



TORRENT DE LA BEOUX

2018



ÉTUDE PROSPECTIVE DE LA BEOUX

Photo page de garde : Ravin de Trescherennes – Torrent de la Béoux – Octobre 2017

Maître d'ouvrage de l'étude : Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt / Syndicat Mixte Rivière Drôme / Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse

Intitulé de l'étude : Etude prospective de la Beoux

Equipe d'étude :

- Damien KUSS, Ingénieur spécialisé en hydraulique torrentielle, Agence RTM Alpes du Nord;
- Yannick ROBERT, Expert Géologue, Agence RTM Alpes du Nord
- Michel VIDAL, Technicien RTM, Agence ONF de la Drôme
- Norbert DEBROIZE, Ingénieur travaux RTM, Agence RTM Alpes du Nord

Vérification : Claude BARTHELON, directeur de l'agence RTM Alpes du Nord

Validation : Claude BARTHELON, directeur de l'agence RTM Alpes du Nord

Version : 4 – Décembre 2018

OFFICE NATIONAL DES FORETS

Agence RTM Alpes du Nord



9, quai Créqui – 38 000 Grenoble
Tél. : 04 76 23 41 61 - Fax : 04 76 22 31 50



Adél : rtm.grenoble@onf.fr - Web : www.onf.fr

RESUME

Présentation générale du bassin versant

Le bassin versant de la Béoux présente une superficie de 28,4 km² au niveau de la confluence avec la Drôme. Le torrent de la Béoux est un affluent rive gauche de la Drôme. Il prend sa source dans un vaste dérochoir (ravin de Trescherennes) situé sur le contrefort de la montagne de Boutarinard et conflue avec la Drôme à l'altitude de 533 m à l'aval de l'agglomération de Luc-en-Diois.

Après avoir entaillé les formations sédimentaires du versant occidental du bassin versant, il s'écoule en fond de vallée dans des formations alluviales. Le long de son parcours, le cours d'eau est alimenté par de très nombreux affluents.

- En premier lieu, il reçoit les eaux du Ravin de Mias, qui prend également sa source sur le versant côté Ouest du bassin sous la tête des Faux au niveau d'un dérochoir où l'érosion est très active.
- Au niveau de son arrivée dans le fond vallée, il conflue avec le ruisseau de Bourdiolle dont la superficie du bassin versant est de 13 km², soit 3,6 fois plus que celle du bassin de la Béoux en amont du confluent. Le bassin versant qui présente très peu de zones en érosion active, se caractérise donc par des apports liquides importants et une fourniture sédimentaire faible.
- En rive droite de la Béoux face au village de Poyols, plusieurs ravins entaillent les versants situés sous les montagnes de Sagnes et de Clamontard : Ravin de Gaudissart, Ravin de Sagnes, Ravin St-Marcel. D'un point de vue sédimentaire, ces cours d'eau sont déconnectés du torrent de la Béoux, avec des dépôts qui interviennent très majoritairement en pied de versant.

La Béoux est le principal affluent de la Drôme en aval immédiat du Saut de la Drôme où le transit sédimentaire est complètement bloqué. La dynamique sédimentaire de la Béoux influe donc directement celle de la Drôme jusqu'au confluent avec le Bez.

Zones sources

Les torrents de la Béoux (ravin de Trescherennes) et du Mias présentent une dynamique de torrents à clappes. Les zones sources de sédiments sont aujourd'hui quasi exclusivement les zones de dépôts de pente situés au pied des falaises des ravins de Trescherennes et du Mias. En dehors de ces deux zones, les apports sont anecdotiques. Des glissements sont toujours actifs (unités 3,4 et 5) mais contribuent peu à la dynamique sédimentaire.

L'étude de l'ombrage du Lidar et l'exploitation d'une carte des Eaux et Forêts du XIX^{ème} siècle révèle l'existence d'autres glissements aujourd'hui inactifs ainsi que des modifications considérables d'occupation du sol. La surface des zones en érosion a été divisée par 3, passant de 553 ha à 190 ha sur la zone cartographiée (qui ne couvre pas le bassin du ruisseau de Bourdiolle). La tendance est exactement inverse pour les formations boisées dont la superficie a été multipliée par 3,3 passant de 405 ha à 1345 ha.

Etude géomorphologique torrentielle

Drôme

Il est observé depuis le début des années 1950 une tendance très nette à l'incision de la Drôme, à la rétractation de sa bande active et à des changements radicaux de style fluvial avec passage de lit en tresses à lit unique s'écoulant sur le substratum marneux à l'aval de la confluence avec la Béoux.

D'après les études préexistantes sur ce cours d'eau, l'incision de la Drôme s'expliquerait principalement par la pratique d'extractions de graviers, chiffrée à 8,1 millions de m³ entre la confluence avec le Bez et le Rhône. A l'amont du confluent avec le Bez, il n'existe à notre connaissance pas de chiffrage des extractions ayant pu être réalisées. Toutefois, la présence de gravières à l'aval immédiat de la confluence avec la Béoux laisse penser que ces pratiques étaient également courantes sur ce linéaire de la Drôme.

Béoux

La Béoux connaît depuis le début des années 1950 une dynamique identique à celle de la Drôme avec rétractation de sa bande active et changement de style fluvial. L'érosion régressive depuis la Drôme est limitée grâce à un seuil implanté en amont immédiat de la confluence sous le pont de la RD93 et grâce à une série de passages à gué bétonnés fixant le fond du lit. On note également une érosion progressive, vraisemblablement liée à la construction d'ouvrages massifs de correction torrentielle dans les années 1950-1960 mais également aux évolutions très rapides d'occupation du sol.

Au niveau du style fluvial, le linéaire de la Béoux peut être découpé en 4 tronçons homogènes :

- Du pied du ravin de Trescherennes -> dernier barrage RTM. Ce tronçon est caractérisé par la prédominance en fond de lit de dépôts de type nappes de charriage. Quelques blocs émergent de ces structures de dépôts caractéristiques d'un transport par charriage. La pente longitudinale varie de 11 à 7 %. Il s'agit de conditions propices à l'arrêt de laves torrentielles.
- Dernier barrage RTM -> confluent au ruisseau de Bourdiolle. Les blocs sont nettement plus présents que sur le tronçon amont. Les nappes de charriage alternent avec des structures à gros blocs. Le lit montre des signes d'enfoncement par rapport à des terrasses récentes de l'ordre de 1 à 3 m. La prédominance de structure à gros blocs illustre le transport préférentiel de sédiments fins et une organisation locale vers un début de pavage.
- Confluent avec ruisseau de Bourdiolle -> ruisseau de Gaudissard. La taille des blocs diminue progressivement et les nappes de charriages disparaissent très vite. Il s'agit d'une zone de transition entre le lit à blocs observé à l'amont, et le lit plan sans bancs observé à l'aval.
- Ruisseau de Gaudissard -> confluence avec la Drôme. On trouve sur ce linéaire très important un style fluvial très homogène, avec lit plan sans bancs et une granulométrie en fond de lit formé par des cailloux et petits blocs. Les sédiments fins sont absents. Il est observé un début de pavage signe d'une tendance au déficit d'apports.

Une des particularités de la Béoux est la distance très importante séparant les zones sources des enjeux habités. La grande largeur du lit ainsi que le grand linéaire à pente réduite permet une régulation des apports solides.

Contrairement au lit de la Béoux, le lit du ravin de Mias est très étroit. L'essentiel du linéaire est fixé soit par des affleurements de substratums, soit par d'énormes blocs pavant le lit et provenant de chutes de blocs en provenance du versant rive gauche. La régulation des apports est donc quasiment absente et les sédiments transitent donc de manière beaucoup plus irrégulière et brutale que sur le torrent de la Béoux à l'amont de la confluence avec le Mias.

Le ruisseau de Bourdiolle n'a été que très peu parcouru. Le lit est majoritairement rocheux ou pavé avec de très gros blocs. Les zones sources sont quasi absentes. Il est donc considéré des apports de sédiments négligeables de la part de ce cours d'eau.

Travaux de protection

Foncier

- Superficie du BV de la Béoux : 28,4 km² ;
- Superficie du BV au sein de forêt publiques : 10,9 km² dont 9,3 km² forêt domaniale du Claps ;
- Superficie des séries RTM de Jonchères et de Poyols : 4,6 km² dont 4,4 km² au sein du bassin de la Béoux

Historique des travaux RTM

L'action RTM a débuté de manière intense dans le bassin versant de la Béoux directement après le décret de DUP du 25/03/1865 créant le périmètre RTM de la haute Drôme, avec mise en œuvre de travaux de génie biologique (reboisement) et de génie civil (barrages de correction torrentielle).

Les travaux de génie biologique ont été menés de manière très active, pendant la période dite d'âge d'or de la RTM. En 1914, 340 ha de terrains initialement en érosion furent reboisés. En parallèle 250 ha se sont boisés naturellement.

Les travaux de génie civil ont concerné l'ensemble des ravins situés dans l'emprise des terrains domaniaux. En 1882, le bilan fait état de la construction de 350 ouvrages de correction torrentielle sur les communes de Jonchères et de Poyols. Les principaux dispositifs concernent les ravins principaux : le ravin de Trescherennes et le ravin du Mias et le ravin de Saint-Marcel. A ce jour, les dispositifs entretenus sont uniquement situés sur ces trois ravins.

La correction du ravin du Mias a été réalisée dans la période d'âge d'or du RTM avec 8 barrages en pierres sèches. Sur le ravin de Trescherennes, 5 barrages ont été construits au début du XX^{ème} siècle. Ce dernier dispositif a été conforté après la seconde guerre mondiale avec construction de barrages massifs en pierres maçonnés ou en béton entre 1951 et 1965.

On dénombre aujourd'hui :

- 14 barrages sur le torrent de la Béoux (ravin de Trescherennes) répartis en 3 dispositifs ;
- 8 barrages sur le torrent de Mias ;
- Et 8 barrages sur le ravin de Saint-Marcel.

Diagnostic fonctionnel

Les barrages de la Béoux assurent une fonction de stabilisation de versants et de régulation du transport solide. L'effet de régulation est très présent grâce : au très long linéaire corrigé, à la largeur importante du lit, et à la modification de conditions d'écoulement (colluvial → alluvial). L'effet est également présent sur des événements intenses de type laves torrentielles. La pente plus faible et la largeur importante du lit génèrent des conditions propices à l'arrêt de bouffées de laves torrentielles. La fonction de stabilisation s'est révélée efficace grâce aux dispositions constructives des barrages. La largeur importante des ailes a permis la création d'un dépôt derrière les ouvrages en pied versant. Les versants se retrouvent par conséquent protégés des affouillements du torrent.

Les barrages du ravin du Mias ont également une fonction de stabilisation. L'aspect de régulation est ici anecdotique. La fonction de stabilisation est discutable du fait que des ouvrages sont détruits (B4), ou fondés sur le rocher (B5 et B6). Il a par ailleurs été observé que le lit s'écoule sur la plus grande partie du linéaire sur le substratum ou sur des gros blocs provenant d'éboulements en rive gauche. On notera en outre que la destruction de l'ouvrage B4 n'a pas occasionné de réactivations d'instabilités de versant.

Enfin, les barrages du ravin de Saint-Marcel ont une fonction classique de stabilisation de versants. Leur utilité est douteuse compte tenu du fait que ce ravin n'est pas connecté à la Béoux et que les apports solides ne sont pas susceptibles d'impacter des enjeux importants, mis à part la voirie forestière. On notera à ce titre que certains ouvrages permettent la traversée du ravin par des véhicules terrestres.

Effet des ouvrages sur la morphodynamique de la Béoux

Le volume de sédiments piégé par les ouvrages de correction torrentielle de la Béoux est de l'ordre de 60 000 m³. 50% du volume est stocké entre le grand barrage RTM (B6) et le barrage B7. Il est difficile de donner l'équivalent du volume stocké en années de transit sédimentaire. Sur la base d'un volume transporté tous les 10 ans de l'ordre de 10 000 m³ à 35 000 m³- incluant les événements sous forme de lave et charriage - ce volume pourrait représenter entre 17 et 60 ans de transit sédimentaire au droit des barrages.

Il est important de comprendre qu'une fois les ouvrages remplis de sédiments, ceux-ci sont transparent vis-à-vis du transport solide. Il est donc évident qu'ils ont généré un effet transitoire de piégeage de sédiments, lequel s'est cumulé à des transformations extrêmement rapides d'occupation du sol du bassin versant.

Ouvrages communaux

Un inventaire des ouvrages communaux de protection a été réalisé dans le cadre de cette étude (seuils, protections de berges, épis, digues). On dénombre :

- 7 seuils / passages à gué fixant le lit de la Béoux ;
- 4 épis de protection réalisés dans les années 1950 (même style de construction que les barrages RTM), probablement suite à la crue de 1950, et en remplacement d'ouvrages détruits ;
- 6 protections de berges, dont la plus importante est celle située en rive gauche de la Béoux le long de la RD 61 (au droit du village de Poyols, 600 ml).

La RD61 dans le secteur du village de Poyols présente une surélévation par rapports aux terrains côté terres, localement supérieure à 1 m, et peut donc à ce titre être considérée comme une digue.

Les ouvrages sont globalement en bon état. On notera cependant des dégâts importants à l'épi de protection le plus en aval. La végétation commence par ailleurs à pousser directement sur la maçonnerie, risquant de déchausser des pierres.

Hydrologie

Les débits de crue ont été calculés par exploitation statistique des données de débit sur le Bez et la Drôme, puis par méthode de transfert. Il a été retenu les valeurs suivantes (au niveau de la confluence avec la Drôme) :

- T = 10 ans : 21,4 m³/s ;
- T = 100 ans : 40,0 m³/s.

Quantification des volumes de sédiments mobilisables en crue

Susceptibilité de formations de laves

La plausibilité de formation de laves torrentielles dans les ravins de Trescherennes et du Mias ne fait aucun doute, du fait de la géologie du site d'étude et de la très forte pente des chenaux au niveau des ravins supérieurs. Une approche morphométrique montre en revanche que les laves torrentielles se propageront difficilement plus loin que le confluent avec le ruisseau de Bourdiolle.

Pour des événements courants (par approximation pour $T \leq 10$ ans), on considèrera que le transport solide par charriage est prédominant.

Volumes de laves mobilisables

Les volumes de laves mobilisables ont été évalués par différentes approches globales. Il ressort, en écartant les valeurs extrêmes, que les volumes susceptibles d'être mobilisés pour des crues de période de retour d'environ 100 ans seraient de l'ordre de 3 000 à 10 000 m³ pour les deux ravins. En cas de déclenchement de nouvelles instabilités ou dans le cas d'un éboulement majeur en tête de ravins, les volumes mobilisables seraient susceptibles d'atteindre 20 000 à 30 000 m³.

Volumes mobilisables en crue par charriage

Les volumes mobilisables en crue par charriage ont été évalués par application de formules de capacité de transport intégrées sur un hydrogramme de crue et par application de la méthode ECSTREM. Il a été retenu des volumes mobilisables dans bassin versant amont de 3 500 et 7 000 m³ respectivement pour des décennales et centennales. Au niveau du confluent avec la Drôme, les volumes mobilisables en crue sont inférieurs avec respectivement 1 600 et 2 600 m³.

Volumes mobilisables annuellement

Les volumes mobilisables annuellement ont été évalués par exploitation des résultats des mesures effectuées pendant la thèse de F. LIEBAULT (2003) et par application de formule de capacité de transport sur la courbe des débits classés.

Les mesures ont été effectuées entre 1997 et 2002 dans une période avec absence de crue très intense. Les volumes sont compris entre 225 et 1 100 m³ avec une moyenne annuelle de 565 m³.

L'approche calculatoire prend en compte une courbe de débits classés provenant de la Drôme (après application d'un coefficient de transfert) et intègre 100 années de mesures de débits journaliers, mais comporte par contre beaucoup plus d'incertitudes. Les volumes calculés sont de l'ordre de 2650 m³ avec un transport solide s'effectuant à plus de 95% sur moins de 9 jours /an.

Il a été retenu un volume moyen annuel charrié au droit de la confluence avec la Drôme de 800 m³ et légèrement supérieur à celui mesuré pendant la thèse de LIEBAULT.

Effet des boisements sur le transport solide

L'effet des boisements et de la diminution des superficies en érosion a été évalué en crue et pour des conditions d'écoulement moyennes annuelles.

En crue, les volumes ont été estimés à partir de la méthode globale ECSTREM développée par les services RTM et IRSTEA, et prenant en compte les superficies en érosion active connectées au réseau hydrographique ainsi que la pente du lit. Suivant les hypothèses effectuées sur les superficies en érosion au XIX^{ème} siècle les volumes d'apport en crue au XIX^{ème} siècle seraient 3 à 4 fois supérieurs aux volumes actuels. Du fait de l'absence de cartographie d'occupation du sol au XIX^{ème} sur le BV du ruisseau de Bourdiolle, il est fait ci l'hypothèse de volumes négligeables apportés par le ruisseau de Bourdiolle, au XIX^{ème} siècle comme aujourd'hui.

En condition moyenne annuelles, les volumes d'apport ont été évalués par la méthode de la courbe des débits classés. Sous hypothèse forte d'une invariance des débits (ce qui n'est a priori pas vrai compte tenu des modifications climatiques et d'occupation du sol) les volumes transportés au XIX^{ème} siècle seraient 1,7 à 2,6 fois les volumes mobilisés actuellement.

Effet global sur la morphodynamique de la Drôme

Le stockage de sédiments par la correction torrentielle de la Béoux est d'environ 60 000 m³, auquel il convient d'ajouter des volumes de curage de l'ordre 5 000 m³ entre 2005 et 2017. Une partie de ce volume a été stocké avant les années 1950 puisque les ouvrages existants on pour beaucoup repris des ouvrages plus anciens. Ces volumes sont partiellement compensés par une incision de la Béoux en aval des tronçons corrigés. Cette compensation n'a pu être évaluée dans le cadre de ce travail.

A cela s'ajoute un différentiel de transit annuel lié à l'effet des boisements :

- En retenant un volume moyen annuel transporté de l'ordre de l'ordre 800 m³/an (fourchette haute des mesures réalisées par LIEBAULT) ;
- En considérant un facteur 2,2 entre les volumes transportés avant boisement et aujourd'hui ;
- En considérant que le boisement est totalement acquis depuis 1970 et que l'effet est progressif entre le début du XX^{ème} siècle et aujourd'hui ;
- Le déficit de sédiments lié au boisement serait de l'ordre de 80 000 m³.

A la vue de cette analyse, et sous réserve que l'ensemble des hypothèses effectuées soient valides, il est possible que les changements d'occupation du sol sur le bassin de la Béoux combinés à la correction torrentielle RTM aient eu un effet prépondérant sur la dynamique de la Drôme. Cette analyse mériterait d'être confortée et confirmée par des bilans sédimentaires plus fins ainsi que par des recherches quant aux pratiques du curage sur le tronçon de la Drôme allant du confluent de la Béoux jusqu'au Bez.

Etude des aléas torrentiels

Les aléas torrentiels ont été étudiés par recherche d'information sur des crues historiques ainsi que par étude des conditions d'écoulement pour des événements de type laves torrentielles ou charriage.

Le seul événement historique recensé date de 1950. Il s'agit d'une crue faisant suite à un violent orage et lors de laquelle les écoulements divaguèrent en amont du village de Poyols, détruisant digues et épis de protection, puis finirent par atteindre le village de Poyols.

L'étude de la propagation de laves torrentielles montre que la plupart des coulées s'arrêtent entre la confluence avec le ruisseau de Bourdiolle et la confluence avec le ruisseau de Gaudissard. Des débordements sont susceptibles d'intervenir mais sans atteindre la voirie départementale.

L'étude des conditions d'écoulement pour des crues de type charriage a été réalisée avec la méthode dite de l'enveloppe des niveaux qui consiste à cumuler une hauteur de respiration de fond de lit à une hauteur d'écoulement. Les respirations ont été fixées de manière arbitraire de manière à ramener le fond du lit actuel au niveau des terrasses alluviales récentes. La rehausse ainsi prise en compte est de l'ordre de 0,6 à 1,5 m suivant les profils e travers, ce qui semble un ordre de grandeur tout à fait réaliste pour une crue intense.

Les points critiques vis-à-vis du débordement sont situés dans le secteur où les épis sont réalisés (probablement en remplacement des anciens, détruits). Dans ce secteur la route est située à la même cote altimétrique que d'anciennes divagations de la Béoux.

Au terme de cette partie, il a été retenu 3 scénarios de défaillance possibles, tous de criticité moyenne :

- SD1 : lave torrentielle au niveau du ravin de Mias – Dépôt massif au confluent avec la Béoux. Sortie du lit de la Béoux en amont du B1 et /ou B6 pouvant atteindre la RD 61 ;
- SD2 : Rupture de l'endiguement sommaire au niveau du parc à bois ONF et/ou débordement en amont du pont de Gaudissard (RG et RD) pouvant impacter le pont de Gaudissard, la voirie forestière et dans des circonstances défavorables la RD 61 ;
- SD3 : débordement sur la RD61 dans la zone d'épi suite à destruction de l'un des ouvrages par affouillement. Atteinte possible du village de Poyols par des écoulements avec très faible charge solide empruntant la route.

L'atteinte du village de Poyols semble ne pouvoir être considérée qu'en cas de destruction des épis de protection. Leur entretien est donc primordial.

On notera en outre un autre scénario pouvant potentiellement impacter le village de Poyols, mais non retenu dans la présente analyse car nécessitant la concomitance de plusieurs facteurs exceptionnels. Il s'agit d'un scénario avec crue exceptionnelle au niveau du ravin rive droite faisant face au village de Poyols (par exemple suite à un éboulement), dépôt massif dans la zone de confluence qui se trouve rétrécie par le nouveau tracé de la RD 61, et crue de la Béoux. Ce scénario ne mérite pour l'instant pas d'être considéré en l'absence d'apports exceptionnels en tête de ravin, et du fait que les divagations du ravin rive droite interviennent à ce jour très haut sur le versant.

SOMMAIRE

I	INTRODUCTION.....	13
I.1	SITUATION	13
I.2	PERIMETRE DE L'ETUDE.....	13
I.3	CONTEXTE ET OBJECTIFS	14
I.4	METHODOLOGIE	15
I.5	ETUDES EXISTANTES	16
I.6	LEVES TOPOGRAPHIQUES.....	16
II	PRESENTATION GENERALE DU BASSIN VERSANT.....	17
II.1	DESCRIPTION D'ENSEMBLE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE	17
II.2	GEOLOGIE.....	20
II.2.1	Généralités.....	20
II.2.2	Géologie du bassin de la Béoux	21
II.2.3	Géomorphologie du bassin versant.....	23
II.2.4	Evolutions remarquables des versants depuis 15000 ans	24
II.3	ENJEUX	27
II.3.1	Enjeux au titre des risques naturels.....	27
II.3.2	Enjeux environnementaux et paysagers.....	27
II.4	CARTOGRAPHIES DES ALEAS EXISTANTES	28
III	ETUDE DES ZONES SOURCES DE SEDIMENTS	29
III.1	LOCALISATION DES PRINCIPALES ZONES SOURCES DE SEDIMENTS	29
III.2	POTENTIEL DE RECHARGE SEDIMENTAIRE PAR INCISION	32
III.2.1	Torrent de la Béoux à l'amont du confluent avec le ruisseau de Bourdiolle	32
III.2.2	Ravin de Mias.....	32
III.2.3	Béoux à l'aval de la confluence avec le ruisseau de Bourdiolle	32
III.3	EVOLUTION TEMPORELLE DES ZONES EN EROSION	32
III.4	SYNTHESE	35
IV	ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE TORRENTIELLE	37
IV.1	ETUDE DES PROFILS EN LONG ET OBSERVATIONS DE TERRAIN SUR LES PRINCIPALES BRANCHES DU SECTEUR D'ETUDE	37
IV.1.1	Profil en long de la Drôme	37
IV.1.2	Torrent de la Béoux	39
IV.1.3	Ravin de Mias.....	43
IV.1.4	Ravin de Saint-Marcel.....	46
IV.2	AUTRES OBSERVATIONS	48
IV.2.1	Contraction notable du lit actif et incision du lit	48
IV.2.2	Interactions réseau de desserte forestière / transit sédimentaire.....	51
IV.3	MORPHOLOGIE FLUVIALE	52
IV.4	MORPHODYNAMIQUE	59
IV.4.1	La Béoux au XIX ^{ème} siècle	59
IV.4.2	La Béoux de 1948 à nos jours	59
IV.5	SYNTHESE	64
V	PRESENTATION DES OUVRAGES ET TRAVAUX DE PROTECTION	65
V.1	TRAVAUX DOMANIAUX	65
V.1.1	Situation des terrains domaniaux.....	65
V.1.2	Historique national de la politique RTM.....	66
V.1.3	Historique de la création des périmètres RTM.....	66
V.1.4	Objectifs de protection visés lors de la création des séries domaniales.....	67

V.1.5	Objectifs de protection réactualisés	67
V.1.6	Historique des travaux effectués dans les séries domaniales.....	67
V.1.7	Description des dispositifs de protection domaniaux.....	73
V.1.8	Estimation du volume de sédiments stockés par les barrages de correction torrentielle.....	79
V.1.9	Diagnostic fonctionnel qualitatif des dispositifs de correction torrentielle.....	80
V.2	AUTRES OUVRAGES DE PROTECTION.....	84
V.2.1	Seuils radiers et gué.....	85
V.2.2	Epis de protection.....	85
V.2.3	Protections de berges.....	86
VI	ETUDE HYDROLOGIQUE.....	87
VI.1	ANALYSE DES PRECIPITATIONS EXTREMES	87
VI.1.1	Structure régionale des précipitations.....	87
VI.1.2	Données de quantiles de pluie d'après cartographies de Djerboua.....	87
VI.1.3	Traitement statistique des précipitations observées à Luc en Diois.....	89
VI.1.4	Données de pluie retenues.....	90
VI.2	DEBITS DE CRUE	91
VI.2.1	Calcul des débits de crue à partir d'information locale	91
VI.2.2	Débits de crue obtenus avec des méthodes globales ou conceptuelles.....	95
VI.2.3	Débits de crue retenus.....	96
VI.2.4	Hydrogrammes de crue	96
VII	QUANTIFICATION DES VOLUMES DE SEDIMENTS MOBILISABLES EN CRUE	99
VII.1	MODE DE TRANSPORT SOLIDE PREFERENTIEL.....	99
VII.2	GRANULOMETRIE DES SEDIMENTS TRANSPORTES (CHARRIAGE)	100
VII.3	VOLUMES MOBILISABLES PAR LAVES TORRENTIELLES ET DISTANCES DE PARCOURS PROBABLES	101
VII.3.1	Volumes de laves torrentielles	101
VII.4	VOLUMES MOBILISABLES PAR CHARRIAGE EN CRUE DECENNALE ET CENTENNALE	104
VII.4.1	Méthode hydraulique	104
VII.4.2	Methode ECSTREM	105
VII.4.3	Synthèse	106
VII.5	VOLUMES MOBILISABLES ANNUELLEMENT	107
VII.5.1	Synthèse résultats thèse F. LIEBAULT	107
VII.5.2	Approche calculatoire.....	107
VII.5.3	Volumes retenus en moyenne annuelle.....	108
VII.6	EVOLUTION DES VOLUMES MOBILISES ENTRE LE XIX ^{EME} SIECLE ET NOS JOURS	109
VII.6.1	Pour des crues de périodes de retour 10 et 100 ans	109
VII.6.2	En conditions d'écoulement moyennes annuelles	109
VII.6.3	Effet global sur la morphodynamique de la Drôme.....	111
VIII	ETUDE DES ALEAS TORRENTIELS.....	112
VIII.1	HISTORIQUE DES CRUES	112
VIII.2	ETUDE DE PROPAGATION DE LAVES TORRENTIELLES	112
VIII.2.1	Exploitation du profil en long.....	112
VIII.2.2	Méthode simplifiée de Rickenmann.....	113
VIII.2.3	Modélisation hydraulique 2D d'étalement de laves torrentielles	114
VIII.3	ETUDE DES CONDITIONS D'ÉCOULEMENT EN FOND DE VALLEE	116
VIII.4	SYNTHESE	126
IX	CONCLUSION	128
IX.1	DIAGNOSTIC.....	128
IX.2	UNE REVERSIBILITE EST-ELLE POSSIBLE ET SOUHAITABLE ?.....	129
IX.3	LISTE DES ACTIONS PRISES EN COMPTE.....	131

I INTRODUCTION

I.1 Situation

L'Etude porte sur le torrent de la Béoux situé dans le département de la Drôme (26) au cœur des monts du Diois et au niveau des communes de Poyols, Jonchères et Luc-en-Diois.



Figure 1 : Plan de situation (source : Géoportail)

I.2 Périmètre de l'étude

L'étude couvre l'ensemble bassin versant du torrent de la Béoux. Seront plus particulièrement étudiés, les cours d'eau prenant naissance dans les divisions domaniales RTM de Poyols et Jonchères, à savoir le torrent le Béoux, le ravin de Mias, ainsi que la série de ravins en rive droite de la Béoux face au village de Poyols.

