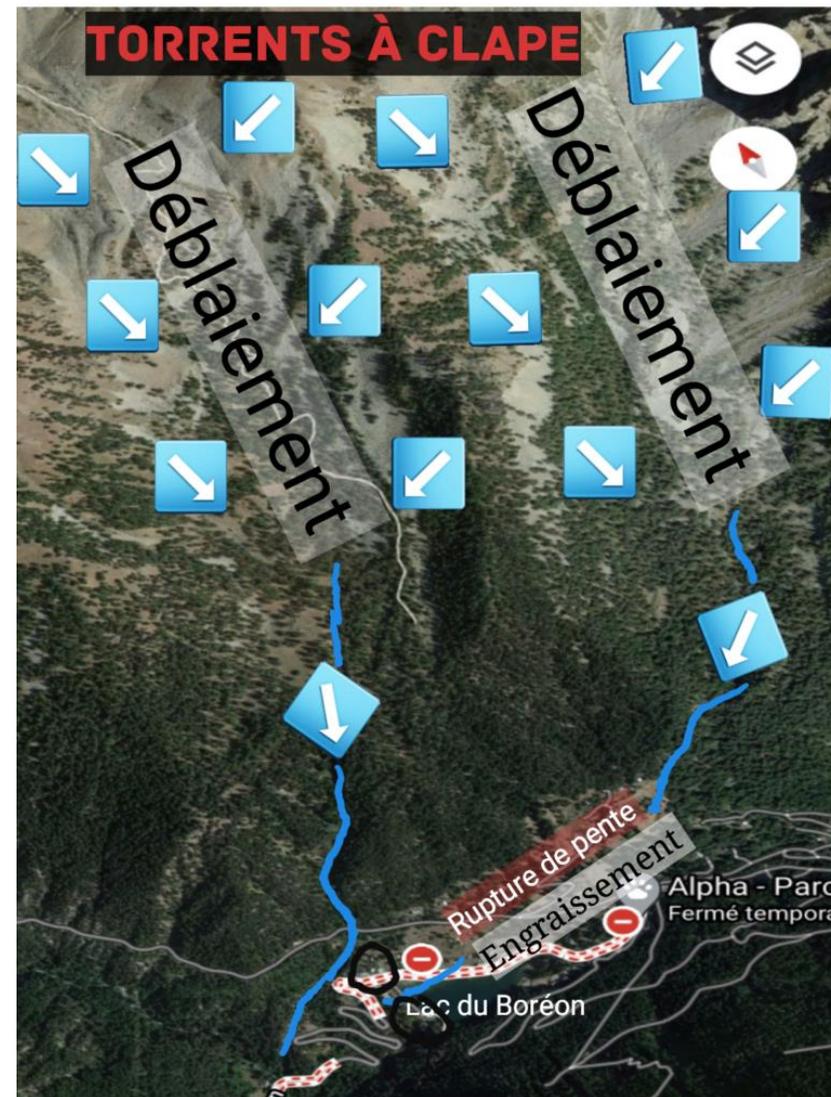
Un apport exceptionnel de sédiments provenant des hautes altitudes

# 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

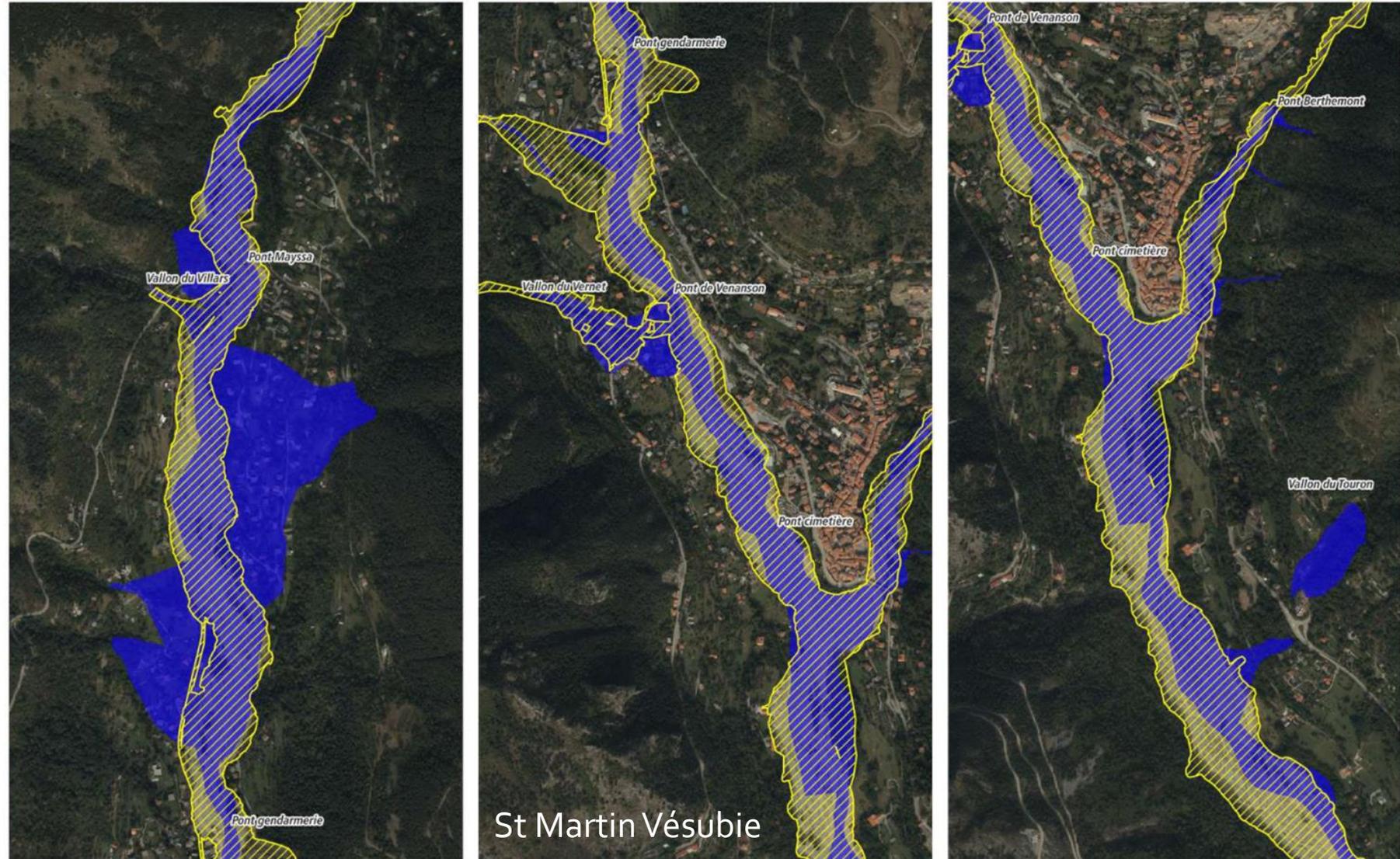
Affouillement des fondations



# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

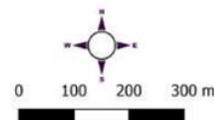
- Correspondance faible de la bande active du 2 octobre 2020 avec les PPRI existants
- Le PPRI se base sur la crue de référence la plus forte connue ou une crue d'occurrence cent ans.
- Problème : occurrence de la crue du 2 octobre : de 500 à 7000 ans selon les sources.

