



HAL
open science

Reconstitution de l'évolution de la dynamique hydrosédimentaire d'un gave pyrénéen (torrent du Bastan, Gave de Pau, Hautes-Pyrénées) : approche croisée géohistorique et hydrogéomorphologique

Johann Blanpied, Jean-Marc Antoine, Jean-Michel Carozza, Philippe Valette

► To cite this version:

Johann Blanpied, Jean-Marc Antoine, Jean-Michel Carozza, Philippe Valette. Reconstitution de l'évolution de la dynamique hydrosédimentaire d'un gave pyrénéen (torrent du Bastan, Gave de Pau, Hautes-Pyrénées) : approche croisée géohistorique et hydrogéomorphologique. *Sud-Ouest Européen*, 2020, 49, pp.29-46. 10.4000/soe.6681 . hal-03682098

HAL Id: hal-03682098

<https://hal.science/hal-03682098v1>

Submitted on 30 May 2022

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.

RECONSTITUTION DE L'ÉVOLUTION DE LA DYNAMIQUE HYDROSÉDIMENTAIRE D'UN GAVE PYRÉNÉEN (TORRENT DU BASTAN, BASSIN DU GAVE DE PAU, HAUTES-PYRÉNÉES) : APPROCHE CROISÉE GÉOHISTORIQUE ET HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE

RECONSTRUCTION OF THE EVOLUTION OF THE HYDRO-SEDIMENTARY DYNAMICS OF
A PYRENEAN STREAM (BASTAN STREAM, GAVE DE PAU BASIN, HAUTES-PYRÉNÉES):
GEOHISTORICAL AND HYDROGEOMORPHOLOGICAL COMBINED APPROACH

RECONSTRUCCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA DINÁMICA HIDROSEDIMENTARIA DE
UN DADO PIRENAICO (TORRENTE DE BASTAN, CUENCA DEL GAVE DE PAU, HAUTES-
PYRÉNÉES): ENFOQUE CRUZADO GEOHISTÓRICO E HIDROGEOMORFOLÓGICO

Johann BLANPIED ¹, Jean-Marc ANTOINE ¹, Jean-Michel CAROZZA ², Philippe VALETTE ¹

29

RÉSUMÉ – On étudie ici l'évolution de la dynamique hydrosédimentaire du Bastan depuis la fin du petit âge glaciaire par des méthodes géohistoriques et hydro-géomorphologiques. L'objectif est, à la lumière de la crue de juin 2013, de quantifier les ajustements morphologiques de la bande active, comprendre l'évolution de la connectivité sédimentaire dans le bassin puis hiérarchiser le poids des facteurs de contrôle. L'activité torrentielle et la production sédimentaire du bassin versant du Bastan semblent s'être aujourd'hui réduites comparativement à la fin du petit âge glaciaire, comme le montrent les dynamiques contrastées des crues basse fréquence haute magnitude (BFHM) de 1897 et 2013. Cependant, le dynamisme et l'impact morphogène de ces crues en fond de vallée restent aujourd'hui sensibles.

ABSTRACT – The evolution of the hydro-sedimentary dynamic of Bastan basin since the end of the Little Ice Age has been studied using geo-history and hydro-geomorphological methods. The aim of the study is to quantify morphological adjustments of the active channel, to understand the evolution of the basin sediment connectivity and then to analyze the weight of the control factors in the light of the June 2013 flood. The current activity of the Bastan stream and sediment supply of its slopes seem to have reduced compared to the end of the Little Ice Age, as attested by the difference between Low Frequency High Magnitude floods (LFHM) dynamic i.e. those of 1897 and 2013. However the intensity and morphogenic impacts of these floods in the valley bottom remain significant today.

RESUMEN – La evolución de la dinámica hidrosedimentaria de la cuenca de Bastan desde el final de la Pequeña Edad de Hielo ha sido estudiada mediante métodos geohistóricos e hidrogeomorfológicos. El objetivo era cuantificar los ajustes morfológicos de la banda activa, entender la evolución de la conectividad sedimentaria de la cuenca y luego priorizar la importancia de los factores de control, todo ello a la luz de la inundación de junio de 2013. La actividad torrencial del Bastán y la producción sedimentaria de sus vertientes parecen haberse reducido actualmente en comparación con el final de la Pequeña Edad del Hielo, como lo demuestran las diferencias de la dinámica de las inundaciones de Baja Frecuencia y Alta Magnitud (LFHM), es decir, las de 1897 y 2013. Sin embargo, el dinamismo y el impacto morfológico de estas inundaciones en fondo del valle siguen siendo importantes.

GÉOHISTOIRE – PYRÉNÉES – HYDROGÉOMORPHOLOGIE – CRUE TORRENTIELLE – ÉVOLUTION – FACTEURS DE CONTRÔLE

GEOHISTORY – PYRENEES – HYDROGEOMORPHOLOGY – STREAM FLOOD – EVOLUTION – CONTROLLING FACTORS

GEOHISTORIA – PIRINEOS – HIDROGEOMORFOLOGÍA – INUNDACIÓN TORRENCIAL – EVOLUCIÓN – FACTORES DE CONTROL

¹ GEODE UMR 5602 CNRS, université Toulouse – Jean Jaurès, johann.blanpied@univ-tlse2.fr, antoine@univ-tlse2.fr, philippe.valette@univ-tlse2.fr.

² LIENSS UMR 7266 CNRS, université de La Rochelle, jean-michel.carozza@univ-lr.fr.

Introduction

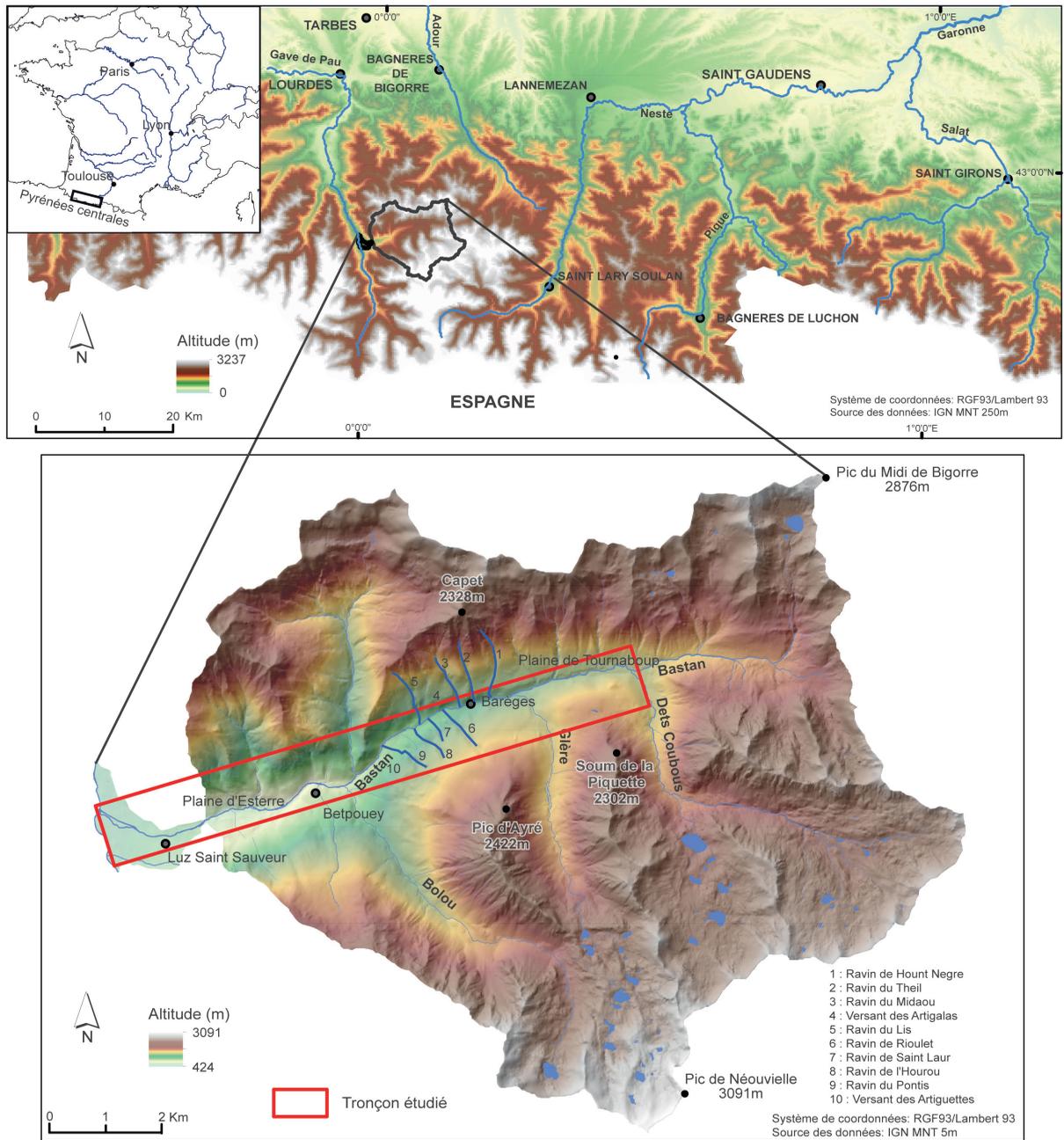
Les crues torrentielles sont un des aléas les plus dévastateurs en zone de montagne, comme l'a montré la crue exceptionnelle des 18-19 juin 2013 dans les Pyrénées centrales en impactant des maisons individuelles, des routes, des campings, un abattoir, etc. Ces événements hydrologiques provoquent un transport solide très important et peuvent être à l'origine d'un élargissement de la bande active dans les fonds de vallées. La crue de juin 2013 fait écho aux grandes crues historiques qui sont survenues dans des contextes socio-environnementaux très différents. Ces aléas, de par leur occurrence, leur intensité et leur dynamique, mettent en exergue les interactions entre les sociétés et leur environnement (Despin, 1998). Selon Franchomme, Servain-Courant et Sajaloli (2014), l'objectif principal des approches géohistoriques est d'étudier « les rapports dialectiques entre l'évolution des milieux naturels et l'évolution des sociétés humaines en permettant de confronter les échelles spatiales et temporelles ». À travers la reconstitution des dynamiques et trajectoires des socio-écosystèmes, cette approche permet de replacer le bassin versant et le système fluvial et/ou torrentiel dans une évolution conjointe entre déterminants naturels et sociaux (Valette et Carozza, 2010). En comparaison des systèmes fluviaux de plaine, les systèmes torrentiels sont plus réactifs d'un point de vue hydrologique et présentent des temps de réponse géomorphologique plus brefs aux variations climatiques de moyen et long terme, aux variations des modes d'occupation du sol, ainsi qu'aux aménagements des talwegs et des versants.