I.3 Contexte et objectifs

Contexte

La Béoux est un affluent majeur de la Drôme au regard de l'importance de sa charge sédimentaire mais aussi au fait de sa position particulière au sein du réseau hydrographique. Elle conflue en effet avec la Drôme à l'aval de la ville de Luc en Diois mais surtout du Saut de la Drôme. Ce site correspond à une rupture de pente brutale du profil en long de la Drôme. Il est le vestige d'un écroulement survenu en 1442 (écroulement du Claps), lequel a barré la vallée de la Drôme 2 km en amont de Luc en diois au pied du Pic de Luc. Il en a résulté un piégéage des alluvions de la Drôme en amont des barrages formés par l'éboulement avec un remplissage du fond de vallée par les dépôts alluviaux. Le transit sédimentaire est toujours complètement bloqué est nécessite un mode de gestion particulier dans la plaine en amont du saut de la Drôme.

La rivière Drôme en aval du confluent avec la Béoux présentait jusque très récemment un style fluvial alluvionnaire, avec un lit en tresses représentatif du transit d'une charge solide de fond extrêmement importante (et principalement issue des apports de la Béoux). Il n'en est plus rien aujourd'hui, puisque son lit s'est enfoncé de - 2 à - 5 m sur une grande partie de son linéaire, et qu'il s'écoule sur le substratum marneux en aval immédiat de la confluence avec la Béoux, et ce malgré la présence de plusieurs seuils.

De très nombreuses études se sont intéressées aux facteurs responsables de l'incision du lit. La cause principale de l'enfoncement du lit est selon toute vraisemblance les extractions de sédiments réalisées directement dans le lit de la Drôme entre la fin de la seconde guerre mondiale et le début des années 1990.

En se basant sur les résultats de l'étude EGIS-ETRM (2008), le déficit sédimentaire sur la période 1928¹-2006 serait compris entre 5,1 et 7,6 millions de m³ de matériaux. Selon les travaux de Landon (1996), le déficit s'élèverait à environ 8,1 millions de m³ (secteur allant du Bez au confluent avec le Rhône). Ce volume correspond à 550 ans d'apport solides ! En 1975 les volumes extraits ont été de l'ordre de 250 000 m³ pour 15 zones d'extraction (CERIC, 1975 in LANDON, 1996) alors que le volume annuel moyen de matériaux transitant jusqu'au Rhône est de l'ordre de 35 à 40 000 m³.

Les autres causes incriminées sont les travaux de stabilisation des versants avec :

- le reboisement des bassins versants, volontaires (RTM) ou naturels (déprise agricole) entraînant une diminution spectaculaire des superficies en érosion active connectées au réseau hydrographique ;
- les ouvrages de correction torrentielle, qui sont accusés de piéger le flux sédimentaire.

Or, il se trouve que l'action de reboisement et de correction torrentielle a été particulièrement importante dans le bassin de la Béoux. Bien qu'il ne fasse aucun doute que extractions des sédiments soient la cause principale de l'incision de la Drôme soit, il subsiste toujours une incertitude sur l'influence véritable des stabilisations de versant sur la diminution des apports.

L'état des lieux de l'étude PAPI Drôme (2008) montre que depuis l'arrêt des extractions, au début des années 1990, la Drôme tend à retrouver un équilibre sédimentaire et un profil d'équilibre, à des niveaux, bien sûr, inférieurs à ceux du début du 20^e siècle. En effet, le profil en long de la Drôme, en aval du Claps, ne présente pas de zones de grande discontinuité du transport solide. Un retour naturel à un profil en long d'équilibre, avec homogénéisation des pentes, devrait se produire. Cette évolution devrait conduire à un engravement – très partiel – des zones déficitaires et plutôt à une érosion des zones aujourd'hui relativement engravées.

Le retour à un profil similaire à 1928 est peu probable avant quelques siècles, et peut-être peu souhaitable au vu de l'augmentation du risque d'inondation par débordement qui serait engendré. Il apparaît donc inévitable d'accepter le niveau actuel du lit de la Drôme et de mettre en œuvre des mesures de suivi et de gestion adaptées, permettant de favoriser ce retour à l'équilibre et d'anticiper les évolutions sur le moyen et le long terme.

Conformément à cette orientation de gestion, des actions de recherche réalisées par IRSTEA et le CNRS en partenariat avec l'ONF ont visé à étudier la faisabilité de l'augmentation du transit sédimentaire par déboisement de terrasses alluviales (avec un site expérimental sur la Béoux) et de ravines.

¹ Date du profil en long des grandes forces hydrauliques

D'autres actions opérationnelles ont été inscrites dans le plan de gestion et de restauration de la Drôme issu de l'étude géomorphologique réalisée par ARTELIA (2015) :

- Fiche DROME 15 : Retalutage d'affluents stratégiques de la Drôme et du Bez entre Luc et Die (et notamment la Béoux) ;
- Fiche BEOUS 2 : gestion des seuils RTM de la Béoux et analyse prospective de leur devenir en tête de bassin.

Objectifs

La présente étude fait suite à une commande conjointe du Ministère de l'Agriculture et du Syndicat Mixte Rivière Drôme.

Pour le MAAF, elle s'insère dans une démarche d'études de bassin de risque (EBR), dont l'objectif général est de faire état de l'adéquation entre les dispositifs RTM en place et les enjeux à protéger. De manière plus spécifique, les objectifs sont les suivants :

- synthétiser toutes les informations existantes sur le bassin versant étudié ;
- compléter, si besoin, les éléments manquants par une analyse hydrologique et hydraulique ;
- apprécier l'utilité et l'efficacité des aménagements et dispositifs (génie civil et génie biologique) mis en œuvre depuis la création des séries domaniales (niveau de maîtrise de l'aléa) ;
- vérifier l'adéquation des dispositifs existants au regard du type et de l'intensité des aléas et de l'évolution des enjeux ;
- proposer des actions à entreprendre pour remédier aux insuffisances constatées ;
- définir si besoin une liste d'examen ou d'études complémentaires à effectuer en interne ou externe au service (contrôle de stabilité, vérification géotechnique, ...).

Au vu de l'intérêt du Syndicat Mixte de la Rivière Drôme à élargir le champ de cette étude à la problématique d'amélioration de la capacité de transport de la Béoux sur l'ensemble de son bassin versant, un complément d'étude a été proposé par le service RTM au SMRD. Pour le SMRD, la présente vise, après une analyse du fonctionnement hydro-morphologique de la Béoux en regard des enjeux et des risques de crues torrentielles, à étudier la faisabilité de différentes actions visant à augmenter la recharge sédimentaire dans le cours d'eau.

I.4 Méthodologie

L'étude sera structurée de la manière suivante :

1. **Présentation générale du bassin versant** avec identification du réseau hydrographique, description du contexte géologique, identification des enjeux, présentation des cartographies des aléas existantes.
2. **Etude qualitative des phénomènes naturels en lien avec la dynamique sédimentaire du BV** comprenant une cartographie géomorphologique ainsi qu'une analyse sur les zones sources de sédiments et leur évolution temporelle.
3. **Etude géomorphologique du torrent de la Béoux** avec analyse des principaux profils en long, synthèse des observations de terrain et de celles issues de l'exploitation du LiDAR, Etude de la morphologie fluviale et analyse morphodynamique.
4. **Présentation des travaux de protection** entrepris par l'Etat et les collectivités avec synthèse de l'état des ouvrages existants et diagnostic fonctionnel.
5. **Etude quantitative des phénomènes torrentiels visant à déterminer les caractéristiques des phénomènes de référence (type d'écoulement, débits, volumes de sédiments mobilisables)**
6. **Etude des aléas torrentiels** avec recensement des crues historiques, étude des conditions d'écoulement analyse de risques type AMDEC visant à identifier les défaillances potentielles pour le scénario de crue de référence.
7. **Proposition de stratégies de gestion visant à réduire les risques et à augmenter la fourniture sédimentaire au niveau du confluent avec la Drôme.**

I.5 Etudes existantes

La liste des études existantes est présentée ci-après :

Au sein du BV de la Béoux

Cartographies des aléas existantes

- Pas de cartographies d'aléas ou de risques naturels sur la commune de Poyols

Etudes glissements de terrain

- IMSRN, Torrent de la Béoux, projet de correction torrentielle, étude géologique préliminaire, août 1995

Etudes générales

- 28^{ème} Conservation, Inspection des Eaux et Forêts de Die, Périmètre de la Haute-Drôme (loi du 01/08/190), Correction du torrent de la Béoux, Etat et prévision 1965
- Office National des Forêts, Cent ans de RTM (Périmètre Béoux), Drome, 1965
- Office National des forêts, Série RTM de Jonchères, Calepin de gestion, 1954-1977
- Office National des forêts, Série RTM de Poyols, Calepin de gestion, 1954-1977

Travaux de recherche

- LIÉBAULT, Frédéric. Les rivières torrentielles des montagnes drômoises: évolution contemporaine et fonctionnement géomorphologique actuel (massifs du Diois et des Baronnies). 2003. Thèse de doctorat. Lyon 2.
- PIÉGAY, Hervé, LANDON, N., et LIÉBAULT, F. LIFE Eau et Forêt - Forests for Water. Synthèse des opérations de suivi des sites-pilotes de l'Ouvèze et de la Drôme. Décembre 2006

Concernant le BV de la Drôme

Etudes ou travaux de recherche concernant la rivière Drôme et la Béoux

- LANDON, Norbert. L'évolution du profil en long des affluents du Rhône moyen: du constat aux principes de gestion/The evolution of the long profiles of the middle Rhone's tributaries: from assesment to management principles. *Revue de géographie de Lyon*, 1996, vol. 71, no 4, p. 363-376.
- ARTELIA, Etude géomorphologique du bassin versant de la Drôme, Rapport en 4 phases + note de synthèse, 2015
- ONF / CEMAGREF / CNRS – Forêt et recharge sédimentaire de rivières torrentielles, Possibilités d'actions sur la base des expérimentations Drôme et Ouvèze, 33 pages, janvier 2010

I.6 Levés topographiques

Le levé topographique utilisé pour les besoins de l'étude est un levé LiDAR effectué par SINTEGRA le 16/12/2013 pour le compte d'IRSTEA.

II PRESENTATION GENERALE DU BASSIN VERSANT

II.1 Description d'ensemble du réseau hydrographique

Bassin versant

Le bassin versant de la Béoux (ou Béous) couvre quasi intégralement les territoires communaux de Jonchères et de Poyols, l'exutoire étant quant à lui situé sur le territoire communal du Luc-en-Diois.

Il présente une superficie de 28,4 km² au niveau de la confluence avec la Drôme. Son point culminant est situé au sommet de la montagne de Boutarinard, sur la ligne de crête Ouest du bassin, au lieu-dit la Berche (1 570 m). Les contours occidentaux et orientaux du bassin sont bien marqués. A l'Ouest, il s'agit de la ligne de crête des montagnes de Boutarinard et d'Aucelon. A l'Est, la limite correspond à ligne de crête des montagnes de Clamontard et de Salles. Le fond du bassin versant, situé au Sud, relie quant à lui plusieurs cols : col de la Motte, col de Prémol, col de Reysass.

Réseau Hydrographique

Le torrent de la Béoux est un affluent rive gauche de la Drôme. Il prend sa source dans un vaste dérochoir (ravin de Trescherennes) situé sur le contrefort de la montagne de Boutarinard et conflue avec la Drôme à l'altitude de 533 m à l'aval de l'agglomération de Luc-en-Diois.

Après avoir entaillé les formations sédimentaires du versant occidental du bassin versant, il s'écoule en fond de vallée dans des formations alluviales. Le long de son parcours, le cours d'eau est alimenté par de très nombreux affluents :

- En premier lieu, il reçoit les eaux du Ravin de Mias, qui prend également sa source sur le versant côté Ouest du bassin sous la tête des Faux au niveau d'un dérochoir où l'érosion est très active.
- Au niveau de son arrivée dans le fond vallée, il conflue le ruisseau de Bourdiolle dont la superficie du bassin versant est de 13 km², soit 3,6 fois plus que celle du bassin de la Béoux en amont du confluent. Le bassin versant qui présente très peu de zones en érosion active, se caractérise donc par des apports liquides importants et une fourniture sédimentaire faible.
- En rive droite de la Béoux face au village de Poyols, plusieurs ravins entaillent les versants situés sous les montagnes de Sagnes et de Clamontard : Ravin de Gaudissart, Ravin de Sagnes, Ravin St-Marcel. D'un point de vue sédimentaire, ces cours d'eau sont déconnectés du torrent de la Béoux, avec des dépôts qui interviennent très majoritairement en pied de versant.
- Enfin, en rive gauche et en aval du village de Poyols, La Béoux conflue plusieurs ruisseaux, dont le ravin de Combe Faris. Les bassins versants de ces affluents sont bien végétalisés et présentent donc une fourniture sédimentaire réduite voire nulle.

Séries domaniales RTM

Les terrains domaniaux qui concernent la Béoux et ses affluents sont actuellement inclus dans la forêt domaniale du Claps. Cette forêt d'une surface globale proche de 3 000 ha, dépasse largement le périmètre de l'étude puisqu'elle est sise sur 7 communes du Diois. Au sein de cette forêt et du périmètre d'étude, deux séries domaniales sont concernées, toutes deux incluses dans le périmètre de restauration RTM de la Haute Drôme :

- Série domaniale RTM de Poyols : 269 ha ;
- Division domaniale RTM de Jonchères : 198 ha.

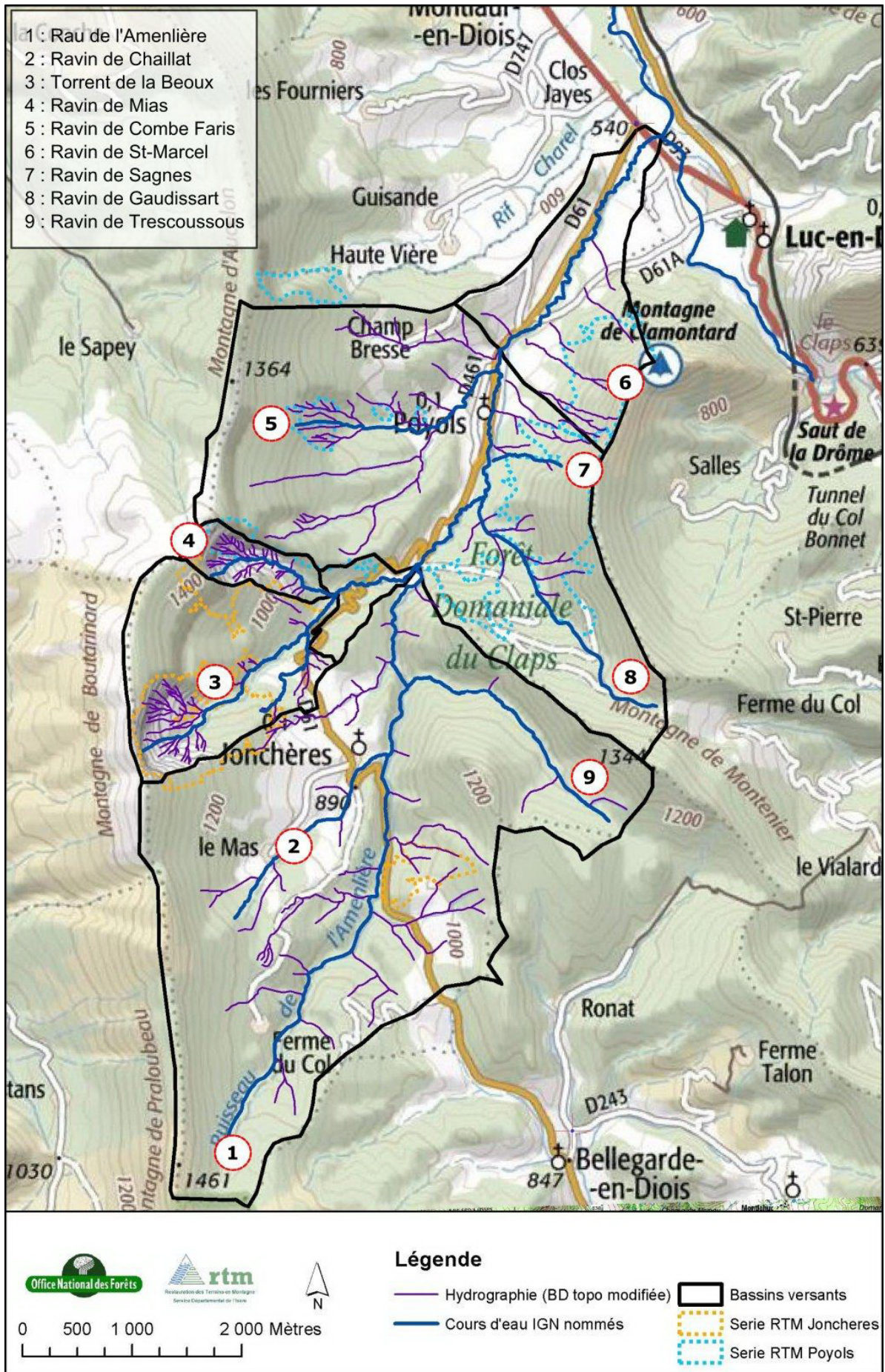


Figure 2 : Plan du bassin versant et du réseau hydrographique

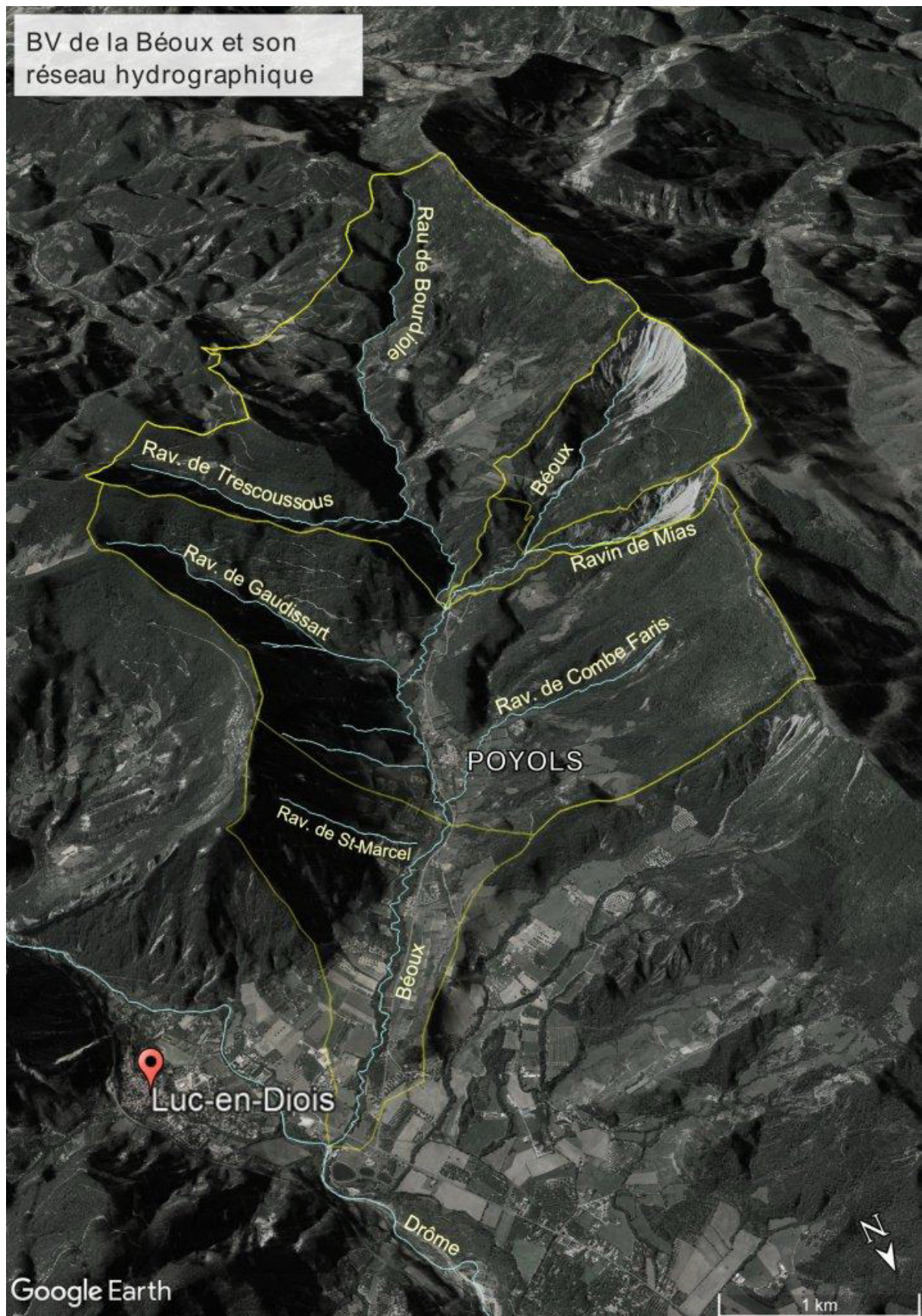


Figure 3 : Vue 3D du bassin versant et du réseau hydrographique

II.2 Géologie

Les données proviennent pour l'essentiel du site geol-alp (<http://www.geol-alp.com/>), de la thèse de Jean Masseport « le Diois, les Baronnies et leur avant-pays rhodanien. Etude morphologique. 1960 » et des analyses de terrain menées dans le cadre de cette étude.

II.2.1 Généralités

Le bassin de la Beoux s'inscrit dans le domaine sédimentaire du Jurassique moyen et supérieur, et le début du Crétacé. Les roches encaissantes sont essentiellement constituées de marnes (argiles stratifiées) et de calcaires pélagiques sub-lithographiques (calcaires détritiques qui se sont mis en place à grande profondeur).

Les calcaires sont principalement représentés sur le territoire par le Titonien (Jurassique supérieur), sur une épaisseur de plus de 150m. Ils forment une barre continue, bien visible dans le paysage, et constituent les principaux sommets topographiques. Sous cette corniche, on trouve une grande épaisseur de terrains marneux (« Terres Noires » 800 à 1200m d'épaisseur), qui sont fréquemment attaqués par l'érosion hydrique (ravinement) et déstabilisés par de grands glissements de terrain.

légende de la carte géologique du DIOIS et des BARONNIES

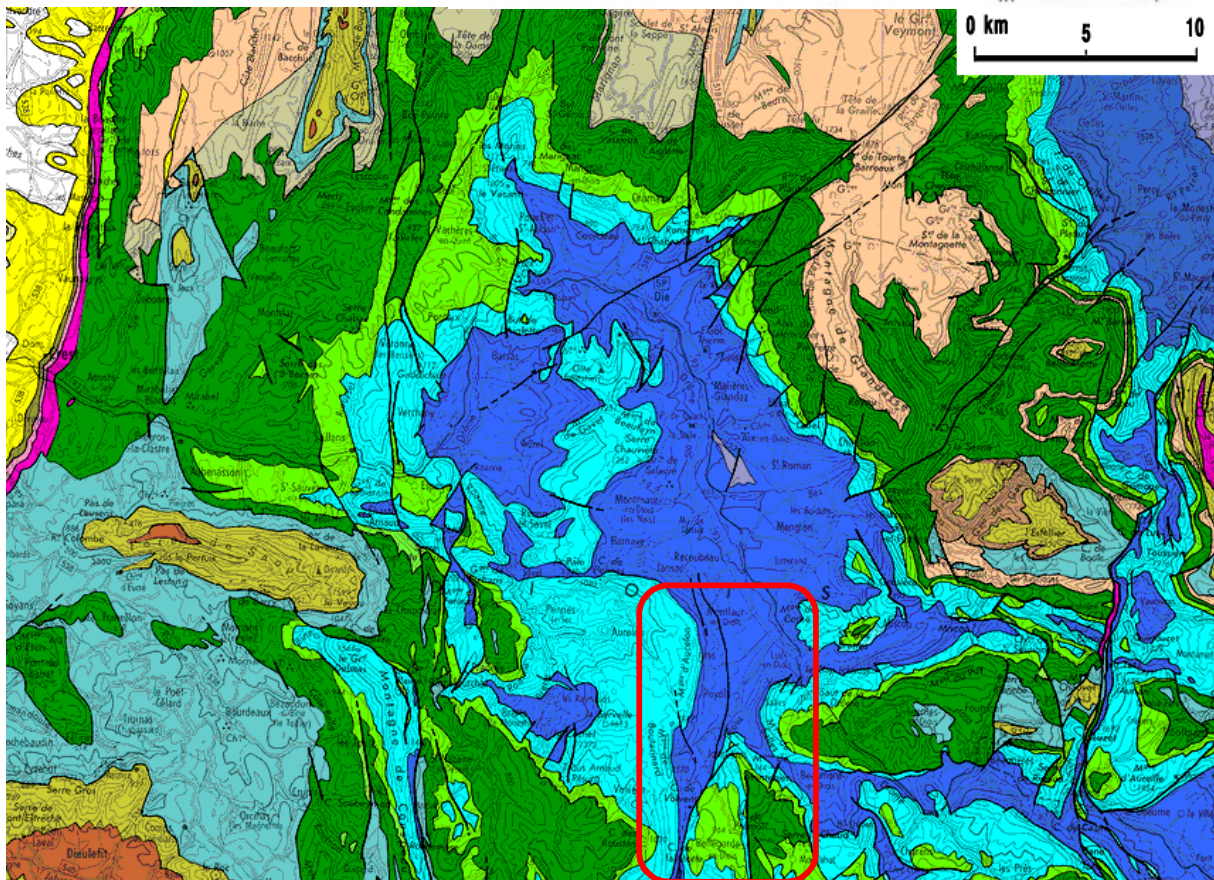


Figure 4 : Aperçu géologique général du Diois. Localisation du bassin de la Beoux.

II.2.2 Géologie du bassin de la Béoux

À l'ouest de Luc-en-Diois la vallée de la Drôme reçoit son affluent de rive gauche, la vallée de la Béoux. Cette dernière, à la différence de celle de la Drôme, s'ouvre largement vers l'amont, jusqu'au-delà de Poyols, car son cours ne rencontre aucune barre rocheuse. En effet elle suit le prolongement méridional de la combe de Terres Noires nord-sud qu'empruntait la Drôme plus au nord.

Mais en amont de Poyols cette combe se coude pour se connecter à celle, NW-SE, de l'anticlinal de Beaurières. La vallée du cours d'eau principal, le Ruisseau de Bourdiolle, poursuit, quant à lui, son tracé N-S vers l'amont en suivant la ligne de fractures de l'accident de Jonchères (qui sectionne la barre du Titonien du flanc sud-est de l'anticlinal de Beaurières). Aux abords de Jonchères, cette vallée a une structure très dissymétrique car suit à peu près cet important couloir de failles, qui juxtapose là le cœur de Terres Noires de l'anticlinal de la Servelle, à l'ouest, avec le cœur berriasien du synclinal de Valdrôme, à l'est.

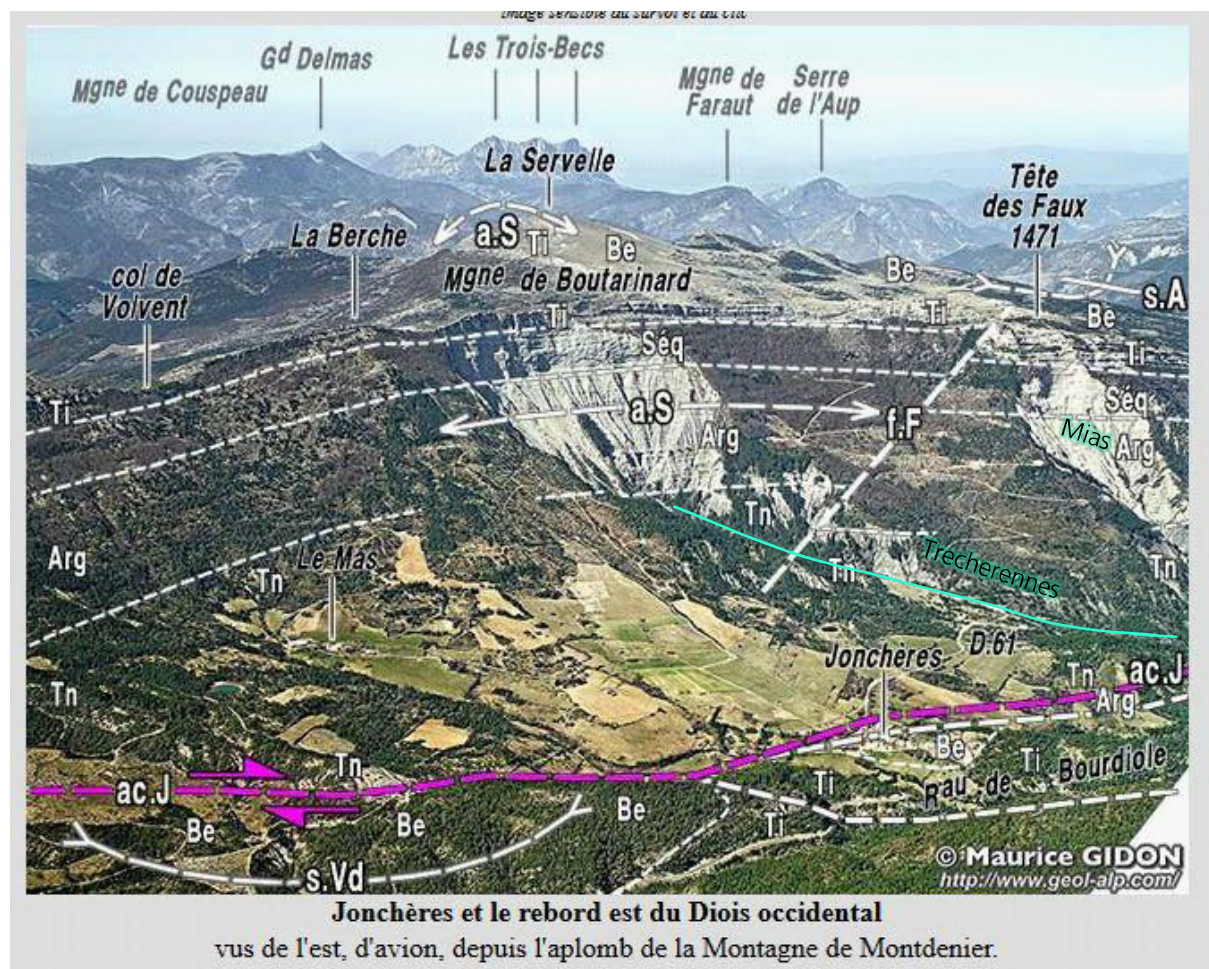


Figure 5 : Photographie prise d'avion avec commentaires et interprétation géologique. Rive gauche du haut bassin de la Beoux.

ac.J (en rose) = accident de Jonchères (aux abords septentrionaux de ce village il se subdivise en plusieurs branches, à peine divergentes) ; aS = anticlinal de la Servelle ; s.A = synclinal d'Aucelon ; f.F = faille des Faux ; s.Vd = synclinal de Valdrôme (prolongement originel probable du synclinal d'Aucelon, avant le jeu décrochant dextre de l'accident de Jonchères).