## La localisation des infrastructures impactées



### Légende

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

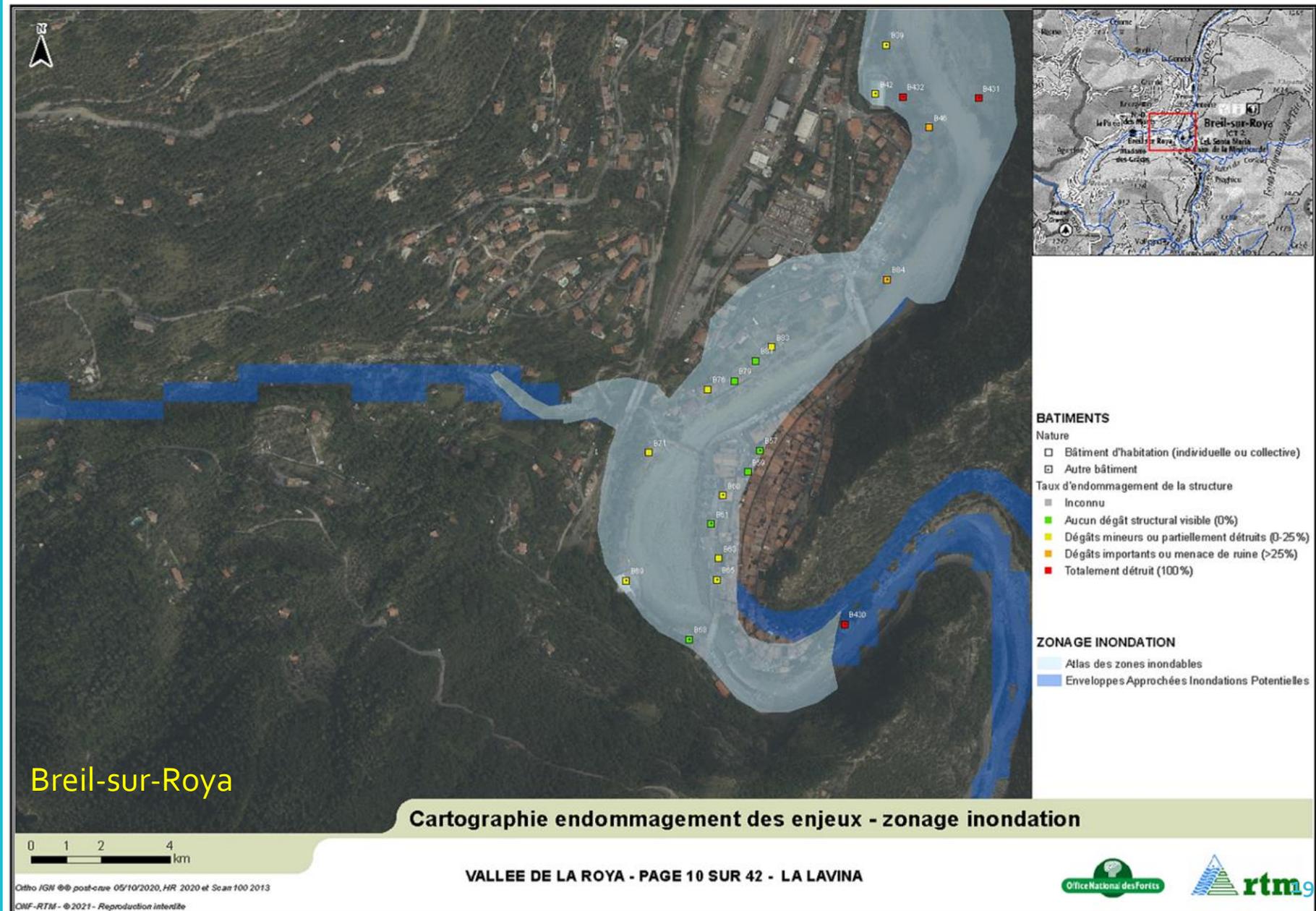


Croisement de la cartographie d'intensité de la crue du 02/10/2020 avec le PPR de Saint Martin-Vésubie - Traversée du village

# 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

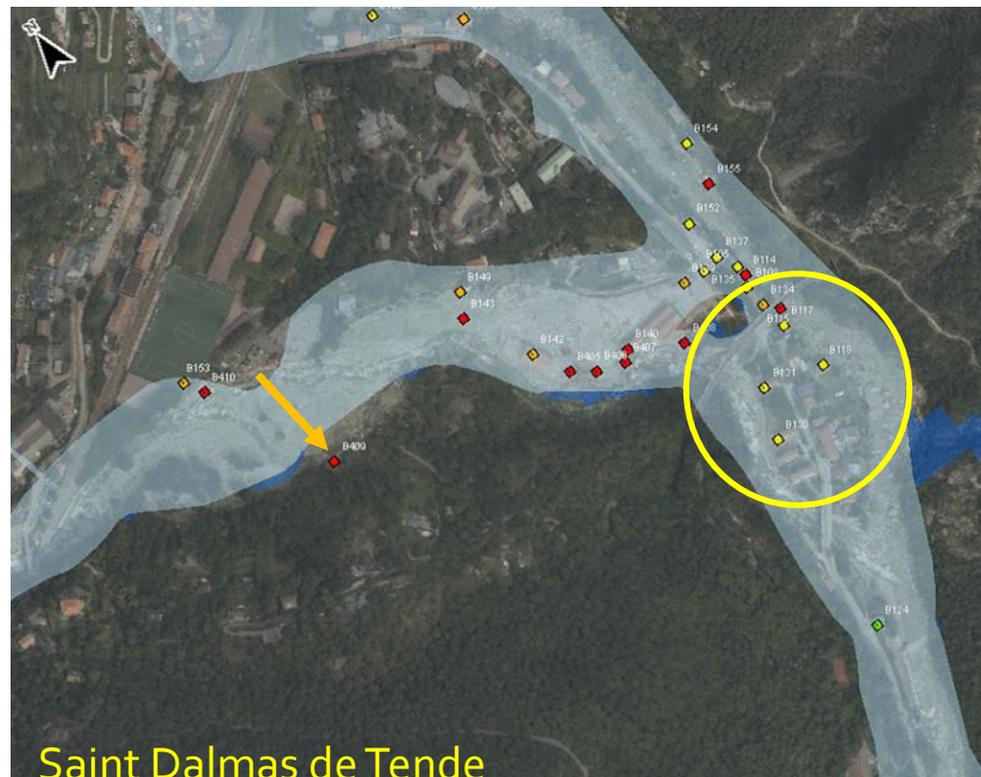


# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

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

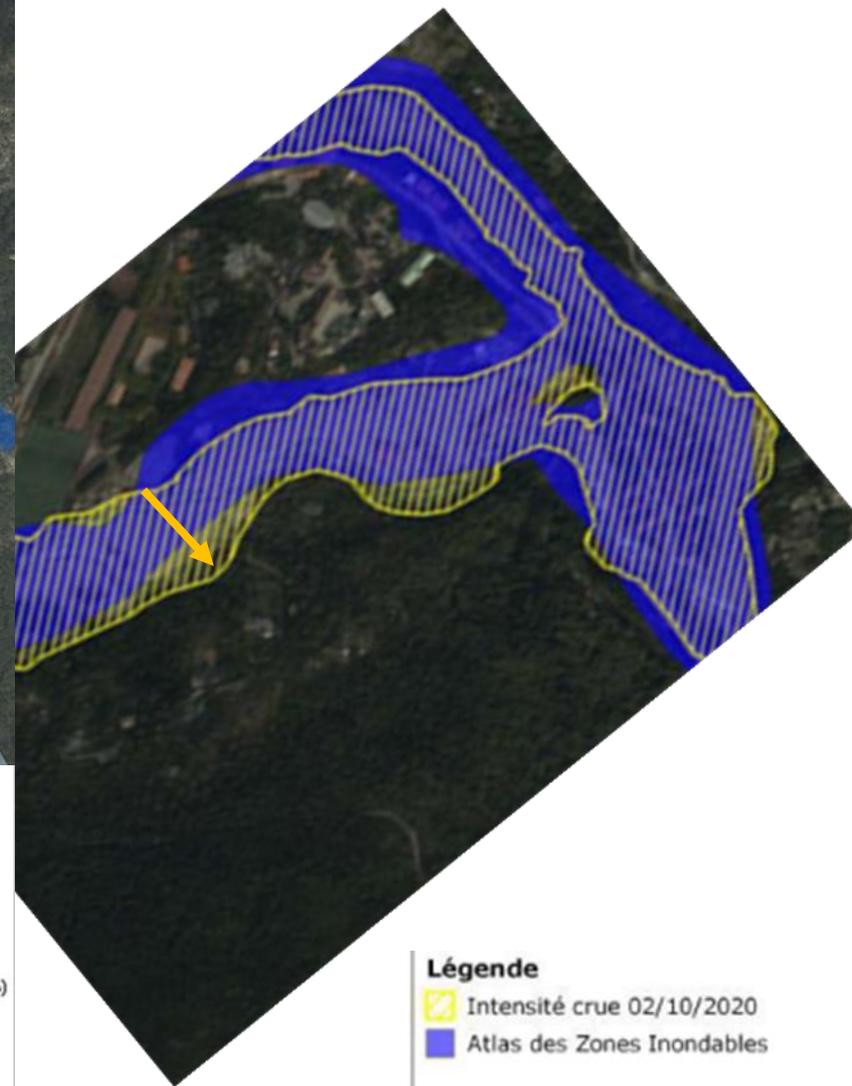
- Bâtiment d'habitation (individuelle ou collective)
- Autre bâtiment