Même si le long terme est de plus en plus pris en considération dans les politiques de gestion intégrée des cours d'eau, la gestion locale des systèmes fluviaux, notamment torrentiels, se focalise sur une échelle de temps plus courte (Kondolf, Peigay et Landon, 2002). De surcroît, ces politiques publiques et/ou décisions d'aménagements répondent fréquemment à la survenance d'un événement majeur (crue, avalanche), à une problématique de gestion des ressources (agriculture, captage...) et/ou une crise socio-environnementale (crise érosive, pollution de l'eau...). Dans certains bassins versants montagnards, l'étroitesse des fonds de vallées et la rareté de la ressource foncière conduit à une cohabitation concurrentielle entre la zone de mobilité du torrent et les installations humaines. C'est un espace où doivent être conciliées la gestion écologique

du cours d'eau, l'expansion des activités humaines et la gestion du risque naturel.

La dynamique spatiotemporelle d'évolution des plaines alluviales et des fonds de vallées est souvent négligée dans les plans d'aménagement du territoire (Bravard, Provansal, Arnaud-Fassetta *et al.*, 2008), surtout dans le contexte d'extinction relative du risque torrentiel enregistré au cours du xx^e siècle. L'objectif commun du géomorphologue et du géohistorien est d'analyser les évolutions paysagères résultant d'une mutation sociétale d'échelle temporelle plus longue (au moins un siècle), qui ne coïncide pas toujours avec la temporalité des gestionnaires du cours d'eau (Kirby et Whipple, 2012). Dans la partie centrale des Pyrénées françaises, aucune étude n'a encore été réalisée sur l'évolution hydrogéomorphologique des bandes actives qui pourrait venir en appui aux politiques publiques. Pourtant, le contexte géohistorique s'y prête puisqu'une dynamique globale de fermeture des paysages, localement très rapide, est enregistrée au détriment des milieux agropastoraux (Carré, 2010). Cette reconquête végétale peut être spontanée comme liée aux campagnes de reboisement RTM qui ont fait suite à la forte récurrence d'événements majeurs au xix^e siècle (avalanches et crues torrentielles ; Métaillé, 2006 ; Antoine, 2009). Dès la fin du xviii^e siècle, les ingénieurs des Ponts et Chaussées ont identifié la « dégradation de la montagne » dans les massifs alpins et pyrénéens comme cause de l'engravement des lits fluviaux d'une part et de la hausse de la fréquence et de l'intensité des crues torrentielles d'autre part (Métaillé, 2006), suggérant ainsi une activité morphogénique plus importante à cette période.

L'hypothèse de départ de ce travail est donc qu'à l'instar des torrents ou rivières torrentielles des Pyrénées centrales espagnoles et des Alpes, le Bastan a lui aussi connu, sur le temps long, une période de contraction de sa bande active, interrompue par une nouvelle phase d'élargissement lors des crues basse fréquence haute magnitude (BFHM), comme l'a montré la crue de juin 2013. Notre terrain d'étude, la vallée du Bastan, surnommée « la vallée aux catastrophes » (Métaillé, 1993a), a connu deux crues centennales en un peu plus d'un siècle (1897 et 2013) mais ces deux événements se sont produits dans des contextes socio-environnementaux bien différents. L'objectif de cette étude est de coupler les méthodes géohistoriques et hydrogéomorphologiques pour identifier et comprendre l'évolution de la dynamique hydrosédimentaire depuis



la fin du petit âge glaciaire (fin du XIX^e siècle) et ses facteurs de contrôle. Pour cela, les dynamiques des deux crues centennales du Bastan seront comparées

sur la base de données anciennes et actuelles et mises en perspective de leurs contextes socio-environnementaux, de manière à quantifier les ajustements morpho-

logiques de la bande active et d'en déduire le poids des variables de contrôle.

I – Site d'étude

« La vallée du Bastan est assurément de beaucoup la plus torrentielle de la chaîne pyrénéenne » affirme de Gorsse (1900). Le bassin versant du Bastan, d'une surface de 101 km², est un des plus grands bassins secondaires des Pyrénées centrales. Il s'inscrit dans la zone structurale « haute chaîne primaire » qui correspond à l'axe morphologique des hautes crêtes de la chaîne. Ses altitudes s'échelonnent entre 3 091 m au pic du Néouvielle et 658 m à la confluence avec le gave de Pau. Orientée d'est en ouest, la vallée du Bastan est marquée par une forte dissymétrie entre sa rive gauche (ombrée, exposée au nord) et sa rive droite (soulane exposée au sud) [fig. 1]. L'ombrée, constituée par les masses granitiques du massif du Néouvielle dont les crêtes s'érigent à plus de 6 km du collecteur principal de la vallée, le Bastan. Les vastes bassins de réception se décomposent en ombilics occupés par des lacs et des verrous rocheux successifs. Ils forment des tributaires puissants qui s'écoulent dans les formations détritiques d'auges glaciaires (torrents de Bolou, de la Glère et Dets Coubous). Le versant nord, dominé par le pic du Midi de Bigorre (2 876 m) au nord-est et par la crête schisteuse du massif du Tourmalet à l'est, s'organise en sous-bassins de petites tailles mais à fortes pentes. Situées à moins de 2 km du Bastan, dans la partie en amont de Barèges, les crêtes sont sculptées dans la série métamorphique schistocalcaire du Dévonien qui entre en contact avec une série détritique de grès calcaireux du Namurien et de silt argileux du Dévonien dans la partie moyenne et basse du versant. 67 % de la superficie du bassin est recouverte par des formations glaciaires héritées : moraine latérale, remblaiement glaciaires (moraines de fond, dépôts fluvioglaciaires, dépôts glaciolacustres...), mais également des formations postglaciaires essentiellement issues de la dégradation des parois : formations de versants, cônes d'éboulis et d'avalanches, cônes de déjection, formations alluviales, etc. Ces formations superficielles détritiques ont été d'une importance majeure dans la fourniture sédimentaire de la crue de juin 2013 et plus précisément celles situées dans le fond de vallée du collecteur principal (Blanpied, Carozza et Antoine, 2018).

Le village de Barèges (1 230 m d'altitude) reçoit en moyenne 1 250 mm de précipitations par an. Le climat subocéanique est soumis majoritairement aux perturbations d'ouest-nord-ouest mais également aux débordements des perturbations d'ouest-sud-ouest. Ces deux configurations synoptiques sont un mécanisme de déclenchement des crues torrentielles sur le Bastan. Cependant, les crues majeures proviennent généralement d'une conjonction de facteurs, comme des précipitations antécédentes abondantes (saturation des sols et gonflement des débits), une fonte nivale massive et brutale exacerbée par d'intenses et brutales précipitations comme la crue de juin 2013 (Sturma, Antoine, Becerra *et al.*, 2017).

II – Méthodologie

1. Constitution du corpus documentaire

Le corpus documentaire s'est constitué à partir de photographies anciennes obliques montrant les versants soumis à une érosion superficielle, les torrents actifs, des crues majeures ou autres paysages clés de la compréhension de la dynamique hydrosédimentaire. Elles sont issues des travaux géohistoriques sur les risques naturels dans les Pyrénées et son piémont du laboratoire GEODE (Peltier, 2005 ; Métailié, 1986, 1993 et 2006 ; Antoine, 1992 et 2011), de la base de données du laboratoire (bipt.univ-tlse2.fr), de collections mises à disposition sur internet (fonds Delcampe, fonds Campagne) et des archives départementales des Hautes-Pyrénées et de la Haute-Garonne (fond RTM). Ces archives iconographiques ont été localisées afin de mettre en place une démarche de comparaison photographique. L'analyse qualitative de ces rephotographies permet d'analyser les dynamiques paysagères (évolution de l'occupation du sol, recolonisation végétale spontanée) et les dynamiques hydrosédimentaires (évolution de la largeur des chenaux, de la charge grossière). En complément, des récits de catastrophes et des rapports d'expertises de projets, de photographies et plans de travaux (anciennes administrations des Eaux et Forêts et des Ponts et Chaussées, service RTM), publiés ou conservés aux archives départementales, ont également été analysés pour comparer les dynamiques de crues et la production sédimentaire des versants. L'activité de ces services a connu son paroxysme dans les Pyrénées à la fin du XIX^e siècle. En

revanche, des lacunes apparaissent dans ces archives, notamment celles du service RTM, à partir des coupes budgétaires après la Première Guerre mondiale.

Au cours de la période étudiée, la richesse des fonds d'archives dépend des vicissitudes historiques, géographiques et techniques (Valette et Carozza, 2010). Le développement du thermalisme pyrénéen à l'échelle nationale et européenne s'est effectué à partir du XVIII^e siècle (Briffaud, 1994). Il s'est accompagné du climatisme et du pyrénéisme pour faire passer les Pyrénées centrales d'un territoire à la marge à un des hauts lieux de villégiature en France. À partir de cette période, l'histoire et la géographie de la vallée sont donc renseignées par les sources littéraires et iconographiques (récits de curistes célèbres, guides des voyageurs, monographies d'érudits locaux...). Toutes ces archives textuelles et iconographiques sont également utilisées de manière qualitative. Les sources iconographiques à vocation touristique permettent de se faire une idée des dynamiques pendant la période de l'entre-deux-guerres. Depuis Fabre (1797) et Surell (1841), en passant par les thèses des forestiers de la fin du XIX^e siècle (De Gorsse, 1900 ; Fabre, 1902), de nombreux travaux de chercheurs et d'ingénieurs ont décrit la « dégradation des montagnes ». Plus récemment, cette question a été notamment reprise par Métaillé (1986, 1993b et 2006) ou encore Lanusse (1988) à propos des aménagements de correction/protection, ainsi que Favier (2004) pour les relations entre thermalisme et risques naturels à Barèges.

Pour la comparaison de la dynamique et de l'extension des deux crues, nous nous basons sur la reconstitution des champs d'expansion de la crue de 1897 sur trois tronçons cartographiés dans le rapport de la Compagnie d'aménagement des coteaux de Gascogne (CACG) en 1996. Cette reconstitution a été réalisée à partir des récits et des photographies de la crue de l'inspecteur des Eaux et Forêts (Campagne, 1902). Pour la crue de 2013, les rapports et photographies postcrue des services de l'État et des gestionnaires, le fond photographique constitué par le laboratoire GEODE (crues-pyr2013.canalblog.com) et les orthophotographies IGN ont été utilisés. Par ailleurs, les annuaires statistiques de France (gallica.bnf.fr), les bases de données de population (Ldh/EHESS/Cassini jusqu'en 1999 puis Insee à partir de 2006) et la base de données en ligne RTM ont été utilisés pour reconstituer respectivement la démographie et la fréquence des crues à l'échelle du bassin versant. De plus, l'évolution du taux de boisement

du bassin versant du Bastan a été reconstruite sur trois dates (1920, 1959 et 2012) à partir de la « Monographie de la vallée de Barèges » (Rondou 1900-1934), de la vectorisation des formations forestières d'après la photographie aérienne du parc naturel des Pyrénées de 1959 puis de la BD Corine Land Cover 2012. Afin de comparer l'évolution du taux de boisement entre le bassin-versant du Bastan et le reste des Pyrénées centrales, des données issues de recensements agricoles, d'inventaires forestiers nationaux (contenant les informations de la couverture forestière départementale issue de la statistique forestière de 1878, de l'enquête DAUBREE 1904-1908, du cadastre 1862, 1908, 1948, 1961...) à l'échelle départementale ont également été mobilisées. Pour finir, l'évolution de l'occupation du sol du fond de vallée du Bastan a été reconstituée entre 1835 et 2013 à partir du cadastre napoléonien de 1835, de photographies aériennes, d'orthophotographies et de la BD Corine Land Cover de 2012. Cette dernière carte a été réalisée dans le cadre du projet Dynhapyr par F. Aussaguel, cartographe au département de géographie de l'université Toulouse – Jean Jaurès.