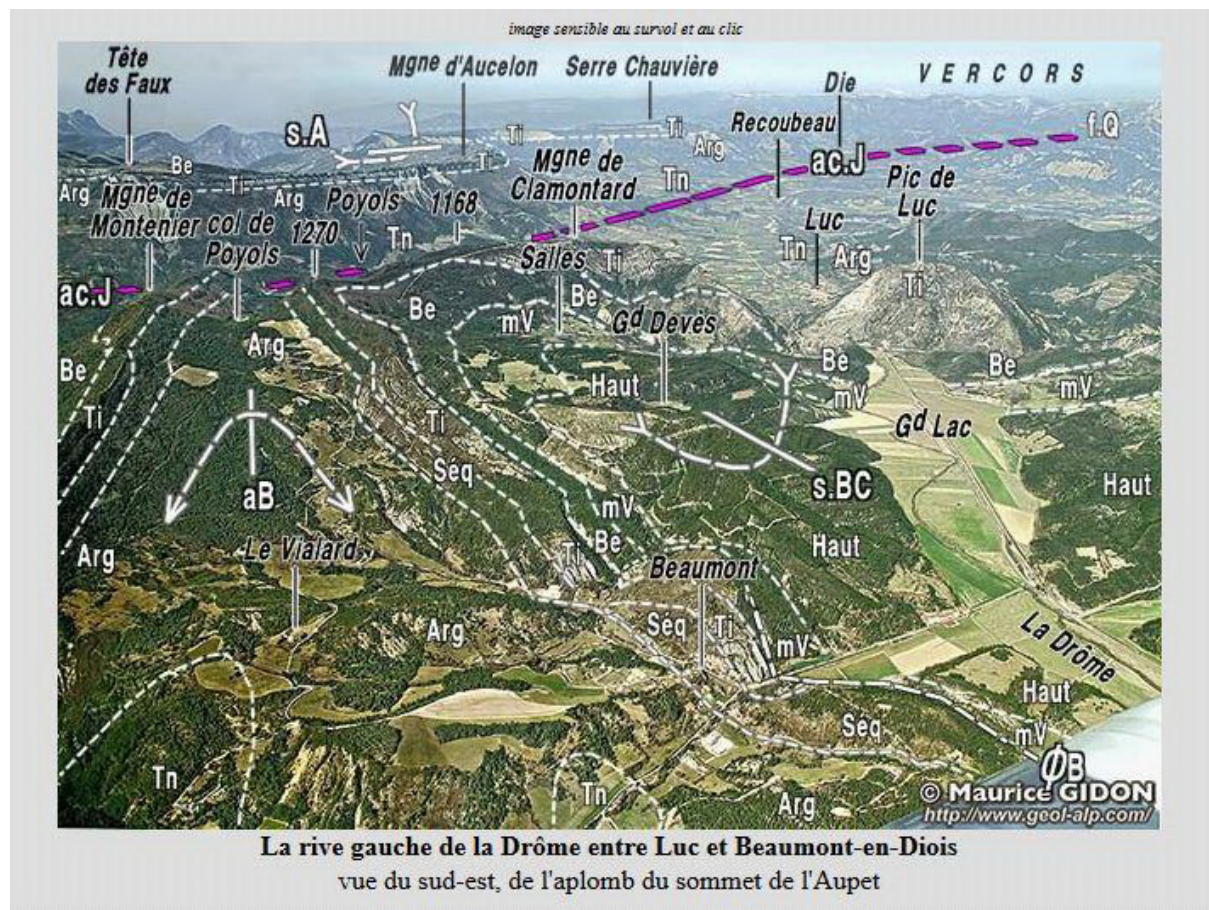


Figure 6 : La rive gauche de la Drôme entre Luc et Beaumont-en-Diois. Vue du sud-est, de l'aplomb du sommet de l'Aupet.

s.A = synclinal d'Aucelon ; ac.J (en rose) = accident de Jonchères (à son extrémité nord-orientale on a indiqué par f.Q le secteur approximatif d'aboutissement des failles de la Queyrie et de Jasneuf) ; a.B = anticlinal de Beaurières, qui correspond coté Beoux au ravin de Gaudissart ; ØB = chevauchement de Beaurières ; s.BC = synclinal de la Bâtie-Crémezin.

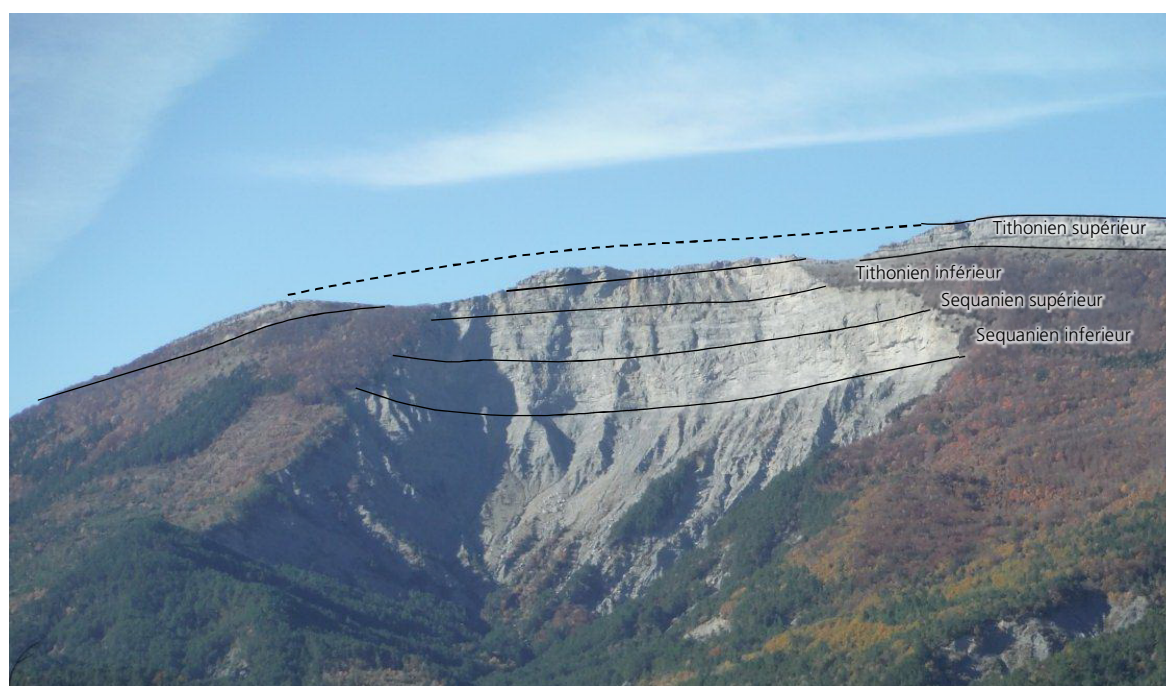


Figure 7 : Interprétation géologique de la corniche calcaire du Tithonien sur l'alvéole torrentielle de Trescherenne.

II.2.3 Géomorphologie du bassin versant

On peut considérer que l'accident décrochant de Jonchère (« faille de Joncheres ») a permis un plus important affleurement des Terres Noires, favorisant l'érosion hydrique des cours d'eau au sein de roches facilement affouillables. La grande largeur de la vallée de la Beoux est d'abord due à l'ampleur considérable des terrains géologiquement érodables.

L'aspect général de la vallée de la Béoux est typique des versants à corniches calcaires des Alpes du Sud, façonnés dans un contexte non englacé depuis des millions d'années. Lors des périodes froides du Quaternaire, dont les durées sont deux fois supérieures aux périodes de réchauffement (interglaciaires), les processus d'érosion sont de type périglaciaires : les corniches calcaires libèrent de grandes quantités de matériaux par éboulissement, les versants se régularisent sous l'effet combiné des éboulis et des empâtements de solifluxion, formant de grands glacis. Les combes anticlinales du Diois sont un héritage de ces périodes froides. Lors des interglaciaires, l'activité torrentielle reprend, aidée par une plus grande agressivité des pluies : le ravinement se développe à nouveau sur les glacis, dans les éboulis, et les glissements de terrain concourent à fortement déstabiliser les versants, accélérant localement le processus d'érosion torrentielle en créant de grandes alvéoles dans les terres Noires, qui migrent ensuite en amont jusqu'à déstabiliser les corniches calcaires. Il est probable que les glissements de terrain profonds dans les marnes trouvent leur origine dans la fonte du pergélisol lors des transitions climatiques glaciaires/interglaciaires, mais l'ampleur des mouvements récents, pour certains étudiés (Bonneval en Diois, Ravel et Ferrier, Villard des Dourbes à Digne, etc.) tend à démontrer que la ductilité des marnes, en particulier des Terres Noires, favorise les mouvements de masses sans faire intervenir un contexte climatique particulier.

Une carte géomorphologique globale de la Beoux, sur les périmètres domaniaux, est disponible en annexe. Elle reprend, à une échelle plus fine, les travaux de F. Liebault développés dans sa thèse.

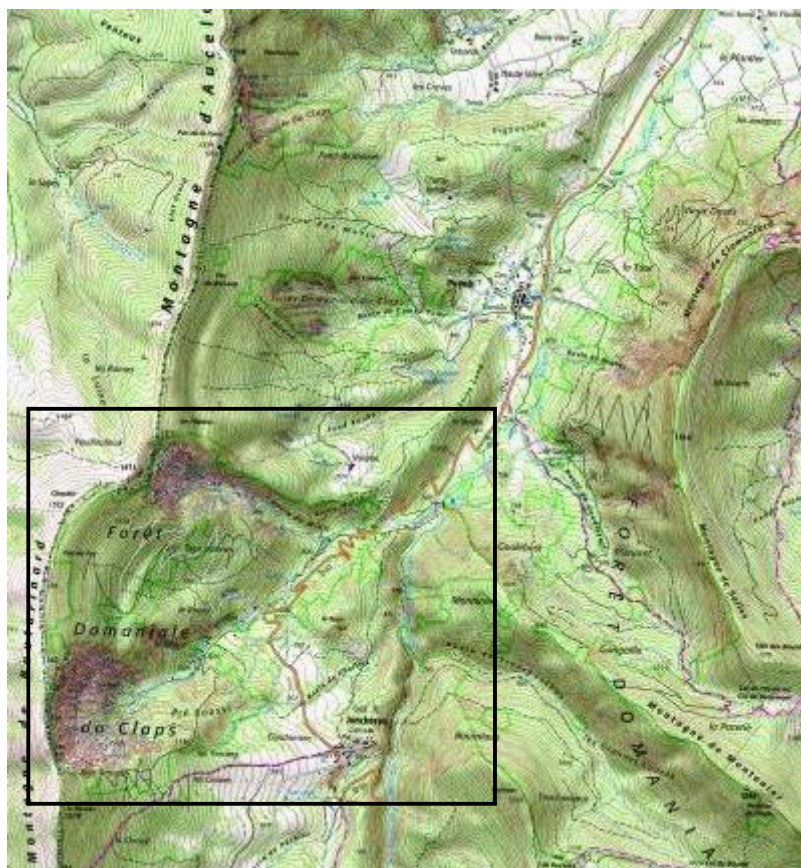


Figure 8 : Emprise de la carte géomorphologique

II.2.4 Evolutions remarquables des versants depuis 15000 ans

En s'intéressant à l'évolution géomorphologique des versants depuis le début de l'Holocène, à l'échelle du bassin de la Beoux et des bassins limitrophes, des grandes tendances se dégagent.

Sur la partie supérieure du bassin versant, les instabilités dans les Terres Noires sont nombreuses. Elles concourent à déstabiliser les glacis anciens, et se traduisent par un moutonnement et un fluage des terrains en surface.

Certaines instabilités sont sans doute anciennes, remontant à plusieurs centaines de milliers d'années. Elles ont déstabilisé les Terres Noires et sont remontées jusqu'à la corniche de calcaires Tithonien. Cela expliquerait les différents niveaux de terrasses alluviales bordant le ravin de Trescherennes : à chaque crise érosive interglaciaire le fond du ravin s'abaisse un peu plus. Les versants latéraux sont alors déstabilisés et, outre l'accélération du ravinement, les glissements se déclenchent et régressent vers l'amont.

En terme de genèse, l'alvéole torrentielle de Clarmontard est sans doute la plus ancienne : grande ouverture dans les calcaires sommitaux et formation d'un glacis secondaire (éboulis). On note d'ailleurs sur la partie sud une grande fissure sommitale bien ouverte qui laisse présager dans le futur un éboulement/écroulement d'ampleur, agrandissant encore l'alvéole torrentielle et pouvant à terme faire la jonction avec celle du ravin de St marcel (Gaudissart).



Figure 9 : Alvéole torrentielle de Clarmontard. En vert foncé les glacis anciens, non retouchés par l'érosion torrentielle. En vert clair, le glacis récent, formé par les écroulements et l'activité torrentielle. En rouge la niche d'arrachement et de recul dans les calcaires du Tithonien. En jaune la grande fissure ouverte en partie méridionale.

Sur la partie amont du bassin versant, les formes d'érosion sont sans doute plus jeunes : l'alvéole torrentielle de Trescherennes a reculé jusqu'au calcaires du Tithonien, mais elle reste peu étendue latéralement. Ce sont surtout les calcaires du Séquanien qui affleurent. Il est fort probable que les prochains millénaires verront une extension des zones en érosion, par ravinement et glissements de terrains, au nord et au sud.

Le ravin du Mias semble le plus jeune : les calcaires du Tithonien sont tout juste atteints. La niche d'arrachement sommitale, créée par écroulement, est encore fraîche, de même que le tablier d'éboulis sous-jacent. L'âge probable ne doit pas dépasser quelques siècles. La position du ravin de Mias est d'ailleurs étonnante : elle est inadaptée du point de vue de la structure, car située sur une croupe topographique. Il est vraisemblable que seul un glissement d'ampleur ait pu créer à l'origine l'alvéole. Le torrent s'est ensuite développé en approfondissant son lit et en déstabilisant, par incision, les versants latéraux. Le lit actuel témoigne sans doute d'une capture « récente » par le ravin de Trescherennes : un ancien vallon, observable plus au nord, semble avoir été l'ancien lit du Mias lors de précédents interglaciaires.

La déstabilisation de la montagne du Fays semble aussi assez récente : elle expliquerait le fort resserrement du lit de la Beoux à cet endroit (confluence Mias/Trescherennes), l'absence de terrasses alluviales (enfouies ou détruites) et le décalage vers le nord du tracé torrentiel. Ce glissement et ses interactions avec la Beoux sont décrits dans l'annexe 9.

A l'inverse, le versant entre Trescherennes et Mias est d'une remarquable stabilité : il s'agit d'un vaste éboulis périglaciaire, très épais, qui n'a subi aucune érosion par ravinement ou de déstabilisation par glissements. Cet éboulis-glacis peut être rattaché chronologiquement aux glacis anciens encadrant l'alvéole de Clarmontard.

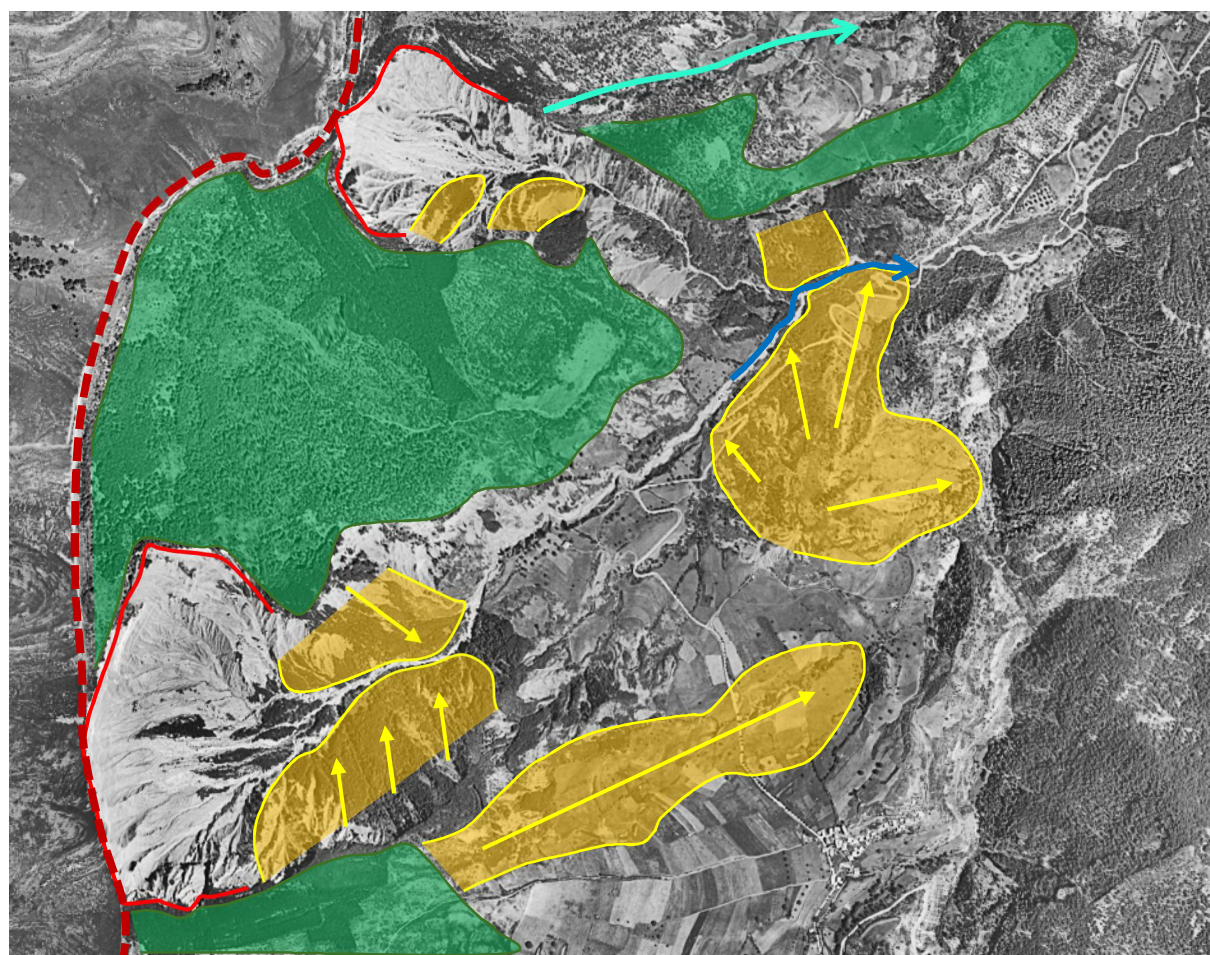


Figure 10 : Alvéoles torrentielles de Trescherennes et de Mias. En vert foncé les glacis anciens, non retouchés par l'érosion torrentielle. En orange, les glissements anciens et récents. En rouge la niche d'arrachement et de recul dans les calcaires. En tirets rouges la corniche de calcaires Tithonien. En bleu clair l'ancien cours supposé du Mias. En bleu foncé le tracé de la Beoux perturbé par le glissement de la montagne du Fays.

En limite du bassin versant de la Béoux, immédiatement au nord, on trouve une forme d'évolution de versant qui semble jeune et encore embryonnaire. Il s'agit du bassin torrentiel du Rif Charrel-Pierre Folle. La partie sud de ce bassin présente une forme classique d'alvéole torrentielle, qui a atteint les calcaires du Tithonien. Le recul s'est fait aux dépens des glacis anciens. On trouve alors une forme analogue à celle de Clamontard. Sur la partie nord de l'alvéole, on a une grande zone en glissement : la niche d'arrachement est complexe. Elle se propage dans les marnes du glaci ancien. Le glissement a atteint les calcaires du Tithonien et le ravinement a déjà entamé certains secteurs. On a toutefois une forme non aboutie, qui durant les prochains millénaires pourra encore évoluer. Le prochain stade semble être celui du ravin de Trescherennes.



Figure 11 : Alvéole torrentielle du Rif Charrel. En vert foncé les glacis anciens, non retouchés par l'érosion torrentielle et les glissements de terrains. En orange, les grands glissements anciens pouvant encore évoluer. En rouge la niche d'arrachement (ravinement, glissement) et de recul dans les calcaires. En tirets rouges la corniche de calcaires Tithonien. En vert clair le glaci récent, composé d'éboulis et de déjections torrentielles.

II.3 Enjeux

II.3.1 Enjeux au titre des risques naturels

Les principaux enjeux potentiellement menacés par les crues du torrent de la Béoux sont listés ci-après :

Habitations, zones d'activités et de loisirs

- **Village de Poyols** (rive gauche de la Béoux), 67 habitants recensés en 2014. Le village est potentiellement exposé aux crues du Ravin de Combe Faris et du ruisseau de Fond Ruby, ainsi qu'aux crues de la Béoux.
- **Lieu-dit Les Foulons, commune de Luc en Diois**, avec : village de vacances, maison forestière et zone industrielle. Cette zone est coincée entre la Béoux et la Drôme.

Voies de communications et ouvrages de franchissement

De très nombreuses voies de communication traversent la Béoux ou des ravins affluents de la Béoux. La continuité du franchissement du cours d'eau peut bien sûr être problématique en crue. Le rétablissement du franchissement post-crue, notamment pour les passages à gué, peut entraîner des conséquences importantes sur la continuité sédimentaire.

- **RD 61** : elle longe le torrent de la Béoux en rive gauche dans le fond de vallée puis surplombe le torrent de la Béoux en rive droite entre le grand barrage RTM (cote 856 m) et le pont de la RD61 (cote 757 m).
- **RD61a** : elle est située en fond de vallée en rive droite de la Béoux. Elle traverse la Béoux au moyen d'un passage à gué.
- **RD 93** : elle traverse la Béoux quelques dizaines de mètres en amont du confluent avec la Béoux.
- **Voies communales traversant la Béoux** : chemin forestier (cote 589 m), chemin d'accès à la ferme de Gaudissard (cote 658 m), chemin forestier de Gaudissard (cote 709 m), piste forestière d'accès à la forêt domaniale du Claps à l'amont du grand barrage RTM (cote 873 m)

Ouvrages de franchissement

- Ponts : RD 61 (cote 757 m), Chemin forestier de Gaudissard (cote 709 m), RD 93 (cote 538 m).
- Passerelles piétonnes : cotes 589 et 617 m.
- Passages à gué : cotes : 559, 570, 588, 612, 658 et 791 m.

II.3.2 Enjeux environnementaux et paysagers

Le bassin versant de la Béoux est concerné par les ZNIEFF de deuxième génération de type 2 n° 820030080 « chainons du Diois central » sur son versant ouest et n° 820000418 « ensemble fonctionnel formé par la rivière Drôme et ses principaux affluents » sur son versant est. A l'intérieur de ces zones sont distinguées les ZNIEFF de type 1 n° 820030086, montagne d'Aucelon, de Boutarinard et d'Eyriau et n° 820030100, Claps, Montagne de Clamontard et pic de Luc.

Le site classé du Claps et du saut de la Drôme jouxte la zone d'étude à son extrémité nord-est (montagne de Clamontard).

Le site Natura 2000, site d'intérêt communautaire FR8201685 « Pelouses, landes, falaises et forêts de la montagne d'Aucelon » surplombe le bassin versant de la Béoux sur sa partie nord est au droit des ravins de Mias et de Combe-Faris. Un descriptif détaillé de chaque zonage est présenté en annexe n°1.

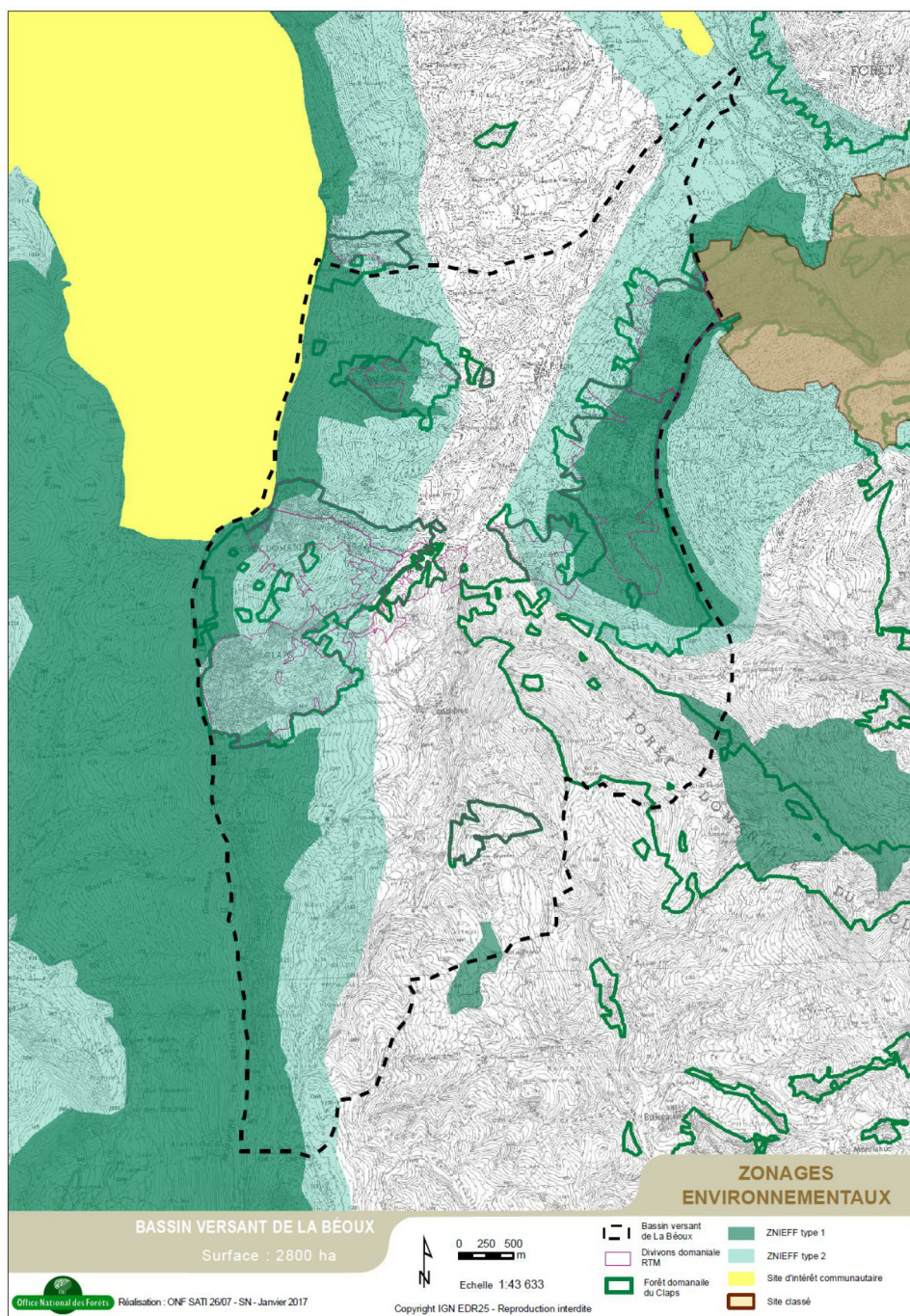


Figure 12 : Carte des zonages environnementaux à proximité de la zone d'étude

II.4 Cartographies des aléas existantes

La commune de Polyols n'est actuellement munie d'aucune cartographie sur les risques naturels (carte d'aléas, PPRN,...).

