



HAL
open science

Conséquences de la crue extrême du 2 octobre 2020 dans la vallée de la Roya (Alpes Maritimes) sur les réseaux de transport et de communication : leçons pour la reconstruction

Eric Fouache, Adrien Marchiel, Alain Rabaute, Stéphane Desruelles, Christian Gorini, Nicoletta Bianchi, Raphaël Kerverdo, Sara Lafuerza

► To cite this version:

Eric Fouache, Adrien Marchiel, Alain Rabaute, Stéphane Desruelles, Christian Gorini, et al.. Conséquences de la crue extrême du 2 octobre 2020 dans la vallée de la Roya (Alpes Maritimes) sur les réseaux de transport et de communication : leçons pour la reconstruction. Flux - Cahiers scientifiques internationaux Réseaux et territoires, 2023, N° 132 (2), pp.98-114. 10.3917/flux1.132.0098 . hal-04489698

HAL Id: hal-04489698

<https://hal.science/hal-04489698>

Submitted on 31 May 2024

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.

Conséquences de la crue extrême du 2 octobre 2020 dans la vallée de la Roya (Alpes Maritimes) sur les réseaux de transport et de communication : leçons pour la reconstruction

Eric Fouache, Adrien Marchiel, Alain Rabaute, Stéphane Desruelles, Christian Gorini, Nicoletta Bianchi, Raphaël Kerverdo, Sara Lafuerza

DANS **FLUX** 2023/2 (N° 132), PAGES 98 À 114
ÉDITIONS **UNIVERSITÉ GUSTAVE EIFFEL**

ISSN 1154-2721
DOI 10.3917/flux1.132.0098

Article disponible en ligne à l'adresse
<https://www.cairn.info/revue-flux-2023-2-page-98.htm>



Découvrir le sommaire de ce numéro, suivre la revue par email, s'abonner...
Flashez ce QR Code pour accéder à la page de ce numéro sur Cairn.info.





Conséquences de la crue extrême du 2 octobre 2020 dans la vallée de la Roya (Alpes Maritimes) sur les réseaux de transport et de communication : leçons pour la reconstruction

*E. Fouache
A. Marchiel
A. Rabaute
S. Desruelles
C. Gorini
N. Bianchi
R. Kerverdo
S. Lafuerza*

INTRODUCTION

Dans la nuit du 2 au 3 octobre 2020, le passage de la tempête Alex a favorisé le déclenchement de précipitations très intenses dans les vallées côtières des Alpes-Maritimes, notamment celle de la Roya. Ces pluies ont provoqué de nombreux processus hydro-géomorphologiques dévastateurs, tels que des crues, des glissements de terrain et des éboulements. Les destructions, qui ont frappé infrastructures modernes et anciennes, ont été considérables. 10 morts et 18 disparus sont à déplorer. 400 logements ont été détruits et 480 bâtiments ont été endommagés à des degrés divers. 70 communes ont été classées en catastrophe naturelle dans le département des Alpes-Maritimes. Les destructions de très nombreux tronçons de voies de communication ont isolé la vallée et ses habitants pendant plusieurs mois après l'évènement. À l'initiative de S. Desruelles et C. Gorini (enseignants-chercheurs à Sorbonne Université), un groupe

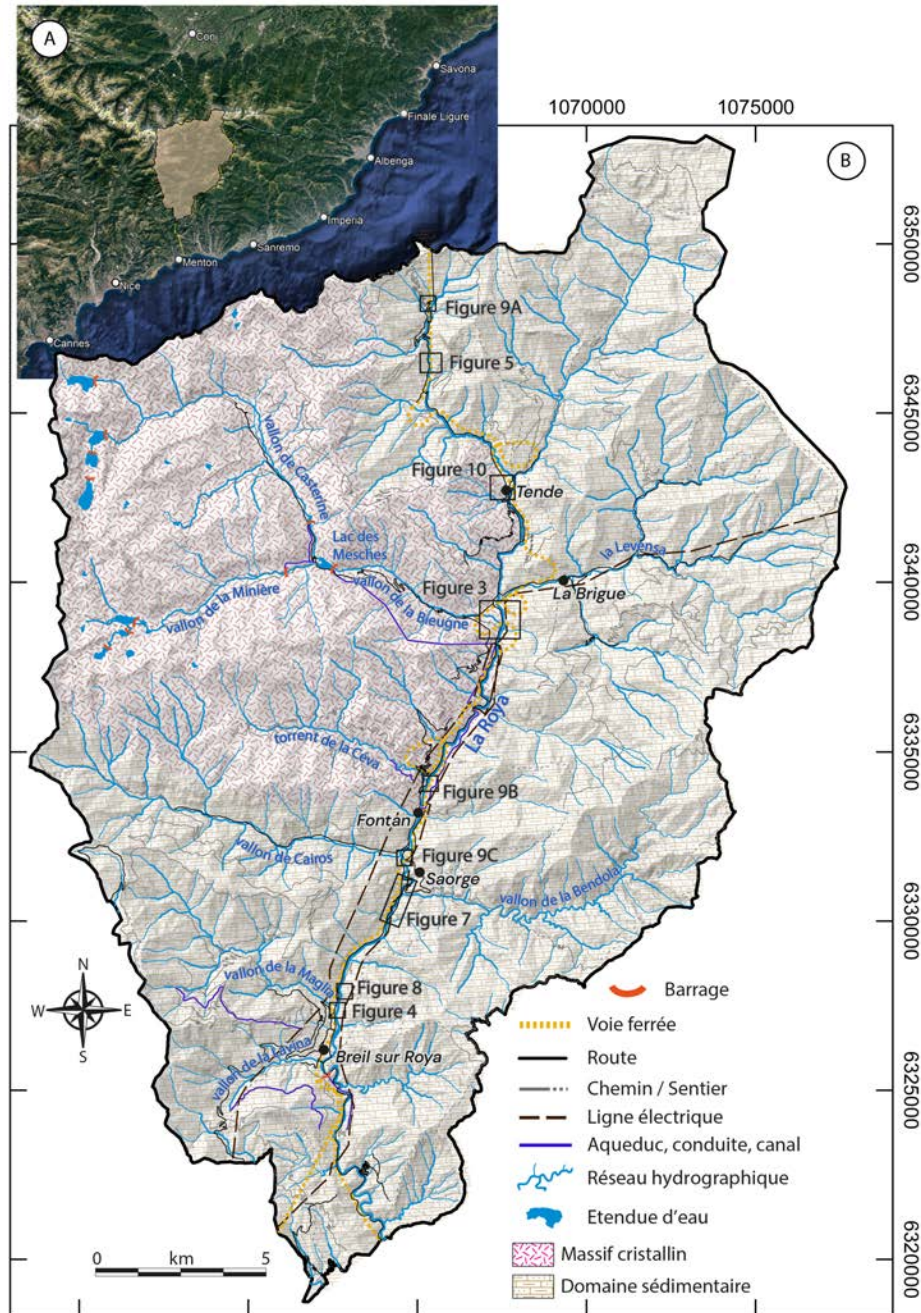
de recherche s'est constitué, avec pour objectif d'associer des spécialistes des géosciences et de sciences humaines, pour étudier la catastrophe. Nous présentons les résultats préliminaires de nos recherches à l'échelle du bassin versant français de la haute et de la moyenne Roya (Fig. 1) en ce qui concerne les réseaux de transport, de communication, d'énergie et des aménagements.

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES GÉOMORPHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA ROYA

La Roya s'écoule sur 60 km, du massif de l'Argentera-Mercantour culminant à plus de 3000 m, à la Méditerranée.

La partie française du bassin versant de la Roya est composée de deux grands ensembles géomorphologiques (Fig. 1), largement contrôlés par la géologie :

**Figure 1. À : Localisation de la zone d'étude (image satellite : Google Earth).
 B : Carte du bassin versant de la haute et moyenne vallée de la Roya, avec la localisation des réseaux de communication (routes, chemins, sentiers et voie ferrée), électrique et d'adduction d'eau, ainsi que les barrages sur le fleuve Roya et ses torrents affluents. Les principaux ensembles géomorphologiques sont indiqués, ainsi que la localisation des Figures du présent**



Réalisation : A. Marchiel et A. Rabaute

Au Nord-Ouest, le massif cristallin de l'Argentera-Mercantour constitue le premier ensemble. Il est délimité à l'Est par la Roya et au Sud par le Vallon de Caïros. Le socle de ce massif est composé de migmatites et de granites et est recouvert par des roches sédimentaires détritiques (conglomérats, grès et pélites) qui se sont formées du Permien au Trias ainsi que des roches calco-dolomitiques du Trias inférieur et du Jurassique (BRGM, 1980). L'ensemble du massif a été modelé par les glaciers, ce qui explique les nombreux placages de dépôts morainiques. De nombreux lacs se sont formés dans les ombilics à l'arrière des verrous glaciaires, aujourd'hui exploités par EDF. Les vallées sont pour la plupart d'origine glaciaire, la plus remarquable étant la vallée des Merveilles. En amont, les fonds de vallée sont encore tapissés de moraines latérales et médianes, progressivement recouvertes par de nombreux cônes d'éboulis. Cet ensemble géomorphologique présente donc un potentiel important de roches massives sensibles aux éboulements, tandis que les dépôts de versants, les pélites et les moraines saturées en eau peuvent générer des glissements de terrain. Ces matériaux amenés jusqu'au lit de la Roya ont fourni l'essentiel du matériel grossier mobilisé par le ruissellement, puis charrié par les cours d'eau vers l'aval lors de l'épisode Alex.