#### 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

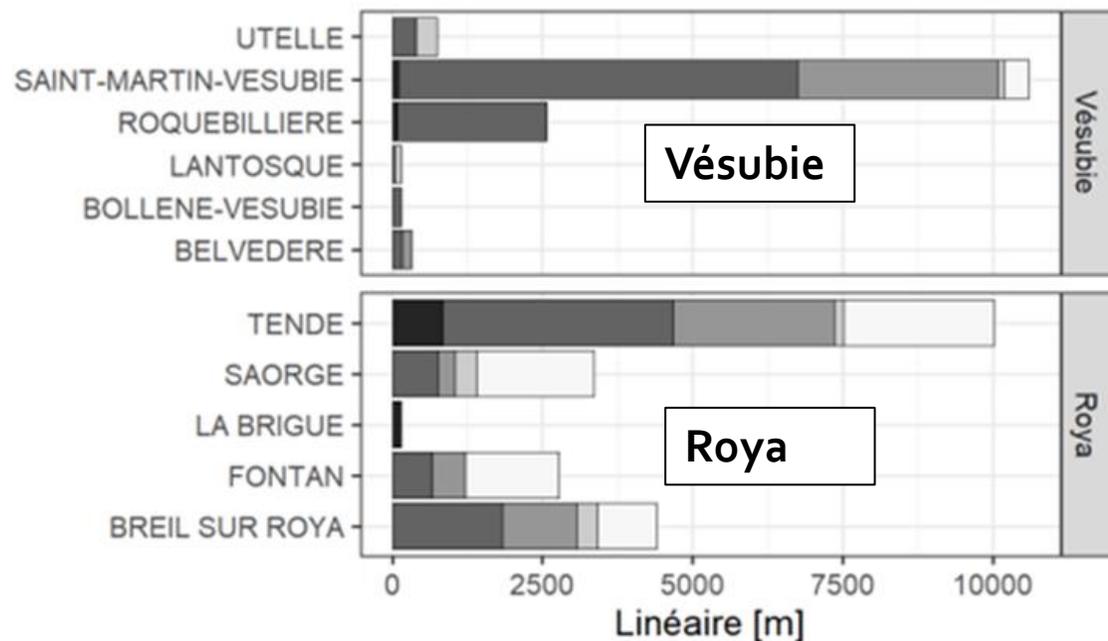
## Impacts sur les réseaux

### 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

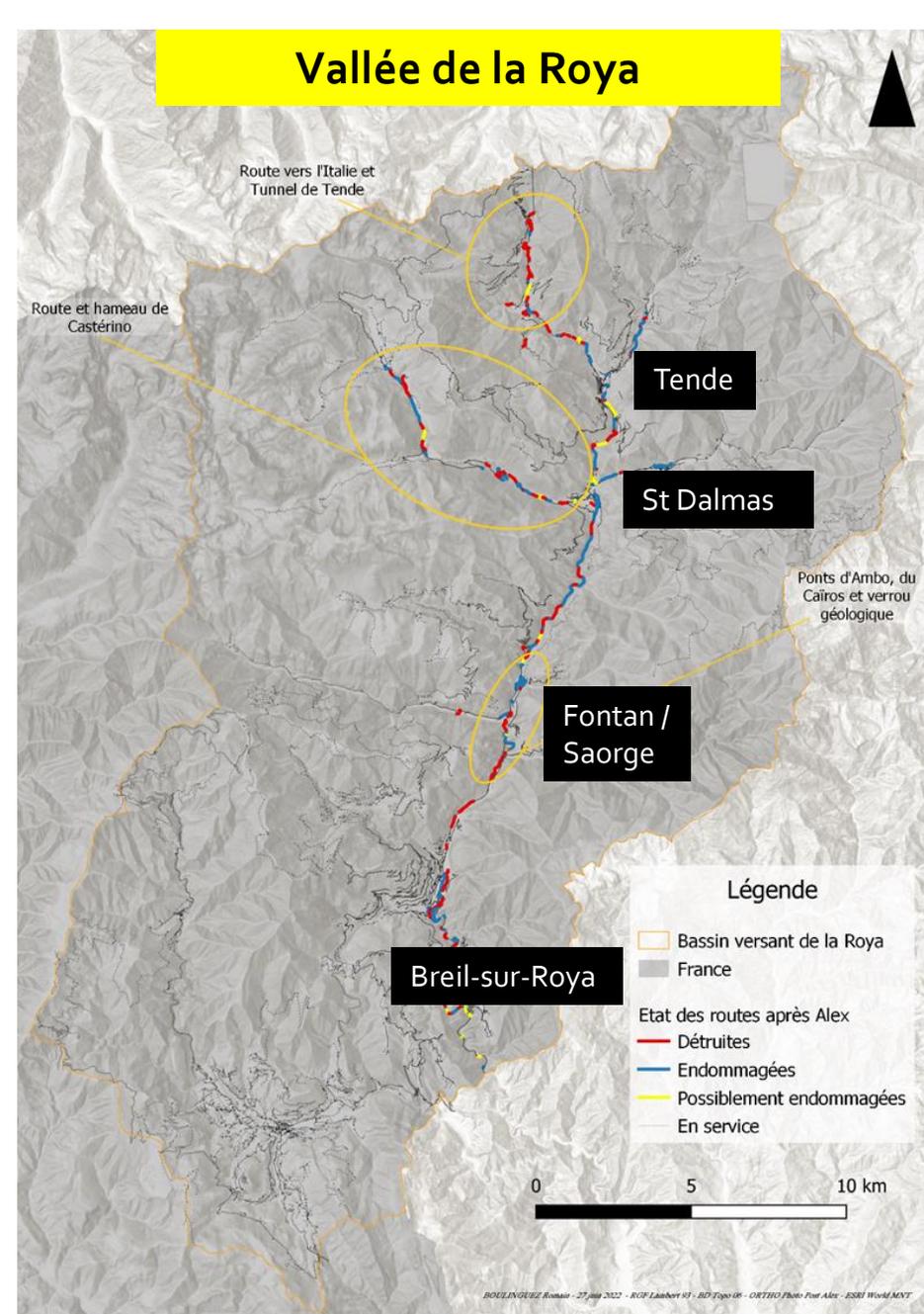
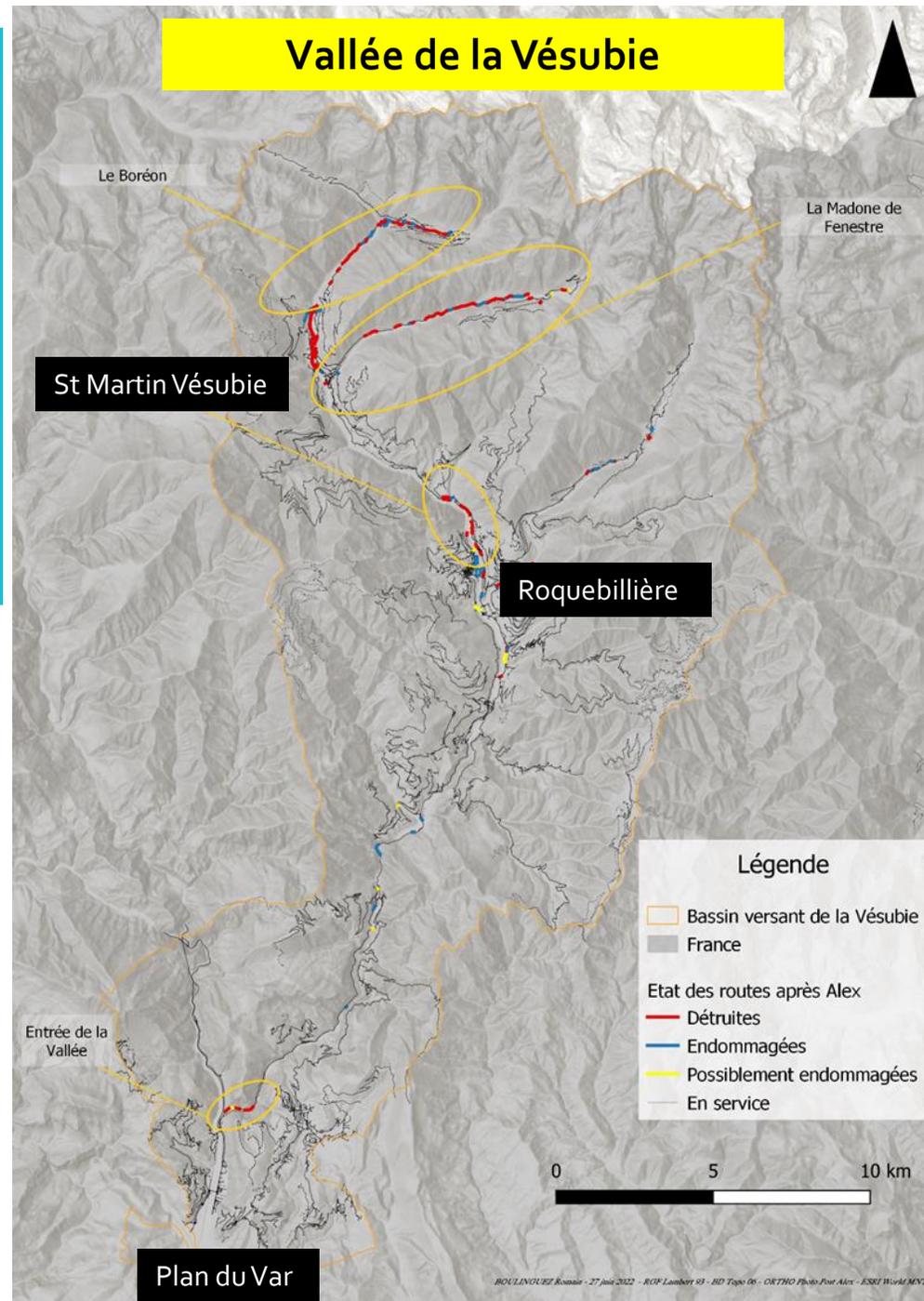
Sources : Romain BOULINGUEZ, 2022.