III ETUDE DES ZONES SOURCES DE SEDIMENTS

On entend par zones sources de sédiments l'ensemble des unités pouvant contribuer à l'alimentation du lit torrentiel en sédiments, et notamment :

- Les zones en érosion active connectées au réseau hydrographique ;
- Les glissements de terrain.

III.1 Localisation des principales zones sources de sédiments

L'objectif de ce paragraphe est de faire un état, au moment précis de l'étude, de la localisation des sources sédimentaires du torrent de la Béoux.

Ce travail est synthétisé dans la carte page suivante et la carte géomorphologique d'ensemble annexée au rapport d'étude. Ces cartographies ont été établies grâce au parcours intégral du lit du torrent de la Béoux et des principaux affluents, ainsi que par l'observation des photographies aériennes et de l'ombrage du Lidar.

Glissements de terrain. 5 unités de glissement de terrain ont été identifiées (cf. Figure 14) :

- **Unité 1** : Torrent de la Béoux / Pied du ravin de Trescherennes en rive droite (amont B13 en rive droite). Il s'agit d'une zone de glissement historique, actuellement boisée et ne présentant plus de signes manifestes d'activité ;
- **Unité 2** : Torrent de la Béoux, rive gauche entre B10 et B13. Il s'agit également d'un glissement historique ayant entraîné un coude dans le tracé en plan du torrent.
- **Unité 3** : Torrent de la Béoux, Versant rive droite entre le pont de la RD 61 et le barrage B4. Il s'agit d'un mouvement de terrain profond et actif avec des vitesses de déplacement lentes. Ces mouvements occasionnent une contraction localisée du cours d'eau sur quelques dizaines de mètres. Les érosions restent cependant faibles. Une obstruction du cours d'eau par le glissement est peu probable compte tenu de la dynamique du mouvement.
- **Unité 4** : Torrent de la Béoux, versant rive gauche, face à l'unité 3 entre les barrages B3 et B4. Cette unité est active. Le glissement est profond avec des vitesses de déplacement lentes. La dynamique est identique à celle du mouvement de l'unité 3.
- **Unité 5** : Ravin de Mias / Béoux aval de correction. Versant en rive gauche. (cf. figure suivante). A l'aval de la confluence Béoux/Mias, le versant présente toujours des signes d'activité avec un peuplement forestier déstabilisé. En amont du barrage B1 du Mias, Il s'agit par contre d'un glissement historique ayant entraîné un coude dans le tracé en plan du cours d'eau.

Il a également été noté en amont de l'unité 5, en rive droite du Mias, une forme pouvant également correspondre à un glissement de terrain ancien. Il est possible que ce glissement soit survenu postérieurement à la construction du barrage B4 dont le parement en rive droite est détruit. L'implantation du barrage suggère en effet que le cours d'eau s'écoulait antérieurement davantage vers le Sud.

Une étude a été réalisée par IMSRN (1995) sur les unités de glissement 3 et 4. **Le lecteur en trouvera une synthèse en annexe 9.**

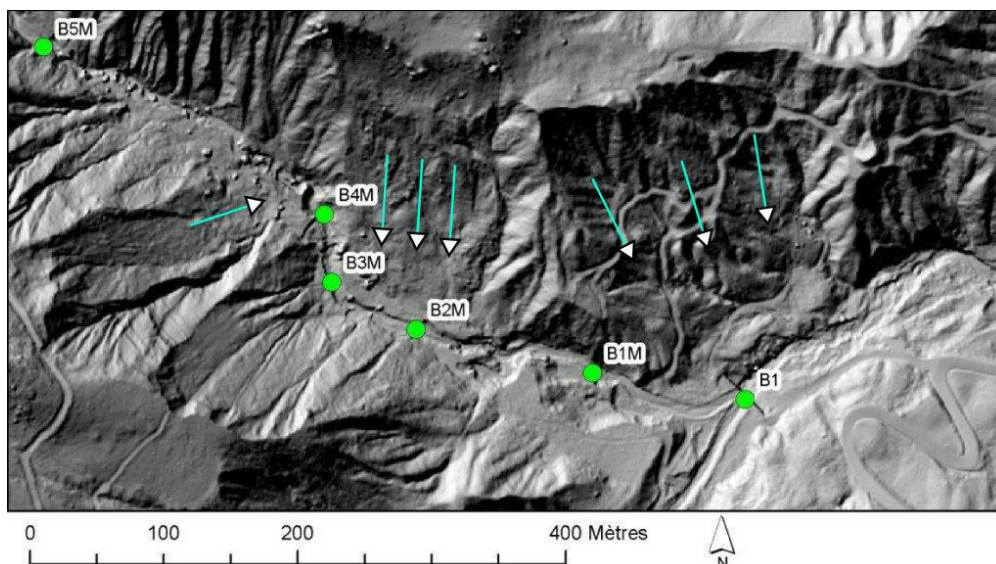


Figure 13 : Détail des zones en glissement au niveau du ravin du Mias (unité 5)

Zone en érosion active (terrain nus) (cf. Figure 14 et Figure 15)

Dans le bassin versant de la Béoux à l'amont du confluent avec le ruisseau de Bourdiolle, les zones en érosion active correspondent quasi exclusivement aux parties supérieures des ravins de Trescherennes et du Mias avec :

- des terrains marneux où le ravinement est le phénomène principal ;
- le sommet des dérochoirs qui comprend des calcaires plus massifs soumise à des phénomènes de chutes de blocs et d'éboulements en masse ;
- et des dépôts de pente en pied de falaise constituant la source d'approvisionnement principale en sédiments pour les torrents de la Béoux et du Mias.

A l'aval on retrouve sur les versant rive gauche et rive droite de la Béoux des zones en érosion. Cependant celles-ci ne sont plus que très partiellement connectées à la Béoux en raison de la contraction de la bande active de la Béoux en fond de Vallée.

On retiendra qu'à ce jour les principales et quasiment uniques zones sources de sédiments sont les éboulis formés au pied des dérochoirs des ravins de Trescherennes et du Mias, ainsi que les stocks de sédiments en tête de ravines.

On notera également une zone de recharge sédimentaire par érosion latérale entre les barrages B3 et B4 (alt. 805 à 825 m) du fait de glissements de terrain affectant à la fois les versants rive droite et rive gauche (unité 3 de glissement de terrain), avec une contraction locale importante du lit. Cette zone de recharge est anecdotique par rapport aux zones mentionnées dans le précédent paragraphe.

Dans le lit de la Béoux, en dehors de cette zone affectée par des glissements, il n'a pas été observé de d'érosions latérales significatives pouvant participer à la recharge sédimentaire. Il existe certes des versants nus directement connectés au réseau de la Béoux où le substratum marneux est affleurant. Ces versants sont peu contributifs en charge grossière puisqu'ils fournissent majoritairement des plaquettes qui se délitent très facilement.

Au droit du tronçon corrigé, la perception de stocks conséquents peut être grandement faussée par le fait que les barrages RTM modifient la dynamique d'écoulement. Avant correction, le type d'écoulement était probablement colluvial avec une pente de fond de lit sans rapport avec la charge de fond mais influencées par d'autres facteurs comme la géologie, l'affleurement du substratum, le pavage du fond de lit. Les sédiments présents en fond de lit n'étaient pas représentatif de ceux effectivement transportés par les écoulements torrentiels, notamment en tête de réseau hydrographique où les structures à gros blocs prédominent.

Les barrages RTM, et d'autant plus ceux de grande hauteur comme sur la Béoux, créent des conditions d'écoulement alluviales avec une pente derrière les ouvrages (appelée pente de compensation) en relation directe avec le flux sédimentaire et liquide provenant de l'amont. Le remplissage de ces ouvrages se fait avec les sédiments les plus couramment mobilisés par les écoulements, à savoir des sédiments beaucoup plus fins que ceux présents dans le lit avant correction (ou à l'aval de tronçon corrigé). Aussi, l'observation de nappes de charriage au droit

de tronçons corrigés ne doit pas forcément être perçue comme un signe de dépôt ou de rétention de sédiments. Elle est une manifestation normale d'une des fonctions essentielles pour des grands barrages RTM : la régulation du transport solide.

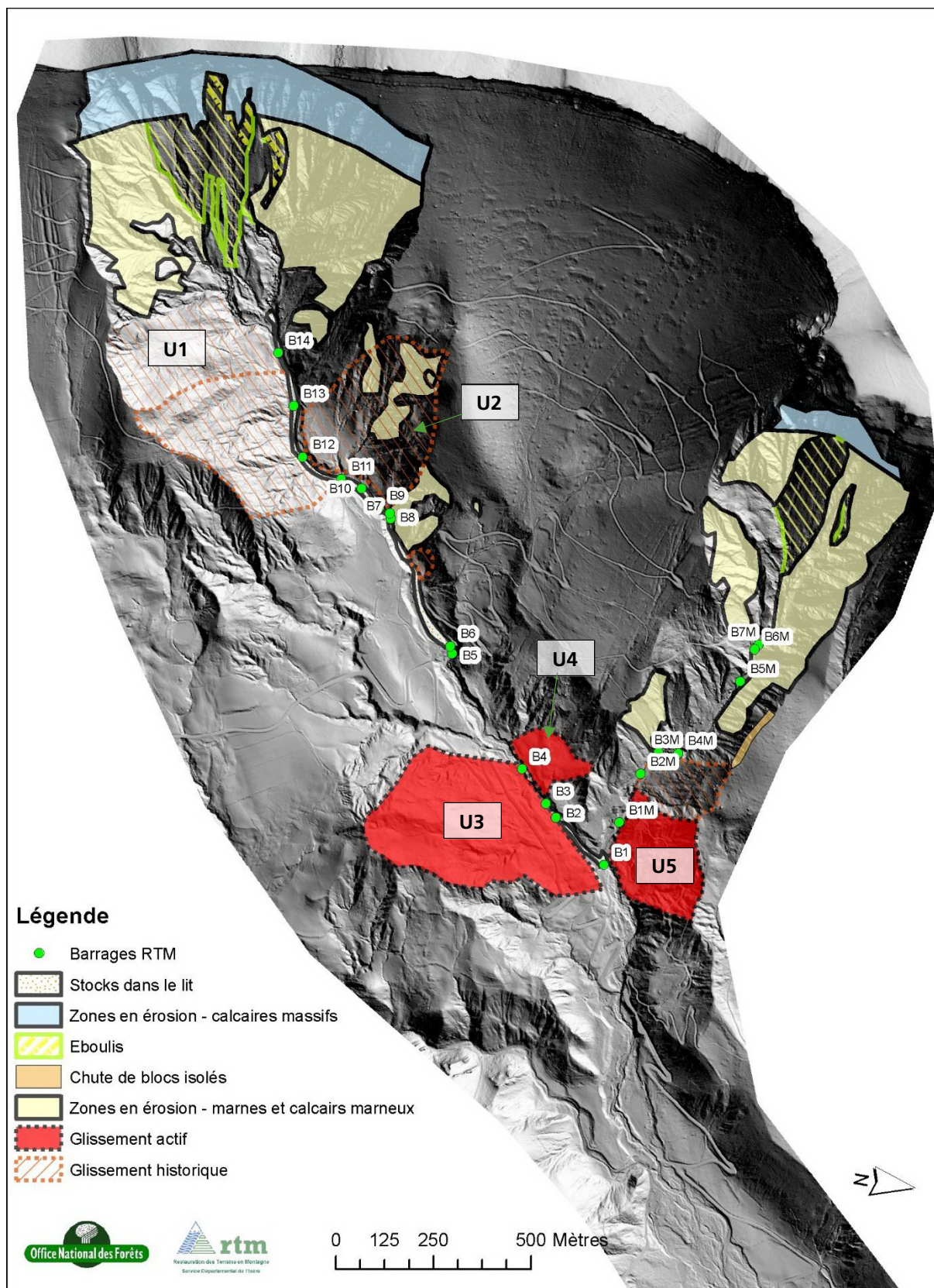


Figure 14 : Carte de localisation des zones sources de sédiments

III.2 Potentiel de recharge sédimentaire par incision

Le potentiel de recharge par incision est très faible sur l'ensemble du linéaire du cours d'eau.

III.2.1 Torrent de la Béoux à l'amont du confluent avec le ruisseau de Bourdiolle

Entre le pied du ravin de Trescherennes et le confluent avec le ravin de Mias, le potentiel de recharge par incision du lit est très faible du fait de la présence des ouvrages de correction torrentielle dans le lit, lesquels fixent le profil en long. Un processus d'incision a été observé à l'amont du barrage n° 4, notamment du fait de la grande distance le séparant de l'ouvrage amont, mais surtout du fait d'une diminution sensible de la fourniture sédimentaire (sur une échelle de temps longue de plusieurs dizaines d'années).

III.2.2 Ravin de Mias

Le Ravin du Mias est également équipé d'une correction torrentielle. D'autre part, en amont du barrage B4, il a été observé un linéaire très important où le fond de lit est calé par des très gros blocs non mobilisables par les crues (provenant selon toute vraisemblance de chutes de blocs en provenance du versant RG, cf. profil en Figure 27). Sur ce linéaire le substratum est de plus affleurant ou sub-affleurant.

III.2.3 Béoux à l'aval de la confluence avec le ruisseau de Bourdiolle

En raison de la rupture de pente sur le profil en long, la zone de raccordement avec le fond de vallée est majoritairement soumise à des dépôts lors de crues intenses du cours d'eau. En dehors de ces phénomènes brutaux et rare, la tendance est plutôt à l'incision, avec cependant des évolutions altitudinales très faibles liées à la présence de seuils et passages à gué fixant le lit et en raison d'un processus d'armage / pavage.

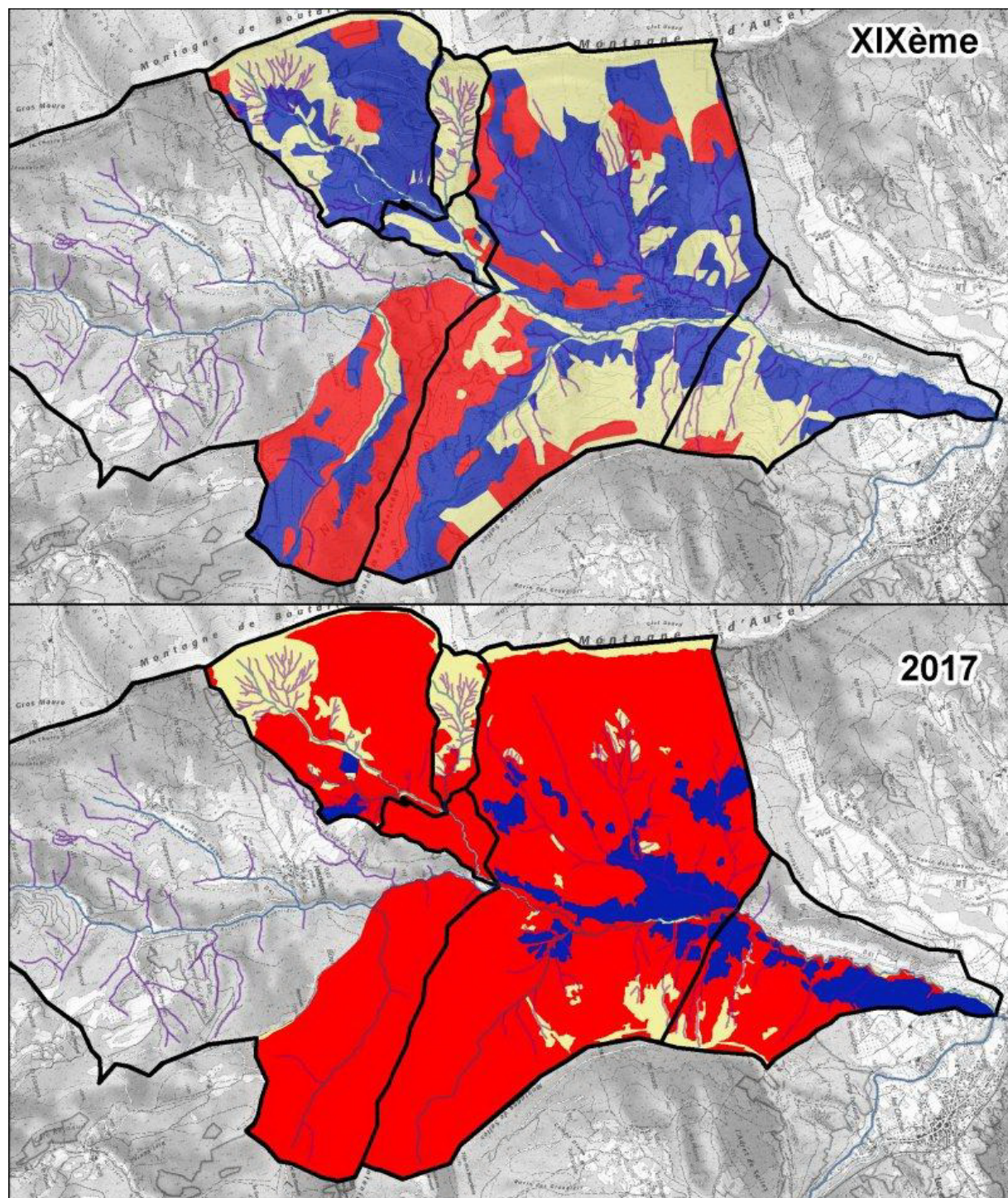
III.3 Evolution temporelle des zones en érosion

Il a été réalisé une comparaison de l'occupation du sol entre la fin du XIX^{ème} siècle et 2017 sur la base d'une carte ancienne des archives de l'Administration des Eaux et Forêts retrouvée aux archives départementales de la Drôme (cf. annexe xxx). La carte ne couvre pas la majorité de la superficie du BV du ruisseau de Bourdiolle. Les données d'occupation du sol de 2017 proviennent quant à elles de la couche de végétation de la bd topo IGN et d'un post-traitement manuel à partir des photos aériennes.

Il s'agit bien évidemment d'un exercice difficile, les classes identifiées sur la carte du XIX^{ème} siècle ne pouvant être comparées visuellement aux classes actuelles. Il est cependant probable que cet exercice permette de dégager de véritables tendances.

Les résultats sont présentés sur la figure suivante et dans les Tableau 1 et Tableau 2. Il semble que l'évolution de l'occupation du sol soit spectaculaire. Au XIX^{ème} siècle, 1/3 des terrains cartographiés étaient en érosion. Ce taux n'est aujourd'hui plus que de 1/10. Il est également probablement qu'une fraction significative des terrains cartographiés au XIX^{ème} siècle comme étant en friches, landes étaient en partie des sols nus en proie à l'érosion. Sur cette classe l'évolution est aussi spectaculaire avec passage d'un taux de couverture de 44% à 9 %. Toutes ces formations ont disparu au profit de boisements majoritairement volontaires.

Les évolutions les plus importantes concernent le versant rive droite de la Béoux à l'aval du confluent avec le ruisseau de Bourdiolle. Les terrains de l'ensemble du versant étaient majoritairement nus et contribuaient donc de manière très significative à l'alimentation en sédiments de la Béoux.



0 500 1 000 2 000 Mètres



Légende

- Hydrographie
- Bassins versants

Occupation du sol

- formations boisées
- zones en érosion
- autres formations (landes, friches,...)



Figure 15 : Evolution de l'occupation du sol entre le XIXème siècle et 2017

(source : XIXème siècle : carte archives Eaux et Forêts – 2017 : couche végétation bd topo IGN)

Cette source de sédiments a aujourd'hui disparu du fait du boisement du versant et du fait de la contraction de la bande active du cours en fond de vallée.

Le versant rive gauche surplombant le village de Poyols a aussi beaucoup évolué. Sa contribution devait toutefois être moindre en raison de la relative végétalisation du versant sous les zones en érosion active, et du fait de la rupture de pente très importante en fond de vallée. L'analyse de l'ombrage du Lidar confirme d'ailleurs que cette zone n'a jamais été véritablement très contributive en sédiments pour la Béoux.

On note enfin des évolutions significatives dans le sous bassin versant de la Béoux à l'amont de la confluence avec le ravin du Mias avec un boisement des versants rive droite et rive gauche du torrent accompagné par des travaux de correction torrentielle, mais qui s'effectue davantage sur des formations en cours de végétalisation que sur des terrains nus en érosion active.

Cette analyse suggère donc des évolutions significatives au niveau de :

- L'hydrologie du bassin versant avec très probablement des débits de crue inférieurs et des temps de réponse plus faibles ;
- de la production sédimentaire, avec une baisse d'ensemble de la fourniture liée à la diminution des sources en érosion active connectées au réseau hydrographique ;
- du transport solide en raison d'une disponibilité en sédiments plus restreinte et d'apports liquides capables de les mobiliser plus faibles ;

Au regard de cette analyse, le rôle des ouvrages RTM de correction torrentielle dans la minution des apports au niveau du confluent avec la Drôme mérite donc d'être très fortement nuancé.

N°	Sous bassin versant (de l'amont vers l'aval)	Zones en érosion		Formations boisées		Autres formations		Total S (ha)
		S (ha)	%	S (ha)	%	S (ha)	%	
1	Béoux amont Mias	103.3	38.6%	16.5	6.2%	147.5	55.2%	267.3
2	Ravin de Mias	48.0	94.6%	0.9	1.8%	1.9	3.7%	50.8
3	Béoux amont confluent Bourdiolle	22.3	54.8%	3.3	8.2%	15.0	37.0%	40.6
4	Aval confluent Ruisseau Bourdiolle	285.8	30.8%	208.1	22.4%	433.7	46.8%	927.6
4	Sous BV Ruisseau de Bourdiolle	16.2	6.5%	168.5	67.6%	64.6	25.9%	249.3
5	Amont confluence Drôme	77.6	46.5%	7.7	4.6%	81.7	48.9%	167.0
Total général		553.1	32.5%	405.1	23.8%	744.4	43.7%	1702.6

Tableau 1 : Occupation du sol au XIXème siècle (source : carte Eaux et Forêts)

N°	Sous bassin versant (de l'amont vers l'aval)	Zones en érosion		Formations boisées		Autres formations		Total S (ha)
		S (ha)	%	S (ha)	%	S (ha)	%	
1	Béoux amont Mias	77.7	29.1%	182.5	68.3%	7.2	2.7%	267.3
2	Ravin de Mias	36.7	72.3%	14.0	27.6%	0.0	0.0%	50.8
3	Béoux amont confluent Bourdiolle	1.2	2.9%	39.4	96.9%	0.1	0.2%	40.6
4	Aval confluent Ruisseau Bourdiolle	53.9	5.8%	767.5	82.7%	106.1	11.4%	927.6
4	Sous BV Ruisseau de Bourdiolle	0.8	0.3%	248.2	99.5%	0.1	0.0%	249.3
5	Amont confluence Drôme	19.9	11.9%	93.1	55.7%	53.9	32.3%	167.0
Total général		190.3	11.2%	1344.6	79.0%	167.4	9.8%	1702.6

Tableau 2 : Occupation du sol en 2017 (source : couche végétation bdtopo IGN)

III.4 Synthèse

Le tableau suivant synthétise l'étude qualitative des phénomènes naturels en lien avec la dynamique sédimentaire du BV de la Béoux.

Critère	Synthèse
Principales zones sources	<p>Les deux zones sources principales sont les éboulis situés en pied de falaise des ravins de Trescherennes et du Mias.</p> <p>Des stocks sont également présents sur le linéaire corrigé entre les barrages B14 et B6. On retiendra surtout que ce tronçon assure une fonction très importante de régulation des apports solides.</p> <p>Il n'existe pas de zone d'apport conséquente par érosion latérale. On a uniquement observé un tronçon à l'amont du barrage B3 où le lit s'est fortement contracté sous l'effet de glissements conjoints en rive droite (principalement) mais aussi en rive gauche.</p> <p>Les apports des glissements peuvent être aujourd'hui jugés comme négligeables.</p>
Glissements de terrain	<p>5 grandes unités de mouvements de terrain ont été identifiées. Deux unités sont encore actives (n° 3 & 4). Elles sont situées entre le pont de la RD61 et le barrage RTM n°4 en rive droite principalement et plus localement en rive gauche. Il s'agit de mouvements lents, profonds et très peu contributifs en termes d'apports solides malgré la contraction du lit.</p> <p>Les autres unités correspondent à des glissements historiques qui ne sont manifestement plus actifs aujourd'hui. Les plus importants d'entre eux ont impactés le tracé en plan des cours d'eau : unité 2 sur la Béoux, et unité 5 sur le ravin du Mias.</p>
Recharge potentielle par incision	<p>Faible sur le torrent de la Béoux compte tenu de la présence de la correction torrentielle. A l'amont du barrage B4, on note un ajustement du profil en long correspondant à une diminution des apports avec un enfoncement du lit de l'ordre 3 m au droit du barrage B5.</p> <p>Faible sur le ravin du Mias en raison de la présence de correction torrentielle, mais surtout d'un linéaire très important avec pavage du lit par de très gros blocs et/ou affleurement du substratum marneux.</p>
Evolution temporelle des zones en érosion	<p>L'évolution entre le XIX^{ème} siècle et la période actuelle a été analysée sur la base d'une carte de l'occupation du sol de l'administration des Eaux et Forêts datant probablement de la fin du XIX^{ème} siècle.</p> <p>Au vu de ce document, il semble que les évolutions quant à l'occupation du sol soient considérables. Sur la zone cartographiée, les zones en érosion passent d'un taux de 32,5 % à 11,2 % et les zones boisées passent quant à elles d'un taux 23,8 % à 79,0%.</p> <p>Il est donc fort vraisemblable que ces évolutions soient un facteur prépondérant dans l'évolution de la morphologie de la Béoux avec notamment : baisse drastique de la fourniture sédimentaire, diminution des apports liquides et augmentation des temps de réponse, contraction de la bande active du cours d'eau</p>

Tableau 3 : Synthèse de l'étude qualitative sur les phénomènes torrentiels

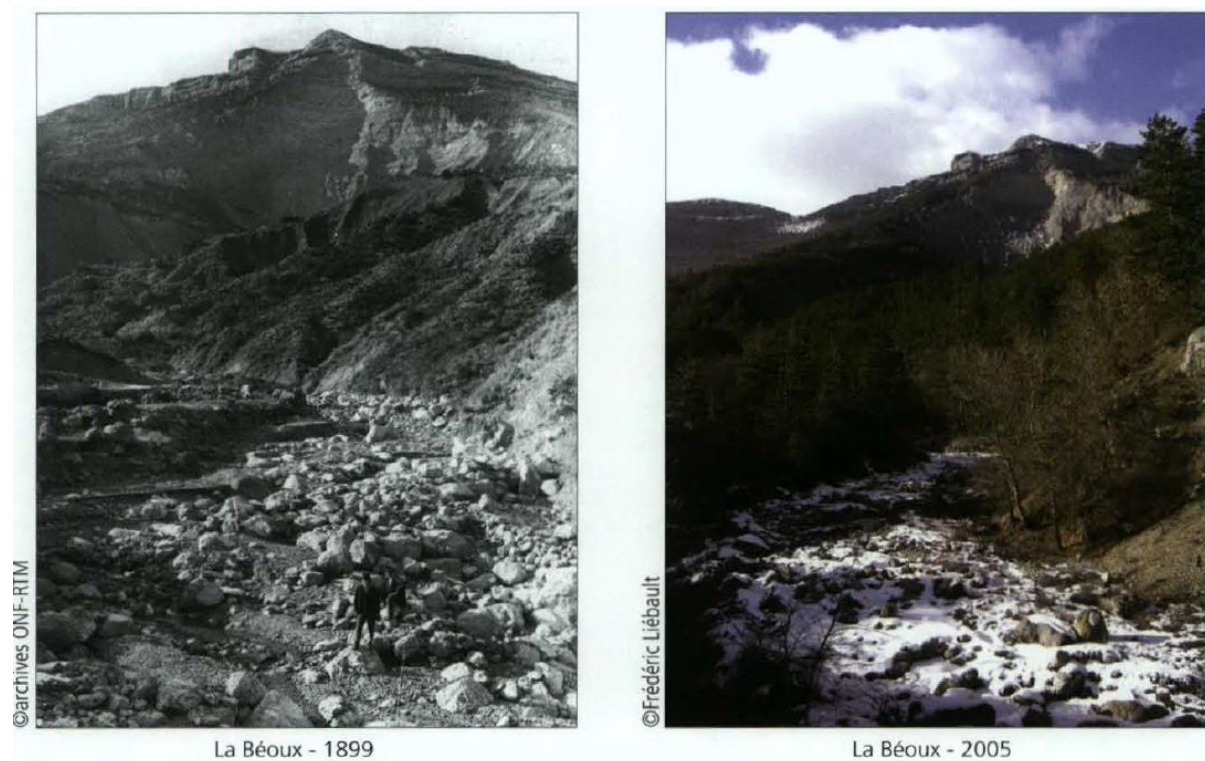


Figure 16 : Evolution de l'occupation du sol sur le torrent de la Béoux

IV ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE TORRENTIELLE

IV.1 Etude des profils en long et observations de terrain sur les principales branches du secteur d'étude

IV.1.1 Profil en long de la Drôme

Le profil en long de la Drôme a été tracé depuis le confluent avec le Bez jusqu'en amont du Claps (cf. Figure 18). On a reporté sur le même graphique le profil en long de 1928 issu des grandes forces hydrauliques.