Le Sud et l'Est de la vallée forment le second ensemble, constitué de la suite de la couverture sédimentaire du Secondaire (calcaires-dolomitiques jurassiques, calcaires et marno-calcaires crétacés) et de flysch éocène. Le tout est recoupé par de nombreuses failles normales NW-SE ainsi que des plis N-S. Les versants de cet ensemble sont très abrupts et ont été très affectés par de nombreux éboulements et glissements de terrain.

En amont de Breil-sur-Roya, la Roya s'écoule dans une vallée profonde et souvent étroite. Avant la crue, son profil en long correspondait à un système à chenal unique, avec des vasques, alimenté par des torrents s'écoulant dans des ravins latéraux. Les zones de dépôts fluviaux sont rares au fond des ravins et canyons du réseau de la Roya, mais on en rencontre dès que la vallée s'élargit. C'est le cas au nord de Breil-sur-Roya, à Fontan ou encore à Tende. La crue brutale du 2 octobre a tout bouleversé. Les canyons se sont remplis d'alluvions et la bande active s'est considérablement élargie ailleurs.

Ce contexte géologique et géomorphologique a engendré une topographie très escarpée, ce qui explique que la région soit restée très longtemps enclavée et que la construction de

voies de passages a nécessité à toutes les époques de lourds travaux d'aménagement.

UN ÉPISODE MÉDITERRANÉEN EXCEPTIONNEL LIÉ À LA TEMPÊTE ALEX

Les précipitations de la nuit du 2 au 3 octobre 2020 (Fig. 2) ont pour origine un épisode méditerranéen (Boudevillain *et alii*, 2009) classique renforcé par une tempête atlantique dénommée « Alex ». C'est la conjonction de ces deux phénomènes qui explique le caractère exceptionnel des précipitations mesurées dans la vallée. Sur l'ensemble de la partie française du bassin versant de la Roya, il est tombé plus de 250 mm en 24 h (Carrega, Michelot, 2021). Les valeurs enregistrées sur 24 h dans le bassin de la Roya dépassent largement les records enregistrés depuis 1900 : 340 mm à Tende, 578 mm au col de Tende et 663 mm au lac des Mesches (METEO FRANCE).

Les précipitations maximales centennales et bi-centennales dans la vallée de la Roya oscillent entre 226 mm et 303 mm en 24 h (Carrega, Michelot, 2021).

Quelle que soit la méthode de calcul utilisée pour l'estimation du temps de retour d'un événement de cette ampleur, la valeur pour les versants nord-ouest les plus touchés par les précipitations dépasse 500 ans.

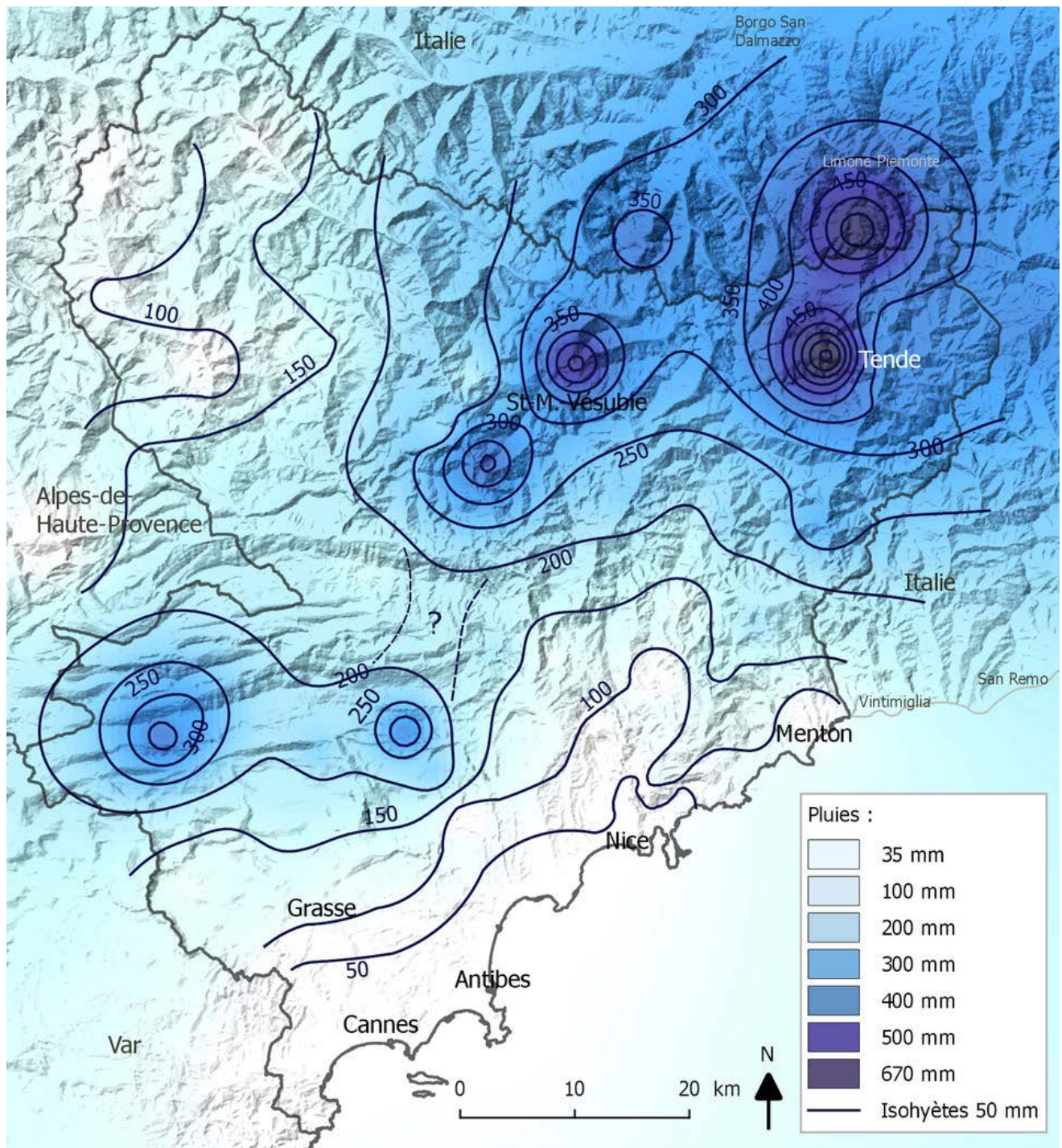
Par exemple, ce temps de retour à Tende est de 550 ans en utilisant la loi GEV (1) et 800 ans avec la loi de Gumbel (2), démontrant le caractère exceptionnel de l'évènement climatique. Deux missions d'études sur le terrain nous ont permis de prendre la mesure de l'évènement, de faire des enquêtes auprès de la population et des responsables municipaux, et de dépouiller le riche fond du Musée des Merveilles en termes d'ouvrages et d'articles sur l'histoire régionale.

IMPACTS GÉOMORPHOLOGIQUES DE LA CRUE D'OCTOBRE 2020

Deux campagnes de prises de vues aériennes (Fig. 3) ont été menées en 2020 par l'IGN, avant la crue (Ortho express 2020, IGN) et à la suite de la crue (Ortho express Alex, IGN). La comparaison de ces deux jeux de données a permis de décrire la réponse morphologique des versants et du fleuve en amont de Breil-sur-Roya.