# 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.

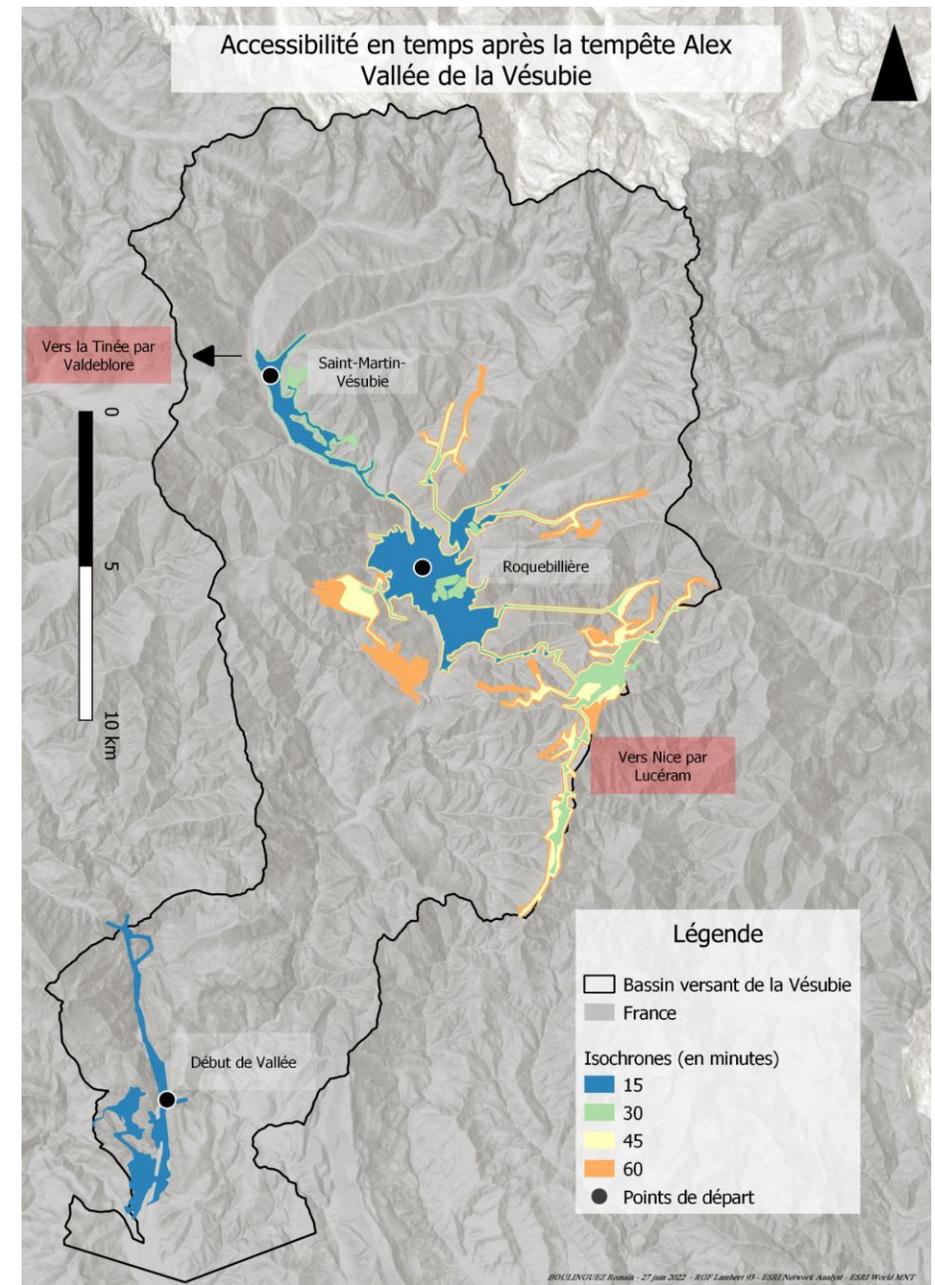
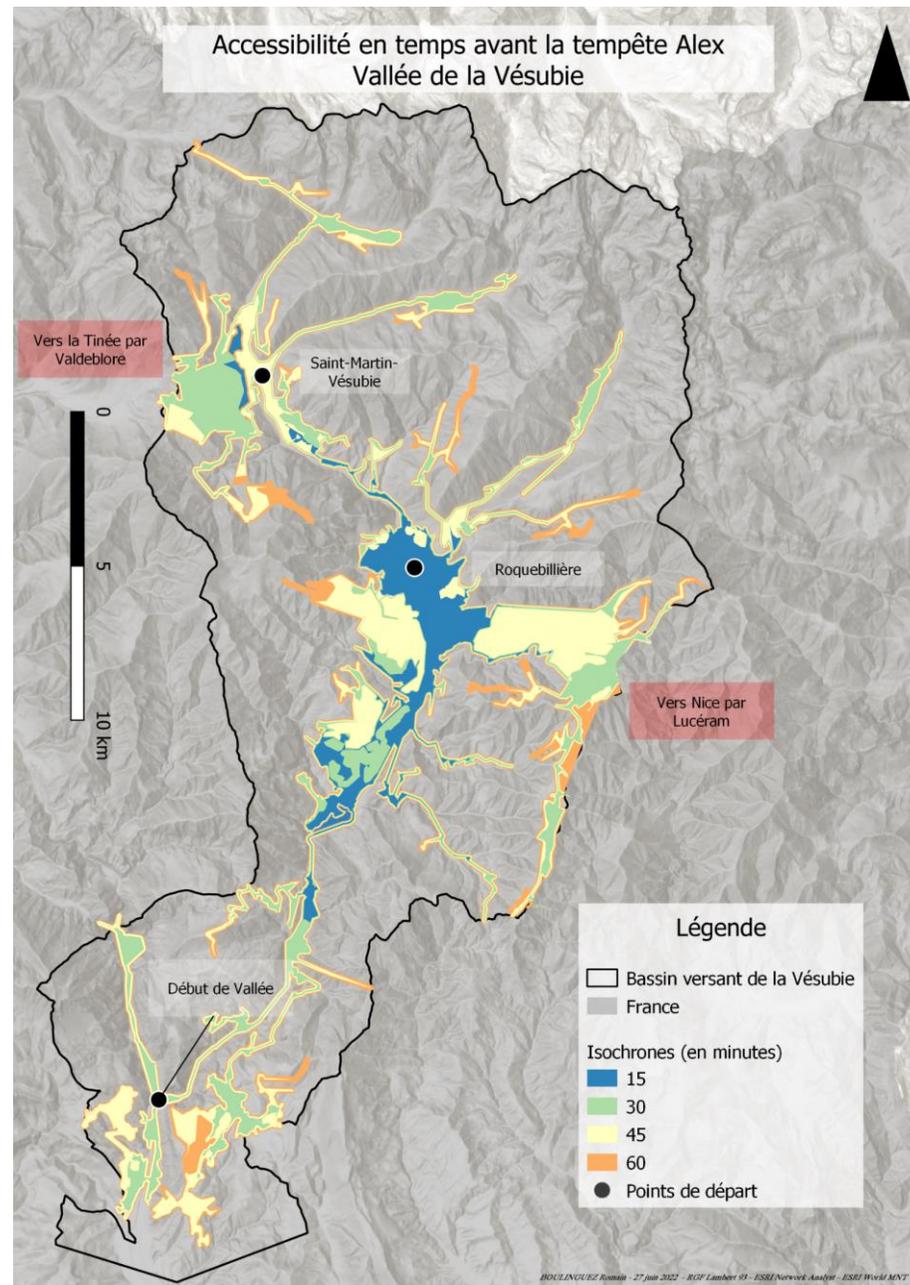


# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

Impacts sur les réseaux

Accessibilité fortement réduite voire coupée (Vésubie)

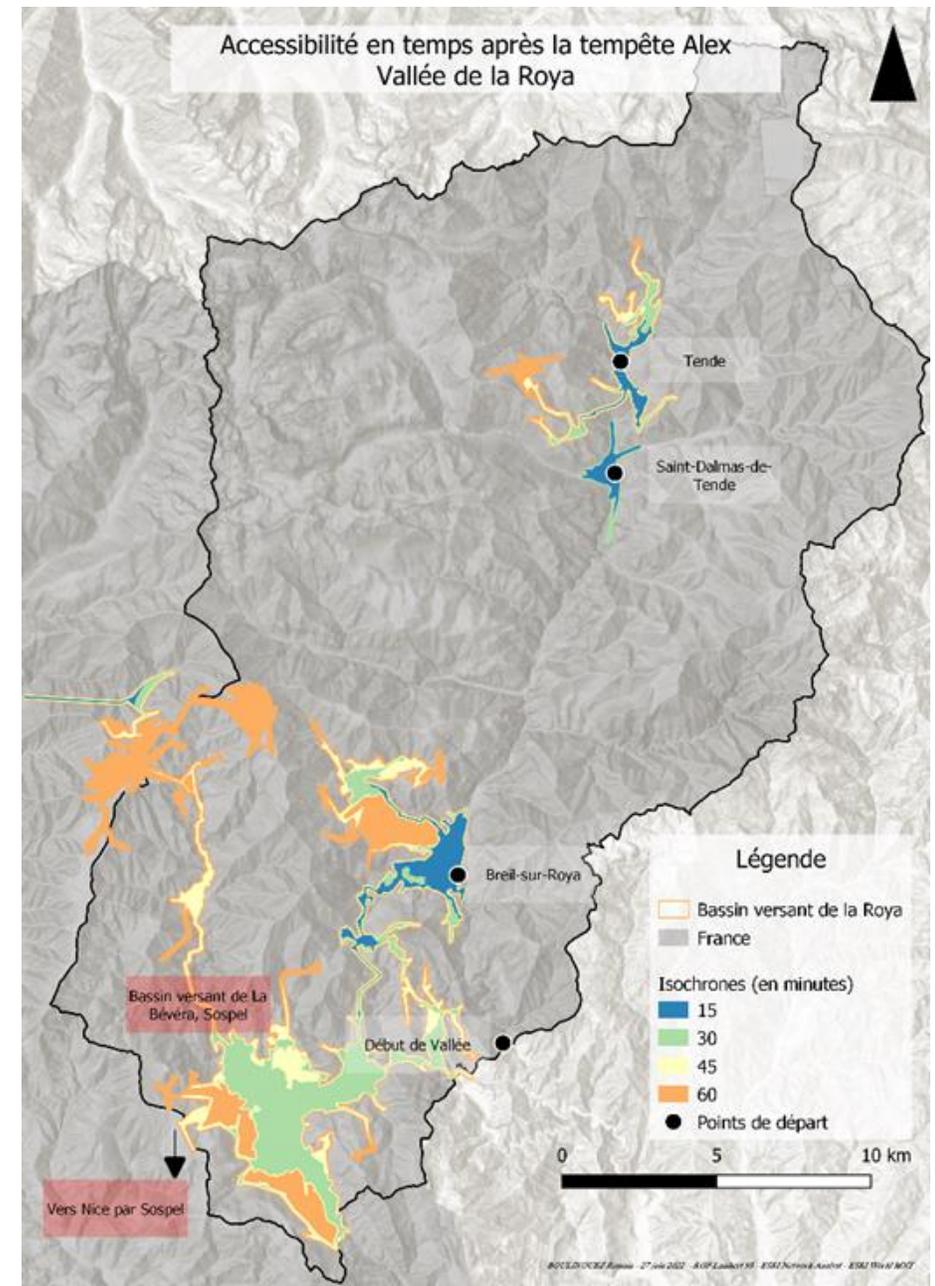
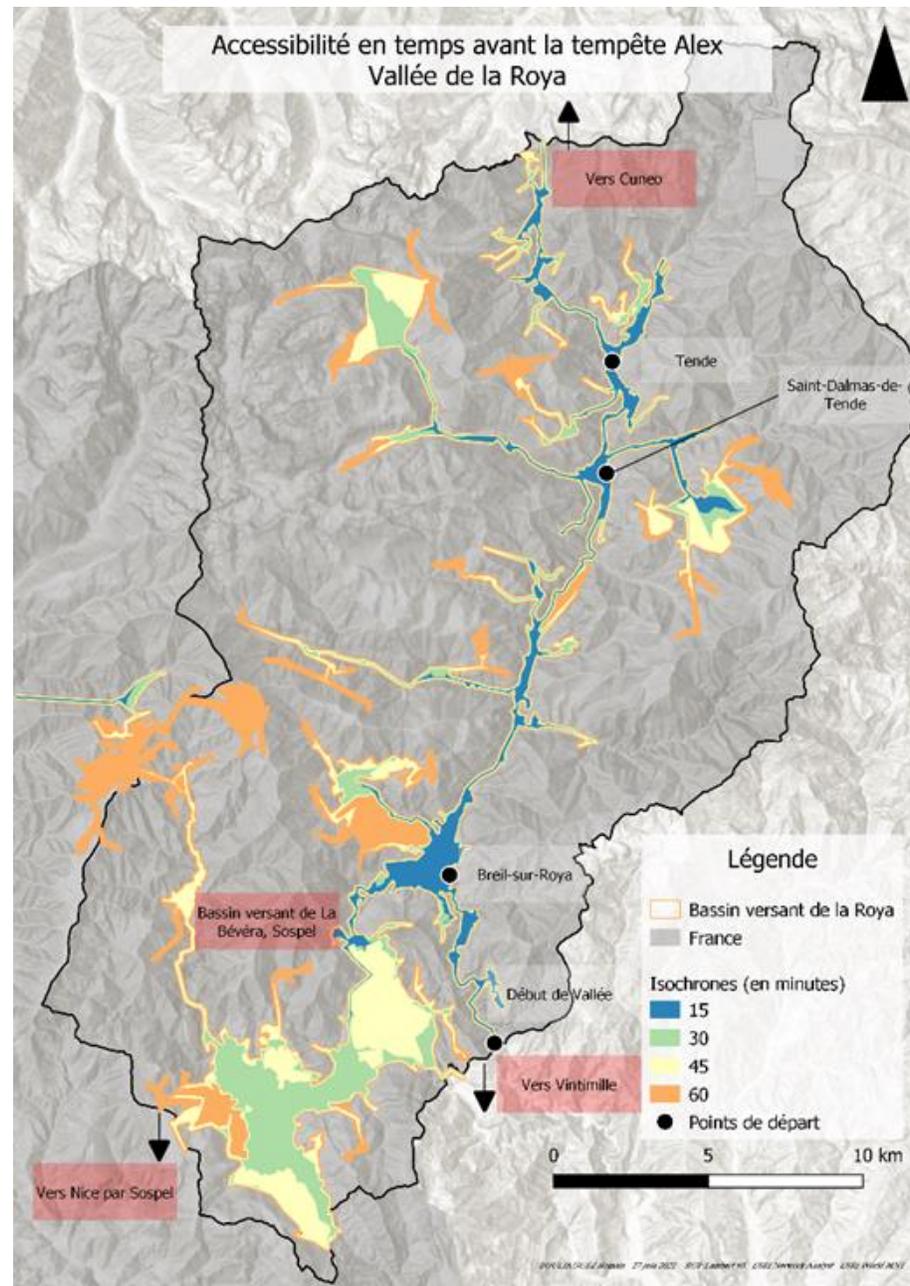
Source : BOULINGUEZ, 2022.



# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

Impacts sur les réseaux

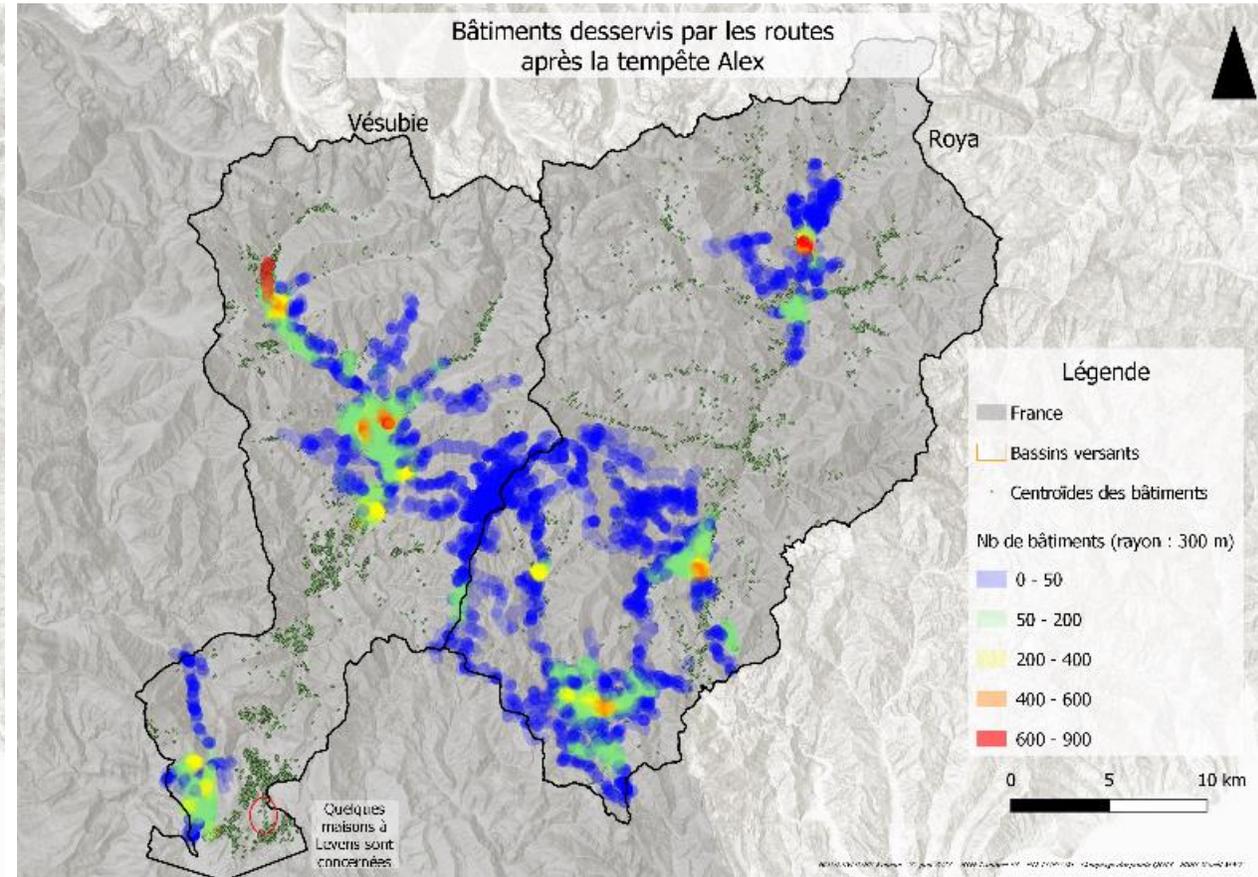
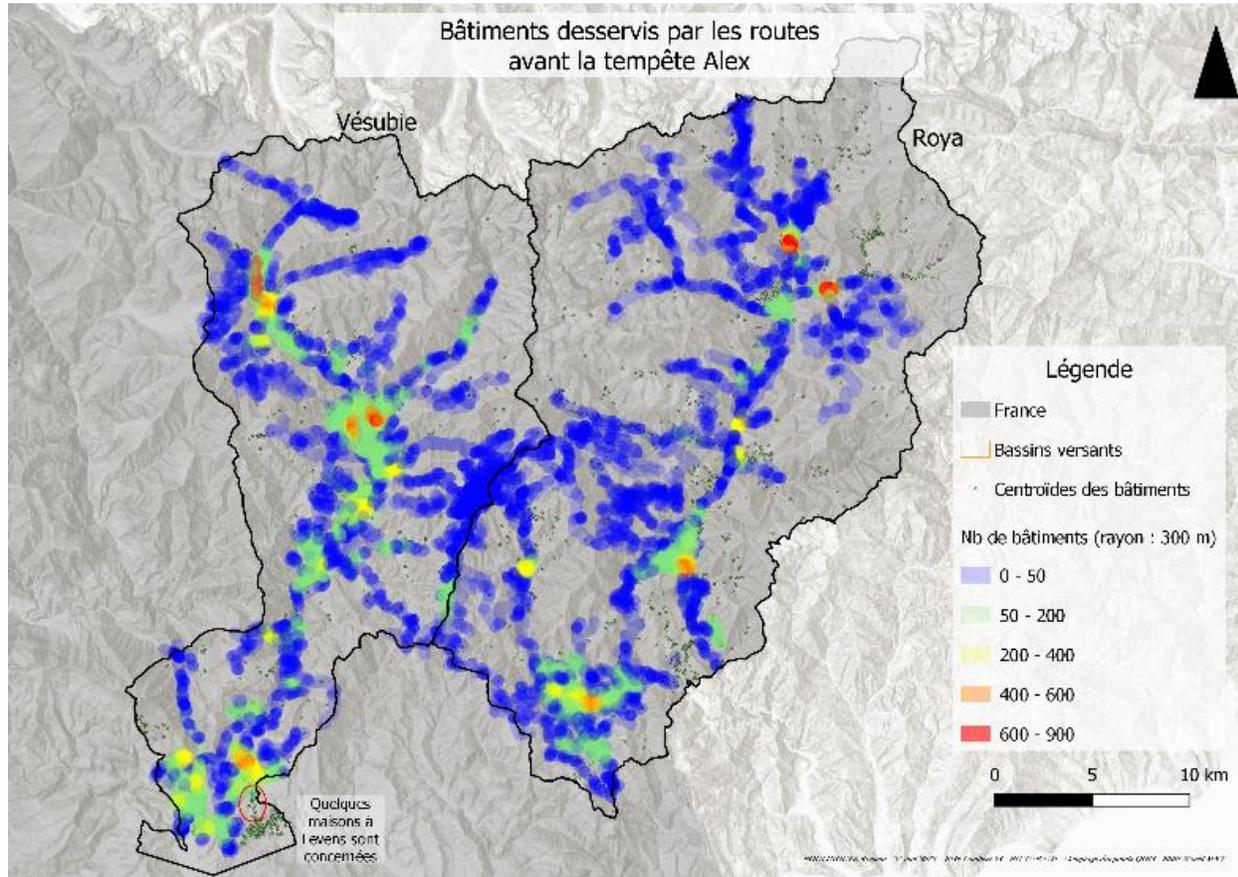
Accessibilité fortement réduite voire coupée (Roya)