La comparaison des deux profils met en évidence de manière prégnante l'incision du lit de la Drôme faisant suite aux extractions de sédiments dans le lit de la Drôme (8 millions de m³ entre les années 50 et 90 !) et à une diminution vraisemblable des apports de sédiments en provenance des affluents, et notamment de la Béoux.

Dans la partie supérieure du profil, la rupture de pente observée en les altitudes 550 à 630 m correspond au saut de la Drôme. Sur ce linéaire la pente est liée au pavage du lit par les très gros blocs issus de l'éboulement du Claps. A l'amont, la Drôme retrouve un profil alluvionnaire avec une pente très faible de l'ordre 0,2 % indiquant par conséquent des apports sédimentaires très faibles.

En aval du Saut de la Drôme, la pente devient plus régulière mais le profil est marqué par quelques singularités correspondant à des seuils, lesquels illustrent un processus très important d'incision du lit. On notera qu'en aval du confluent avec la Béoux, la Drôme s'écoule sur le substratum marneux !

L'analyse du profil de 1928 fait ressortir une augmentation de pente au niveau de la confluence avec la Beoux (0,7% en amont et 0,85% en aval) ce qui dénote des apports sédimentaires conséquents.

D'autre part on remarquera sur le profil de 1928, que les ruptures de pente sont en étroite corrélation avec les changements de style fluviaux. A l'amont des tronçons à lit unique étroit, on observe un stockage de sédiments avec réhausse du profil et augmentation la pente dans les zones à style divagant beaucoup plus larges. Les facteurs d'explication sont les suivants :

- Rehausse du profil : le stockage de sédiments est dû au fait que dans les tronçons à lit unique, la charge spécifique critique est inférieure la charge de l'écoulement dans les tronçons à style en tresses. La section à lit unique opère donc comme section de contrôle. Le différentiel de charge est comblé par une hauteur équivalente de stock de sédiments.
- Différentiel de pente : le transport est plus efficace en lit étroit. Pour une même charge de fond provenant de l'amont, il s'en suit une pente d'équilibre plus faible.

Sur le profil actuel, on retrouve encore un différentiel de pente entre les tronçons à chenaux unique et ceux à style divagant, mais le phénomène de rehausse du profil et stockage de sédiments semble avoir disparu du fait de stocks aujourd'hui très limités.



Figure 17 : Lit de la Drôme en aval de la confluence avec la Béoux. Affleurement du substratum et incision de terrasses alluviales

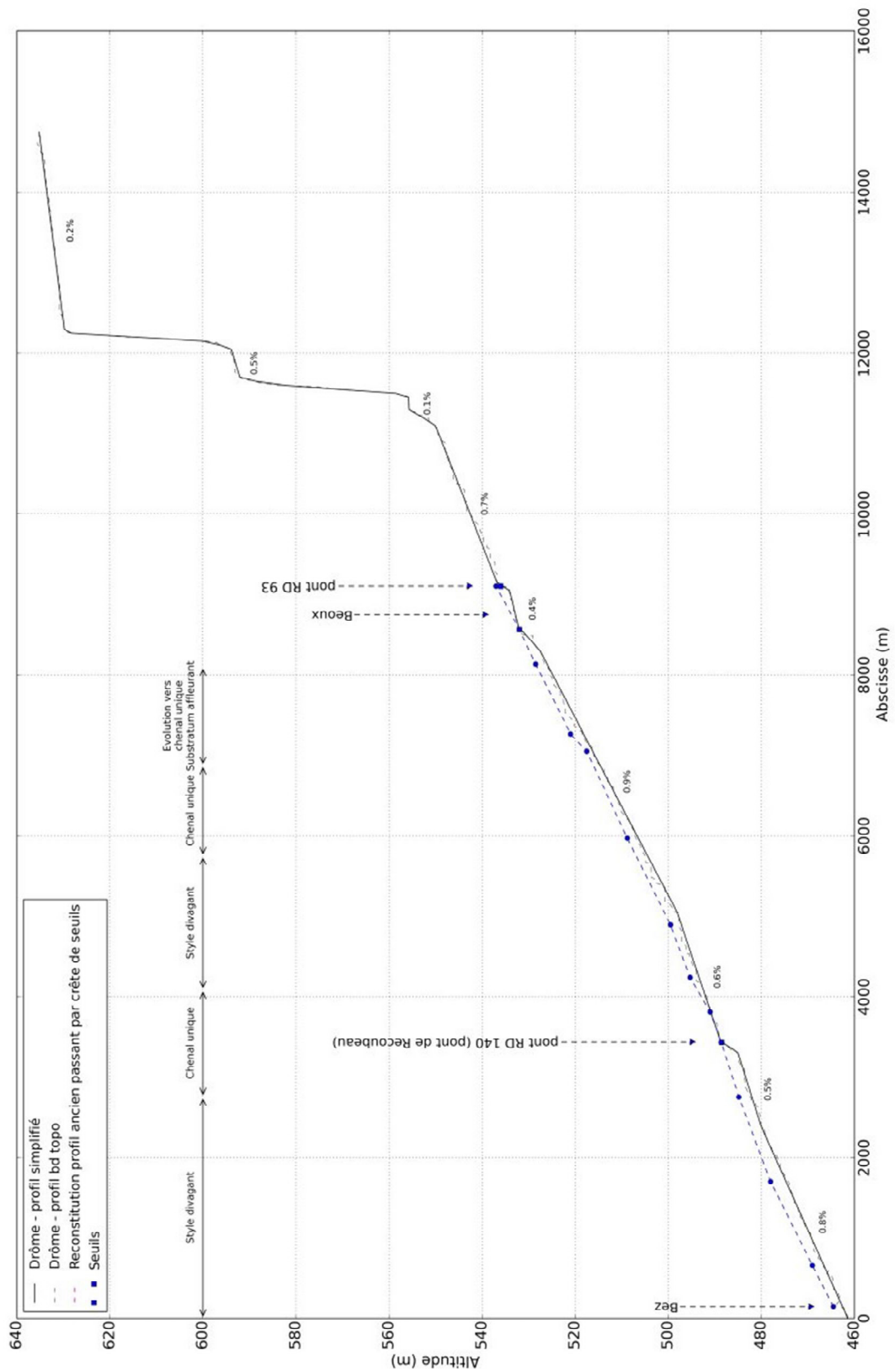


Figure 18 : Profil en long de la Drôme du confluent avec le Bez jusqu'en amont du Claps

IV.1.2 Torrent de la Béoux

Le profil en long général du torrent de la Béoux est présenté en Figure 19. On présente également en Figure 20 un profil plus détaillé au niveau de la correction torrentielle. L'analyse du profil en long général montre qu'il peut être découpé en 4 zones :

- **Zone 1 : Elle correspond à la zone principale de production de sédiments** avec des ravins supérieurs qui entaillent les formations sédimentaires oxfordiennes et jurassiques au sein d'un vaste dérochoir. Celui-ci est la résultante d'un ravinement intense qui a pris naissance dans les versants marneux du front de combe et qui s'est propagé jusqu'aux crêts de calcaire massif, aujourd'hui déstabilisés par le processus d'érosion régressive.
- **Zone 2 : Elle correspond à la zone fonctionnelle de chenal d'écoulement qui se caractérise sur le long terme par un équilibre entre dépôt et érosion de sédiments dans le chenal.** En raison de la rupture de pente importante et de la proximité des zones sources de sédiments, il est possible dans cette zone d'observer des respirations importantes, dont l'amplitude sera toutefois limitée grâce à la forte largeur disponible. Cette zone peut être subdivisée en deux parties :
 - **Barrage B14 -> Grand barrage (B6) :** Ce secteur est équipé d'une correction torrentielle avec des ouvrages très régulièrement espacés, massifs (> 2m d'épaisseur en crête) et dont beaucoup sont de taille importante (> 4 m). Le plus grand d'entre eux est le barrage B6 avec 10,5 m de hauteur apparente. Il en résulte une rehausse du fond du lit conséquente, avec création de conditions d'écoulement alluvionnaires sur l'ensemble du linéaire corrigé. Le lit est donc large, avec une morphologie de dépôts de type nappes de charriage où les blocs sont nettement moins présents que dans le tronçon aval. La régulation des apports solides sur ce secteur est très importante, avec une variation de la pente d'atterrissement derrière chaque ouvrage fonction des conditions de fourniture sédimentaire. **La pente du lit varie entre 7,0 et 11,6 % d'aval vers l'amont. Elle correspond à des conditions limites de transit de laves torrentielles.**
 - **Grand barrage (B6) -> Confluent ravin de Mias :** le lit du torrent est corrigé avec 4 barrages (le barrage B3 est détruit). Le premier barrage, situé à l'aval du confluent avec le ravin de Mias est un ouvrage de grande hauteur. Les conditions d'écoulement à l'amont de l'ouvrage sont alluvionnaires avec un équilibre entre la pente du fond de lit et la charge solide. Les sédiments fins prédominent très largement dans le lit, et seuls quelques blocs émergent des nappes de charriage. La pente du fond du lit derrière les ouvrages est de l'ordre de 7,5 à 8 %. Un glissement de terrain a été observé en rive droite et dans une moindre mesure en rive gauche, entre les barrages B2 et B3, avec un rétrécissement très net de largeur du lit. Un ancien barrage, aujourd'hui détruit, devait permettre la rehausse du profil en long de secteur et le calage du pied de versant instable. Les ouvrages étant très largement espacés, le caractère alluvionnaire disparaît progressivement vers l'amont en s'éloignant des ouvrages. On retrouve alors un lit à gros blocs en cours de pavage avec une pente longitudinale beaucoup plus irrégulière. A l'amont du barrage B3, il a été observé des terrasses récentes, principalement en rive droite, correspondant à un niveau ancien du lit, qui a probablement moins de 50 à 80 ans vu la taille des arbres. Le lit dans ce secteur s'est creusé d'environ 2,5 à 3 m à l'aval immédiat du barrage B5. A cet endroit, il a d'ailleurs été observé une protection de berge en gabions et béton, au droit d'un lacet de la RD, dont le pied se trouve perché d'environ 3 m au-dessus du niveau du fond du lit actuel.
- **Zone 3 : Il s'agit de la zone de raccordement au fond de vallée caractérisée par une décroissance rapide de la pente longitudinale. Cette zone a joué historiquement un rôle primordial dans la régulation des apports solides.** L'analyse de l'ombrage du Lidar révèle une largeur de bande active historique pouvant aller jusqu'à 150 m. Aujourd'hui cette capacité de régulation, bien que toujours présente, est beaucoup plus faible. **Le lit s'est creusé au sein de terrasses fluviales récentes (Quaternaire et XIX^{ème} siècle) et les terrasses se retrouvent perchées de 0,5 à 3 m. Le substratum est localement affleurant, par exemple lors des visites de terrain 125 m à l'aval du barrage B1.** Le torrent est par ailleurs endigué en rive gauche au droit du parc à bois de l'ONF. L'incision se caractérise par un transport préférentiel des sédiments fins et une évolution vers un pavage du lit avec les gros blocs ne pouvant être mobilisés par les crues courantes. La décroissance de pente s'accroît en aval du confluent avec le ruisseau de Bourdiolle du fait d'apports liquides importants et d'une charge sédimentaire très faible. En effet, le bassin de la Bourdiolle présente une superficie 3,6 fois plus importante que celui de la Béoux en amont du confluent.

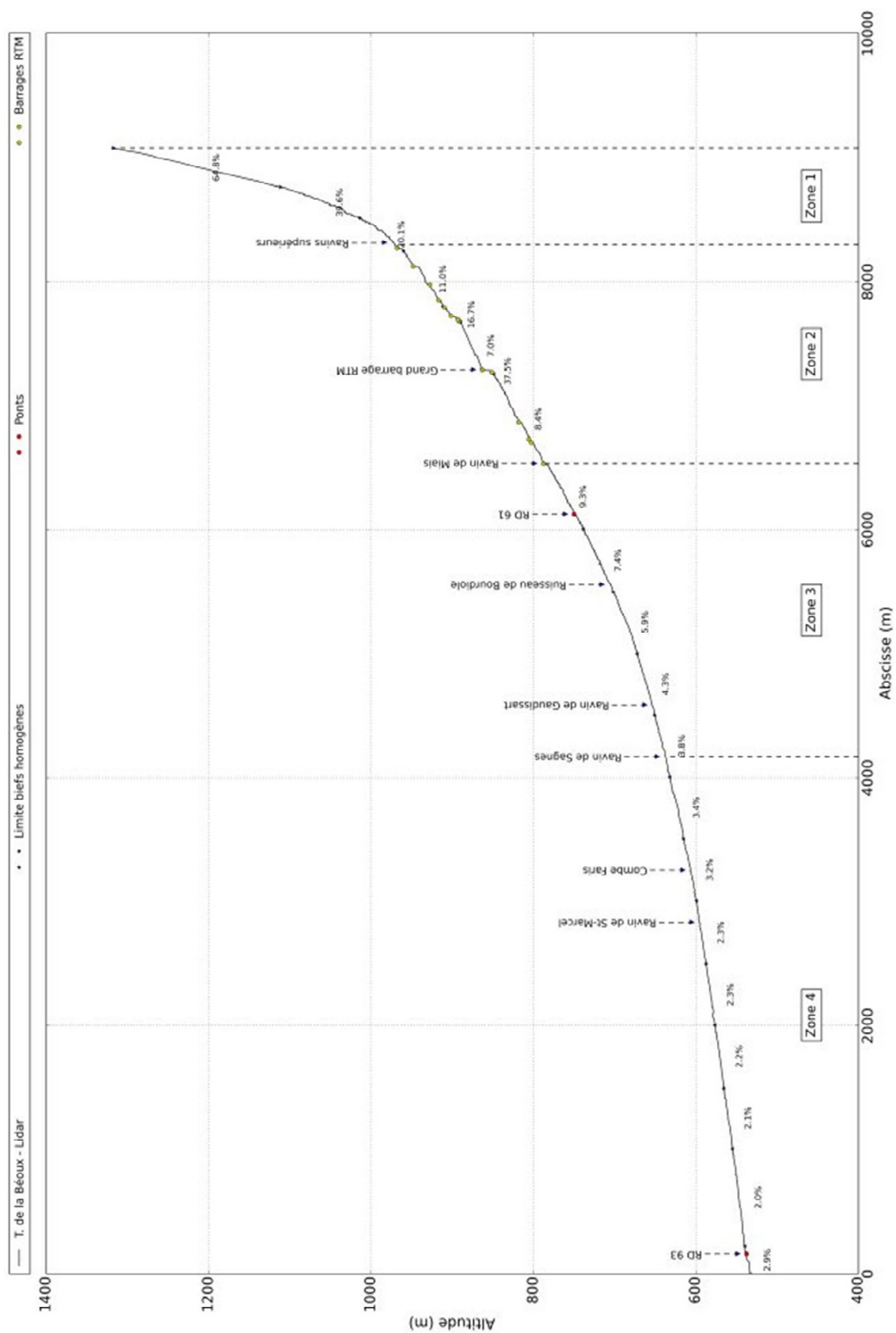


Figure 19 : Profil en long général du torrent de la Béoux

D'autre part, la plupart des formes d'érosion rencontrées dans le bassin du Bourdiolo sont aujourd'hui stabilisées et on peut considérer son transport solide comme négligeable. Lors d'épisodes de crue violents, cet ajustement morphologique issu de conditions moyennes, aura pour conséquence de provoquer le dépôt en masse des matériaux les plus grossiers transportés par des écoulements hyperconcentrés ou des laves torrentielles. Dans ce secteur, la pente passe d'ailleurs en dessous de 7 %, soit des conditions tout à fait propices à l'arrêt de possibles bouffées de laves torrentielles.

- Zone 4 : on retrouve enfin le fond de vallée avec la Béoux qui s'écoule au sein de terrasses fluviales récentes.** La décroissance de pente est ici plus faible avec une pente variant entre 2,0 et 4%. Historiquement, la Béoux recevait les apports sédimentaires de ravins situés en rive droite sous la montagne de Clamontard. Ceux-ci sont aujourd'hui majoritairement déconnectés, les dépôts de sédiments intervenant sur les cônes de déjection en pied de versant. Ils n'atteignent plus la Béoux dont la bande active s'est rétractée au cours du dernier siècle. Dans le secteur aval, on ne retrouve plus d'apports liquides ou sédimentaires importants capables de modifier le profil du cours d'eau. **On note sur cette zone (et dans une moindre mesure dans la zone 3), un processus d'érosion régressive et progressive lié d'une part à l'enfoncement du lit de la Drôme, et d'autre part à la diminution de la charge sédimentaire en provenance de la tête de bassin. Ce phénomène est limité par la présence de seuils et passages à gué bétonnés qui fixent le fond du lit du cours d'eau.**

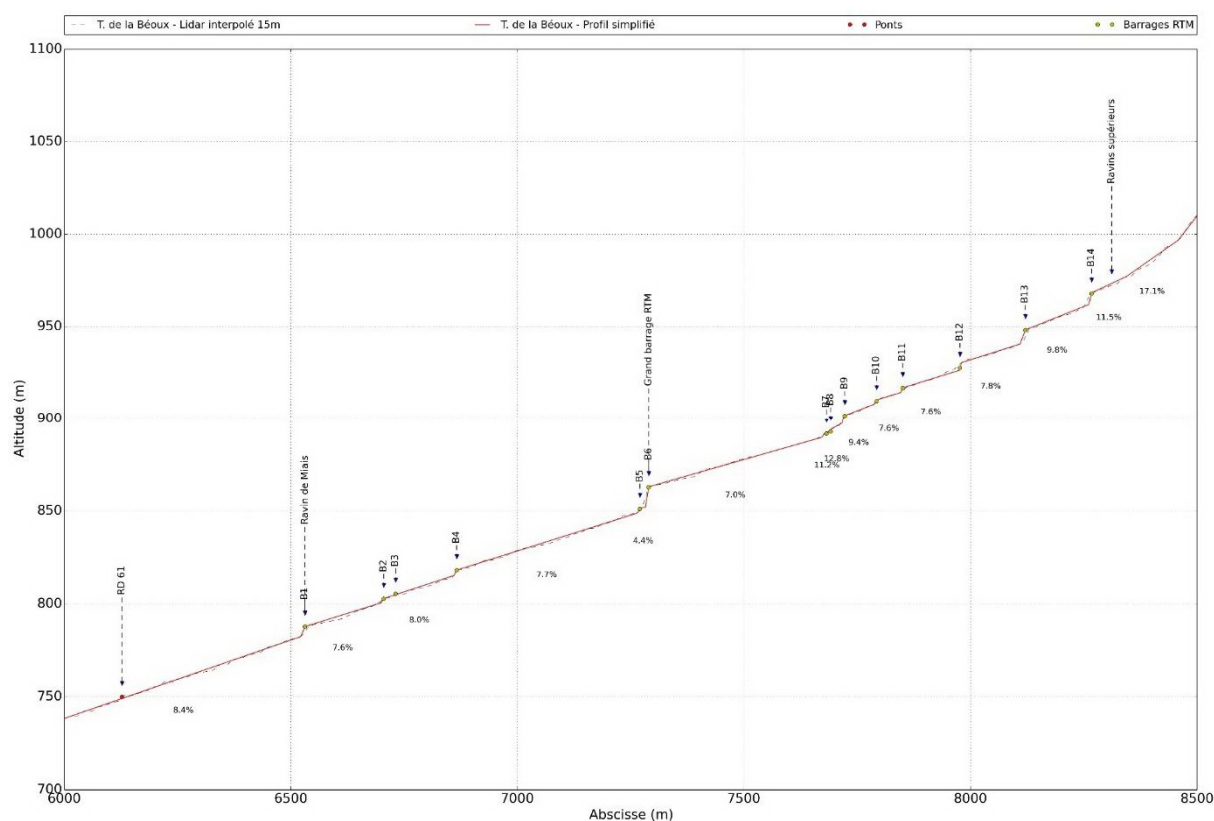


Figure 20 : Profil en long du linéaire de torrent de la Béoux avec barrages RTM



Figure 21 : Amont du barrage B14 avec nappes de charriage et très gros blocs stockés en pied de ravin (gauche)
Lit large avec dépôts de charriage en amont du barrage B13 (droite)



Figure 22 : Vue d'ensemble du ravin de Trescherennes et amont du barrage B6



Figure 23 : Lit à l'aval du barrage B6. Beaucoup de structures à gros blocs émergent (gauche). Dépôts de charriage au droit du tronçon de lit dont les versants sont affectés par des glissements

IV.1.3 Ravin de Mias

Le ravin de Mias est surplombé par un dérochoir massif qui est le siège d'une production sédimentaire importante. Des blocs de volume supérieur à 25 m³ ont été observés en tête de ravin.

Le profil en long, tracé depuis le pied des falaises, fait apparaître deux zones caractéristiques :

- **Zone 1** : il s'agit de la partie du profil en long située en contrebas des falaises. Il s'agit de la zone d'alimentation en sédiments. Elle est raide avec des pentes supérieures à 41 %, avec un fond de lit où le substratum est très souvent affleurant. En pied de cette zone, on note des très gros blocs éboulés de taille impressionnante.
- **Zone 2** : Elle correspond à la zone fonctionnelle de chenal d'écoulement. Elle s'étend en aval jusqu'à la confluence avec le torrent de la Béoux. On retrouve sur ce linéaire 7 ouvrages de correction torrentielle qui viennent caler très localement le fond du lit. Il est probable que la majorité des ouvrages soient fondés sur le rocher, celui ayant été observé à proximité de nombre d'entre eux (B4, B5, B6). La fonction de stabilisation du fond du lit est donc mineure. La rehausse de fond du lit entraîne cependant une dynamique d'écoulement alluviale à l'amont des ouvrages, avec une pente de lit à l'amont des ouvrages en directe corrélation avec le transport solide. Il peut ainsi être déduit du profil en long et des observations de terrain, que la pente représentative du transport solide (aujourd'hui !) dans ce ravin est de l'ordre de 10 %. Tous les tronçons présentant une pente supérieure, présentent un fond de lit soit calé par de très gros blocs, soit avec le substratum marneux affleurant. Même si le substratum n'a été aperçu que de manière localisée entre les barrages 1 et 2, il est fort probable qu'il soit subaffleurant sur le tronçon amont dont la pente est de 20,2 %.

On notera en outre la présence de deux glissements historiques, en rive gauche et en rive droite, expliquant le double coude dans le tracé du torrent. Plus d'informations sont données à ce sujet dans le paragraphe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Il apparaît que le rôle de la correction torrentielle est ici mineur, au moins en amont du barrage B4, le fond de lit étant majoritairement calé, soit par des très gros blocs issus des versants (principalement RG), soit parce que les marnes sont affleurantes.

Enfin, comme sur le torrent de la Béoux, les apports latéraux sont faibles. En rive gauche, on retrouve en effet sur la majorité du linéaire, le substratum marneux. La RD est quant à elle constituée de dépôts stabilisés vestiges d'anciens éboulements. L'essentiel de la charge solide transitant dans le ravin provient aujourd'hui des apports issus du dérochoir. Il est toutefois probable que les apports latéraux aient été historiquement beaucoup plus importants, notamment à l'époque où les glissements ont été actifs.



Figure 24 : Vue du Dérochoir du ravin de Mias et des très gros blocs stockés en pied de ravin



Figure 25 : Affleurement du substratum en amont du barrage B7 et au pied du barrage B6



Figure 26 : Versant rive gauche entre barrages B6 et B4 avec très gros blocs surplombant le versant (gauche)
Blocs sur substratum affleurant en fond de lit (droite)



Figure 27 : passage canyonisé en amont du barrage B4 avec coude important dans le tracé en plan (gauche)
Barrage B4 détruit, parement très long restant marqué par la végétation (droite)

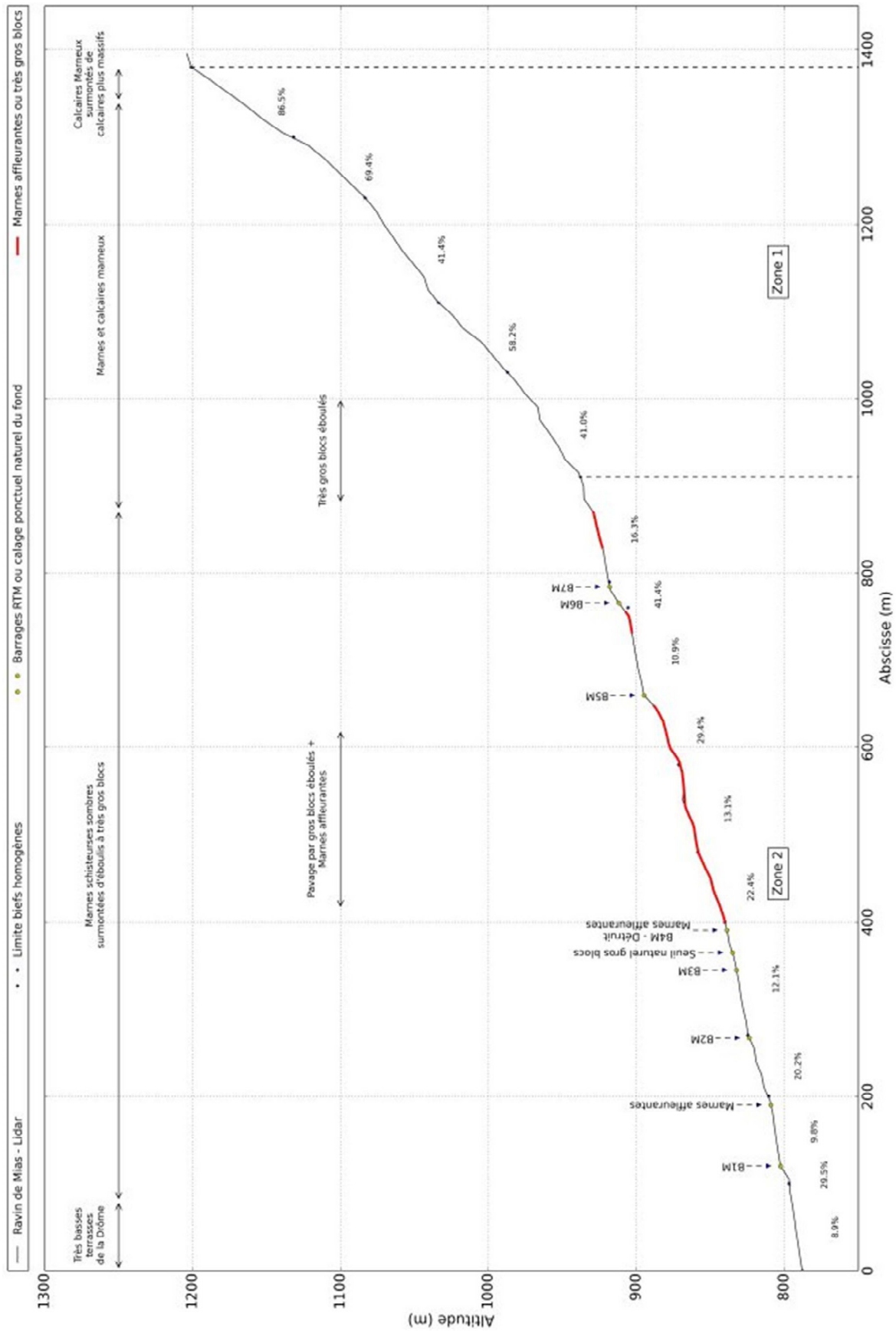


Figure 28 : Profil en long du Ravin de Mias

IV.1.4 Ravin de Saint-Marcel

Nous nous sommes également intéressés au ravin de Saint-Marcel, situé le versant faisant face au village de Poyols, et dont le lit est situé en bordure d'une route forestière. Son profil en long est présenté sur la figure page suivante. De l'amont vers l'aval, on distingue 4 zones :

- **Zone 1** : Elle est située à l'amont de la correction torrentielle (alt. > 750,5 m). Elle correspond à la tête du réseau hydrographique située sous un dérochoir. Le rocher est affleurant en fond de lit avec présence de ressauts rocheux non franchissables. La pente est toujours supérieure à 40 %.
- **Zone 2** : Elle correspond au linéaire de lit équipé d'une correction torrentielle. Sur ce linéaire, le ravin est profondément incisé. La correction torrentielle permet une stabilisation du fond, qui est toutefois à relativiser puisque le substratum rocheux est affleurant en plusieurs points : en fondation du barrage B1, entre le seuil S2 et le barrage B3, et enfin entre les barrages B5 et B6. Elle permet par ailleurs, le calage du pied de versant RG (le versant RD est rocheux entre B1 et B5), grâce aux dépôts de matériaux qui se calent derrière les ailes et qui régressent vers l'amont. Il a été observé des reprises en sous œuvre au niveau des barrages B1, B3 et B6, ce qui illustre le caractère très irrégulier de la fourniture sédimentaire depuis le pied des dérochoirs. La pente d'atterrissement derrière les ouvrages et de l'ordre de 18,0 à 22,0 %.
- **Zone 3** : Il s'agit de la zone située en aval du linéaire corrigé et qui s'étend jusqu'au lacet de la piste forestière longeant le cours d'eau. Elle correspond par ailleurs à la limite amont du cône de déjection géologique. Ce linéaire de cours d'eau a subi une incision très importante, avec découverture du substratum rocheux au niveau du barrage B1 et canyonisation importante entre le barrage B1 et la traversée de torrent (au niveau de la ligne électrique). L'incision est également visible à l'aval, dans une moindre mesure, et tend à s'effacer quelques mètres en amont du lacet de la piste forestière. La pente est dans ce secteur du même ordre de grandeur que celle observée sur les ouvrages de correction torrentielle. Plusieurs facteurs sont susceptibles d'expliquer le creusement du lit dans ce secteur : a) un processus normal et ancien d'érosion lié à la concentration d'apports liquides ; celui-ci est particulièrement important dans des phases de faible production sédimentaire, ou lorsque il n'y a pas de forage météorologique suffisant pour remobiliser les matériaux stockés en tête de bassin ; b) **l'effet de curages réalisés au niveau de la piste qui favorisent la propagation d'une érosion régressive.**

Il nous semble que les deux processus sont présents. Les curages sont indéniables avec création de levées en bordure de cours d'eau (il est possible et même probable que des extractions soient également réalisées sur ce site). Ces travaux sont réalisés dans le but d'éviter des divagations sur la route forestière.