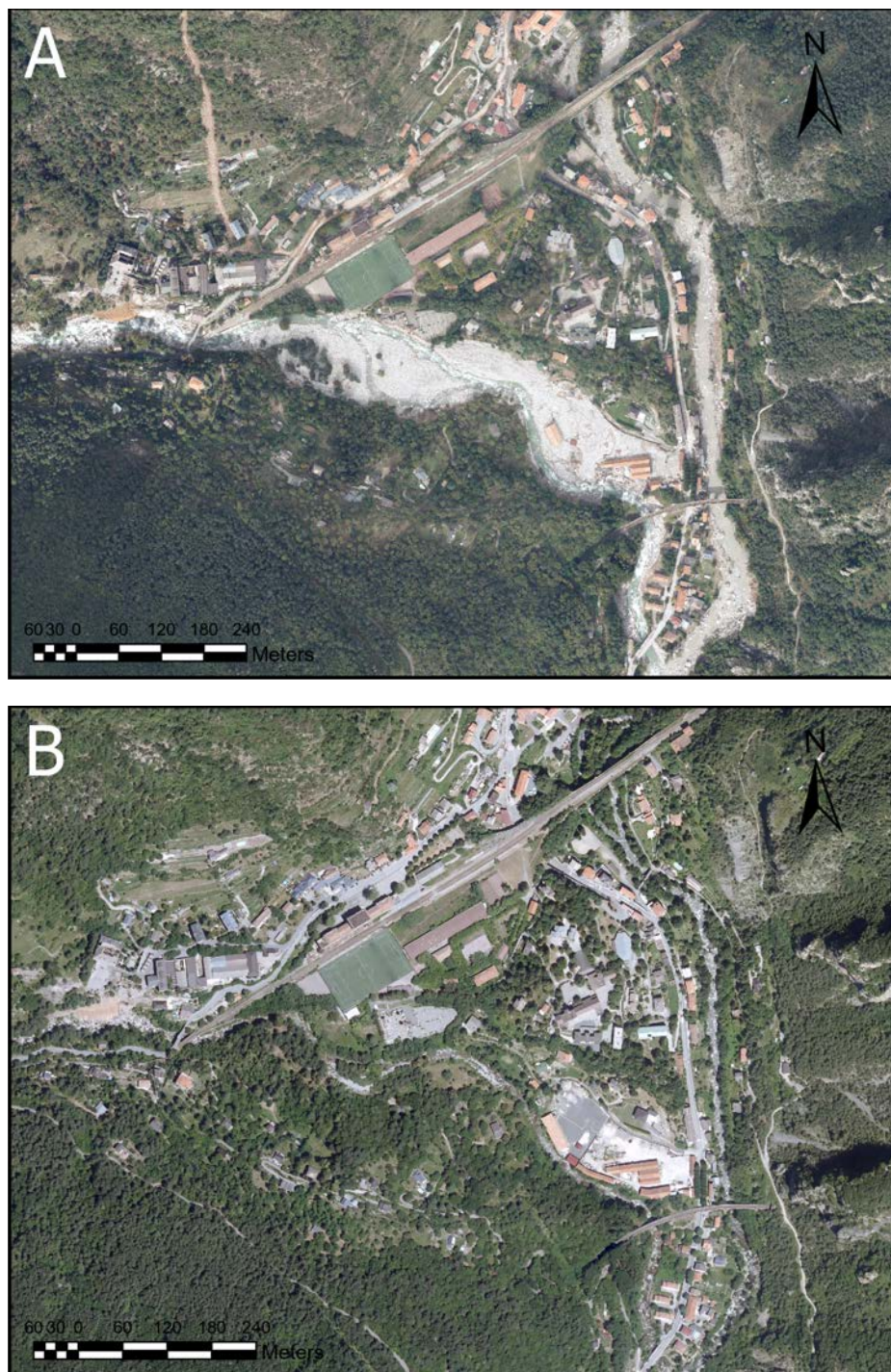
Des versants au cours d'eau, les processus liés à la tempête Alex ont bouleversé le relief et accentué des phénomènes

Figure 2. Carte des précipitations (24h) des Alpes-Maritimes le 2 octobre 2020



Source : Fig.2: carte des précipitations (24h) des Alpes Maritimes le 2 octobre 2020. Source: interpolation IDW par Carrega et Michelot (2020)

Figure 3. Visualisation centrée sur la Roya des deux jeux de données de l'IGN :
(A) Ortho express octobre 2020 post-Alex et (B) Ortho express été 2020, dans le logiciel Géoportail



Source : © IGN 2020

préexistants. Sur les versants, notamment dans leur partie subalpine recouverte par un plus faible couvert végétal, la concentration soudaine des écoulements a créé de nouveaux talwegs tandis que d'autres ont été réactivés. Outre cette érosion par ravinement, des mouvements de terrain (glissements et éboulements) se sont produits sur les versants, souvent dans un temps très court. Certains mouvements de terrain, tels que les glissements lents, peuvent cependant perdurer durant un temps plus long. Au pied des versants, la crue a généré de nouvelles niches d'arrachement et des incisions, susceptibles d'être à nouveau réactivées par de prochains événements. En contrepartie, des zones de sédimentation (cônes d'éboulis et cônes alluviaux) sont apparues ou se sont amplifiées.

Concernant le système fluvial proprement dit, la crue a provoqué une érosion des berges des anciennes terrasses alluviales par sapement latéral, menant à un élargissement du lit majeur, qui s'était rétréci durant les 150 dernières années (depuis la fin du Petit âge de glace). Cet élargissement du chenal, associé à l'apport sédimentaire des versants, a modifié la dynamique fluviale. Le chenal unique érosif, en alternance de marches et de piscines (*step-pool channel*), a réadopté sa morphologie passée avec un large chenal en tresses. Dans les gorges creusées dans les versants rocheux, le chenal n'a pas pu s'élargir, mais les sédiments ont élevé le niveau de base du chenal et comblé les vasques, générant à court terme la même métamorphose fluviale vers un réseau en tresses. L'élévation du niveau du chenal par comblement sédimentaire a été observée partout, et non seulement dans les gorges.

La grande quantité de sédiments mobilisés a également généré des cônes alluviaux (Fig. 4) aux confluences des vallons et de la Roya, se superposant aux cônes existants. L'épaisseur des dépôts observables (Fig. 5) de la crue dépassant souvent 2 m voir 3 m laisse supposer une épaisseur totale encore plus importante.

En ce qui concerne la période historique, des archives écrites (Prade, 1988 ; Botton, 1996 ; Ortolani, 2011 ; Balandier, 2014) référencent des crues de la Roya aux alentours de 1440, en 1703, en 1710, en 1810, le 12 octobre 1836, en janvier 1873, le 27 août 1882, le 26 octobre 1886 ainsi qu'en 1926 et en 1993. Dans cette liste incomplète, les crues de 1836 et de 1926 sont décrites comme les plus ravageuses dans la vallée de la Roya. Il faut noter que les crues de 1882 et 1886 ont été communes à la Roya et au Var (Thomassin, 2001), comme cela a été le cas pour la crue d'octobre 2020. Aucune description

des conséquences de ces crues plus anciennes ne semble cependant se rapprocher de l'événement d'octobre 2020.

HISTOIRE DES RÉSEAUX DE TRANSPORT DANS LA VALLÉE DE LA ROYA ET DES DOMMAGES LIÉS AUX ALÉAS NATURELS

Tantôt française, tantôt italienne et aujourd'hui franco-italienne, la vallée est fréquentée par l'homme depuis le Paléolithique et occupée depuis le Néolithique (Bianchi 2013). Pour reconstituer l'historique des aménagements liés aux réseaux de communication, nous avons consulté une série d'ouvrages consacrés à l'histoire régionale, conservés à la bibliothèque du Musée des Merveilles, (Thomassin, 2001 ; Ortolani, 2011 ; Bourrier, Colletta, 2000 ; Botton, Gaber, 2009 ; Botton, 1996 ; Balandier, 2014). Pour résumer, les cols ont été des voies de passage privilégiées durant l'Antiquité et le Moyen âge. Jusqu'au XVI^e siècle, le réseau de villages, de hameaux et de fermes isolées, qui s'est constitué dès le Moyen âge, à l'exception de Fontan fondé en 1616 (Ortolani, 2011) s'appuyait sur des sites perchés défensifs et à l'abri des crues. Ces habitats étaient reliés entre eux par des chemins muletiers tracés en milieu de pente. Cette dispersion d'un habitat étagé avait permis la mise en valeur d'un terroir de montagne aménagé en terrasses de culture, aujourd'hui très largement à l'abandon.

Jusqu'au XVI^e siècle, l'unique voie de passage remontant la Roya était un chemin muletier (Fig. 6), tracé en milieu de pente afin d'éviter au maximum de passer par le lit torrentiel de la Roya, impraticable à cette époque (Ortolani, 2011). Ce chemin ne présentait aucun aménagement particulier hormis des passerelles en bois sur la Roya et ses affluents ainsi que quelques passages creusés en surplomb dans les parois pour protéger les voyageurs des éboulements très fréquents. La seule référence à un pont construit en pierres avant la construction du Grand chemin ducal concerne le pont supérieur (à trois arches) de Breil-sur-Roya au XV^e siècle (Botton, 1996). En 1616 est ouvert le Grand chemin ducal, créant un nouveau tracé beaucoup plus direct le long de la Roya, toujours destiné aux muletiers. C'est pour cette nouvelle route que sont construits la plupart des ponts que nous connaissons aujourd'hui, bien que certains réutilisent d'anciens tracés (Pont commun à Saorge, Pont « romain », qui est en réalité médiéval, à Tende). Les ponts sont alors construits en pierres dans un style génois : étroit et en dos-d'âne, le plus souvent à arche simple. Lorsque la morphologie de la vallée le permet, ils sont bâtis en hauteur ou à un

Figure 4. Nouveau cône alluvial généré par la crue à la confluence de la Roya et du vallon de la Maglia



Source : images aériennes : Ortho express Alex, © IGN

endroit large du lit, en prévision des crues. Dans les années 1780, le chemin muletier fut modifié pour être carrossable et devint alors la Route royale achevée en 1784.

En 1703, après sa destruction par une crue de la Roya, le pont supérieur de Breil fut reconstruit de façon plus large et en dos d'âne. En 1710, une nouvelle crue détruisit le Pont du Coq, ouvrage à trois arches, sur la Levensa, à La Brigue.