# 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

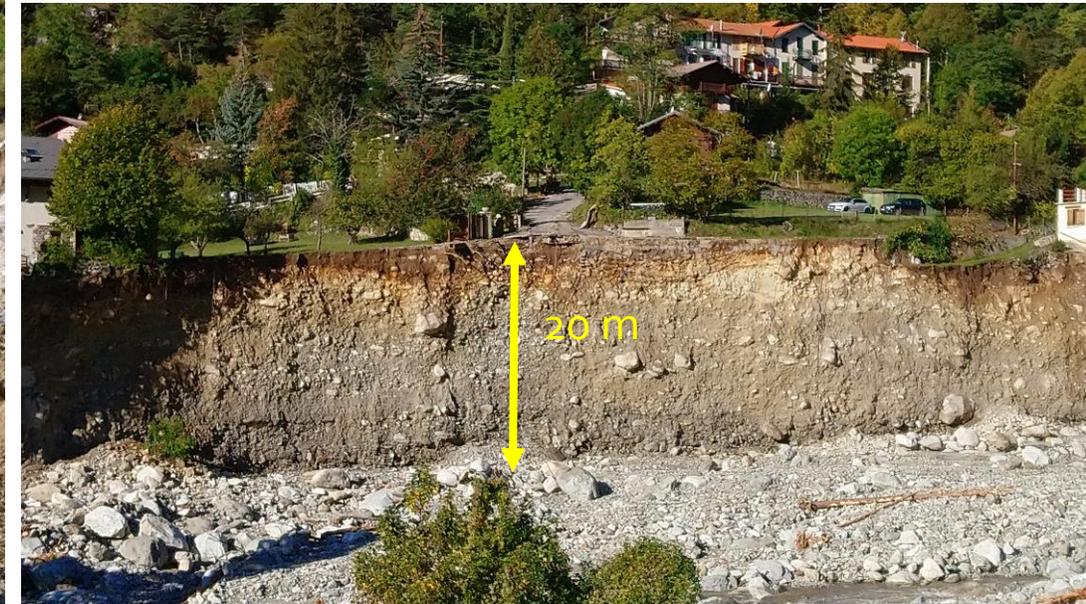


Effondrement de versant suite à l'érosion de la berge sur le torrent du Boréon à St Martin Vésubie (Photo France Télévision)