2. Quantification de l'évolution des largeurs de la bande active

La quantification des ajustements morphologiques de la bande active s'appuie sur un ensemble d'orthophotographies et de photographies aériennes de 1954 à 2016 réalisées par l'IGN puis sur le cadastre napoléonien de 1835 (AD65). La bande active se définit comme l'emprise des chenaux en eau et des bancs de galets non-végétalisés remaniés lors des crues morphogènes supérieures à la crue décennale (Osterkamp et Hedman, 1982 ; Rundle, 1985 ; Bravard et Petit, 1997 ; Fort, Arnaud-Fasseta, Cossart *et al.*, 2002 ; Brousse, Arnaud-Fasseta et Cordier, 2011). Le géoréférencement du cadastre napoléonien et la vectorisation de la bande active ont été réalisés par F. Aussaguel. La première série complète de photographies aériennes sur le tronçon étudié date de 1954, soit deux ans après la crue de 1952. Les orthophotographies de 2001, 2010, 2013 et 2016 ont été acquises directement auprès de l'IGN. Pour les photographies aériennes de 1954, 1983 et 1994, le géoréférencement a été réalisé sous ArcGIS à l'aide de la méthode polynomiale de troisième ordre. En effet, en zone de montagne, le géoréférencement est complexe en raison du relief escarpé. Chaque photographie aérienne a été géoréférencée en utilisant au

minimum une dizaine de points de contrôle avec une concentration accrue dans les fonds de vallée et bas de versants dans le but d'améliorer la qualité du géoréférencement des secteurs proches du cours d'eau. L'erreur quadratique est comprise entre 4,4 m et 2,4 m et la densité de points d'amer entre 0,65 et 0,58 point/km². L'importance de certains résidus est à minorer car ils représentent une moyenne. En réalité, les résidus sont plus importants sur les versants et plus faibles dans le fond de vallée.

L'emprise de ce travail s'étend de la confluence avec le torrent Dets Coubous, au bas de la station Grand Tourmalet, jusqu'à la confluence avec le gave de Pau à Luz-Saint-Sauveur (tronçon de 12 km, fig. 1). La surface totale de la bande active a été mesurée dans un premier temps puis sa largeur a ensuite été estimée le long de 226 transects, espacés de 50 m et perpendiculaires à la bande active.

III – Approche comparative des deux crues majeures : juillet 1897 et juin 2013

34

Une crue majeure est un événement qui met en lumière, certes de manière exacerbée et temporaire, les paroxysmes de la dynamique torrentielle et l'(in)efficacité de la connectivité sédimentaire du bassin versant. À plus de 100 ans d'écart, les deux crues centennales de 1897 et 2013 (CACG, 1996 ; DREAL, 2013) ont dévasté la vallée. Leur comparaison, tant à l'échelle du bassin qu'à l'échelle du site, est la base de notre analyse pour comprendre le contexte d'occurrence et la dynamique torrentielle d'un tel événement surtout dans un bassin non-monitoré.

1. Les situations météorologiques

La crue du 3 juillet 1897 a été une crue généralisée sur les Pyrénées centrales. Une perturbation orageuse de « type océanique pyrénéen » (Pardé, 1935) a généré une lame d'eau de 212 mm entre le 1^{er} et le 3 juillet sur le pic du Midi (Fabre, 1902). Les débits de pointes, estimés à 140 m³s⁻¹ (CACG, 1996), furent atteints suite à un épisode orageux entre 4 h et 12 h le matin du 3 juillet, accompagné d'un vent chaud et violent (130 mm en 8 h à Barèges, RTM ; 132 mm au pic du Midi, CACG, 1996). Cet événement a fait suite à un

« un printemps neigeux et froid : accumulation d'une couche de neige exceptionnelle en haute montagne » (RTM, AD65) entre début mai et mi-juin 1897. De plus, des bouchons de neige, de débris, de bois et de sédiments des avalanches de l'hiver 1897 (avalanche du Midaou le 31 janvier 1897), mais également de l'hiver 1895 qui fut très productif en avalanches (un des plus actifs depuis la fin du PAG), étaient encore présents dans certains couloirs en juillet 1897.

Comparées aux apports pluviométriques de la crue de juillet 1897, les précipitations de juin 2013 semblent moins importantes et moins soudaines dans le bassin du Bastan. Il a été mesuré à 103 mm de précipitations à Barèges en 48 h et 131 mm à Luz-Saint-Sauveur. Ces précipitations proviennent d'une perturbation océanique de sud-ouest qui a débordé sur les crêtes françaises encore abondamment enneigées pour un mois de juin (cumul neigeux le plus élevé depuis 1972 dans les Pyrénées). Si les cumuls pluviométriques n'ont pas été exceptionnels sur le piémont et dans les fonds de vallées, ils ont été importants en haute montagne (183 mm en 48 h à Gavarnie, à proximité de la crête franco-espagnole). Dans le bassin versant du Bastan, ce flux de sud-ouest a logiquement été plus intense dans les grands sous-bassins versants enneigés de la rive gauche du Bastan que ceux de la rive droite. Ce flux chaud de secteur sud (limite pluie-neige supérieure à 3 000 m) a fait suite à un mois de mai très froid (le plus froid depuis 1984) qui avait induit la formation de congères en amont et de bouchons de neige dans le Bastan au débouché des couloirs avalancheux. Par ailleurs, la crue d'octobre 2012, très morphogène dans le gave de Gavarnie et de Cauterets, avait charrié les gammes granulométriques les plus fines et fragilisé le pavage du Bastan. Mais c'est surtout la fonte nivale très intense dans la semaine précédant la crue qui a fortement gonflé les débits. La contribution de la fonte nivale est estimée à 40 % du volume de la crue dans le val d'Aran et la Garonne amont (DREAL Midi-Pyrénées ; Sturma, Antoine, Becerra *et al.*, 2017 ; Victoria-no, García-Silvestre, Furdada *et al.*, 2016).

L'intensité et la soudaineté de l'événement pluviométrique ont été donc plus importantes en 1897 qu'en 2013 et font du 3 juillet 1897 un événement rare, d'une période de retour estimée à 200 ans (CACG, 1996). Ainsi, les deux situations synoptiques qui ont engendré les deux événements diffèrent à la fois par leur intensité et la répartition des précipitations mais aussi par leur contexte météorologique de survenue.

2. Dynamique torrentielle et transport solide

L'étude sédimentologique des dépôts de crue de 1897 et l'analyse des photographies anciennes de Campagne (1902) par le CACG (1996) démontrent le passage d'une dynamique torrentielle de crue liquide hyperconcentrée au début de la crue à une dynamique de lave torrentielle au moment du pic de crue du 3 juillet 1897. Le torrent du Rioulet, déjà corrigé par les services RTM depuis 1862 (Dellon, 1900), a généré une crue aux apports sédimentaires limités en 1897 alors que les torrents de Saint-Laur, de l'Hourou, du Pontis en rive gauche et le torrent du Lis en rive droite ont produit d'intenses laves torrentielles (BD RTM ; Campagne, 1902). Ces laves, ajoutées aux apports solides fournis par les glissements de terrains latéraux *i.e.* le sapement du bas du versant des Artigalas, expliquent d'une part le débit solide important de la crue de 1897

et, d'autre part, la tendance à exhausser le lit du torrent d'environ 2 m à certains endroits comme à Betspouey (fig. 2), en amont du pont de Sers ou à hauteur de la confluence entre le Bastan et le Bastan de Sers (CACG, 1996). Les informations manquent sur la dynamique torrentielle en amont de Barèges et notamment dans le torrent Dets Coubous. En revanche, les récits indiquent que l'affluent de rive droite, le Bolou, n'a pas connu de crue importante en 1897.

À l'inverse, les grands affluents de rive gauche, *i.e.* les torrents Dets Coubous, du Bolou et de la Glère ont alimenté le Bastan avec des crues torrentielles à charriage dominant. L'événement pluviométrique s'étant concentré sur ces grands bassins de réception amont, par ailleurs fortement enneigés, il est logique que les apports liquides aient été importants et l'érosion marquée dans les formations superficielles non-enneigées en aval, à proximité de la confluence avec le Bastan.