Des canaux d'irrigation surplombant la route ont été construits pendant les travaux. La plupart des ponts ont été élargis tandis que de nouveaux ont été créés dans les décennies suivantes, comme la passerelle de la Tourette à Fontan, construite en 1822. En 1810, le Pont supérieur de Breil-sur-Roya fut fragilisé par une crue. Une gravure de 1812 (Fig. 7) montre un pont génois détruit, probablement par cette même crue. La crue du 12 octobre 1836 a, quant à elle, endommagé la nouvelle passerelle de la Tourette. La route royale a été

modernisée au début du XX^e siècle, en gardant globalement le même tracé.

Depuis ces crues, aucune destruction de pont n'est mentionnée. Le Pont commun, initialement construit avec une arche simple, est représenté sur une gravure de 1792 avec une arche double. Il apparaît reconstruit sans dos-d'âne sur des cartes postales du début du XX^e siècle. Cette évolution semble liée à la construction de la Route royale ou à sa modernisation au début du XX^e siècle. L'hypothèse d'une destruction lors d'une crue durant ces quatre siècles reste toutefois envisageable. Quoi qu'il en soit, il est intéressant de noter son évolution, qui est représentative de celle des ponts de la vallée, de leur construction en 1616 à leur reconstruction après la Seconde Guerre mondiale (la Roya étant une zone frontalière entre l'Italie et la France, la plupart des ponts ont été détruits). On dénombre donc entre 3 et 4 références à des destructions de ponts en

Figure 5. Dépôts torrentiels de la crue avoisinant 2 m d'épaisseur, composés d'une bimodalité de blocs imbriqués et de niveaux granulaires



Photo A. Marchiel

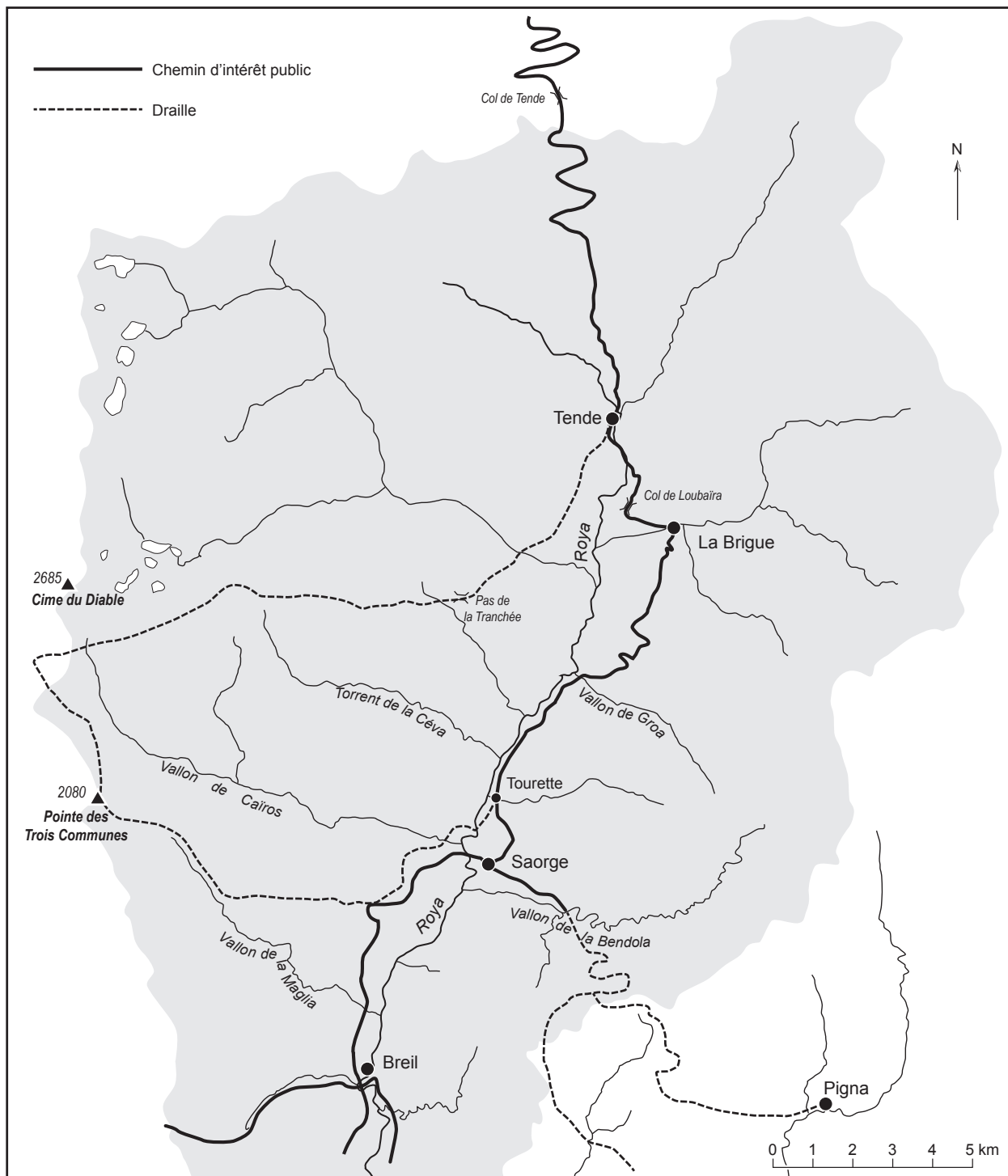
pierres (dont 2 ou 3 de style génois) par des crues, durant les quatre siècles et demi qui nous séparent de la construction du Grand chemin ducal.

En comparaison, la crue d'octobre 2020, qui s'est traduite par une remobilisation de toute la bande active tardiglaciaire, a détruit 10 ponts sur la route départementale principale (Adamo, Eggen, 2021) et 11 autres sur des routes secondaires sur l'ensemble de la Roya et de ses affluents, ainsi qu'une grande partie des canaux surplombant l'ancienne route royale, qui avaient résisté (Fig. 8). La plupart des ponts génois ayant été reconstruits avec des architectures modernes, il est difficile de comparer la résistance des différentes architectures face à un événement de cette ampleur. On peut toutefois noter que les ponts modernes ont perdu certains des facteurs de résistance aux crues qu'avaient les ponts génois, à savoir une hauteur et une largeur plus grandes et une forme en dos d'âne. Certains ponts de ce type, encore présents dans la vallée, ont résisté à la crue d'octobre 2020 (exemple du Pont médiéval dit « Romain » de Tende), mais ce n'est pas représentatif, car au moins trois d'entre

eux ont été détruits, soit autant que depuis 1616. Quelle que soit la résistance des nouvelles architectures par rapport aux anciennes, les 21 ponts détruits, auxquels s'ajoutent 35 km de routes endommagées, ainsi que des tronçons de la voie ferrée (Debackere, Migeon, 2021) témoignent de la puissance de la crue de 2020 (Fig. 9). Les tronçons détruits étaient généralement installés en remblai dans des secteurs étroits de la Roya, dans le lit d'inondation. Par ailleurs, en raison d'éboulements au col de Tende, la liaison routière avec l'Italie au Nord n'était toujours pas rétablie en mars 2022. Les réseaux électriques et de fibre optique, enterrés suivant ces tracés, ont également été interrompus.