Figure 29 : Photos du ravin de Saint-Marcel au niveau du lacet de la piste forestière (gauche) : en aval de la piste / (droite) au droit de la piste à avec levées de curage en rive droite



Figure 30 : Affleurement du substratum au niveau du barrage B1

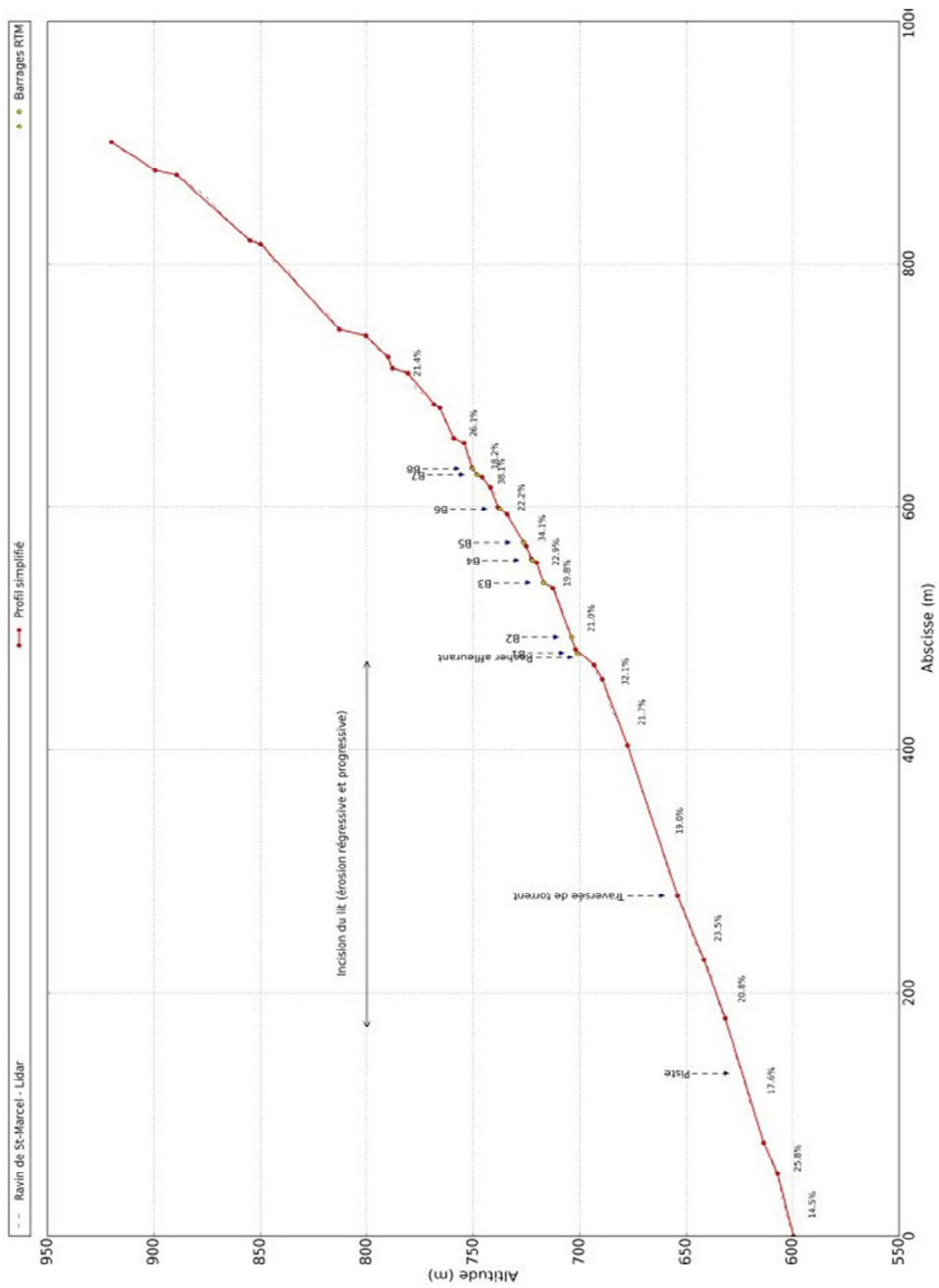


Figure 31 : Profil en long du Ravin de St-Marcel

IV.2 Autres observations

Ce paragraphe regroupe les observations réalisées en d'autres points du bassin versant ainsi que les principaux enseignements de levé LIDAR et de son exploitation sous forme d'ombrage et de réalisation de profils en travers.

IV.2.1 Contraction notable du lit actif et incision du lit

La Béoux est actuellement dans une phase de faible activité torrentielle avec une largeur de lit très réduite par rapport à ce qu'elle a pu être historiquement (cf. carte géomorphologique et figure page suivante). En fond de vallée la largeur de lit actif est actuellement de l'ordre de 10 m alors qu'elle a pu atteindre jusqu'à 140 m dans certains secteurs ! Il est vraisemblable qu'une phase de très grande activité torrentielle soit survenue au cours des XVIII et XIX^{ème} siècles comme l'attestent les plans du cadastre Napoléonien et la carte d'Etat-Major présentés en annexe.

La contraction du lit est liée à une diminution des apports sédimentaires. Elle s'est accompagnée d'un enfoncement du lit bien visible sur quelques profils en travers (cf. figure suivante) :

- PT n°18 : à l'aval du barrage n°1, incision d'environ 3 m par rapport à une terrasse en rive gauche sur laquelle est implantée une protection de berge (protection de la route).
- PT n°12 : à l'amont de la confluence avec le ruisseau de Bourdiolle et au droit du parc à bois de l'ONF. Lit incisé d'environ 1,5 m par rapport à une ancienne terrasse en rive droite. **En rive gauche, présence d'un endiguement très sommaire et vulnérable au droit du parc à bois de l'ONF.**
- PT n°6 : à l'aval du passage à gué de Gaudissart, lit actuel à un niveau altimétrique inférieur de 1,2 m par rapport à un ancien lit. Le sommet de la terrasse alluviale est quant à elle 2,5 m au-dessus du fond de lit actuel.
- PT n° 4 : face au village de Poyols. On ne retrouve pas dans ce secteur de signe évident de l'incision. On remarquera que le nouveau tracé de la route départementale est situé sur l'emprise historique de l'espace de liberté du cours d'eau. L'ancienne route départementale traversait sur le cliché de 1948 le village de Poyols.



Figure 32 : RD 61 empiétant sur l'espace de liberté de la Béoux

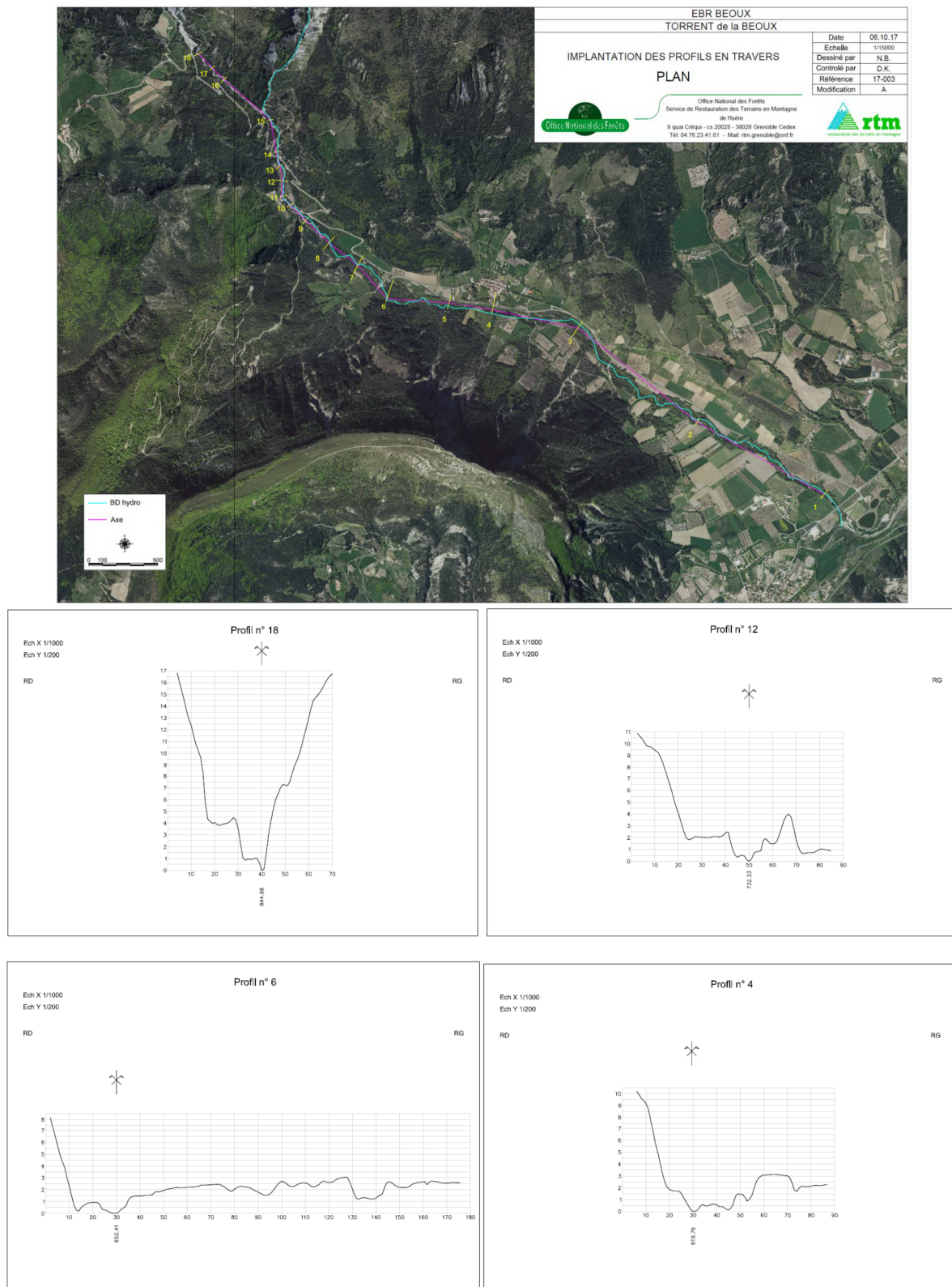


Figure 33 : Tracé de quelques profils en travers

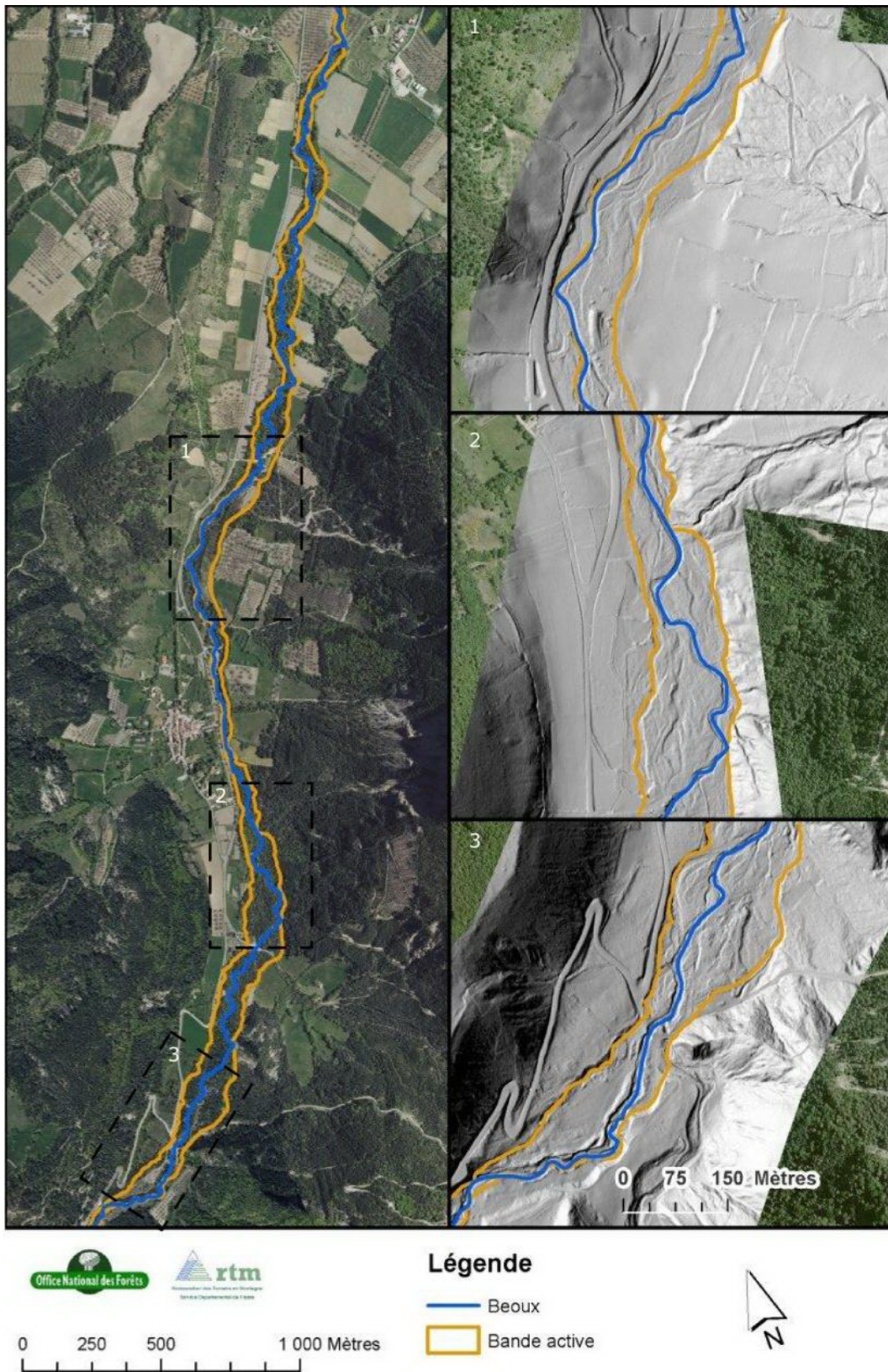


Figure 34 : Illustration de la contraction de la bande active à partir de l'ombrage du Lidar

IV.2.2 Interactions réseau de desserte forestière / transit sédimentaire

Il a été observé sur le secteur d'étude de très nombreuses interactions entre le réseau de desserte forestière et le transit sédimentaire. Ces interactions sont secondaires vis-à-vis des évolutions observées sur la Béoux depuis les années 1950.

Ravins versant Montagne de Clamontard

Il s'agit de l'ensemble des ravins situés sur le versant faisant face au village de Poyols, ainsi que des ravins en rive droite du ravin de Gaudissart. Les cours d'eau sont coupés par des passages à gué de route forestière avec rupture de pente importante et localisée du profil en long.

Il semble que cette rupture de pente locale suffit pour générer des conditions de dépôt. Les dépôts présentent des caractéristiques de nappes de charriage, très perméables. Lors de crues peu intenses, les écoulements arrivant au niveau de ces dépôts s'infiltrent dans les massifs de matériaux et déposent leur charge solide. Un comportement similaire a été observé sur des torrents à clappes Isérois avec des caractéristiques de matériaux similaires (Aiguille et Manival notamment). Il semble que seules des crues très intenses puissent remobiliser les stocks de sédiments déposés en amont des voies forestières. Les travaux visant à rétablir le franchissement des cours d'eau après crue, recréent une rupture dans le profil en long et entretiennent le phénomène d'amoncellement de sédiments survenant lors de crues courantes.

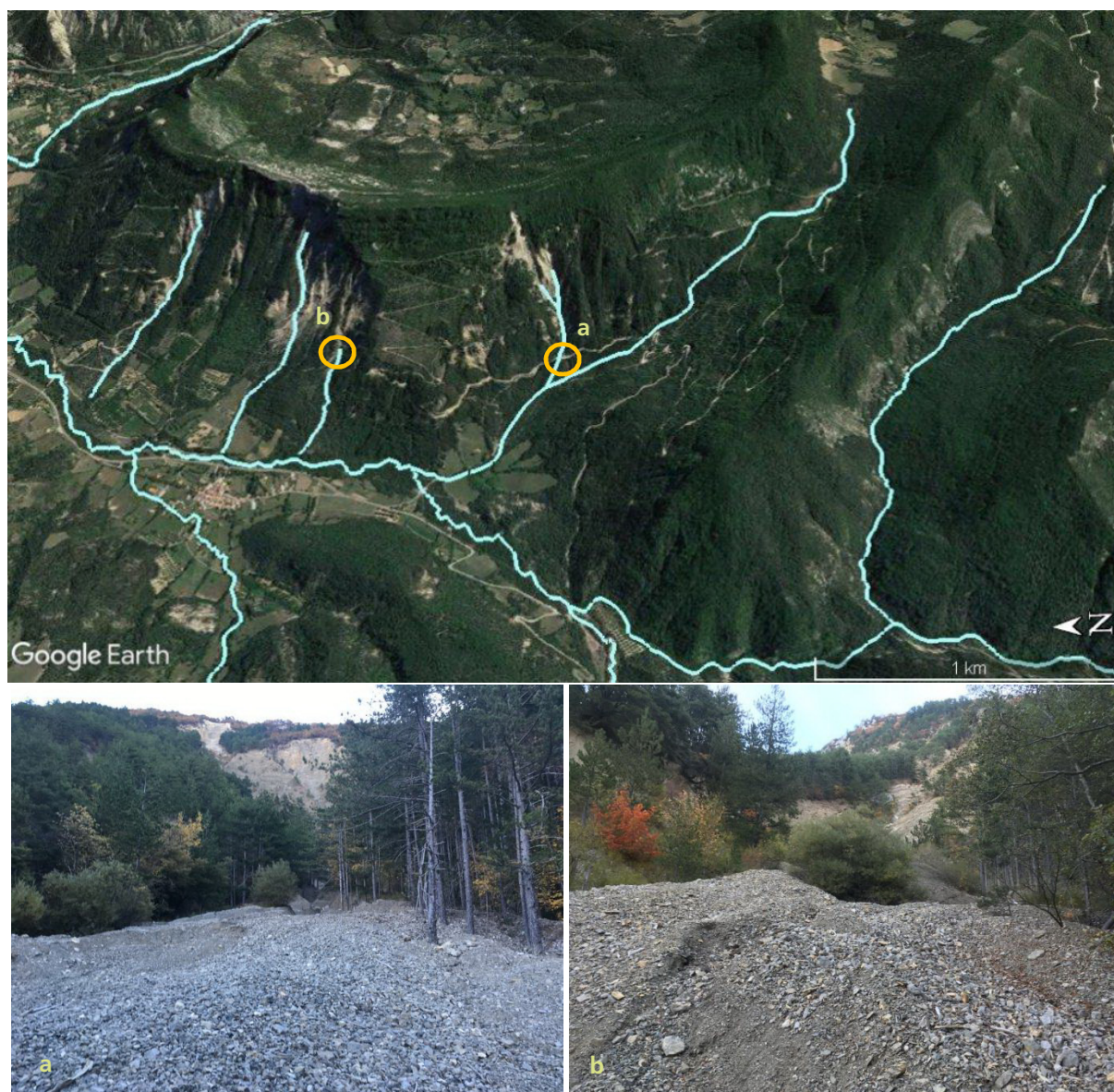


Figure 35 : Vue des dépôts se formant en amont de routes ou pistes forestières

Barrage B6 du torrent de la Béoux

Une route forestière traverse le torrent de la Béoux en amont du barrage B6. Naturellement, il s'agit d'une zone de régulation très large, liée à la rehausse très importante du profil en long au niveau de l'ouvrage (10,5 m de hauteur !) qui s'accompagne d'un élargissement important de la section disponible.

Pour rendre l'accès possible, la largeur disponible a été réduite au moyen de cordons : dès l'amont du barrage RTM, mais aussi en amont du franchissement du cours d'eau. Leur pérennité est douteuse et oblige à des interventions fréquentes dans le cours d'eau. Il n'existe pas de solution miraculeuse pour minimiser les interventions, sauf à revoir l'emplacement du franchissement ou à créer un passage à gué à l'amont immédiat d'un barrage.

En plus des remaniements de matériaux ayant vocation à rétablir l'accès à la route forestière, il semble que des curages aient été régulièrement pratiqués sur l'atterrissement du barrage. Ceux-ci n'ont pu être quantifiés précisément, le sommier de la forêt ayant disparu. Selon les personnels ONF locaux, des curages d'un volume de l'ordre de 5000 m³ auraient été effectués entre 2005 et 2017. Les matériaux ont été utilisés en tant que couche de finition de routes forestières locales. Le dernier remaniement de matériaux avec chenalisation du torrent et création de cordons date de 2012.



Figure 36 : Vue d'ensemble et de détail de la zone en amont du grand barrage RTM

IV.3 Morphologie fluviale

La morphologie fluviale actuelle de la Béoux est décrite dans les paragraphes qui suivent à partir de l'examen de plusieurs sites considérés comme représentatifs.

Pour chaque tronçon expertisé, il a été adopté la même description synthétique. Dans un premier temps, un aperçu global du tronçon est donné à partir d'une vue aérienne générale. Une vue de détail est ensuite proposée afin de visualiser la morphologie d'un secteur particulier. Enfin, un diagnostic simplifié est proposé en considérant 3 critères : la morphologie du chenal, en adoptant une typologie adaptée ; l'écart entre la capacité de transport solide et les apports sédimentaires effectifs, exprimé de manière qualitative à partir d'une interprétation de la morphologie fluviale ; l'intensité prévisible des divagations latérales et des respirations verticales.

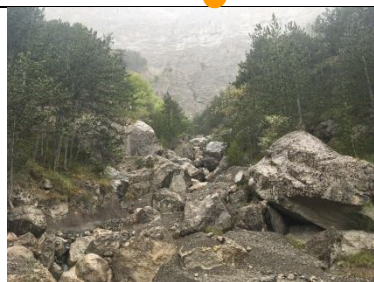
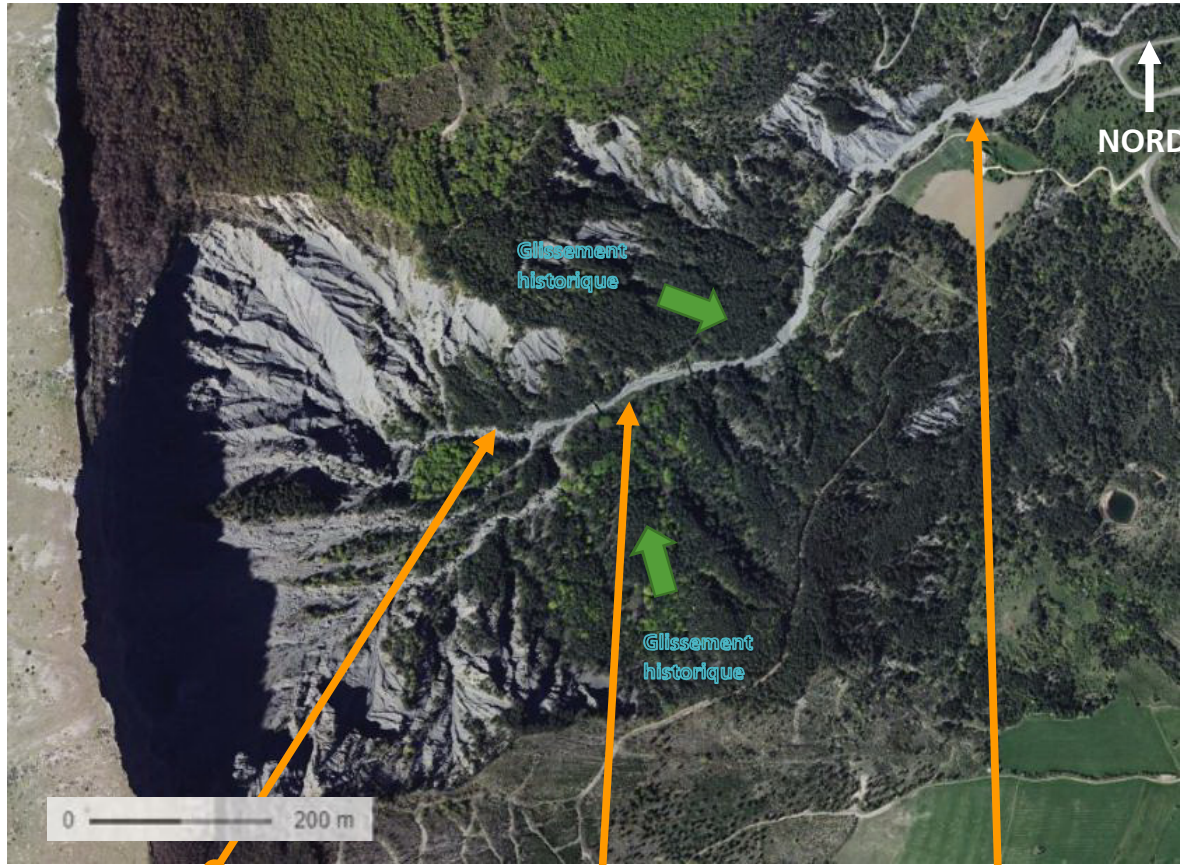
Ravin de Trescherennes -> barrage B6

Tronçon entièrement corrigé

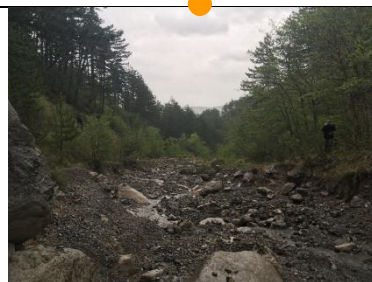
Morphologie à blocs avec dépôts de nappes de charriage

Largeur de lit conséquente.

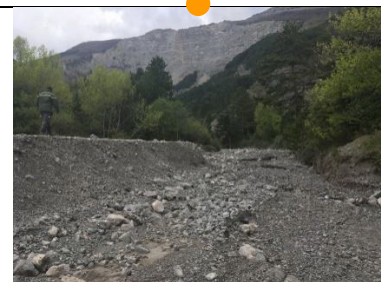
Régulation du transport solide. En amont B6 : curages, remaniement lit et endiguements pour accès route forestière



- Morphologie de lit avec à très gros blocs issus d'éboulement
- Capacité de transport supérieure aux apports solides effectifs
- Zone de transit avec respiration verticale limitée



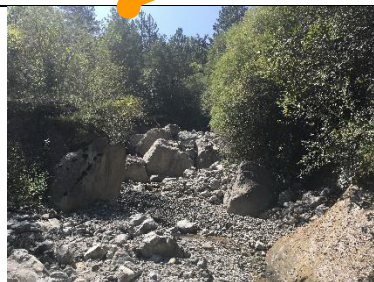
- Morphologie de lit à blocs avec bancs.
- Capacité de transport \pm comparable aux apports solides effectifs
- Divagation latérale et respiration verticale modérées



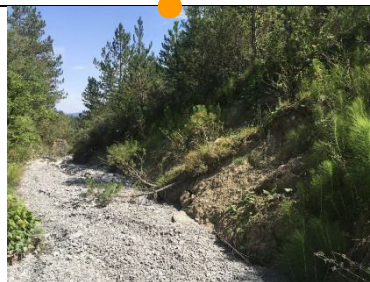
- Morphologie de lit à blocs avec bancs. Secteur prédominé par nappes de charriage recouvrant les blocs.
- Capacité de transport \pm comparable aux apports solides effectifs
- Divagation latérale et respiration verticale modérées

Barrage B6 – Barrage B1

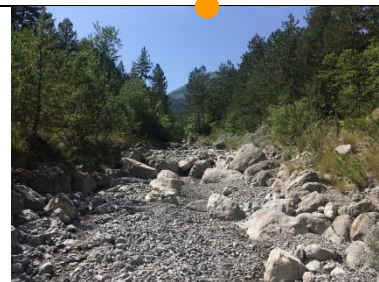
Tronçon partiellement corrigé. Morphologie à blocs avec dépôts de nappes de charriage.
Diminution notable largeur de lit par rapport tronçon amont
Incision avec présence des blocs croissante vers l'amont en s'éloignant du barrage B4 (début pavage)



- Morphologie de lit à très gros avec quelques bancs
- Capacité de transport \pm comparable aux apports solides effectifs
- Divagation latérale et respiration verticale modérées



- Morphologie de lit à graviers (nappes de charriage). Glissement en rive droite. Lit étroit.
- Capacité de transport \pm comparable aux apports solides effectifs
- Divagation latérale et respiration verticale modérées

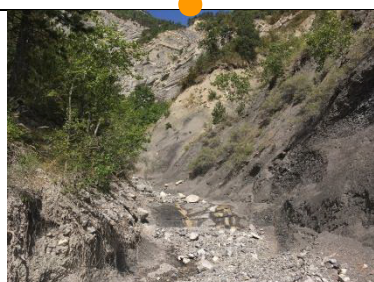


- Morphologie de lit à blocs avec bancs. Secteur prédominé par nappes de charriage recouvrant les blocs.
- Capacité de transport \pm comparable aux apports solides effectifs
- Divagation latérale et respiration verticale modérées

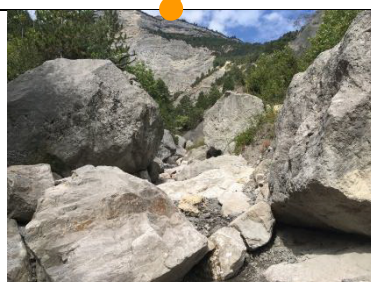
Ravin de Mias

Ravin partiellement corrigé

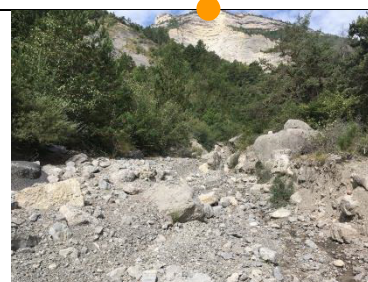
A l'amont coude : affleurement substratum et/ou calage du lit par de très gros blocs. Quelques ouvrages RTM fondés sur le rocher.