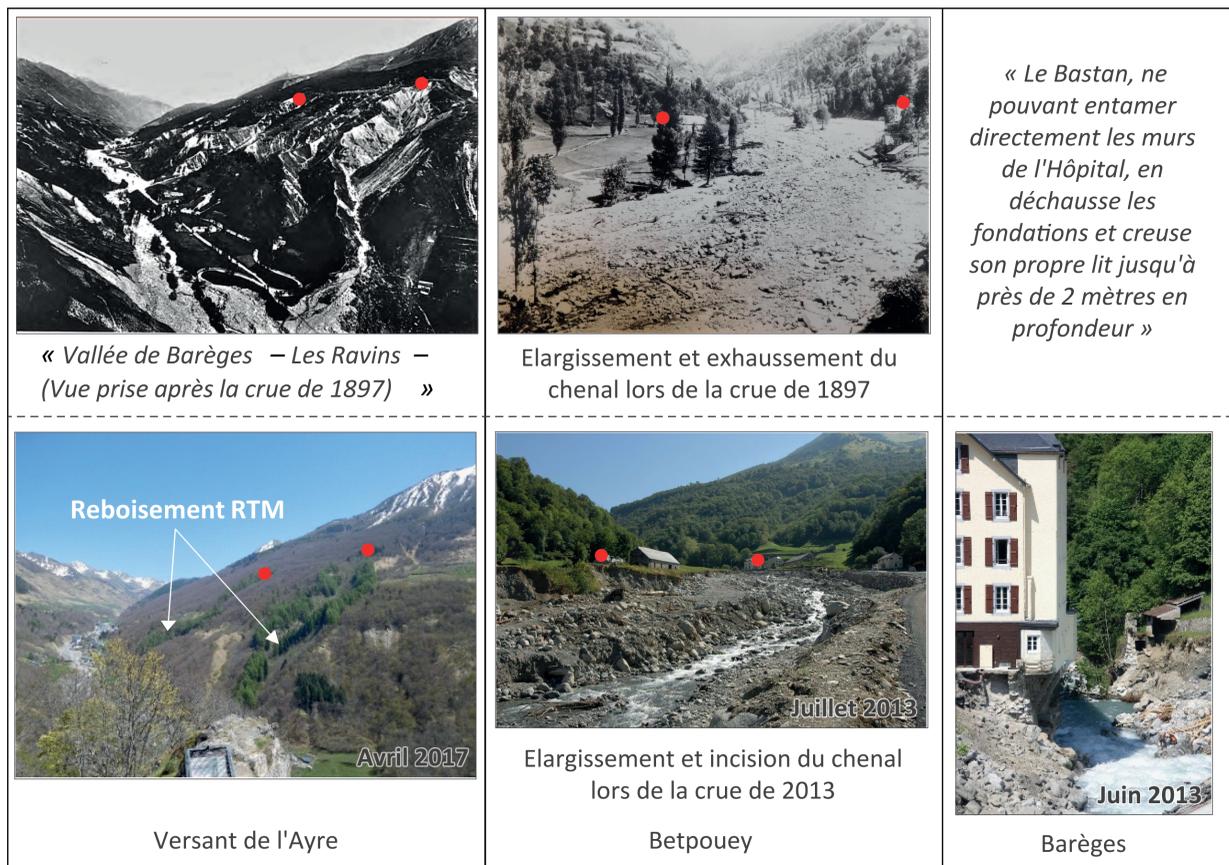


FIGURE 2 – Comparaison des crues de juillet 1897 et juin 2013

Source : récits et photographies de la crue de juillet 1897 (Campagne, 1902) ; photographie du versant de l'Ayre (Blanpied, Antoine, Carozza et Valette) ; photographie de la crue à Betspouey (Burens, juillet 2013) ; photographie de l'hôtel en amont de l'hôpital militaire (RTM, juin 2013).

Néanmoins, les torrents historiquement producteurs de laves torrentielles n'ont pas participé à la constitution de la charge solide du Bastan. L'étude de la connectivité sédimentaire de cette crue dans Blandpied, Carozza et Antoine (2018) a montré une déconnexion des têtes de bassins et des dépôts du domaine glaciaire et périglaciaire. La connectivité sédimentaire efficace entre le versant et le chenal s'est réalisée principalement entre les formations superficielles de bas de versant de moyenne et basse vallée, adjacents au collecteur principal.

D'après les photographies de la crue de juin 2013 du laboratoire GEODE, la crue de juin 2013 du Bastan est une crue torrentielle à dominante liquide qui a eu tendance à inciser le chenal de plus de 2 m dans la traversée de Barèges, à Betpouey (GeoDiag, 2014), ainsi que, d'après nos propres observations terrains, sur la plaine de Tournaboup.

si les contextes d'apport de versants et des tributaires latéraux sont différents.

En amont de Barèges, huit maisons entre la digue Louvois et l'hôpital militaire ont été détruites. Seul un

3. Extension des crues

À l'échelle du tronçon, les récits et les sources iconographiques de Campagne (1902) documentent relativement bien la crue de juillet 1897. Ces informations ont été recoupées par la CACG en 1996 afin de réaliser des cartographies d'estimation des « champs d'expansion de la crue » (terme utilisé par la CACG) ou bande active. En comparant avec l'extension de la crue de 2013, il apparaît de grandes similitudes en fond de vallée entre les crues de 1897 et 2013 (fig. 3) même

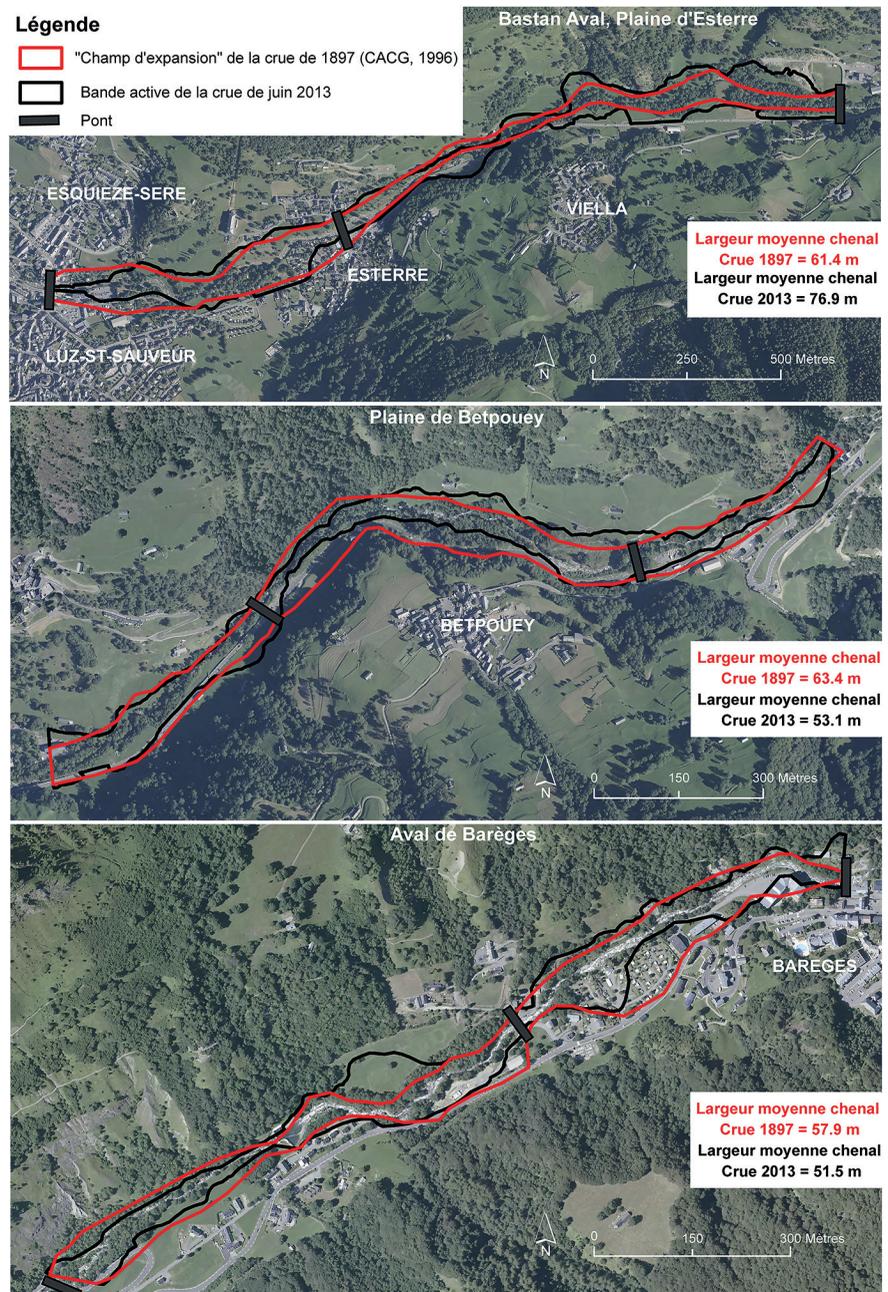


FIGURE 3 – Comparaison entre l'extension de la crue de juillet 1897 et celle de juin 2013

Source : CACG, 1996 ; orthophotographie IGN de 2010
©IGN 2020 – Photo Aérienne IGN – Autorisation N° 222036

hôtel s'est réinstallé et a été sapé ensuite par la crue de 2013 avant d'être préventivement détruit. Les fondations de l'hôpital militaire ont été affouillées d'au moins 2 m lors de chacune des deux crues (fig. 2). Deux glissements de terrains, induits par un sapement du bas de versant, se sont produits lors des crues à hauteur du versant des Artigalas (à l'aval de Barèges) et en bas de versant des Artiguettes (entre Betpouey et Barèges) [fig. 1]. Par ailleurs, en aval de Barèges ainsi que dans la plaine d'Esterre, des petits quartiers résidentiels et des campings se sont installés dans les années 1970 et ont été impactés en 2013 avec le même élargissement du Bastan qu'en 1897 (fig. 3). La figure 3 montre l'extension de la bande active lors des deux crues sur les trois tronçons. La largeur moyenne est de 60,5 m pour la crue de 1897 et de 65,1 m pour celle de 2013. La cartographie de 1897 n'est qu'indicative car elle a été réalisée sur la base de photographies obliques prises du sol. Cependant, la largeur moyenne de l'extension des deux crues semble être du même ordre de grandeur.

L'espace temporel entre ces deux crues étudiées, le développement d'aménagements à proximité du chenal, l'extension de la ripisylve pendant la période de calme hydrologique de la seconde partie du xx^e siècle ainsi que la fragilité de la mémoire humaine (Antoine, 1989) ont oblitéré le souvenir de la crue de 1897. Ces facteurs mettent également en lumière le manque de connaissance et/ou la négligence vis-à-vis de la mobilité d'un cours d'eau, qui plus est torrentiel, face aux contraintes d'aménagement d'un espace montagnard en fond de vallée. Malgré des contextes météorologiques différents, ces deux crues présentent logiquement, au vu de la morphologie et des contraintes topographiques du fond de vallée, une dynamique d'expansion similaire sur le collecteur principal. Cependant, la différence de réponse des tributaires dans la constitution de la charge liquide et solide du Bastan, pose la question de l'évolution de la dynamique hydrosédimentaire et du rôle des contextes socio-environnementaux dans lesquels sont intervenues ces crues.

IV – Géohistoire du risque de crue dans la vallée de Barèges

Afin de prendre la mesure des grandes lignes de l'évolution géohistorique de ce bassin, une synthèse a été réalisée (fig. 4). L'objectif est ici d'étudier les proces-

sus naturels, les pratiques sociales et leurs interactions pour, d'une part, retracer l'évolution de la dynamique hydrosédimentaire et, d'autre part, étudier les spécificités de l'évolution du contexte socio-environnemental de la vallée du Bastan.