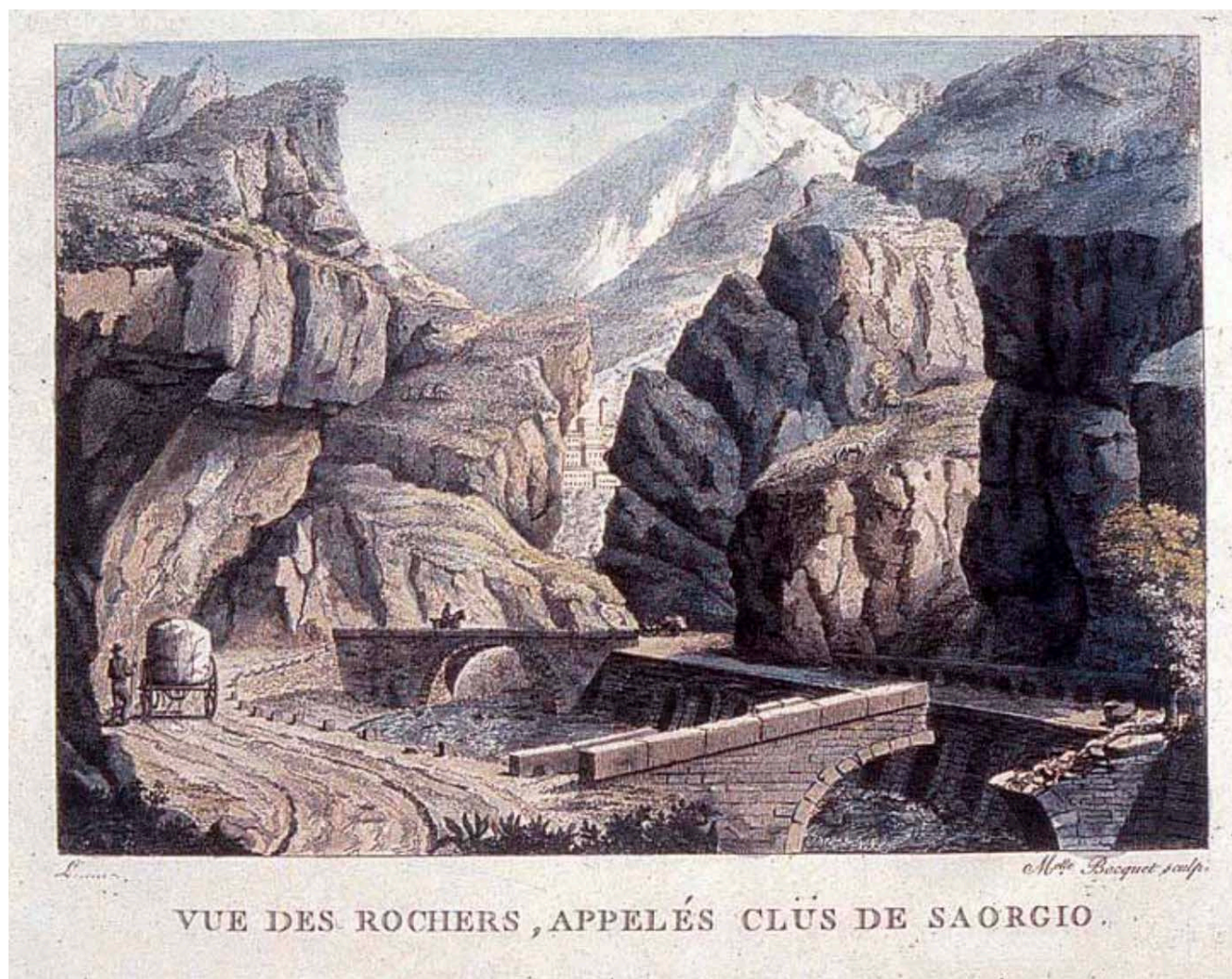
La ligne ferroviaire Nice/Coni a été construite dans un contexte de relations difficiles entre la France et l'Italie entre 1882 et 1934. Pour la remise en service en 1947 presque tous les grands viaducs ont dû être reconstruits. Il a cependant fallu attendre 1979 pour que la continuité Nice-Breil-Coni soit rétablie, ce qui fait de cette ligne la dernière reconstruite après destructions pour fait de guerre dans les deux pays concernés.

Figure 6. Carte du « chemin d'intérêt public et [des] drailles de la Roya au XV^e siècle » (Bottom, 1996)



Source : recalée par A. Marchiel sur le relief du bassin de la Roya

Figure 7. Gravure de 1812, à la sortie des gorges de Saorge (que l'on aperçoit au centre). Un pont génois y est représenté démolé, probablement par la crue de 1810 (Vue des Rochers, appelés Clüs de Saorgeo)



Source : Dessin de Auguste Louvois et gravure de Melle Boquet. In Voyage Pittoresque : gravures et lithographies dans le Comté de Nice et les Alpes Maritimes du XVII^e au XVIII^e siècles

La voie unique non électrifiée, qui passe en tunnel sous le col de Tende, a également été affectée par des éboulements et des glissements de terrain. Mais son tracé étroit à même les versants, au-dessus du lit d'inondation, a permis une remise en état plus rapide que la route et a très vite constitué (dès fin octobre 2020) la véritable colonne vertébrale de transport pour les habitants de la région permettant un ravitaillement par l'Italie, en attendant que les routes soient rouvertes.

GESTION DE LA CRISE ET PREMIÈRES RECONSTRUCTIONS

Malgré des alertes faites en temps et heure par Météo France, ainsi que leur diffusion par les autorités administratives, et des largages d'eau effectués sur les lacs de retenue par EDF pour éviter les ruptures de barrage, l'ampleur des phénomènes hydrogéomorphologiques a surpris la totalité des acteurs. Heureusement, les réseaux sociaux ont permis d'alerter les

Figure 8. Rive gauche de la Roya en amont de la Giandola : rares arches des anciens canaux de la Route royale encore en place après la crue de 2020. On remarque dans leur continuité les traces des tronçons emportés



Figure Source : Photo A. Marchiel

habitants au début de l'évènement. Une habitante de Tende raconte « C'est le 2 octobre en fin de matinée, bien que la pluie ne soit pas plus violente que d'habitude, qu'une première communication sur les réseaux sociaux indique que, en raison d'un éboulement au niveau de Saint-Dalmas-de-Tende, la circulation est coupée entre Tende et le bas de la vallée. Dans l'après-midi les précipitations s'intensifient et, sur Facebook, M. Olharan, Maire de Breil-sur-Roya, annonce en direct l'évacuation de certains bâtiments de sa commune. Vers 17h nous recevons les dernières images en temps réel : le pont de Scara à Viévol est emporté et, avec lui, la canalisation qui amène l'eau au village de Tende. Par la suite, la connexion internet s'interrompt, suivie par des coupures intermittentes du réseau électrique. Tout le village reste rapidement sans eau. À ce même moment, la piscine et les cours de tennis sont également emportés. À 20h le village reste définitivement sans électricité et le pont du Bourg neuf, à la sortie de l'hôpital Saint-Lazare, ainsi que celui des Quatorze arches à l'entrée de Tende, sont emportés ».

Cet effet de sidération est d'abord dû, de notre point de vue, au caractère exceptionnel des précipitations. Nous avons vu que les météorologues estiment à 500 ans le temps de retour de cet évènement. La crue du 2 octobre est donc sans précédent à l'échelle de mémoire humaine ce que confirme

le retour d'expérience publié par le Ministère de la Transition Ecologique (2022). La situation d'urgence, dans un contexte climatique difficile, a été gérée avec un maximum d'efficacité, confortant l'évaluation généralement positive des services de secours français (gendarmerie, pompiers) en France. Les premiers secours et les aides d'urgence ont été mis en place rapidement à l'aide d'hélicoptères dans un premier temps, puis avec le déploiement de l'armée sous l'égide de la Préfecture.

Dès le 3 octobre, des groupes électrogènes sont mis en place. À Tende, les réseaux téléphoniques et électriques sont rétablis au bout de 3 jours, tandis que l'alimentation en eau est remise en place au bout d'un mois. Fin novembre, une route provisoire est ouverte par convois entre Tende et Breil-sur-Roya en passant par Fontan. Cette ouverture s'est accompagnée de l'installation de ponts militaires de type « Bailey », tandis que des gués ont remplacé les plus petits ponts détruits par la tempête.

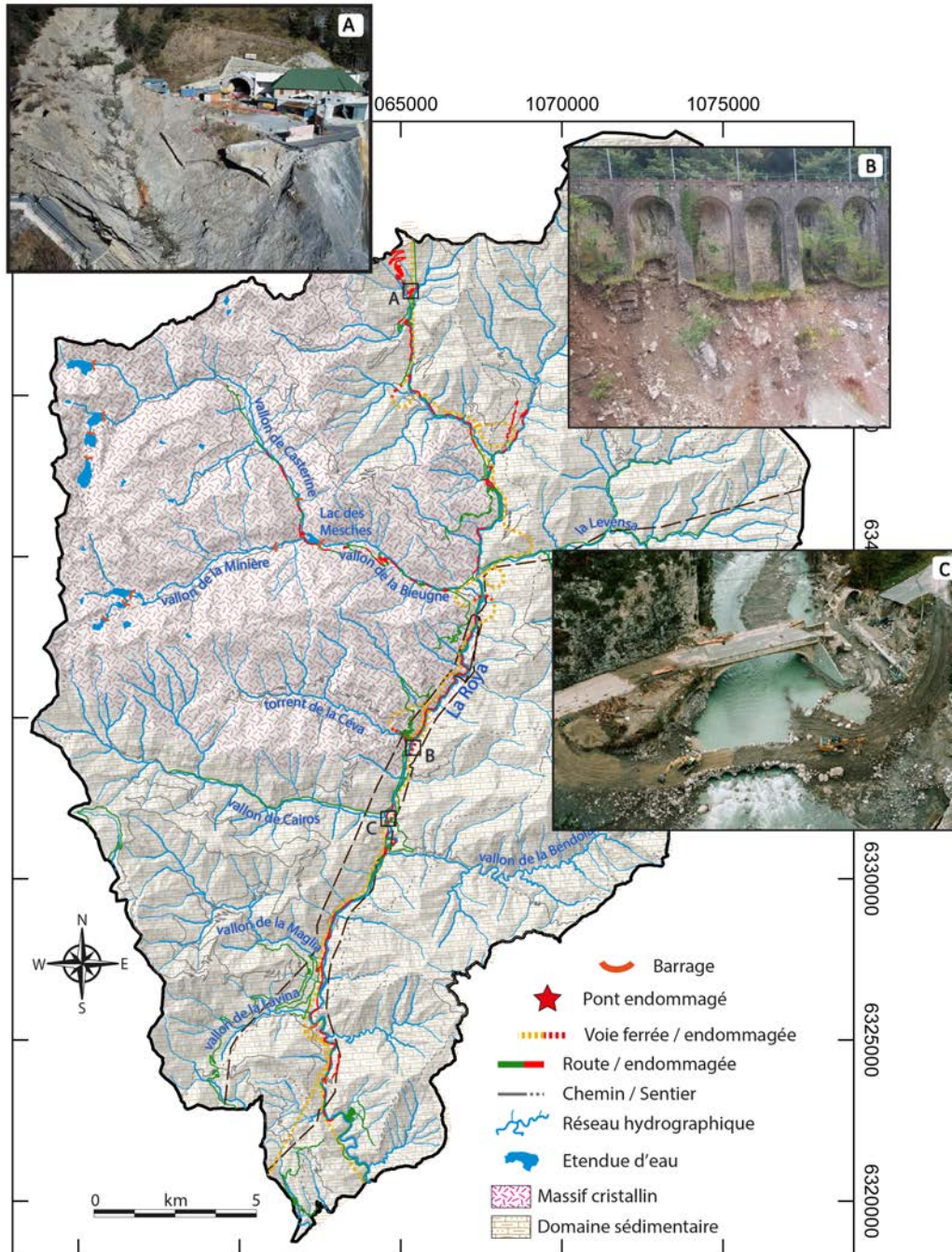
Après la nomination, le 14 octobre 2020, d'un préfet en charge de la reconstruction, Xavier Pelletier, le déblocage de fonds importants (75 millions d'euros ont été engagés en août 2021) et le rétablissement de 60% du linéaire routier ont quasiment permis d'atteindre un premier objectif : maintenir l'accessibilité de la vallée pour permettre aux habitants de rester sur place et éviter un exode massif. Au total, le département