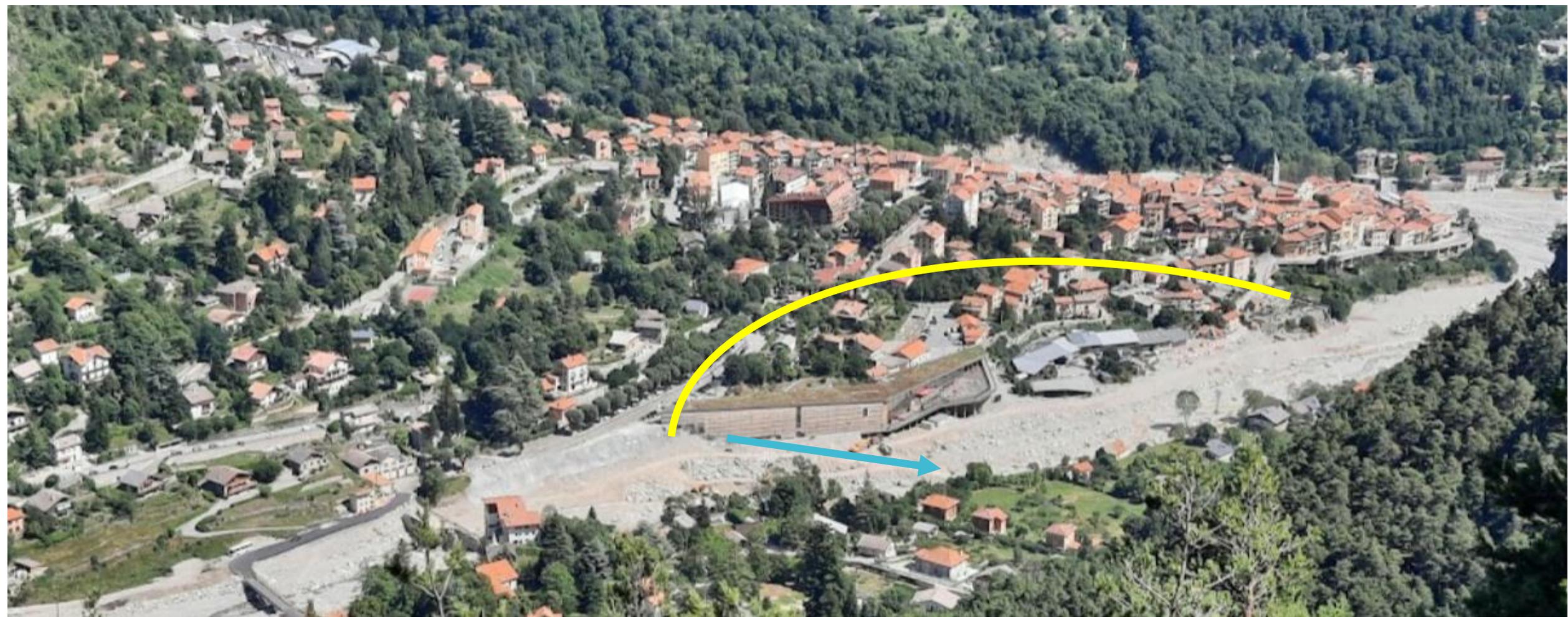


# 1. Les enseignements de le Tempête Alex

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

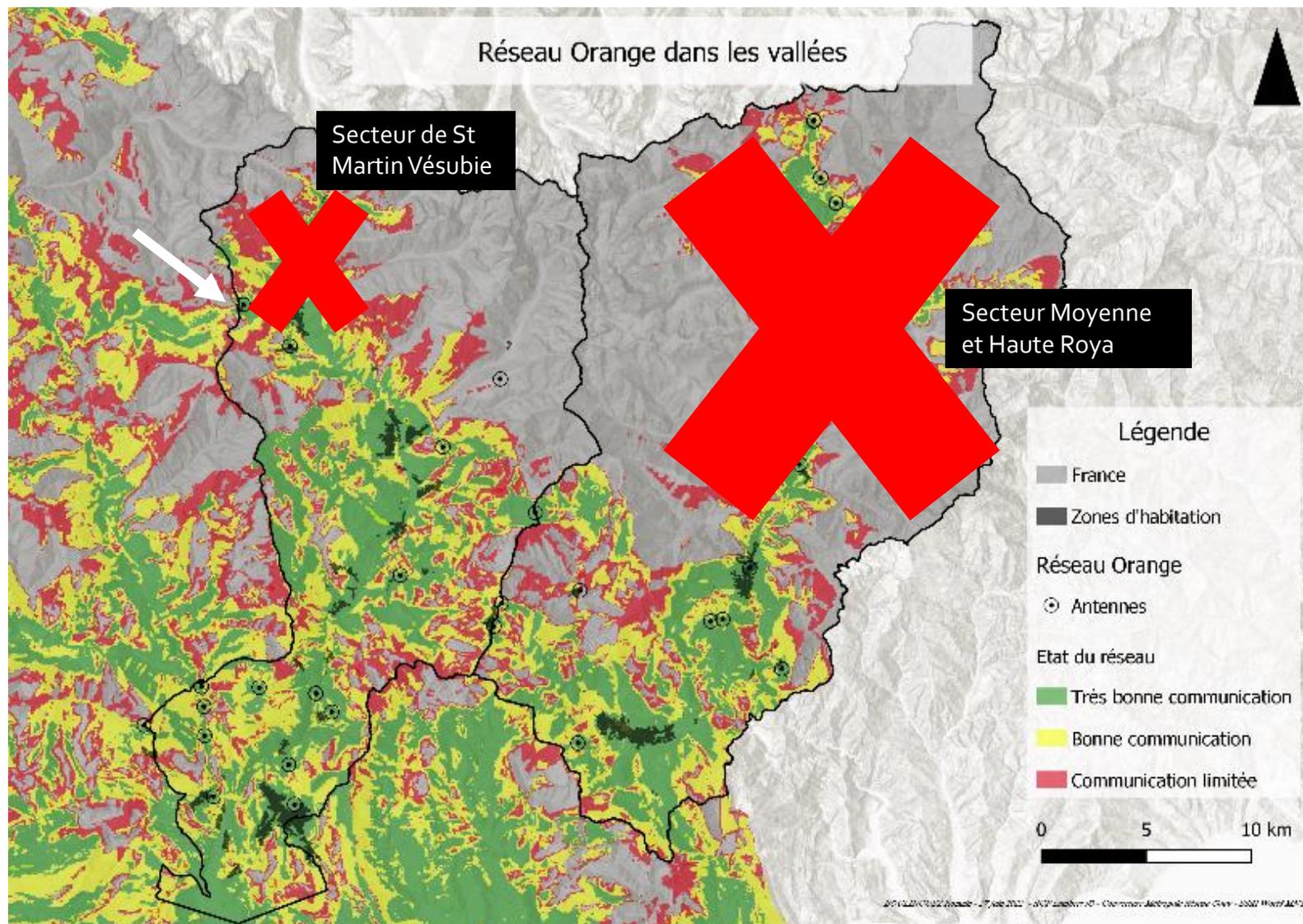
## Impacts sur les réseaux

### 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.

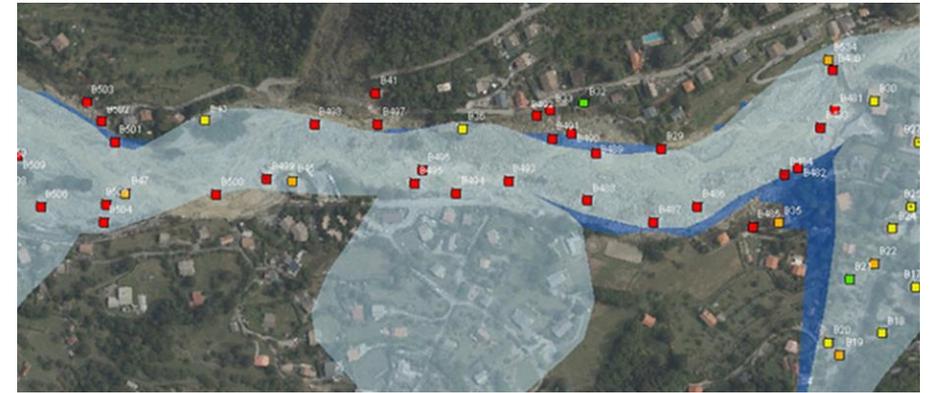
### Étapes :

#### 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



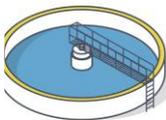
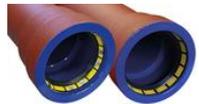
Téléphonie-Internet



Eau potable

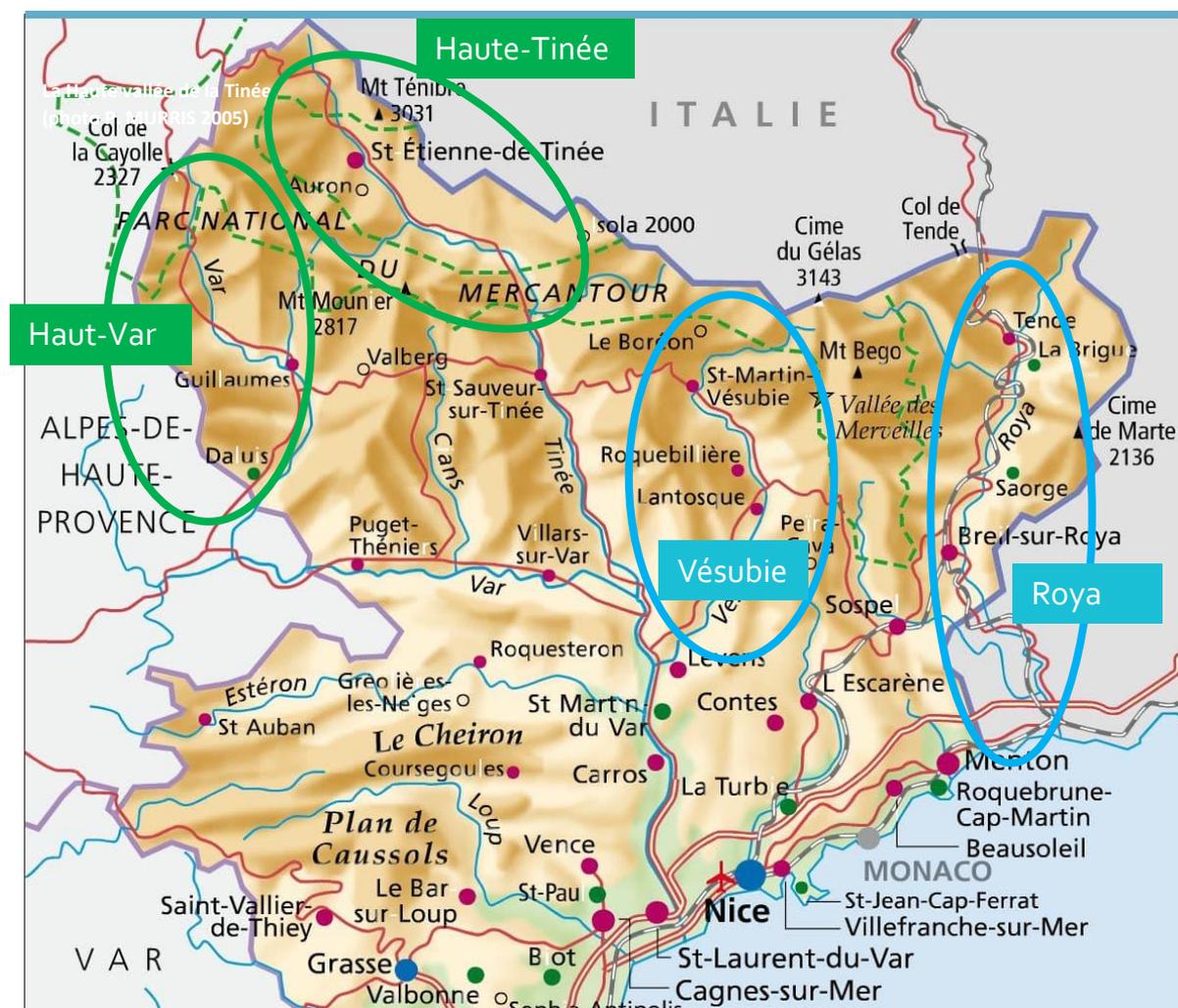


Assainissement



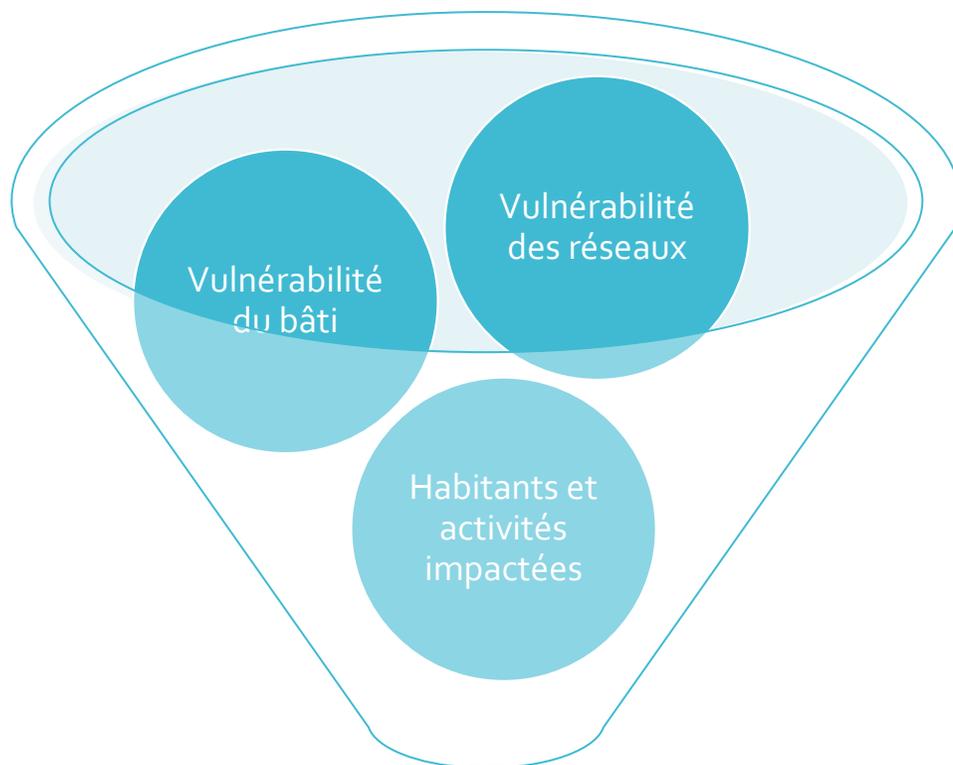
# Territoires potentiels d'application de la méthode de diagnostic

- 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.