1. De la fin du xviii^e siècle jusqu'au milieu du xix^e siècle : processus de « dégradation des montagnes » et prise de conscience progressive de son impact

Au cours de cette période, le bassin du Bastan a connu une croissance démographique rapide, à l'image des Pyrénées en général dont la population a quasi doublé durant la première moitié du xix^e siècle. Le maximum a été atteint lors du recensement de 1846 avec plus de 4 600 habitants dans la vallée (fig. 4). Durant ces années, la taille des cheptels a été également très élevée et la pression de la société agrosylvopastorale sur les versants, les sols et les ressources a été alors poussée à l'extrême. Le défrichement local et la surexploitation des sols sont relatés dans la plupart des publications de l'époque, qu'elles émanent d'érudits, de politiques, d'agents de l'État ou encore des premiers touristes, retranscrits dans le *Guide du voyageur aux bains* en 1819 (Favier, 2004) : « La vallée devient étroite, nue et triste : plus de bosquets, plus de prairies tout est éboulement et débris » ; « Le lit encombré par les ruines des montagnes » ; « Forêt de sapin et hêtre au-dessus de Betpouey et Viella et forêt de pin de montagne dans les vallées d'Ets Coubous et de la Glère mais en 1900, il ne reste que de rares vestiges » (Campagne, 1902, ouvrage de l'inspecteur des Eaux et Forêts). Métaillé (2006) évoque les discours de l'époque condamnant les « pratiques archaïques » et « l'incurie pastorale » dans la dégradation des Pyrénées. Si le phénomène avalancheux est ancien, le déboisement a localement engendré la formation de ravines sur les versants qui ont érodé et se sont incisées dans les dépôts glaciaires de versants (De Gorsse, 1900). Ces ravines sont devenues des couloirs à laves torrentielles provoquant une augmentation de la fréquence des laves torrentielles au cours du xix^e siècle : « Le Rioulet affecte Barèges tous les ans » (De Gorsse, 1900). Ces apports majeurs de versants ont fortement contribué à l'augmentation des débits solides du chenal du Bastan. Le terme d'engravement, même s'il est stigmatisé comme le « mal » des montagnes à l'époque, revient régulièrement dans les archives et les récits : « Avalanches et ravins dé-

charnent les flancs et obstruent le fond de l'apport de leurs décombres » (Rondou, 1900-1934). L'abondance de ces apports sédimentaires de versants ainsi que la disponibilité du matériel dans le chenal en fond de vallée démontrent, à cette époque, une connectivité sédimentaire particulièrement efficace.

Parallèlement, la demande touristique a explosé à Barèges et à Saint-Sauveur. La construction de nouveaux établissements thermaux, respectivement en 1857 et 1861 et de la route thermale des Pyrénées reliant les grandes stations thermales entre elles à partir de 1859 en témoigne. Le développement de cette activité a été un vecteur de fabrication de vulnérabilité matérielle et humaine en fond de vallée. De plus, la surexploitation des sols et le défrichement, symbole de progrès au XVIII^e siècle, sont devenus les symboles d'une société décadente et sont considérés comme une des causes de l'accroissement des risques naturels. À partir des années 1850, la sortie du petit âge glaciaire a marqué le début d'une période humide avec une forte récurrence d'évènements avalancheux, de crues et de laves torrentielles sur le Bastan (fig. 4). C'est également une période où les grands fleuves français ont connu des inondations majeures (crues de la Loire en 1846, 1856 et 1866, du Rhône en 1856, de l'Isère en 1859 et de la Garonne en 1875). Dès le XVIII^e siècle, les ingénieurs du roi avaient identifié la dégradation des versants comme étant la cause du déchaînement de la torrentialité sur certains versants montagnards, de l'engravement des lits fluvio-torrentiels et de l'augmentation de la fréquence des événements destructeurs. Mais le pouvoir central n'avait pas légiféré en conséquence. La venue de Napoléon III à Barèges en 1859 finit de le convaincre à l'idée du reboisement (Métaillé, 2006). Par l'intermédiaire d'une commission réunie à Saint-Sauveur le 31 août 1859, il y adhère définitivement (Favier, 2004).

2. Du milieu XIX^e siècle au début XX^e siècle : avènement de la restauration des terrains en montagne et évolution du contexte socio-économique

C'est ainsi qu'avec la mise en place des lois RTM de 1860, 1864 puis de 1882 (fig. 4), le paysage de cer-

tains versants barègeois a subi de grandes modifications jusqu'à la Première Guerre mondiale. Campagne (1902) et Lanusse (1988) ont décrit les aménagements et projets de corrections avalancheuses et torrentielles dans le bassin où la surface reboisée atteint 368 ha. L'objectif de ces opérations a d'abord été de poursuivre la gestion du risque avalancheux entrepris depuis le début du XVIII^e siècle. Le sommet des versants réputés générateurs ont été équipés de dispositifs paravalanches (pieux et râteliers sur le versant du Capet) et les ravines les plus actives ont été corrigées à l'aide de seuils, ou de banquettes (couloir du Theil, du Midaou, du Hount Nègre). La correction torrentielle a été menée uniquement dans le torrent du Rioulet où 30 barrages en pierre sèches ont été construits entre 1860 et 1897. Dans la gestion des risques naturels, une catastrophe est souvent l'élément déclencheur à la mise en place d'intervention. La crue de 1897, qui est survenue en période paroxysmique de l'érosion des versants, a permis de recentrer les interventions RTM sur la gestion du risque torrentiel, notamment dans les autres ravins torrentiels tels ceux de Pontis et de Saint-Laur (entre 1903 et 1915). Dans le but de fixer le profil en long, d'éviter le surcreusement et l'expansion des ravines puis de limiter les sapements de berges, des seuils en pierres sèches, des murs de soutènement, des drains et des banquettes ont été construits. Quelques curages en amont de seuils ont été effectués dans les années suivantes avant que ces ravines ne trouvent un nouvel équilibre.

À l'échelle des Pyrénées centrales, cette période de crise torrentielle est synchrone de l'amorce du grand déclin démographique dû à la crise socio-économique des sociétés agrosylvopastorales traditionnelles. Cependant, ce déclin démographique semble avoir été atténué dans la vallée du Bastan (fig. 4). Cela s'explique d'une part par la forte tradition agropastorale de la vallée puis par le développement de l'activité thermique sur la seconde moitié du XIX^e siècle. Le thermalisme, en plus d'avoir entraîné l'accroissement des enjeux (humains et économiques) vulnérables face au risque torrentiel, a participé au développement de la volonté de valoriser le paysage environnant par l'intermédiaire de promenades, d'excursions vers des lacs, des cascades ou points de vue aux alentours des stations thermales. Si certains guides, poètes ou autres écrivains ont décrit les paysages majestueux, l'aspect sauvage et décharné

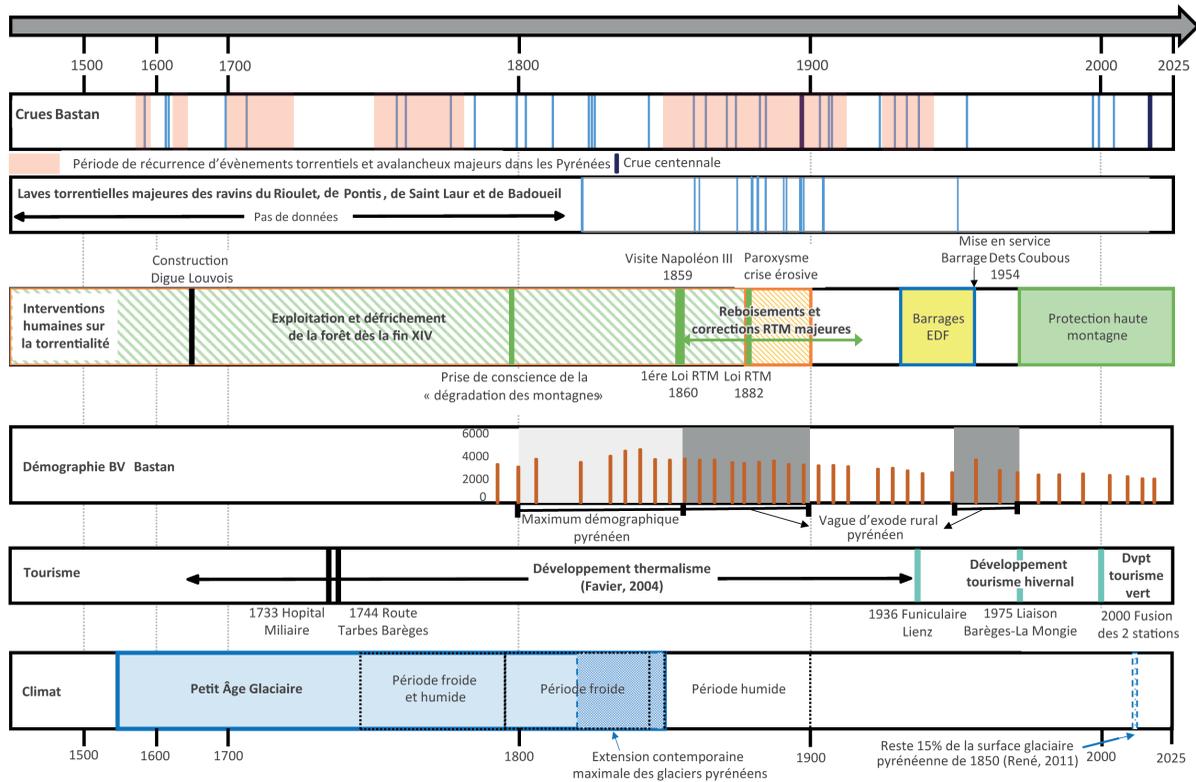


FIGURE 4 – Synthèse chronologique du contexte géohistorique du bassin versant du Bastan

Source : Blanpied, Antoine, Carozza et Valette

de paysages en partie déforestés a été une image de Barèges largement relayée par les guides touristiques : « Pays très frais et attachant. Le charme, seulement, est court. Nous approchons de Barèges, la végétation a cessé... Barèges est là. Aimez-vous les paysages désolés ? » (Lacour, 1897).

La période allant de 1860 à la Première Guerre mondiale est donc une période charnière au cours de laquelle se croisent des dynamiques opposées : au déclin de la société agrosylvopastorale traditionnelle et à l'exode rural (certes moins important que la dynamique régionale) répondent le développement du tourisme thermal sur fond de crise torrentielle.