Figure 9. Carte des destructions et endommagements des réseaux de communications.

A : accès au tunnel de Tende détruit par un glissement (cliché Sébastien Botella) ;

B : Mur à arcatures déstabilisé par un mouvement de terrain (cliché NGE fondation) ;

C : Pont de Caïros détruit par la crue et passage à gué provisoire (cliché Thérèse Verrat et Vincent Toussaint)



Source : Carte réalisée par A. Rabaute et A. Marchiel (Photo A © Sébastien Botella, Photo B © NGE Fondation, Photo C © Thérèse Verrat et Vincent Toussaint)

a prévu d'affecter 280 millions d'euros pour les travaux routiers dans la vallée de la Roya. Il faut y ajouter une partie des 572 millions d'euros destinés à la reconstruction de la Roya, de la Tinée et de la Vésubie, promis par le président de la République, Emmanuel Macron, le 10 janvier 2022. Cette aide est gérée par l'Agence nationale de la cohésion des territoires (ANCT) et la Délégation interministérielle pour la transformation publique (DITP).

Il reste à arbitrer sur le nouveau zonage nécessaire pour redéfinir les secteurs constructibles et ceux dont les aménagements non impactés par Alex devraient être détruits. Ces décisions nécessitent des études d'impact et des modélisations hydrauliques qui prennent du temps ainsi qu'un dialogue avec les collectivités locales et les habitants. Le consensus est difficilement atteignable tant les points de vue des différents acteurs sont différents.

DE LA PRISE EN COMPTE DES ENSEIGNEMENTS DE LA CATASTROPHE D'OCTOBRE 2020 POUR UNE RECONSTRUCTION DURABLE DE LA VALLÉE DE LA ROYA

Outre l'intensité du phénomène naturel, l'ampleur des dégâts s'explique par l'aménagement du territoire de la vallée de la Roya. Les secteurs endommagés par la crue de la Roya sont presque tous construits dans le lit d'inondation du fleuve ou sur des cônes torrentiels holocènes. Au cours du XX^e siècle, les villages se sont progressivement étalés sur le lit majeur de la Roya, à Tende (Fig. 10), mais également à Breil-sur-Roya lors des différentes phases de constructions et d'amélioration de la digue de protection. Par exemple, la place Biancheri et le Boulevard Rouvier sont implantés sur une ancienne plage de dépôts, dans le lit de la Roya. Ce bilan est donc en grande partie causé par une diminution de la vigilance quant au risque de crue, en rupture avec les habitudes antérieures au XIX^e siècle.

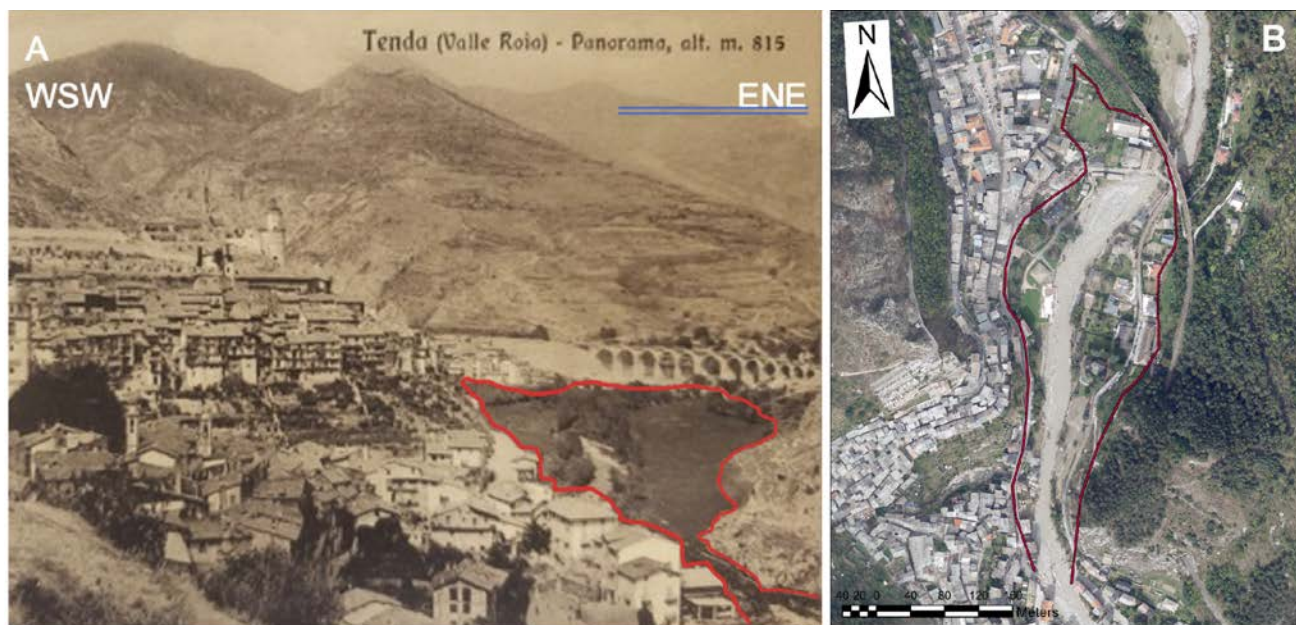
L'évènement étant considéré avec un temps de retour de 500 ans, la tentation est forte de vouloir déblayer et reconstruire à l'identique, mais ce serait une erreur. En effet, la totalité de la bande active tardiglaciaire a été réactivée lors de la crue d'octobre 2020, bouleversant la géométrie du lit majeur du fleuve. Dans certaines sections de la vallée, on constate un élargissement du lit de l'ordre de 1 à 10 et un exhaussement de la nappe alluviale de plusieurs mètres (couramment 6 à 8 m). Cette modification majeure implique qu'il faudrait, avant de définir les nouvelles zones à risques et les modalités de la

reconstruction des infrastructures, modéliser l'impact des crues enregistrées dans le passé en fonction de cette nouvelle géométrie du lit a priori plus propice à l'inondation de la vallée. Par ailleurs, dans le contexte du réchauffement global, il n'est pas exclu que des évènements tels que celui d'octobre 2020 deviennent plus fréquents.

Avant la catastrophe la situation était la suivante du point de vue de la prévention des risques intégrés dans les plans locaux d'urbanisme (PLU). À Breil-sur-Roya, Fontan et Tende, seuls des PPR mouvement de terrain avaient été approuvés. Suite à l'évènement Alex un porté à connaissance PAC très succinct, qui fait des préconisations temporaires a été publié en mars 2021. Pour la suite des programmes d'action de prévention des inondations (PAPI) et les plans d'exposition aux risques inondation (PERI) doivent être élaborés en intégrant les enseignements de la catastrophe du 2 octobre 2020. Ces enseignements sont les suivants :

- le lit majeur de la Roya et celui de ses affluents doivent être déclarés inconstructibles. C'est ce qui a été fait dans le PAC (Porté à connaissance, Mars 2021).
- Toute construction affectée ou endommagée située dans ce lit d'inondation doit être détruite sauf intérêt patrimonial exceptionnel. Le plan Barnier est entré en action. Des frustrations naissent pour les propriétaires de constructions situées à la marge des cas éligibles.
- Avant d'établir un zonage plus précis, que ce soit en bordure du lit d'inondation actuel, post-Alex, ou au pied de versants susceptibles de présenter des risques d'éboulements ou de glissements de terrain, l'inventaire des aléas doit être mis à jour. Le PAC publié très vite après Alex ne le prend pas en compte, mais on peut espérer que ce soit le cas dans les PPR à venir.
- Reconstruire les routes en remblai et les ponts à l'identique d'avant Alex est une erreur à éviter. De ce point de vue, la décision de construire une galerie paravalanche sur une route départementale du bassin versant amont (la RD91 avant Casterino), de 5 ponts métalliques de type « bow-string » (3) en doublant au moins les portées au-delà de la crue observée en 2020, ainsi qu'un tunnel dans les gorges de Paganin, semble aller dans le bon sens. Par ailleurs, l'usage de la ligne ferroviaire devrait être développé.
- La gestion des risques et la reconstruction doivent davantage se faire dans une logique amont/aval et en associant toutes les communes concernées à l'échelle du bassin

Figure 10. Expansion de Tende dans le lit majeur de la Roya. Sur la carte postale (A) datée au dos de 1922 (collection musée des Merveilles), la zone entourée en rouge, entre le pont de la voie ferrée et le village historique ne contient aucune habitation. On la retrouve un siècle après, en vue aérienne (B) presque totalement urbanisée (photo : Ortho express 2020 IGN)



Source : photo : Ortho express © IGN 2020, modifiée par A. Marchiel

versant. La nomination d'un chargé de mission « en vue d'élaborer des schémas de principe d'aménagement des vallées » ainsi que son association avec un spécialiste du transport solide et un hydrologue pour animer des ateliers créatifs dans la vallée de la Roya nous semblent plutôt positives, à condition que ces experts soient suivis dans leur recommandation.