- Morphologie de lit à fond rocheux
- Capacité de transport supérieure aux apports solides effectifs
- Divagation latérale et respiration verticale faible



- Morphologie de lit à très gros blocs avec affleurement substratum
- Capacité de transport supérieure aux apports solides effectifs
- Divagation latérale et respiration verticale faible

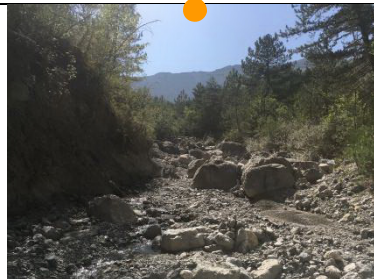


- Morphologie de lit à blocs avec bancs. Secteur prédominé par nappes de charriage recouvrant les blocs.
- Capacité de transport ± comparable aux apports solides effectifs
- Divagation latérale et respiration verticale modérées

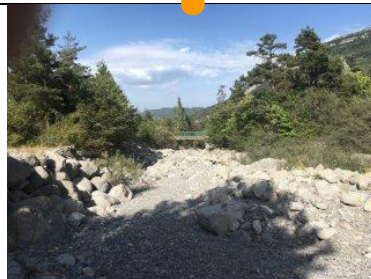
Aval correction RTM

Tronçon non corrigé à l'aval des ouvrages RTM

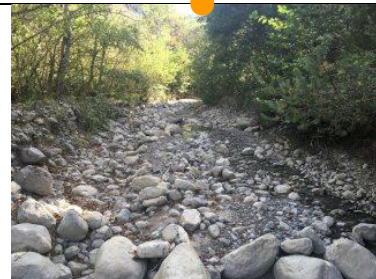
Contraction importante du lit à l'aval du confluent avec le ruisseau de Bourdiolle s'accompagnant de modifications très importantes de style fluvial et de granulométrie.



- Morphologie de lit à blocs avec substratum localement affleurant. Présence de nappes de charriage
- Capacité de transport supérieure aux apports solides effectifs
- Divagation latérale et respiration verticale faible



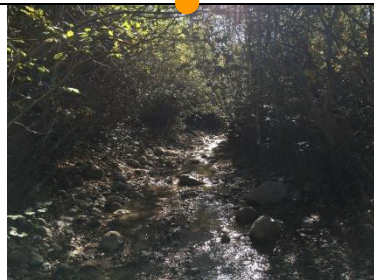
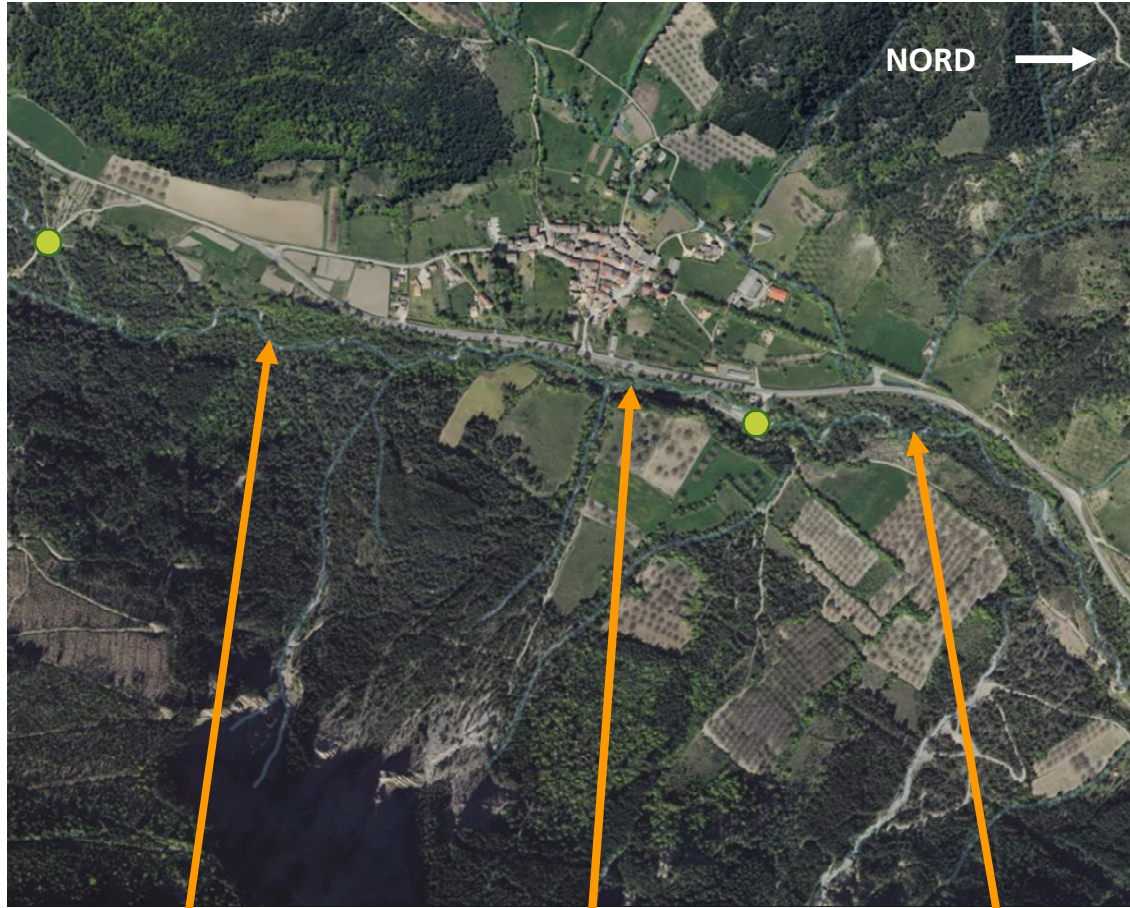
- Morphologie de lit à blocs en alternance avec des nappes de charriage
- Capacité de transport \pm comparable aux apports solides effectifs
- Divagation latérale et respiration verticale modérées



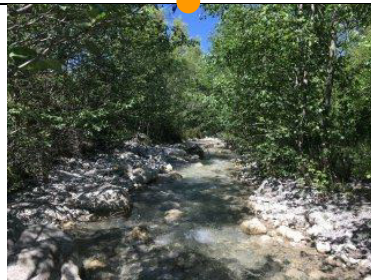
- Morphologie de lit à petits blocs et cailloux sans bancs (lit plan).
- Capacité de transport \pm comparable aux apports solides effectifs. Tendance à l'armurage illustrant une tendance de déficit d'apport.
- Divagation latérale et respiration verticale modérées à faibles

Au droit village de Poyols

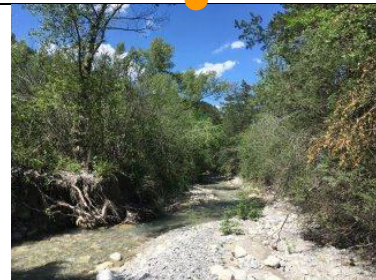
Morphologie de lit à petits blocs et cailloux sans bancs (lit plan). L'absence de sédiments fins illustre une tendance au pavage et donc une tendance à un déficit d'apport.
Le pavage et la relative absence de graviers favorise par ailleurs la stabilité du tracé en plan, au moins pour les crues les plus courantes.



- Morphologie de lit à petits blocs et cailloux sans bancs (lit plan).
- Capacité de transport ± comparable aux apports solides effectifs. Tendance à l'armurage illustrant une tendance de déficit d'apport.
- Divagation latérale et respiration verticale modérées à faibles



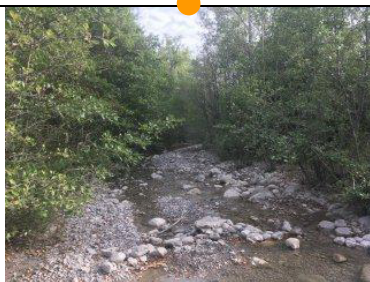
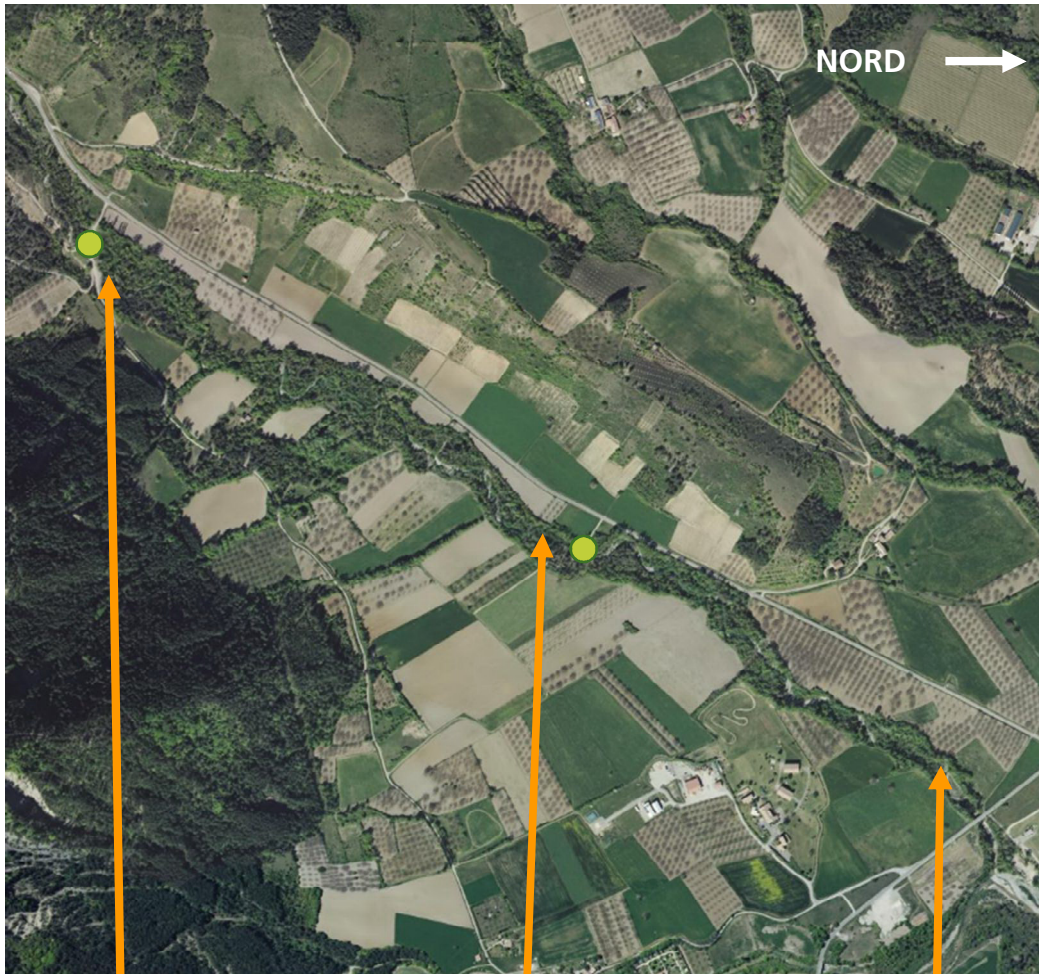
- Morphologie de lit à petits blocs et cailloux sans bancs (lit plan).
- Capacité de transport ± comparable aux apports solides effectifs. Tendance à l'armurage illustrant une tendance de déficit d'apport.
- Divagation latérale et respiration verticale modérées à faibles



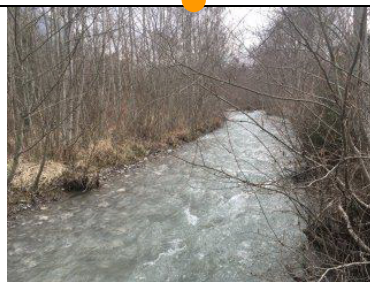
- Morphologie de lit à petits blocs et cailloux sans bancs (lit plan).
- Capacité de transport ± comparable aux apports solides effectifs. Tendance à l'armurage illustrant une tendance de déficit d'apport.
- Divagation latérale et respiration verticale modérées à faibles

Aval village de Poyols

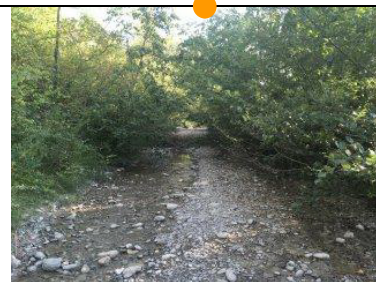
Linéaire à la morphologie très homogène, avec lit plan dont le fond est structuré par cailloux et petits blocs. Pas de bancs visibles sur la majorité du linéaire) ce qui démontre une tendance au déficit d'apports.



- Morphologie de lit à petits blocs et cailloux sans bancs (lit plan).
- Capacité de transport \pm comparable aux apports solides effectifs. Tendance à l'armurage illustrant une tendance de déficit d'apport.
- Divagation latérale et respiration verticale modérées à faibles



- Morphologie de lit à petits blocs et cailloux sans bancs (lit plan).
- Capacité de transport \pm comparable aux apports solides effectifs. Tendance à l'armurage illustrant une tendance de déficit d'apport.
- Divagation latérale et respiration verticale modérées à faibles



- Morphologie de lit à petits cailloux sans bancs (lit plan).
- Capacité de transport \pm comparable aux apports solides effectifs. Tendance à l'armurage illustrant une tendance de déficit d'apport.
- Divagation latérale et respiration verticale modérées à faibles

IV.4 Morphodynamique

Ce paragraphe a pour objet d'identifier les principales évolutions morphologiques du lit de la Béoux et de ses affluents survenues :

- Depuis le XIX^{ème} siècle via la consultation du cadastre Napoléonien et de la carte d'Etat-major de 1866 ;
- Depuis 1948 via la comparaison de plusieurs campagnes de photos aériennes (1948, 1971, 2013).

IV.4.1 La Béoux au XIX^{ème} siècle

Les extraits du cadastre Napoléonien (1832) et de la carte d'Etat-major (1866) sont joints en annexe 1 et 2. Il ressort de l'analyse de ces documents que la Béoux présentait un lit très large depuis le confluent avec le ravin de Mias jusqu'à l'exutoire du bassin versant. La largeur de lit actif est très supérieure à celle observée de nos jours et se rapproche de celle observée sur la photo aérienne de 1948, hormis sur le tronçon de raccordement avec le fond de vallée (zone 3 du profil en long) avec des largeurs de lit vraisemblablement plus importantes au XIX^{ème} siècle.

On observe enfin sur les deux documents étudiés une largeur de lit très importante dans le ravin de Gaudissart. Ce ravin est aujourd'hui complètement boisé et ne présente plus de signes d'activité torrentielle.

IV.4.2 La Béoux de 1948 à nos jours

Les observations résultant de l'analyse des photos sont décrites ci-après pour chaque secteur du bassin versant étudié. Les cartes sont présentées en annexe 4. Le Tableau 4 synthétise les évolutions de style fluvial et de largeur de bande active.

On retiendra que tous les tronçons étudiés sont affectés par des contractions importantes de largeur de lit actif. Celles-ci sont accompagnées :

- de changements de style fluvial (en fond de vallée), avec passage de style divagant ou en tresses caractéristiques d'une forte charge de fond à un style avec chenal unique sinueux représentatif d'une charge solide moindre ;
- d'une incision du lit, limitée soit par des seuils, soit par un processus de début de pavage.

Le facteur principal de la contraction du lit actif est une baisse progressive et durable de la fourniture sédimentaire. Les différentes hypothèses pouvant l'expliquer sont listées ci-après :

- diminution des surfaces en érosion active depuis la fin du XIX^{ème} siècle du fait des reboisements artificiels et naturels et des travaux de correction torrentielle (cf § III.3) ;
- diminution des taux d'érosion liée au réchauffement climatique lequel pourrait être vérifié qualitativement en analysant les nombres de jours de gel/an à Luc en Diois depuis la création de la station météorologique ;
- diminution de l'activité torrentielle liée à des forçages hydro-climatiques plus faibles en conjonction avec des stocks dans les bassins d'alimentation et les lits plus faibles ;
- déconnexion des ravins rive droite de la Béoux face au village de Poyols depuis les années 1970 du fait de la contraction du lit actif de la Béoux.

L'effet du reboisement sur les changements de styles fluviaux et à la contraction du lit de la Béoux est réel et vraisemblablement prépondérant. On notera que des effets similaires sont observés dans le département de la Drôme et en Isère dans des bassins où la végétalisation n'intervient pas de manière volontaire, et où les têtes de bassin se reboisent naturellement (cf. annexe 5). L'effet du climat sur la baisse de production sédimentaire (par diminution des jours de gel et par reboisement naturel de zones en érosion) doit donc être considéré de notre point de vue à l'échelle régionale comme un facteur également significatif.

La réalisation de nouveaux barrages RTM à partir des années 1950-1960 a généré un déficit d'apport temporaire du fait du remplissage progressif de sédiments derrière les barrages. Il est probable que ce facteur a été important comme l'attestent les comparaisons de photos aériennes et l'évolution

observée sur le terrain sur les tronçons à l'aval des barrages B6 et B1. L'exploitation du profil en long issu du Lidar révèle que le volume de matériaux stocké par les ouvrages de correction torrentielle de la Béoux est de l'ordre de 57 000 m³, soit environ l'équivalent de 20 ans de transport solide actuel (cf. § V.1.8). Il s'agit d'une estimation haute, puisque des barrages ont été réalisés en remplacement d'ouvrages plus anciens. Rappelons enfin qu'il s'agit d'un effet temporaire, en phase de remplissage des ouvrages, et qu'aujourd'hui les ouvrages RTM sont transparents par rapport au transit sédimentaire.

A ce phénomène de stockage temporaire s'ajoutent des pratiques de curage et de remaniement de matériaux sur l'atterrissement du barrage B6. Les volumes extraits entre 2005 et 2017 sont de l'ordre de 5 000 m³, soit l'équivalent d'environ 2 ans de transport solide.

Secteur	Lit actif			Espace de liberté
	1948	1971	2013	
Linéaire correction torrentielle <i>Z_{min} = 788 m</i>	Chenal unique rectiligne L : env. 15-30 m	Chenal unique rectiligne (nouveaux barrages) L : env. 30 m	Chenal unique rectiligne (nouveaux barrages) L : env. 30 m	Env. 30 m
		Aval B6 L : 10-20 m	Aval B6 L : 10-15 m	
Amont village Poyols <i>Z_{min} = 658 m (gué)</i>	Chenal unique sinueux L : 10-20 m	Chenal unique sinueux L : 8-15 m	Chenal unique sinueux L : 8-15 m	15 à 35 m
Village Poyols <i>Z_{min} = 589 m (RD61a)</i>	Chenal unique à bancs alternés L : 10-20 m		Chenal unique L < 10 m	35 à 100 m
	Lit en tresses en cours d'évolution vers chenal unique car EL végétalisé en dehors des chenaux actifs.			100 à 140 m
Amont confluence Drôme <i>Z_{min} = 533 m</i>	Chenal unique à bancs alternés avec vestiges de tresses L : 11-37 m	Chenal unique à bancs alternés L : 10-15 m	Chenal unique à bancs alternés L : env. 10 m	52 à 87 m
Drôme aval confluence Béoux <i>Z_{min} = 514 m</i>	Lit en tresses L : 60-190 m	Lit en tresses en transition vers chenal unique L : 30-55 m	Chenal unique rectiligne s'écoulant sur le substratum L : 30- 55 m	60 à 330 m

Tableau 4 : Evolution du style fluvial de la Béoux d'après observation de photos aériennes (cf. annexe 4).

On détaille ci-après l'analyse pour chaque carte présentée en annexe 4.

Secteur : Ravin de Trescherennes -> amont confluence avec le ravin de Mias

Les zones d'érosion au sein du ravin ont très peu évolué. On identifie par contre sur ces photos des reboisements préexistants probablement effectués avant la première seconde guerre mondiale.

D'autre part, il est observé sur le cliché de 1971 des stocks de matériaux très importants au droit du secteur corrigé, et qui semblent supérieurs à ceux observés en 2013. Ceci peut indiquer une diminution de l'activité torrentielle. Il est toutefois probable que la différence de largeur de lit actif corresponde plutôt à une végétalisation des atterrissements situés derrière les ailes des barrages de correction torrentielle.

Enfin, l'autre fait marquant est le différentiel de largeur de lit entre le linéaire situé à l'amont du barrage B6 et celui directement à l'aval. Depuis la réalisation du grand barrage, la largeur de lit à l'aval tend à fortement

diminuer. Cette contraction du lit s'accompagne d'une incision, bien visible sur le terrain au niveau de la protection de berge en rive droit à l'aval immédiat du barrage B5. Ces phénomènes trouvent très probablement leur explication dans : le stockage de matériaux qui s'est effectué pendant la phase transitoire de remplissage des ouvrages ; la réalisation de curages et de remaniements de matériaux en amont du barrage B6, dont l'objet a moins récent est de maintenir l'accès à la route forestière traversant le torrent pour desservir le versant en rive gauche du torrent.

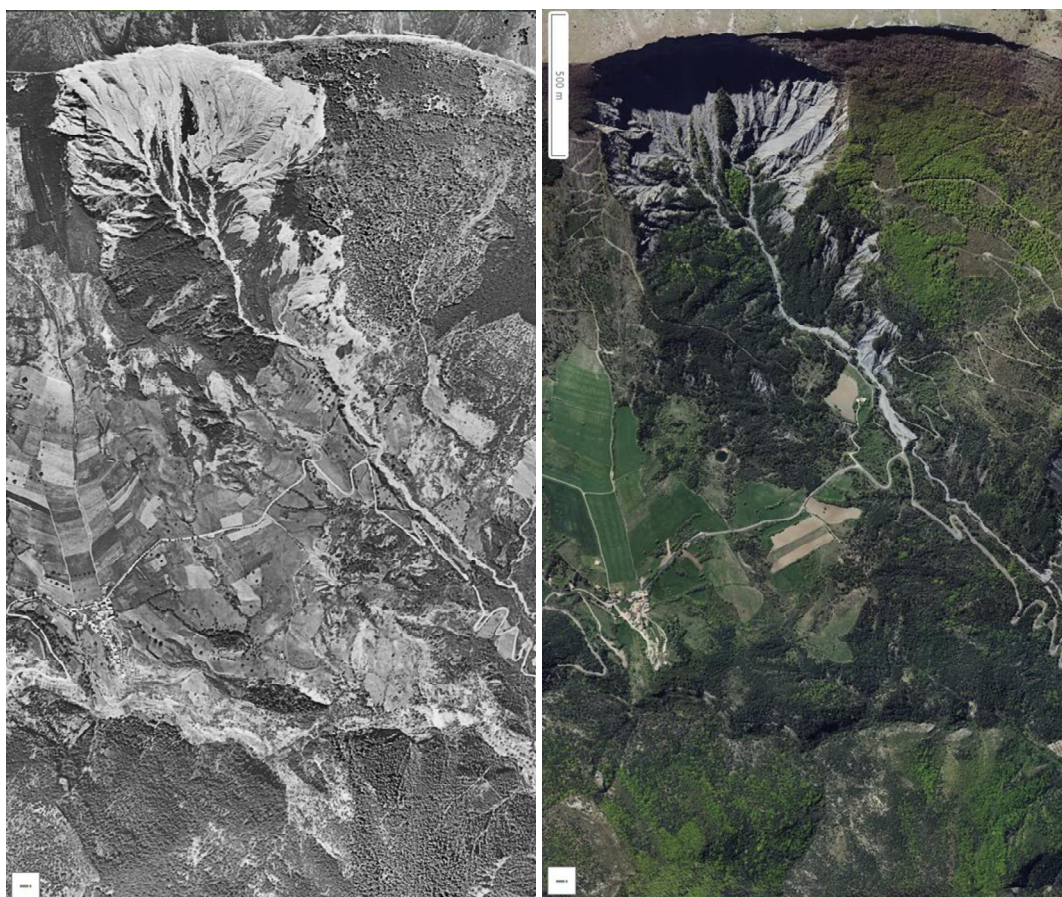


Figure 37 : Comparaison de photos aériennes 1948 (à gauche) et 2016 (à droite)

Secteur : Ravin de Mias (cf. annexe 4)

Les évolutions survenues entre 1948 et aujourd'hui sont faibles. On note, comme sur l'ensemble du bassin versant de la Béoux, une tendance régulière à la revégétalisation naturelle des versants. Ici encore, on peut supposer que les grandes unités de boisements préexistantes en 1948 correspondent à des boisements artificiels RTM. Ceux-ci ont en grande partie été réalisés en rive gauche en aval du barrage B4, ainsi qu'en aval de la confluence avec la Béoux, toujours sur le versant rive gauche.

L'analyse de l'ombrage du Lidar ainsi que les observations réalisées sur le terrain montrent qu'il s'agit d'un versant instable. Le coude dans le tracé en plan du ravin au droit du barrage B4, laisse supposer qu'un glissement historique survenu en rive gauche a repoussé le torrent sur la rive opposée.

Secteur : aval correction RTM -> amont village de Poyols

Ce secteur se caractérise par une tendance très nette au rétrécissement de la bande active du cours d'eau ainsi que par une augmentation très nette du taux de boisement dans le fond de vallée.

La diminution de largeur de lit actif est particulièrement explicite en amont du confluent avec le ruisseau de Bourdiolle, où la Béoux divaguait avec des chenaux multiples en 1948. Elle est également visible à l'aval avec un lit qui à partir de 1971 devient très peu visible sur les photos aériennes. Sur la figure ci-dessous, on notera la mobilité en plan du cours d'eau. On repère sur le cliché de 1948 des divagations latérales récentes ou anciennes bordant la route départementale. Le contour Nord du boisement situé entre le parc à bois ONF et la route départementale peut correspondre à d'anciennes divagations du torrent.

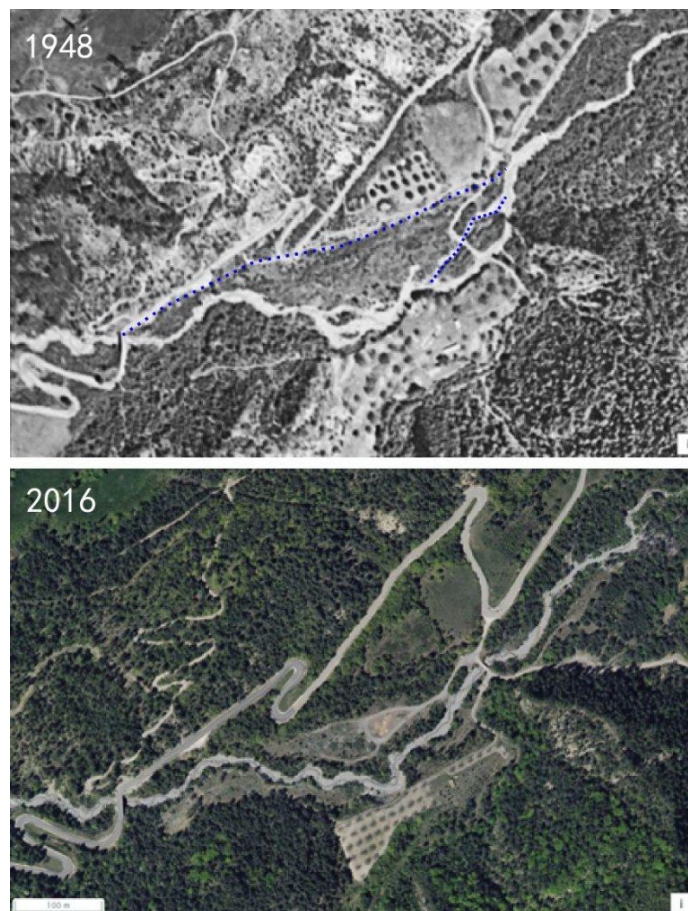


Figure 38 : Comparaison de photos aériennes 1948 (à gauche) et 2016 (à droite)
Secteur amont confluence ruisseau de Bourdiolle

Secteur : amont Poyols -> aval village de Poyols

Les évolutions sur ce secteur sont également radicales. En 1948, tous les ravins sur le versant rive droite étaient connectés à la Béoux avec des apports sédimentaires conséquents. Les apports les plus importants étaient ceux le ravin qui conflue avec la Béoux face au village de Poyols. La Béoux présentait en aval du village un style divagant avec des chenaux multiples. En amont du village, la Béoux présentait un chenal unique avec des sinuosités marquées. Ce changement de style morphologique dénote des apports latéraux importants par l'ensemble de ces ravins.