3. xx^e siècle : diminution progressive de la dynamique torrentielle et évolution contemporaine des paysages

La première moitié du xx^e siècle a été une période moins humide où la fréquence des crues torrentielles a diminué progressivement. Quelques crues dans les années 1930 ont été identifiées mais leurs impacts morphogènes sur le Bastan sont restés très localisés. Sur les versants, si des avalanches importantes se sont écoulées dans la première moitié du xx^e siècle, l'intensité et la fréquence des laves torrentielles ont diminué fortement jusqu'à disparaître totalement suite aux aménagements RTM (fig. 4). À partir de l'évolution du taux de boisement et des comparaisons photographiques, il semblerait que la vallée ait subi une évolution lente des paysages sur la première partie du xx^e siècle. Contrairement à l'Ariège où l'augmentation du taux de boisement atteint 20 % depuis 1878 mais surtout de 25 % depuis les années 1960, les Hautes-Pyrénées enregistrent une augmentation plus modeste

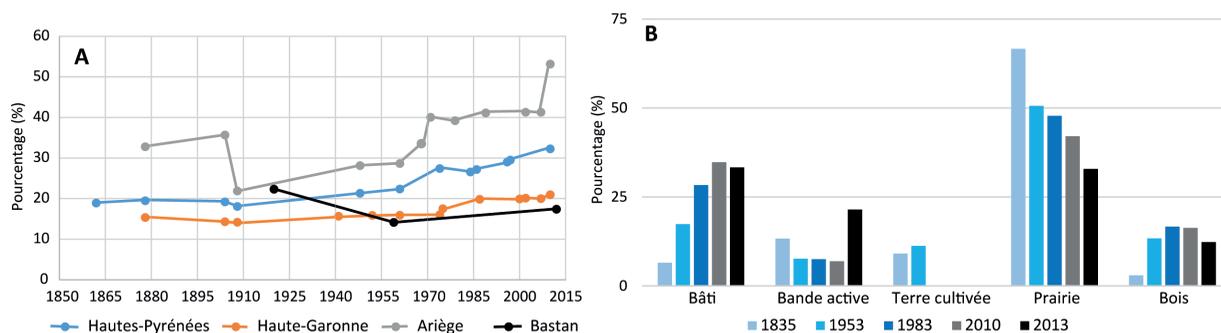


FIGURE 5 – A : évolution du taux de boisement des Hautes-Pyrénées, de la Haute-Garonne, de l'Ariège et du bassin versant du Bastan ; B : évolution des types d'occupation du sol sur le fond de vallée du bassin du Bastan

Source : données issues du cadastre napoléonien de 1835, des photographies aériennes de l'IGN de 1953 et 1983 et les orthophotographies de l'IGN de 2010 et 2013

de seulement 10 % depuis les années 1960 (6 % pour la Haute-Garonne depuis les années 1960). Sur cette même période, le taux de boisement du bassin versant du Bastan semble augmenter de manière encore plus faible, 3 % seulement. En comparant la surface forestière actuelle à celle de l'inventaire de Rondou en 1920, il semble qu'elle fut plus étendue de 8 % en 1920. Quoiqu'il en soit, cette diminution entre 1920 et 2012 est à nuancer, et on s'attachera davantage à la faible évolution entre 1960 et 2012 qui est à mettre en relation avec les impacts probables de la création de la station de ski à partir des années 1940, de l'urbanisation en fond de vallée (fig. 5) et du maintien d'une tradition agropastorale. L'appellation d'origine contrôlée puis l'appellation d'origine protégée « Mouton de Barèges-Gavarnie », décernées respectivement en 2003 et 2008, attestent de l'ancrage de cette tradition. À partir de couplage photographique et Henry (2012), il est observé une reconquête des anciennes terres cultivées par l'herbe au xx^e siècle dans la vallée du Bastan. Dans le fond de vallée, la comparaison de l'occupation du sol entre le cadastre napoléonien et les photographies aériennes et orthophotographies de 1953, 1983, 2010 et 2013 met en évidence l'augmentation importante des surfaces urbanisées (bâti, voies de communication, surface asphaltée...) au détriment des prairies et des terres cultivées (fig. 5). En effet, les terres cultivées disparaissent totalement entre 1953 et 1983 alors que le taux d'occupation des prairies a été divisé par deux passants de 66 % en 1835 à 33 % en 2013. Par ailleurs, la surface boisée de fond de vallée a faiblement augmenté (3 à 12 %) entre 1835 et 1953, notamment vers Viella puis s'est stabilisée jusqu'à aujourd'hui.

Alors que le massif pyrénéen s'est vidé de sa population au moment des vagues d'exode rural de la fin du xix^e siècle et du milieu du xx^e, le bassin du Bastan a été moins touché. L'attrait du tourisme hivernal, estival et thermal, couplé à la survie des activités agropastorales, a maintenu une certaine pression sur la ressource forestière. De plus, les altitudes élevées des têtes de bassin ont limité la reconquête forestière des hauts versants. En fond de vallée, l'urbanisation a progressé. Sur la partie basse des versants, le pâturage s'est maintenu en prenant la place des terres cultivées. La fermeture du paysage par reboisement spontané suite à une déprise agropastorale a bien eu lieu mais semble localisée aux zones les plus pentues et éloignées dans la vallée du Bastan (Henry, 2012). Les masses forestières présentent malgré tout une tendance générale à la densification. Par ailleurs, les vallées des Hautes-Pyrénées, contrairement par exemple aux vallées ariégeoises, n'ont jamais été très industrialisées ou proto-industrialisées (Peltier, 2005). Le prélèvement ligneux a été d'une manière générale beaucoup moins important et il n'y a pas eu ici d'effet suite à l'arrêt brutal de la pression de l'industrie métallurgique sur les massifs forestiers. À partir des années 1910 pour le Bastan, le système est entré dans une phase de résilience suite à la crise agropastorale et paysagère. Les zones sédimentaires sources se sont petit à petit déconnectées, principalement sous l'effet des corrections RTM. L'évolution de l'occupation du sol dans le bassin du Bastan au xx^e siècle, pourtant reconnu comme une période de fermeture des paysages montagnards dans le massif pyrénéen, semblent avoir été assez lentes comparativement aux dynamiques régionales.



FIGURE 6 – Couples de photographies anciennes et actuelles de l'évolution du chenal au cours du xx^e siècle

Source : photographies anciennes, DDT65 (fond Delcampe) ; photographie d'avril 2017, Blandpied, Antoine, Carozza et Valette

V – L'évolution hydrogéomorphologique des bandes actives et les facteurs de contrôle associés

1. La contraction des bandes actives

La première moitié du xx^e siècle est une période marquée par une moindre production d'archives et l'absence de photographies aériennes. Afin de pallier ce manque d'information, une campagne de rephotographie a été réalisée sur le Bastan (fig. 6) pour permettre d'exploiter les photographies obliques anciennes et les cartes postales. Ce travail permet d'appréhender qualitativement les tendances d'évolution de la géométrie du chenal au cours de la première moitié du xx^e siècle. Les photographies actuelles ont été prises en 2017, soit quelques années après la crue de 2013 en pleine période d'ajustements du chenal et de recolonisation végétale progressive de la bande active. L'analyse des photographies anciennes suppose de les replacer dans leur contexte et d'identifier la proximité et l'intensité

de la crue passée la plus proche. Sur le Bastan, on observe une géométrie similaire entre la première moitié du xx^e siècle et aujourd'hui dans les périodes de relaxation postcrue de 1897 et 2013. Une dynamique d'incision, difficilement quantifiable, semble s'être mise en place d'après les photographies au pont de Sers et à hauteur de Betpouey. Cela confirme les observations faites lors de la crue de 2013 avec une incision de plus de 2 m dans la traversée de Barèges, à Betpouey (GeoDiag, 2014) ainsi que sur la plaine de Tournaboup d'après nos propres observations. La comparaison entre la crue de 1897 et 2013 menée par la CACG (1996) nous permet d'estimer que l'élargissement de la bande active après ces deux épisodes a été du même ordre de grandeur. La crue de 1897 sera donc notre référence pour quantifier l'évolution de la bande active sur le Bastan.

L'analyse hydrogéomorphologique diachronique par comparaison du cadastre napoléonien, de photographies aériennes et d'orthophotographies révèle une contraction de la bande active de 15 m entre 1835 et 2010, entrecoupée de la crue de 1897 (fig. 7 et 8). À l'instar de la rétraction postcrue de 2013,

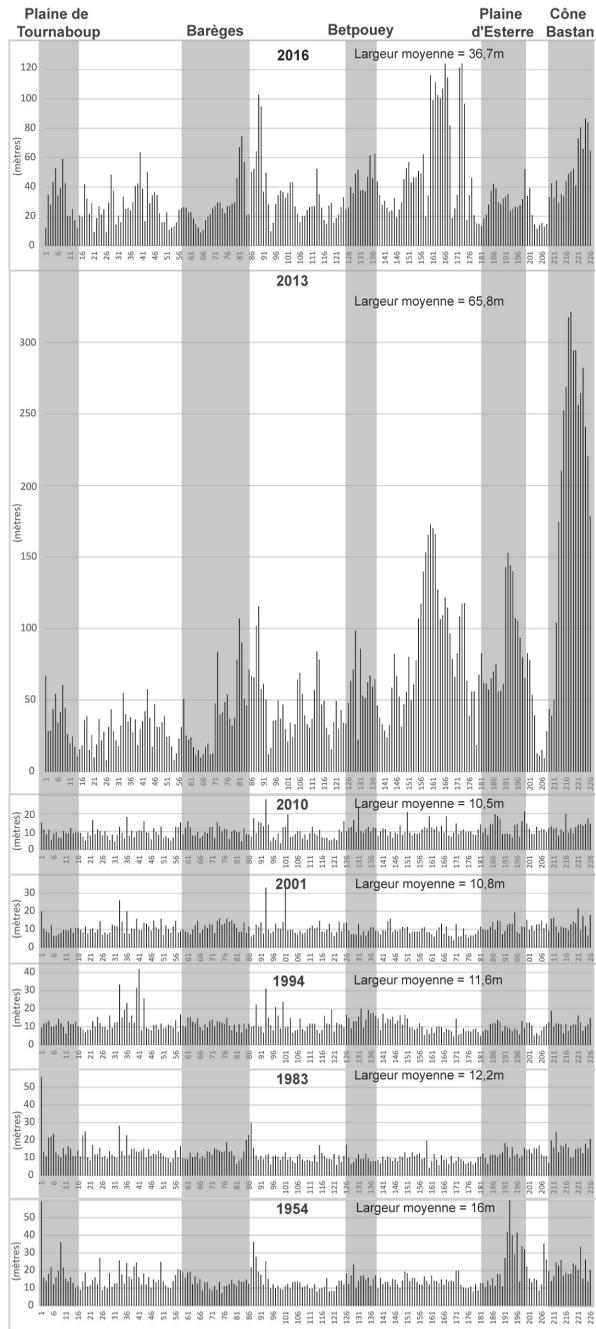


FIGURE 7 – Évolution de la largeur moyenne de la bande active du Bastan au cours du xx^e siècle

Source : Blanpied, Antoine, Carozza et Valette

de nombreux travaux avaient également été effectués après la crue de 1897, permettant de supposer qu'une rétraction brutale soit survenue sur la période 1897-1905. Globalement, la contraction de la bande active

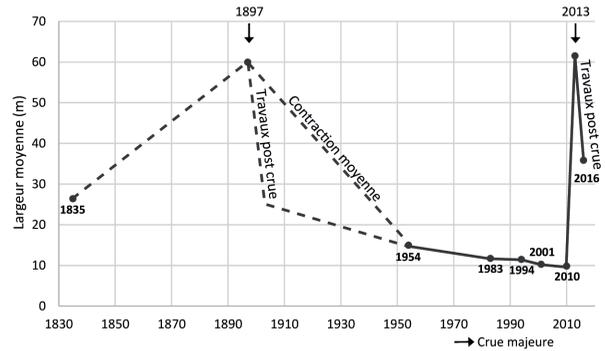


FIGURE 8 – Évolution de la largeur de la bande active le long des 226 transects

Source : Blanpied, Antoine, Carozza et Valette

sur la période 1915-1930 jusqu'à 2010 est progressive et continue. Entre 1954 et 2010, soit la période de calme hydrologique (Antoine, 2009), la largeur moyenne de la bande active sur ce tronçon est passée de 15 m en 1954 à 9,8 m en 2010. D'après l'analyse, les crues de 1994, 1996 et 2001, référencées dans le BD RTM, n'ont eu aucun impact sur la géométrie du chenal. Cette période de contraction est ponctuée par l'élargissement de la bande active lors de la crue BFHM de juin 2013 avec un élargissement de 524 %. Alors qu'en amont, l'élargissement résulte d'une érosion de berges et de la plaine alluviale, à l'aval, notamment sur le cône alluvial de Luz, les processus de dépôts dominent.