- Nous avons pu constater qu'Internet a joué un rôle considérable pour informer les habitants, mais que très vite le réseau lui-même a été mis hors d'état de fonctionner du fait de la destruction de relais et de réseaux de câbles. Il est donc essentiel, dans la reconstruction à venir de rétablir ces réseaux en concevant des relais capables de stocker des données et de fonctionner en autonomie.
- Une politique de prévention et d'information doit être menée avec des exercices d'alerte pour entraîner la population et tester les procédures, notamment d'alerte par SMS et d'évacuation, qui n'ont pas été prises en considération par une partie de la population dans la vallée.

CONCLUSION

Les précipitations exceptionnellement intenses issues de la conjonction de la tempête Alex et d'un épisode méditerranéen ont provoqué une crise hydrologique et géomorphologique d'une ampleur inconnue depuis au moins plusieurs siècles dans la vallée de la Roya. Son caractère inédit dans la mémoire des habitants de la vallée et les conséquences dramatiques (décès, dégâts matériels immédiats, incidence économique à plus long terme, impact psychologique...) que cette crise a provoquées en font un événement marquant, témoignant de la vulnérabilité aux aléas hydroclimatiques des vallées méditerranéennes du Sud de la France. Si l'efficacité des dispositifs d'alerte, de gestion de crise (secours apportés aux sinistrés) puis de rétablissement des infrastructures essentielles (eau, électricité et télécommunication) a permis de limiter le bilan humain, l'évènement d'octobre 2020 a révélé les difficultés d'aménagement d'une vallée frontalière caractérisée par un relief escarpé, contraignant les transports et mobilités.

En dépit de ces contraintes naturelles, la vallée de la Roya est une voie de passage plurimillénaire entre la Méditerranée et l'arrière-pays du Piémont italien. Les chemins et routes ont toujours longé le lit de la Roya, nécessitant de franchir le fleuve par des ponts dont l'histoire est marquée par des destructions par des crues. Les sections routières et les ponts détruits en octobre 2020 témoignent de l'intensité de la crue. Néanmoins, l'implantation (partiellement dans le lit d'inondation exceptionnelle) et l'architecture des infrastructures les plus récentes les ont rendus particulièrement vulnérables à la crue. Les dégradations provoquées sur la voie ferrée par les mouvements de terrain attestent du caractère inédit de ces phénomènes depuis environ un siècle, bien que l'on puisse supposer que la couverture végétale actuelle soit la plus protectrice connue sur cette période.

L'implantation de la plupart des infrastructures de communication et télécommunication détruite dans les zones à risque d'inondation révèle l'oubli progressif du risque causé par un phénomène hydroclimatique exceptionnel et la nécessité d'aménager ces espaces dans une vallée étroite. La reconstruction de la vallée devrait coûter environ 1 milliard d'euros. Même si le désenclavement de certaines localités et le rétablissement de l'activité économique requièrent une reconstruction rapide, il serait regrettable que les fragilités et les enjeux socio-économiques de la vallée, la nécessité de développer de nouveaux modes de déplacement plus doux (transports en commun, vélos, train...) répondant aux besoins locaux ainsi que l'évolution des risques hydroclimatiques en lien avec le réchauffement climatique ne soient pas prises en considération. Cependant, la connaissance de ces paramètres nécessite des études scientifiques pluridisciplinaires, requérant plusieurs mois voire années (avec l'obtention de financements, puis la collecte, le traitement, la synthèse des données et la restitution des résultats). Alors que l'efficacité des réseaux de communication et télécommunication est un facteur essentiel dans le fonctionnement et l'aménagement des territoires, leur durabilité dans la vallée de la Roya nécessite d'intégrer les résultats d'études complexes qui seront communiqués probablement plusieurs mois voire plusieurs années après le début de la reconstruction.

Eric Fouache : Géographe, professeur à Sorbonne Université, UR Médiations, Eric Fouache est spécialisé dans les domaines de la géomorphologie et de la géoarchéologie dans le bassin

méditerranéen, en asie centrale et au moyen orient. Il est co-directeur de la thèse de Raphaël Kerverdo en cours sur les évènements hydro-sédimentaires extrêmes dans la vallée de la Roya
eric.fouache@sorbonne-universite.fr

Adrien Marchiel : Diplômé de Institut Polytechnique UniLaSalle, Beauvais, Adrien Marchiel a réalisé son mémoire de Master 2 sur la tempête Alex dans la vallée de la Roya.
marchiel.adrien@gmail.com

Alain Rabaute : Géologue, Professeur à Sorbonne Université, ISTEP UMR7193 Analyse de données géophysiques multi-échelles et modélisation numérique appliquées aux synthèses géodynamiques régionales et aux relations entre circulations de matière, propriétés physiques des formations géologiques sédimentaires et grandes structures tectoniques actives notamment en domaine méditerranéen.
alain.rabaute@sorbonne-universite.fr

Stéphane Desruelles : Géographe, maître de conférences à Sorbonne Université, UR Médiations, il mène des recherches en géoarchéologie, portant sur les environnements physiques et l'anthropisation, actuels et passés, d'espaces situés en France, dans le Bassin méditerranéen et au Moyen-Orient.
stephane.desruelles@sorbonne-universite.fr

Christian Gorini : Géologue, Professeur à Sorbonne Université, ISTEP UMR7193, il est sédimentologue marin, spécialisé dans l'analyse stratigraphique et les conséquences sédimentologiques des évènements extrêmes, notamment en milieu méditerranéen. Il est co-directeur de la thèse de Raphaël Kerverdo en cours sur les évènements hydro-sédimentaires extrêmes dans la vallée de la Roya.
christian.gorini@sorbonne-universite.fr

Nicoletta Bianchi : Docteure en Préhistoire de l'Université de Perpignan – Via Domitia avec un sujet sur les gravures protohistoriques de la vallée des Merveilles (Tende, Alpes-Maritimes). Elle est actuellement responsable scientifique des campagnes de prospection-inventaire dans la haute et moyenne vallée de la Roya, autorisées par la Drac d'Aix-en-Provence.
nicoletta.bianchi@gmail.com

Raphaël Kerverdo : Doctorant en géologie de Sorbonne Université, ISTEP UMR7193, il travaille sur la thématique des aléas et des risques naturels. Actuellement en thèse sur les évènements hydro-sédimentaires extrêmes dans la vallée de la Roya. L'objectif de ce projet consiste à estimer un temps de retour et l'intensité de pareils évènements.
raphael.kerverdo@sorbonne-universite.fr

Sara Lafuerza : Géologue, Maître de conférences, à Polytech Sorbonne et rattachée au laboratoire IStEP UMR7193, de Sorbonne Université. Elle co-dirige la thèse de Raphaël Kerverdo sur les évènements hydro-sédimentaires extrêmes dans la vallée de la Roya.
sara.lafuerza@sorbonne-universite.fr

NOTES

(1) Loi de probabilité introduit par Jenkinson (1955), très utilisée en hydrologie.

(2) Loi de probabilité due à Emil Julius Gumbel (1891-1966), très utilisée en hydrologie

(3) Un pont « bow string » est une catégorie de pont munie d'un tablier faisant aussi fonction de tirant et de poutres

latérales (en arc au-dessus du tablier), ce qui évite la présence d'une ou de plusieurs piles intermédiaires au milieu de la rivière, toujours susceptibles de favoriser les embâcles, lorsqu'un tablier d'un seul tenant permet de la franchir.

RÉFÉRENCES

- ADAMO, F., EGGEN T., 2021, Retour sur la gestion de la crise après les événements de la Roya. Vallée de la Roya informations chantiers du 14 décembre 2021, Conseil départemental des Alpes Maritimes. [En ligne] Vidéo : disponible sur le site : <https://vimeo.com/666838403>
- BALANDIER P., 2014, Eléments historiques pour la connaissance des berges alluvionnaires du village de Breil-sur-Roya depuis 1890. *Pour l'Association pour la Sauvegarde du Patrimoine Bâti Breillois depuis 1890, MAJ.*
- BIANCHI N., 2013, *Art rupestre en Europe occidentale : contexte archéologique et chronologique des gravures protohistoriques de la région du mont Bego De la typologie des armes piquetées à l'étude des gravures schématiques-linéaires*, Thèse de doctorat en Préhistoire, sous la direction de Luc Wengler, Université de Perpignan.
- BOTTON C., 1996, *Histoire de Breil et des breillois*, Breil sur Roya : Editions du Cabri.
- BOTTON C., GABER J., 2009, *Histoire de Saorge et de Fontan*, Breil sur Roya : Editions du Cabri.
- BOUDEVILLAIN B., ARGENCE S., CLAUD C., DUCROCQ V., JOLY B., JOLY A., LAMBERT D., NUISSIER O., PLU M., RICARD D., ARBOGAST P., BERNE A., CHABOUREAU J.-P., CHAPON B., CRÉPIN F., DELRIEU G., DOERFLINGER E., FUNATSU B. M., KIRSTETTER P.-E., MASSON F., MAYNARD K., RICHARD E., SANCHEZ E., TERRAY L., WALPERSDORF A., 2009, Projet Cyprim, partie I: Cyclogenèses et précipitations intenses en région méditerranéenne : origines et caractéristiques. *La Météorologie. Série 8, N° 66*, p. 18-28.
- BOURRIER M., COLLETTA G., 2000, *Chronologie illustrée de l'Histoire de compté de Nice*, Nice : Editions Serre
- BRGM, 1980, Carte géologique de la France au 1/250000.
- CARREGA P., MICHELOT N., 2021, Une catastrophe hors norme d'origine météorologique le 2 octobre 2020 dans les montagnes des Alpes-Maritimes. *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, Vol. 16. DOI : 10.4000/physio-geo.12370
- DEBACKERE C., MIGEON A., 2021, *Manuel pour comprendre la vallée de la Roya post-tempête Alex*. Le journal du débord, Vol. 1.
- GOOGLE EARTH. Images satellites de la vallée :
- IGN 2020, ORTHO EXPRESS 2020. Consulté sur Géoportail. geoportail.gouv.fr
- IGN, 2020, ORTHO EXPRESS ALEX. Consulté sur Géoportail. geoportail.gouv.fr
- INFOCLIMAT, 2020, Tempête Alex et fortes pluies. Bulletin spécial n°352, [En ligne] disponible à l'adresse : <https://www.infoclimat.fr/bulletin-special-352-tempete-alex-et-fortes-pluies.html> (consulté le 5/05/2023)
- MIGEON S., 2020, Carte bathymétrique du bassin profond du Var post Alex
- MINISTÈRE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE., 2 février 2022, Retour d'expérience de la crue du 2 octobre 2020 dans la vallée de la Roya. [En ligne] disponible à l'adresse: <https://www.igedd.developpement-durable.gouv.fr/retour-d-experience-des-intemperies-des-2-et-3-a3155.html>
- NICE MATIN, 4 octobre 2020. Tempête Alex : éboulements, chutes d'arbres le point sur l'état des routes des Alpes-Maritimes.
- ORTOLANI M., 2011, Le passage du col de Tende à la fin du XVIII^{ème} siècle. Jalons pour une histoire du Service public des transports, in : Piergiovanni V., Ortolani M. (sous la direction de), *Commerce et communications maritimes et terrestres dans les Etats des Savoie*, Nice : Editions Serre.
- PRADE M., 1988, *Les ponts monuments historiques. Inventaire - description - histoire*, Poitiers : Librairie Brissaud
- THOMASSIN P., 2001, *Au fil de l'eau, trésor des montagnes, don de la vie*, Ecomusée du pays de la Rouboule, Editions Serre.
- THOMEL G., 1997, *Le temps géologique et l'homme à l'échelle des pays de la Rouboule*, Ecomusée du pays de la Rouboule, Nice : Editions Serre.
- VOYAGE PITTORESQUE : gravures et lithographies dans le Comté de Nice et les Alpes Maritimes du XVII^e au XVIII^e siècles). [En Ligne] disponible à l'adresse : <https://www.gravures-nice.org>

Résumé – E. Fouache, A. Marchiel, A. Rabaute, S. Desruelles, C. Gorini, N. Bianchi, R. Kerverdo, S. Lafuerza – Conséquences de la crue extrême du 2 octobre 2020 dans la vallée de la Roya (Alpes Maritimes) sur les réseaux de transport et de communication : leçons pour la reconstruction

Le 2 octobre 2020, le passage de la tempête « Alex » a favorisé le déclenchement de précipitations « méditerranéennes » exceptionnellement intenses dans les vallées côtières des Alpes-Maritimes, notamment celle de la Roya. Ces pluies ont provoqué de nombreux processus hydro-géomorphologiques dévastateurs, crues glissements de terrain et éboulements principalement. Les destructions, qui ont frappé des infrastructures modernes et anciennes, ont été considérables, avec des conséquences sociales et économiques dramatiques. La majorité des ponts ont été détruits entre Tende et Breil-sur-Roya, ainsi que de grandes sections de routes et de voies ferrées. Les réseaux électriques, d'alimentation en eau et de fibre optique ont aussi été interrompus. L'isolement des villages a duré plusieurs mois et la reconstruction n'est pas achevée au 12 décembre 2022.

À l'initiative d'enseignants-chercheurs de Sorbonne Université, un groupe de recherche, intitulé « Story : Risques et sociétés dans le bassin de la Roya : analyse pluridisciplinaire et multi-temporelle, des versants à la mer », s'est constitué, avec pour objectif d'associer des spécialistes des géosciences et de sciences humaines en vue (i) d'analyser la catastrophe d'octobre 2020, (ii) de restituer l'histoire des risques, de leur gestion et de leur perception et (iii) d'élaborer, avec les acteurs locaux, des recommandations pour la reconstruction de leur territoire, avec l'objectif de réduire les impacts des futurs événements extrêmes.

Cet article présente les résultats préliminaires issus d'observations de terrain et d'analyses de données collectées. Le caractère exceptionnel de la crue est confirmé par la destruction d'une quantité inédite de ponts par une crue dans la vallée. Un facteur aggravant a été la construction au XXe siècle des routes en remblai dans le lit du fleuve. La voie ferrée a été plus affectée par les éboulements et les glissements de terrain induits par l'épisode hydro-climatique.

La cartographie des secteurs détruits nous conduit à faire des recommandations, parfois en contradiction avec les directives retenues par les services de l'aménagement dans leur reconstruction très rapide des infrastructures. Nous discutons enfin les difficultés à concilier les perceptions des différents acteurs, le nécessaire temps de la recherche pas toujours facile à articuler avec l'urgence de la reconstruction et la nécessité vitale de désenclaver des secteurs qui sinon risquent d'être définitivement abandonnés par les populations.

Mots-clés : crues brutales, changement climatique, risques naturels, réseaux, aménagement, Méditerranée, Roya

Abstract – E. Fouache, A. Marchiel, A. Rabaute, S. Desruelles, C. Gorini, N. Bianchi, R. Kerverdo, S. Lafuerza – Consequences of the extreme flood of October 2, 2020 in the Roya Valley (Alpes Maritimes) on transport, and communication networks: lessons for reconstruction

On October 2, 2020, the storm "Alex" has favored the triggering of very intense rainfall in the coastal valleys of the Alpes-Maritimes, including that of the Roya, which have caused many devastating hydro-geomorphological processes, as flash floods and landslides. The destruction, which affected modern and old infrastructures, was considerable, with dramatic social and economic consequences. All the bridges were destroyed between Tende and Breil-sur-Roya municipalities, while the railroad was cut in several places. Entire sections of roads were destroyed in the valley, as well as large portions of the electrical, water supply and fiber optic networks. The isolation of the villages lasted for several months, and the reconstruction is not complete.

Driven by researchers at Sorbonne University, a research group, entitled "Story: risk to society in the Roya basin: multi-temporal and transdisciplinary analysis, from the slopes to the sea", was formed, with the objective of associating specialists in geosciences and humanities in order to (i) analyze the October 2020 disaster, (ii) reconstruct the history of risks, their management and their perception, and (iii) elaborate, together with local actors, recommendations for the reconstruction of their territory, with the objective of reducing the impacts of future extreme events.

This paper explains the preliminary results of our first field surveys and data analyses. The exceptional character of the flood is confirmed by the fact that all the bridges between Breil-sur-Roya and Tende were destroyed, which had never happened in the past. An aggravating factor was the construction in the 20th century of embankment roads in the riverbed. The railroad was more affected by rockfalls and landslides induced by the hydro-climatic episode.

The mapping of the destroyed sectors leads us to make recommendations that are sometimes in contradiction with the directives retained by the planning departments in their very rapid reconstruction of infrastructures. Finally, we discuss the difficulties in reconciling the perceptions of the different actors, the necessary time of research not always easy to articulate with the urgency of reconstruction and the vital need to open up sectors that otherwise risk being permanently abandoned by the populations.

Keywords: flash floods, climate change, natural hazards, infrastructure and energy networks, planning, Mediterranean, Roya