À partir de l'analyse des transects, il est possible d'identifier une contraction plus marquée dans la plaine d'Esterre, en aval de Barèges, ainsi que dans la plaine de Tournaboup (fig. 8). La diminution majeure et brutale de la largeur moyenne, de presque 30 m entre 2013 et 2016, s'explique avant tout par les nombreux travaux réalisés après la crue de 2013, comme la réfection de la route entre Luz-Saint-Sauveur et Barèges, dont la majeure partie se situe dans le lit majeur. De même, certaines parcelles érodées par le torrent ont été remblayées puis enherbées pour un retour rapide à l'usage agropastoral. La rétraction brutale de la bande active, suite à la crue de juin 2013, a dans un premier temps été uniquement d'origine anthropique, liée aux travaux de réaménagement du chenal et des berges. C'est seulement à partir de 2017-2018 que la végétation a commencé à reprendre ses droits dans la bande active après que les travaux postcrue aient été réalisés.

En 2016, date de la dernière orthophotographie de l'analyse, les travaux n'étaient pas encore totalement achevés, ce qui laisse penser que la contraction pourrait s'accroître encore pendant les prochaines années.

2. Les facteurs de contrôle

De nombreuses études, réalisées depuis les années 1990 dans différents massifs montagneux, ont montré que les bandes actives torrentielles ont subi des changements notables depuis la fin du XIX^e siècle. La variabilité climatique, l'épuisement des stocks sédimentaires hérités du petit âge glaciaire (Arnaud-Fassetta et Fort, 2004), la diminution des surfaces à connectivité sédimentaire efficace, la réduction de la récurrence des crues BFHM (Arnaud-Fassetta et Fort, 2004) et l'abaissement des pics de crue (López-Moreno, Begueira et García-Ruiz, 2006), sont identifiés comme les variables qui expliquent la dynamique de contraction des bandes actives. D'autres variables indirectes influencent également la dynamique hydrogéomorphologique comme le reboisement planifié ou spontané des versants suite à la déprise agropastorale et à la crise érosive du XIX^e siècle, les grands travaux hydrauliques et l'anthropisation accrue des fonds de vallée (Brousse, Arnaud-Fassetta et Cordier, 2011). Dans les Alpes du Nord et une partie des Alpes du Sud (affluents de la Moyenne Durance), les bandes actives ont subi une contraction régulière depuis la fin du PAG avec une accélération entre 1950 et 1970 (Bravard, 1989 ; Liébault et Taillefumier, 2000 ; Miramont, Jorda et Pichard, 1998). Liébault et Taillefumier soulignent l'importance du reboisement spontané puis des interventions RTM comme facteurs explicatifs de la réduction des débits solides et de l'activité hydrologique puis de la contraction et de l'incision dans le bassin de la Durance. Cependant, dans certaines vallées comme celles de l'Ubaye ou du Guil, la rétraction est observée mais de manière beaucoup plus irrégulière en raison de l'occurrence de crue BFHM et à la moindre influence des activités anthropiques sur le bassin (Arnaud-Fassetta et Fort, 2004 ; Flez et Garrite, 2006). Flez et Garrite considèrent le reboisement spontané comme la cause principale de la contraction, qui s'est accélérée dans l'Ubaye depuis les années 1950. Des travaux ont également été réalisés dans les Pyrénées centrales espagnoles qui identifient la déprise agropastorale, le reboisement spontané et la diminution de surface de zones actives au profit de la forêt comme cause directe de la réduction de l'activité hydrologique (baisse des

pics de crue sur la seconde moitié du XX^e siècle) [López-Moreno, Begueira et García-Ruiz, 2006] et de la contraction des bandes actives (Beguería, López-Moreno, Gómez-Villar *et al.*, 2006 ; García-Ruiz, White, Lasanta *et al.*, 1997). Malgré les contraintes topographiques propres aux vallées montagnardes, la bande active du torrent du Bastan s'est élargie localement sur plus de 100 m lors des crues majeures de 1897 et 2013, les seules ayant eu un impact réellement morphogène au cours du XX^e siècle. La bande active du Bastan ne fait pas exception. Elle a connu également une phase de contraction progressive et régulière entre 1954 et 2010 expliquée majoritairement par la variabilité hydroclimatique (Antoine, 2009) et la réduction de l'efficacité de la connectivité sédimentaire des versants.

Les reboisements et corrections RTM des ravines torrentielles et avalancheuses ont réduit la surface des zones de production sédimentaire. Le changement de dynamique des crues extrêmes du Bastan, passant de torrent à laves torrentielles en 1897 (CACG, 1996) à torrent à crues torrentielles en 2013, confirme cette tendance. L'efficacité de la connectivité sédimentaire des versants au réseau hydrographique s'est considérablement réduite (Blanpied, Carozza et Antoine, 2018) avec la diminution de la récurrence de laves torrentielles dans le bassin. Le chenal, décrit comme « un lit obstrué des décombres des avalanches et des ravins » (Rondou, 1900-1934) au début du XX^e siècle suite à son aggradation lors de la crue de 1897, a même eu tendance à s'inciser au cours de la crue de juin 2013. Le rôle de la recolonisation végétale spontanée des anciens terroirs de culture de versant ne doit pas être négligée dans la contraction des bandes actives surtout à partir des années 1960-1980.

Par ailleurs, le croisement entre les différentes sources historiques (photographies, monographies, inventaires) et les données actuelles montre une faible évolution de l'occupation du sol depuis les années 1920. Cette particularité du Bastan vis-à-vis de la dynamique à l'échelle du massif tient à plusieurs facteurs : le développement du tourisme thermal au moment de l'entrée dans l'ère industrielle productiviste puis du tourisme de sport d'hiver pendant la Seconde Guerre mondiale ; le moindre impact de la crise industrielle de la métallurgie dans les Hautes-Pyrénées et de l'exode rural ; la forte tradition agropastorale du pays Toy. Dans le bassin du Bastan, la colonisation spontanée de la végétation suite à une déprise agropastorale n'est donc

pas identifiée comme facteur de contrôle majeur de l'évolution hydrogéomorphologique de la bande active.

Conclusion

Le Bastan a forgé son image de torrent dévastateur au cours de la crise socio-environnementale du XVIII^e et XIX^e siècles, période ponctuée notamment par la crue du 3 juillet 1897. Les interventions de reboisement, de correction torrentielle, des travaux hydrauliques ainsi que la variabilité climatique ont depuis contrôlé et atténué la dynamique torrentielle du Bastan. Si sa bande active s'est contractée de manière régulière dans la deuxième partie du XX^e siècle, le système semble répondre aux crues majeures BFHM. La comparaison entre les crues centennales à travers des sources iconographiques et des récits a permis de reconstituer et de comparer dynamique passée et dynamique actuelle. La connectivité sédimentaire des versants, pourtant forte au XIX^e siècle, semble être aujourd'hui inefficace, mais l'extension de la crue en fond de vallée semble identique. La synthèse des divergences et des convergences entre les deux crues centennales ainsi que l'analyse de l'évolution hydrogéomorphologique des bandes actives mettent en exergue les réponses morphologiques du système torrentiel à l'évolution des paysages et plus globalement au changement de contexte socio-environnemental. L'apport du croisement entre hydrogéomorphologie et géohistoire ren-

seigne également sur la rythmicité du risque torrentiel dans un système en constante adaptation et permet d'envisager une gestion sur le long terme. La rupture (Despin, 1998) engendrée par le passage d'une société agrosylvopastorale et politiquement autonome à l'échelle de la vallée et de la société villageoise (Soullet, 1987) à une société moderne à dominante touristique ouverte aux échanges extérieurs est reflétée dans l'évolution de la dynamique du Bastan. Si le risque était connu et l'expérience transmise de génération en génération dans la société agrosylvopastorale jusqu'au XIX^e siècle, la mutation récente de la société marque un changement dans la perception du risque. Depuis les lois RTM de 1860, 1864 et 1882, le pouvoir central est devenu un acteur à part entière en termes de gestions des risques naturels. Puis la vallée s'est ouverte à l'économie de services dans la seconde moitié du XX^e siècle, alors qu'en parallèle survenait une période de calme hydrologique et de rétraction de la bande active : le fond de vallée est ainsi devenu un espace très concurrentiel. La pression foncière dans le fond de vallée et le renouvellement de la population ont conduit à la perte de la mémoire du risque et à un changement de perception du risque. Les grands travaux de développement, notamment touristique dans le cas du Bastan, se sont exonérés de la réalité des risques naturels (Bozonnet, 1992) et ont pour certains été impactés lors de la crue de 2013. La crue de 2013 a donc rappelé la vulnérabilité du fond de vallée du Bastan face aux crues majeures.

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme interdisciplinaire DYNHAPYR, financé par l'ancienne région Midi-Pyrénées (aujourd'hui Occitanie) et l'université Toulouse – Jean Jaurès. Elle fait partie d'un travail plus large mené dans le cadre d'une thèse de l'université Toulouse – Jean Jaurès sur la torrentialité dans les Pyrénées centrales.

Bibliographie

- ANTOINE J.-M., « Vulnérabilité et adaptation des sociétés montagnardes à la torrentialité lors du petit âge glaciaire dans les Pyrénées », *Sud-Ouest Européen*, n° 32, 2011,
- ANTOINE J.-M., « L'histoire du climat par ses extrêmes. Sources géohistoriques et inondations dans les Pyrénées depuis le petit âge glaciaire », *Archéologie du Midi médiéval*, t. XXVII, 2009, p. 143-155.

- ANTOINE J.-M., *La Catastrophe oubliée. Les avatars de l'inondation, du risque et de l'aménagement dans la vallée de l'Ariège (Pyrénées françaises, fin XVII^e-XX^e siècle)*, thèse de géographie, université Toulouse Le Mirail, 1992.
- ANTOINE J.-M., « Torrentialité en val d'Ariège : des catastrophes passées aux risques présents », *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*,

- t. 60, fasc. 4, 1989, p. 521-534.
- ARNAUD-FASSETA G., FORT M., « La part respective des facteurs hydroclimatiques et anthropiques dans l'évolution récente (1956-2000) de la bande active du Haut-Guil, Queyras, Alpes françaises du Sud », *Méditerranée*, n^{os} 1-2, 2004, p. 143-156.
- BEGUERÍA S., LÓPEZ-MORENO J. I., GÓMEZ-VILLAR A., RUBIO V., LANA-RENAULT N., GARCÍA-RUIZ J. M., « Fluvial Adjustments to Soil Erosion and Plant Cover Changes in the Central Spanish Pyrenees », *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, n^o 88, 2006, p. 177-186.
- BLANDPIED J., CAROZZA J.-M., ANTOINE J.-M., « La connectivité sédimentaire dans la haute chaîne pyrénéenne par l'analyse de la crue de juin 2013 : le rôle des formations superficielles », *Géomorphologie, Relief, Processus et Environnement*, vol. XXIV, 2018, p. 389-402.
- BOZONNET J.-P., « Des monts et des mythes, l'imaginaire social de la montagne », Presses universitaires de Grenoble, 1992.
- BRAVARD J.-P., « La métamorphose des rivières des Alpes françaises à la fin du Moyen Âge et à l'époque moderne », *Bulletin de la Société géographique de Liège*, n^o 25, 1989, p. 145-157.
- BRAVARD J.-P., PETIT F., *Les Cours d'eau, dynamique du système fluvial*, Armand Colin, coll. « U », Paris, 1997.
- BRAVARD J.-P., PROVANSAL M., ARNAUD-FASSETA G., CHABBERT S., GAYDOU P., DUFOUR S., RICHARD F., VALLETEAU S., MELUN G., PASSY P., « Un atlas du paléo-environnement de la plaine alluviale du Rhône de la frontière suisse à la mer », *Edytem*, n^o 6, 2008, p. 101-116.
- BRIFFAUD S., « Naissance d'un paysage », *La Montagne pyrénéenne à la croisée des regards. xviii-xix siècle, Tarbes-Toulouse*, Association Guillaume Mauran-CIMA-CNRS, Tarbes, 1994.
- BROUSSE G., ARNAUD-FASSETA G., CORDIER S., « Évolution hydrogéomorphologique de la bande active de l'Ubaye (Alpes françaises du Sud) de 1956 à 2004 : contribution à la gestion des crues », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n^o 3, 2011, p. 307-318.
- CAMPAGNE A., *La Vallée de Barèges et le reboisement : les torrents – le désastre de 1897 : les avalanches*, Ulan Press, Lexington, 1902.
- CARRÉ J., *Le Temps des paysages, évolutions paysagères et gestion durable des territoires en montagne pyrénéenne*, thèse, université Toulouse Le Mirail, 2010.
- COMPAGNIE D'AMÉNAGEMENT DES COTEAUX DE GASCOGNE (CACG), *Aménagement de l'espace rivière Bastan – Reconstitution de la crue du 3 juillet 1897*, disponible aux archives départementales des Hautes-Pyrénées, 1996.
- DE GORSSE M., *Restauration et Conservation des terrains en montagne. Les terrains et les paysages torrentiels (Pyrénées)*, ministère de l'Agriculture-administration des Eaux et Forêts-Exposition universelle, Paris, 1900.
- DELLON M., *Les Travaux de correction, torrent du Rieu-let (Hautes-Pyrénées)*, administration des Eaux et Forêts-Exposition universelle, Paris, 1900.
- DESPIN L., « Les mutations des territoires valléens pyrénéens : crises sociales et environnement », *Sud-Ouest Européen*, n^o 3, 1998, p. 67-78.
- DREAL MIDI-PYRÉNÉES, *Crues des Pyrénées des 18 et 19 juin 2013 - Retour d'expérience global*, 2013, occitanie.developpement-durable.gouv.fr.
- FABRE J.-A., *Essai sur la théorie des torrents et des rivières*, 1797.
- FABRE L.-A., « L'érosion pyrénéenne et les alluvions de la Garonne », *Annales de géographie*, t. XI, n^o 55, 1902, p. 24-42.
- FAVIER R., *Tourisme thermal et catastrophes naturelles en milieu de montagne, Barèges (xviii-xix siècles). Histoire des Alpes*, 2004, p. 149-166.
- FLEZ C., GARITTE G., « Contribution à la connaissance des facteurs responsables de la rétraction contemporaine des bandes actives torrentielles. Tentative de régionalisation à travers l'exemple de quatre bassins versants élémentaires (Ubaye et Haute-Durance) », ALLÉE P. et LESPEZ L. (dir.), *L'Érosion, entre société, climat et paléoenvironnement*, Presses universitaires Blaise-Pascal, coll. « Nature et Sociétés », Clermont-Ferrand, 2006.
- FRANCHOMME M., SERVAIN-COURANT S., SAJALOLI B., « Géohistoire des risques et des patrimoines naturels fluviaux », *Développement durable et Territoires*, vol. V, n^o 3, 2014.
- FORT M., ARNAUD-FASSETA G., COSSART E., BEAUDOUIN B., BOURBON C., DEBAIL B., EINHORN B., « Impacts et signification hydromorphologique de la crue du Guil de juin 2000 (Haut Queyras) », DELAHAYE D., LEVOY F. et MAQUAIRE O. (dir.), *Geomorphology: From Expert Opinion to Modelling. A Tribute to Professor Jean-Claude Flageollet*, CERG éditions, Strasbourg, 2002.
- GARCÍA-RUIZ J.-M., WHITE S.-M., LASANTA T., MARTÍ C., GONZÁLEZ C., ERREA M.-P., VALERO B., « Assessing the Effects of Land-Use Changes on Sediment Yield and Channel Dynamics in the Central Spanish Pyrenees », *Human Impact on Erosion and Sedimentation*, n^o 245, 1997, p. 151-158.
- GEODIAG, « Analyse post-crue des cours d'eau de la Garonne amont, de la Pique, des Nestes et de l'amont du gave de Pau », rapport diagnostic, 2014.
- HENRY D., « *Entre-tenir la montagne* » : *paysage et ethnogéographie du travail des éleveurs en montagne pyrénéenne. Hautes vallées du gave de Pau, de Campan et d'Oueil-Larbout*, thèse, université Toulouse Le Mirail, 2012.

- KIRBY E., WHIPPLE K. X., « Expression of Active Tectonics in Erosional Landscapes », *Journal of Structural Geology*, n° 44, 2012, p. 54-75.
- KONDOLF G. M., PEIGAY H., LANDON N., « Channel Response to Increased and Decreased Bedload Supply from Land Use Change: Contrast between Two Catchments », *Geomorphology*, n° 45, 2002, p. 35-51.
- LACOUR D., *Les Pyrénées et leurs Légendes*, Société française d'imprimerie et de librairie, Paris, 1897.
- LANUSSE M., « Risques et aménagements à Barèges », *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, t. 59, fasc. 1, 1988, p. 58-71.
- LIEBAULT F., TAILLEFUMIER F., « L'évolution contemporaine de la bande active des principaux affluents de la Drôme, de l'Eygues et du Roubion (Préalpes du Sud, France) », *Géocarrefour*, n° 75, 2000, p. 327-336.
- LÓPEZ-MORENO J. I., BEGUERÍA S., GARCÍA-RUIZ J. M., « Trends in High Flows in the Central Spanish Pyrenees: Response to Climatic Factors or to Land-Use Change », *Hydrological Sciences Journal*, n° 51, 2006.
- MÉTAILLIÉ J.-P., « La "dégradation des montagnes" au XIX^e siècle dans les Pyrénées : surexploitation pastorale, crise catastrophique, mythe ou crise perpétuelle ? », *Temps et Espaces des crises de l'environnement : sociétés et ressources renouvelables*, Quæ, Versailles, 2006.
- MÉTAILLIÉ J.-P., « Du risque visible au risque invisible. Les mutations du paysage de la catastrophe en vallée de Barèges », CIMA, Toulouse, 1993a, p. 36-140.
- MÉTAILLIÉ J.-P., « De la géographie des forestiers à la géographie contre les forestiers. La diffusion et l'extinction du concept de dégradation des montagnes à la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e », *Autour de Vidal de la Blache, la formation de l'école française de géographie*, CNRS, Paris, 1993b.
- MÉTAILLIÉ J.-P., « Photographie et histoire du paysage : un exemple dans les Pyrénées luchonnaises », *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, n° 57, 1986, p. 179-208.
- MIRAMONT C., JORDA M., PICHARD G., « Évolution historique de la morphogenèse et de la dynamique fluviale d'une rivière méditerranéenne : l'exemple de la moyenne Durance (France du sud-est) », *Géographie physique et Quaternaire*, n° 52, 1998, p. 381-392.
- OSTERKAMP W. P., HEDMAN E. R., « Perennial Streamflow Characteristics Related to Channel Geometry and Sediment in Missouri River Basin », *United States Geological Survey Professional Paper*, n° 1242, 1982.
- PARDE M., « Le régime de la Garonne », *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, t. VI, fasc. 2-3, 1935, p. 105-262.
- PELTIER A., *La Gestion des risques naturels dans les montagnes d'Europe occidentale. Étude comparative du Valais (Suisse), de la vallée d'Aoste (Italie) et des Hautes-Pyrénées (France)*, thèse en géographie, université Toulouse Le Mirail, 2005.
- RENÉ P., « Régression des glaciers pyrénéens et transformation du paysage depuis le petit âge glaciaire », *Sud-Ouest Européen*, n° 32, 2011, p. 5-19.
- RONDOU J.-P., *Monographie de la vallée de Barèges*, archives départementales des Hautes-Pyrénées, Tarbes, 1900-1934.
- RUNDLE A., « Braid Morphology and the Formation of Multiple Channels; The Rakaia, New Zealand », *Zeitschrift für Geomorphologie*, n° 55, 1985, p. 15-37.
- SOULET J.-Fr., *Les Pyrénées au XIX^e siècle*, vol. I et II, Eché, Toulouse, 1987.
- STURMA A., ANTOINE J.-M., BECERRA S., PELTIER A., « La crue de juin 2013 dans les Pyrénées garonnaises : de la crise hydrologique au territoire en crise », *Sud-Ouest Européen*, n° 44, 2017, p. 119-137.
- SURELL A., *Étude sur les torrents des Hautes-Alpes*, Carillan-Goeuvry et Galmont, Paris, 1841.
- VALETTE Ph., CAROZZA J.-M., « Mise en œuvre d'une démarche géohistorique pour la connaissance de l'évolution des paysages fluviaux : l'exemple de la moyenne vallée de la Garonne », *Géocarrefour*, vol. 85, 2010.
- VICTORIANO A., GARCÍA-SILVESTRE M., FURDADA M., BORDONAU J., « Long-Term Entrenchment and Consequences for Present Flood Hazard in the Garona River (val d'Aran, Central Pyrenees, Spain) », *Natural Hazards and Earth System Sciences*, n° 16, 2016, p. 2055-2070.
- VIGNEAU J.-P., « Le fonctionnement climatique des Pyrénées », dans LEVY A. (dir.), *Le Dictionnaire des Pyrénées*, Privat, Toulouse, 1999.