La photo de 1971 révèle très peu d'évolutions par rapport à la morphologie observée en 1948. C'est à l'amont que les changements sont les plus visibles avec une fermeture du lit par la végétation.

Enfin, entre 1971 et 2013, les évolutions sont par contre spectaculaires. La Béoux ne présente plus de signes d'apports latéraux par les différents ravins. La zone de confluence avec le ravin s'écoulant face au village s'est complètement refermée, de même que le lit à l'aval du village qui est à peine visible sur les photos aériennes et présente dorénavant un style de lit unique sinueux.



Figure 39 : Comparaison de photos aériennes 2016 (à gauche) et 1948 (à droite)
Secteur village de Poyols

Aval du village de Poyols -> Confluence avec la Drôme

La tendance est toujours à la fermeture du lit. Celle-ci semble continue entre 1948 et 2013.

Sur ce linéaire la Béoux présente un chenal unique avec un lit actif large d'une vingtaine de mètres. On observe par endroit des vestiges de style en tresses. Bien que large en moyenne d'une vingtaine de mètres, le lit actif est étroit par rapport à l'espace de divagation historique (espace de liberté). L'espace de divagation est en cours de reboisement, ce qui indique une tendance à la diminution de la charge de fond.

En 1971 et en 2013, la largeur de lit actif diminue très nettement avec un boisement qui se pérennise au sein de l'espace de liberté.

Drôme à l'aval de la confluence avec la Béoux

Les évolutions sont spectaculaires entre 1948 et 2013. En 1948, la Drôme présentait un lit en tresses, avec de multiples chenaux et un espace de divagation régulièrement remanié par les écoulements puisque peu végétalisé.

En 2013, on observe sur la majorité du linéaire de ce tronçon d'étude un lit rectiligne s'écoulant sur le substratum marneux avec un espace de divagation en cours de reboisement. Comme cela a déjà été souligné dans l'analyse du profil en long, la Drôme a subi une incision sévère liée aux extractions de sédiments post seconde guerre mondiale conjuguée à une diminution des apports solides en provenance des différents affluents.

IV.5 Synthèse

Le tableau suivant synthétise l'étude géomorphologique de la Béoux.

Critère	Synthèse
Profils en long et observations de terrain	<p>Drôme : mise en évidence d'une incision importante par comparaison du profil des grandes forces hydrauliques de 1928 et du profil en long issu du Lidar IRSTEA. Le fond du lit est calé à l'aval de la confluence avec la Béoux par deux seuils. Les extractions sont vraisemblablement le principal facteur explication de l'incision, avec environ 8 millions de m³ de sédiments extraits dans le de la Drôme entre la fin de la seconde guerre mondiale et le début des années 90. On peut également supposer que l'incision a été accentuée par une diminution des surfaces en érosion active avec pour conséquent des apports de la Béoux en baisse. Ce facteur doit cependant être considéré comme secondaire par rapport aux extractions.</p> <p>Béoux : l'incision de la Drôme s'est peu propagée dans la Béoux grâce à un seuil implanté en amont de la confluence avec la Drôme et à plusieurs passages à gué fixant le fond du lit. Le profil en long de la Béoux est marqué par la présence d'une zone importante de régulation du transport solide située directement en pied du ravin de Trescherennes. L'efficacité de la régulation des apports est augmentée du fait de la présence d'une correction torrentielle qui a la vertu d'élargir le lit (et donc les stocks) et de générer des conditions d'écoulement alluvionnaires. En aval de la confluence avec le ravin du Mias, le profil est marqué par une décroissance rapide de la pente, avec pour conséquent des conditions propices au dépôt lors de crues intenses. Sur le long terme, les visites de terrain et l'analyse du LiDAR montrent au contraire sur ce secteur une tendance très nette à la rétraction du lit et à son enfoncement avec découverture de structures à gros blocs.</p> <p>Mias : le profil en long permet d'identifier deux zones. La première correspond à la zone d'alimentation en matériaux (éboulis en pied de ravin) et la seconde à une zone de transit dans laquelle le fond du lit est majoritairement calé soit pas de très gros blocs issus d'éboulement soit pas des affleurement du substratum. La partie aval du profil est quant à elle fixée par de vieux ouvrages de correction torrentielle qui ont été vraisemblablement réalisés suite à un glissement intervenu en rive gauche.</p> <p>Saint-Marcel : le profil en long et les observations de terrain montrent l'existence d'une incision du lit liée à une érosion progressive (diminution des apports) conjuguée à une érosion régressive (curage au niveau du lacet de la route forestière). Ce ravin, comme les autres ravins rive droite de la Béoux dans le secteur du village de Poyols sont aujourd'hui déconnectés de la Béoux.</p>
Autres observations	<p>L'analyse du Lidar sous forme de carte d'ombrage ou d'extraction de profils en travers met en évidence une incision et une contraction du lit actif, depuis le confluent avec la Drôme jusqu'au grand barrage RTM.</p> <p>On notera également, une implantation de la nouvelle RD 61 dans l'espace de liberté historique de la Béoux, avec pour conséquents des possibilités d'évolution du fond du lit fortes en cas de réactivation des ravins situés sous la montagne de Clamontard.</p> <p>Enfin, il a été observé de nombreuses interactions entre les voieries forestières et le transit sédimentaire, notamment au niveau des ravins sous la montagne de Clamontard et sur l'atterrissement du barrage B6 (grand barrage).</p>
Morphologie fluviale	<p>Sur les tronçons corrigés à l'amont du grand barrage, on retrouve majoritairement des lits à blocs et graviers avec des nappes de charriage. Les blocs qui émergent du lit, présentent selon toute vraisemblance une mobilité beaucoup plus faible que les graviers qui sont eux mobilisés par les crues les plus courantes.</p> <p>En aval de la correction RTM, entre le barrage B5 et B4, puis en aval du barrage B1, on retrouve un structure de lit à blocs illustrant un transport préférentiel des éléments fins et un processus de début de pavage. Ces structures sont caractéristiques d'une incision du lit, laquelle est visible en de nombreux endroits sur le terrain avec un niveau inférieur de 1 à 3 m par rapport à des terrasses fluviales récentes.</p> <p>Le transport solide par charriage semble nettement prédominant sur le tronçon corrigé. Il a été observé des accumulations de blocs vestiges probables de coulées de laves torrentielles. Ce type d'écoulement semble toutefois peu fréquent.</p>
Morphodynamique	<p>L'étude morphodynamique montre que tous les tronçons étudiés sont affectés depuis 1948 par des contractions importantes de largeur de lit actif. Celles-ci sont accompagnées : de changements de style fluvial (en fond de vallée), avec passage de style divagant ou en tresses caractéristiques d'une forte charge de fond à un style avec chenal unique sinueux représentatif d'une charge solide moindre ; d'une incision du lit, limitée soit par des seuils, soit par un processus de début de pavage.</p>

Tableau 5 : Synthèse de l'étude géomorphologique

V PRESENTATION DES OUVRAGES ET TRAVAUX DE PROTECTION

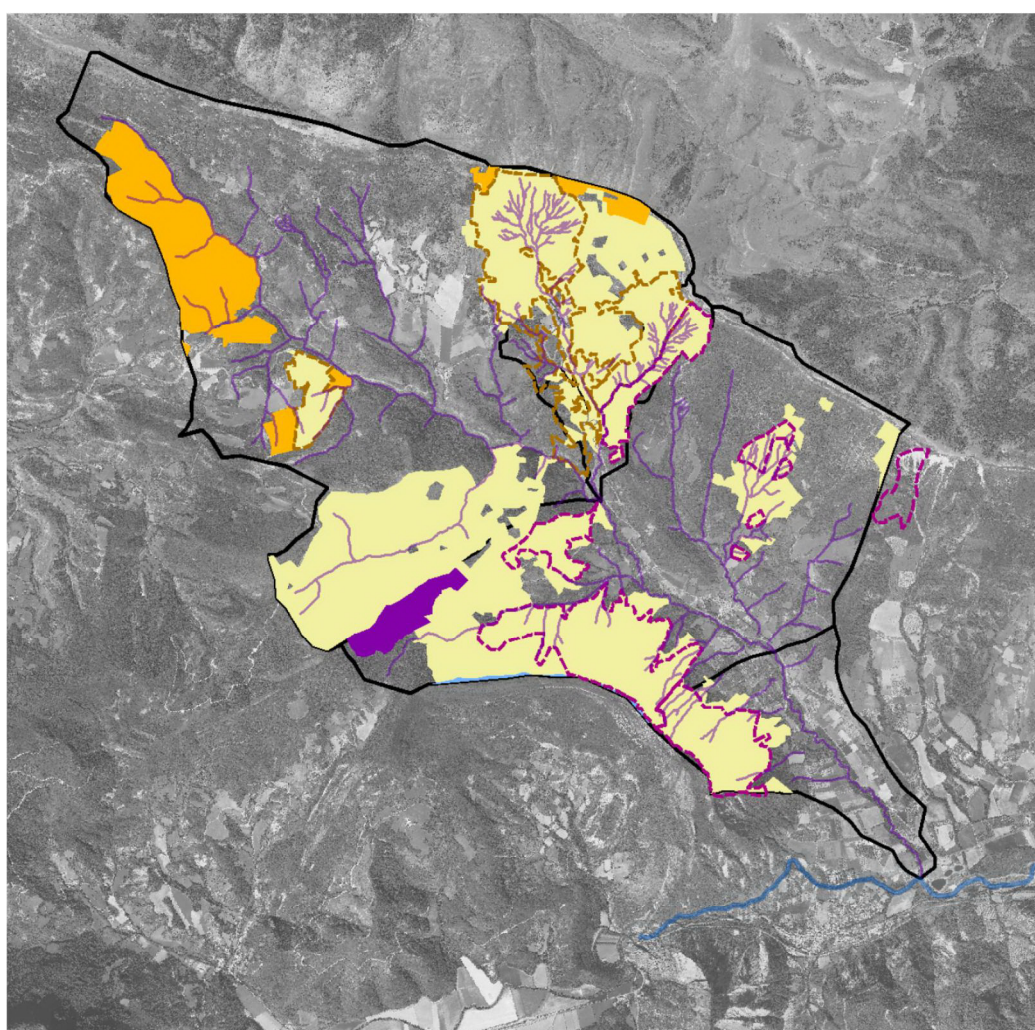
V.1 Travaux domaniaux

V.1.1 Situation des terrains domaniaux

Les terrains domaniaux qui concernent la Béoux et ses affluents sont actuellement inclus dans la forêt domaniale du Claps. Cette forêt d'une surface de 3 070 ha dépasse largement le périmètre de l'étude puisqu'elle est sise sur 7 communes du Diois. Elle est constituée :

- de terrains issus de périmètres de restauration RTM, sur lesquels ont lieu - ou ont eu lieu - l'action RTM ;
- de terrains domaniaux attenants, non acquis au titre de la RTM.

Le bassin versant de la Béoux étant situé sur les communes de Poyols et Jonchères, deux séries domaniales sont concernées. Ces séries sont toutes deux incluses dans le périmètre de restauration RTM de la Haute Drôme.



Légende

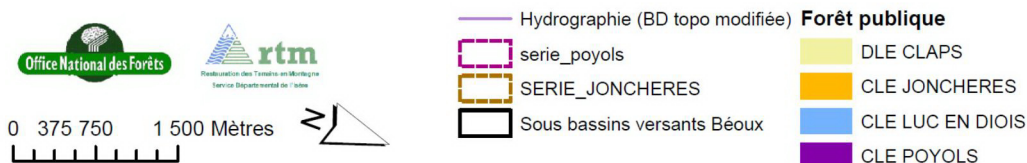


Figure 40 : Situation des unités de gestion publiques au sein du bassin versant de la Béoux

Entité	Superficie totale (ha)	Superficie au sein BV Béoux (ha)	% Sup. BV Béoux
Bassin versant Béoux	2837,61	2837,61	
Série RTM Jonchères	209,42	209,42	
Série RTM Poyols	247,85	230,53	
Total séries RTM	457,27	439,95	15,5%
Forêt domaniale du CLAPS	3070,94	904,45	31,9%
Forêt communale de Jonchères	173,65	152,72	
Forêt communale de Poyols	29,68	29,68	
Forêt communale de Luc en Diois	60,31	3,91	
Total Forêts communales	263,64	186,31	6,6%

Tableau 6 : Répartition des différentes entités de gestion au sein du bassin versant de la Béoux

V.1.2 Historique national de la politique RTM

L'historique national de la politique de restauration de terrains en montagne (RTM) est détaillé en annexe 11. On retiendra que l'action RTM fait suite à une période d'intense déboisement dans les Alpes combinée à une période climatique froide (dite du petit âge glaciaire) avec pour conséquence des inondations marquantes et répétées de grandes villes telles que Grenoble. La politique RTM a été formalisée par 3 grandes lois : loi de reboisement du 28 juillet 1960 ; loi de gazonnement du 08 juin 1864 ; loi Restauration et de Conservation des Terrains de Montagne du 04 avril 1882.

Sa mise en œuvre a été extrêmement rapide et vigoureuse avec acquisition des terrains boisés suivis de travaux de génie biologique et de correction torrentielle. Dans une grande majorité de secteur, l'essentiel de l'action RTM est survenue pendant la période d'âge d'or de la RTM, à savoir entre 1882 et le début de la première guerre mondiale. Une seconde vague de travaux est survenue de façon moins systématique après la seconde guerre mondiale dans les années 1950-1960. Dès lors, l'action se concentre majoritairement sur l'entretien des dispositifs de protection existants que sur des extensions.

V.1.3 Historique de la création des périmètres RTM

Les séries domaniales RTM ont été constituées en trois étapes, résumées dans le tableau suivant :

	Série de Jonchères (ha)	Série de Poyols (ha)
<i>Décret du 25/03/1865</i>	340,98	289,37
<i>Révision du 21/05/1883</i>	-	59,37
<i>Révision du 01/09/1883</i>	- 188,82	
<i>Loi du 01/08/1901</i>	45,70	38,77
Total périmétré	197,86	268,77

Tableau 7 : Evolution temporelle des surfaces périmétrées

Un premier projet de périmètre date de 1865 et découle directement de l'application des premières lois de 1860 et 1864. Dans le bassin versant de la Béoux, 80% de ces terrains avaient pour origine des terrains communaux improductifs.

Une révision des périmètres en 1883, issue de la loi RTM de 1882 restreignant l'action RTM aux terrains menacés par des dangers nés et actuels. A cette occasion, des terrains n'entrant pas dans ce cadre ont été sortis des périmètres et rétrocédés à leurs anciens propriétaires (77 ha sur Jonchères). Par ailleurs, sur certains terrains objets de l'action RTM, le succès a été tel que l'on a considéré que l'érosion était éteinte. Ces terrains (168 ha) ont été « soumis au Régime Forestier » et sortis des surfaces de la série. Ils constituent à présent des terrains domaniaux hors périmètre RTM.

Enfin, la loi de 1882 permit l'élaboration d'un deuxième dossier de DUP afin de permettre l'acquisition de terrains souvent situés à l'aval des principales zones d'érosion, afin notamment de mettre en œuvre des actions de génie civil. Ce dossier aboutit finalement en 1901.

On trouvera en annexe 10 l'historique des acquisitions des terrains domaniaux qui suivirent les lois de DUP.

V.1.4 Objectifs de protection visés lors de la création des séries domaniales

Divers documents d'époque issus des dossiers de DUP ont pu être exhumés. Ils précisent les objectifs initiaux de constitution des séries. Dans le cadre de la première DUP, la monographie du périmètre de Jonchères précise en 1863 que l'objectif des travaux de la DUP est « *d'éteindre autant que possible les ravins de Tréscherennes, Mias et Bourdiolle, qui se rejoignent pour former la Béoux (...) et protéger ainsi la partie la plus riche du territoire de Poyol, menacée de disparaître* »

Le procès-verbal de reconnaissance de la deuxième DUP de la série de Poyols, établi en 1883, affecte plus précisément trois objectifs de protection à la DUP, en précisant que ces objectifs n'ont pas changé depuis la première DUP :

1. **La protection des voies de communication le long du torrent (route n°11 de Die à Nyons).**
2. **Le village de Poyols.**
3. **La régularisation du régime des eaux.**

V.1.5 Objectifs de protection réactualisés

Les objectifs identifiés en 1883 sont toujours d'actualité, et dans le même ordre d'importance :

1. L'actuelle route départementale D61, à protéger :
 - au niveau du chenal d'écoulement des déstabilisations de versant en rive droite de la Béoux, liés à des érosions de berge ou à des phénomènes d'incision ;
 - au niveau du cône de déjection de la divagation du torrent et des érosions de berge en résultant.
2. Le village de Poyols, les infrastructures situées dans le fond de vallée et dans une moindre mesure les terres agricoles, à protéger de la divagation du torrent et d'éventuels débordements en cas de crue torrentielle.

V.1.6 Historique des travaux effectués dans les séries domaniales

V.1.6.a Les travaux de génie biologique

Les travaux démarrèrent dès 1867 par la création d'une pépinière sur la commune de Poyols puis dès l'année suivante par diverses techniques de génie végétal : enherbement, fascinage, clayonnage, reboisements. D'après la monographie du torrent réalisée en 1965, ce sont les versants en rive droite de la Béoux (montagne de Salles) qui furent reboisés en premier. C'est d'ailleurs une partie de ces terrains qui fut par la suite estimée restaurée et sortie du périmètre lors de sa révision en 1882.

Les travaux se sont poursuivis sans relâche pendant 20 ans, aboutissant au reboisement de 190 ha de terrain. On observe ensuite une baisse du rythme des dépenses de génie biologique jusqu'à la Grande Guerre, au profit des travaux de génie civil.

En 1914, la quasi-totalité des reboisements est effectuée (90% en Pin Noir et 10% en Pin Sylvestre). Ils furent une réussite sur 340 ha. En parallèle, 250 ha se sont boisés naturellement, ce qui laissa environ 110 ha d'espaces non boisés (casses, ruines).

Entre les deux guerres et pendant 39-45, quelques travaux d'éclaircies furent entrepris dans les reboisements.

En 1963, l'aménagement forestier de la forêt domaniale de la Pinaie Noire intègre les séries de Poyols et Jonchère. La plupart des peuplements sont alors considérés aptes à se régénérer et susceptibles d'être valorisés pour la production de bois.

Voici le bilan des travaux de génie biologique issu de l'aménagement de la forêt domaniale du Claps de 1977 :

Commune	Fascinage (km)	Clayonnage (nb)	Enherbement (kg de graines)	Plantations (ha)	Plantations (M _{ons} de plants)	Semis (ha)	Nettoisement (ha)
JONCHERES	5	256	9 435	200	3,16	15	83
POYOLS	12,9	724	12 312	403	4,48	26	146
Total	17,9	980	21 747	603	7,64	41	229

Tableau 8 : bilan des travaux de génie biologique
source : aménagement de la forêt domaniale du Claps de 1977

V.1.6.b Les travaux historiques de génie civil (1865-1914)

Dès le début de la restauration, un nombre considérable d'ouvrages furent adjoint au génie biologique afin de lutter contre l'érosion des versants. **Le bilan de 1882 après vingt ans fait état de la construction de 350 seuils** sur les deux communes.

A partir de cette période, la construction de barrages de correction torrentielle prend le pas sur les travaux de génie biologique. Les ouvrages de cette époque étaient réalisés en pierres sèches ou maçonnés à la chaux. Ils sont lourds et massifs, ayant une épaisseur de 2m à la cuvette, et un fruit de 20% au moins.

Ravin du Mias

Il semblerait que la correction torrentielle se porta d'abord sur le ravin du Mias. Une légende de photo d'archive nous indique que le premier barrage du torrent du Mias fut construit en 1872 (détruit en 1902, puis reconstruit en 1906).

Dans son ouvrage Restauration des Alpes (1931), Mougin indique par ailleurs à plusieurs reprises que le torrent du Mias a été complètement corrigé et serait à présent inoffensif, tandis que celui de Tréscherennes apparaît comme « en cours de correction ». D'autres sources, citées dans la monographie de 1965, présentent également le Mias comme éteint à cette époque (programme de la tournée alpine de l'École Forestière de Nancy en 1929).

Quoiqu'il en soit le descriptif du dispositif du Mias fait en 1965 ne mentionne pas l'existence de plus de 8 barrages, dont 1 déjà complètement détruit. On n'a pas d'indice qu'il y ait pu en avoir d'autres.

Ravin de Tréscherennes

5 barrages ont été construits au début du XX^{ème} siècle dans ce ravin, dont les berges ont été acquises plus tardivement (2^{ème} DUP). Aucun de ces barrages n'est aujourd'hui visible. De l'amont vers l'aval, voici leur devenir :

- deux situés dans la partie supérieure du dispositif ont été remplacés par des ouvrages plus récents (actuels B11 et B12) ;
- un barrage, situé plus en aval dans une courbe très prononcée, a été détruit par la crue de 1950 puis remplacé par 3 ouvrages plus récents de moindre hauteur (B7, S8 et B9) ;
- deux barrages – dont l'origine est incertaine – ont été détruits puis recouverts par l'atterrissement du grand barrage B6, construit en 1963 ;



Figure 41 : Ouvrage vraisemblablement situé derrière le barrage actuel B11



Figure 42 : Ouvrage vraisemblablement situé dans l'atterrissement du B6.

Noter le tracé de la route n°11 en arrière-plan

On notera que 3 barrages ont été construits par les Ponts et Chaussées afin de protéger la route nationale n°11, probablement au début du XX^{ème} siècle avant l'acquisition des terrains par l'Etat lors de la seconde DUP (B2 à B4 actuels).

Du fait de cette maîtrise d'ouvrage, on peut supposer que leur construction est antérieure à 1901 puisqu'ils sont situés dans le deuxième périmètre de restauration.

Dans son ouvrage de 1931, Mougin estimait que la correction de ce ravin n'est pas achevée.

Autres ravins

En dehors de ces 13 barrages de tailles conséquentes, certains des 350 seuils permettant de lutter contre l'érosion évoqués plus haut avaient un rôle de correction torrentielle sur des affluents mineurs.

Une dizaine d'ouvrages d'époque sont ainsi connus dans le ravin de St Marcel, en rive droite de la Béoux. Ce ravin encore actif n'est cependant pas connecté à la Béoux. Certains ouvrages présentent néanmoins un intérêt pour le maintien du réseau de pistes forestières desservant le versant, puisque permettant la traversée du ravin.

V.1.6.c Le confortement des dispositifs historiques de correction torrentielle (1950-1975)

On a une situation assez précise du système de protection à cette époque grâce à l'étude de 1965 de l'ingénieur Naudet « Correction du torrent de la Béoux – état et prévision ».

Ravin du Mias

A cette date, un des 8 ouvrages historiques est détruit, et 4 sont dégradés. Le système est estimé comme étant « à réfectionner presque entièrement et à compléter ». Le constat de Mougin de 1931, pour optimiste qu'il ait été, n'est déjà donc plus d'actualité. Depuis cet état des lieux, seuls les barrages a et h ont été réparés. Le système a poursuivi de se dégrader puisque le barrage e a été complètement détruit.

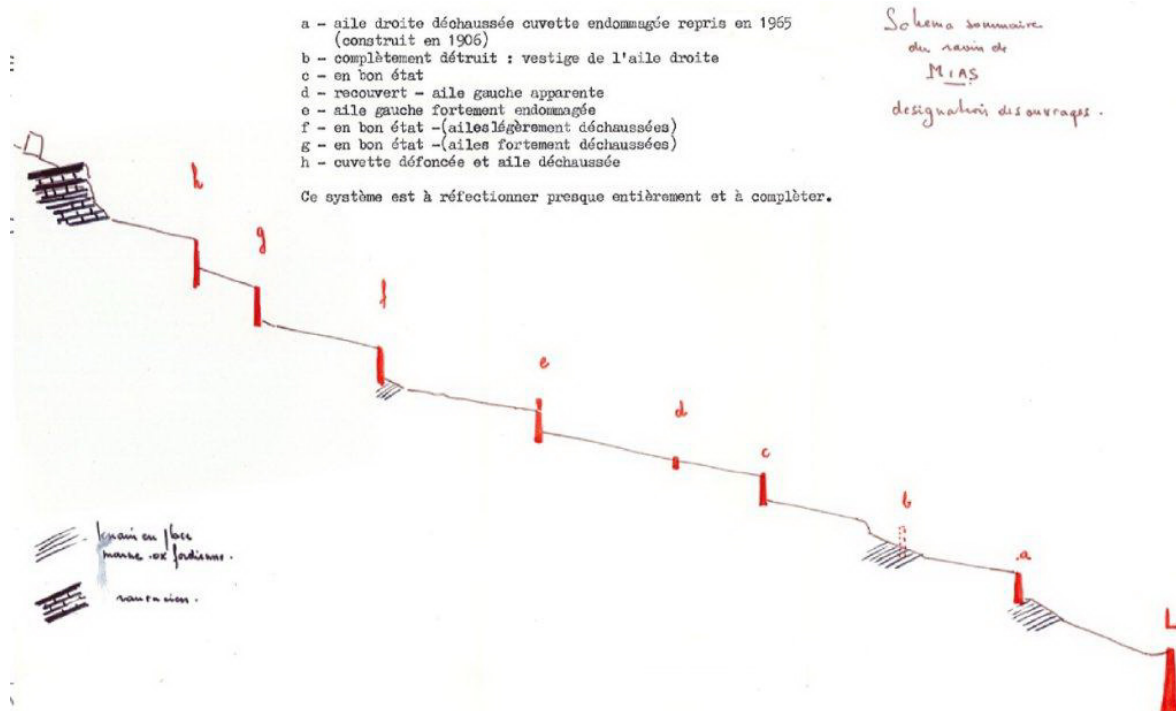


Figure 43 : Etat des ouvrages en 1965 dans le ravin du Mias :

Ravin de Trescherennes

Les efforts d'après-guerre en correction torrentielle se sont portés principalement sur ce ravin. Le dispositif a été intégralement repris et complété en deux temps :

Construction de 8 barrages en pierres maçonnés entre 1951 et 1959 (B7 à B14).

Ces barrages de grande largeur et d'une hauteur sous cuvette comprise entre 4 et 10m ont été construits en pierres maçonnées ou en béton pour certains. Ils font 2m de large à la cuvette.

Construction en 1965 de deux grands barrages poids de plus de 10m sous cuvette en béton + un contre barrage (B1 et B5-B6).

Ces barrages font 1,20m de large à la cuvette. Le barrage supérieur fait 8m sous cuvette mais a été rehaussé d'IPN sur une hauteur de 4m afin d'augmenter sa capacité de rétention. Cette rehausse a été « consolidée » en béton par la suite, probablement en 1976 d'après le calepin de gestion de la série de Jonchères.

Les projets non réalisés d'extension du dispositif

Dans son étude de 1965, Naudet propose 2 scénarii de confortement et d'extension du système de protection en fonction de l'objectif retenu.

Objectif de protection des enjeux proches

- confortement du dispositif de protection torrentielle :
 - réfection des ouvrages du Mias ;
 - création de 2 nouveaux ouvrages en aval du B1 actuel – construit sur des matériaux alluvionnaires – afin de le protéger de l'affouillement.
- création d'une plage de dépôt au sortir du chenal d'écoulement (en profitant d'un seuil naturel à la côte 670 m) afin de retenir les matériaux et forcer le torrent à inciser son lit au droit des enjeux à l'aval, afin de limiter le risque de débordement.

Objectif de correction du bassin versant

Programme de protection active ayant pour ambition de poursuivre et finaliser par le génie biologique le travail des anciens : reboisement, reverdissement de berges, correction des branches en amont des derniers ouvrages !

V.1.6.d La période actuelle

Aucun de ces projets n'a finalement été mis en œuvre. Depuis la rehausse du grand barrage en 1976, seuls des curages derrière les barrages B1 et B6, ainsi que des menus travaux d'entretien ont été mis en œuvre, jusqu'à la réfection dans les années 80 puis plus récemment en 2015 d'une partie des ouvrages de correction du ravin de St Marcel.

V.1.6.e Implantation des différents ouvrages dans le ravin de Trescherennes

Elle est résumée dans le tableau ci-dessous :

Abcisse (m)	Altitude (m)	Ouvrages historiques	Dispositif en 1965	Dispositif actuel	Année de construction	Hauteur sous cuvette	Observations
-	751						Pont de la RD
358	785		L	B1	1965	6m	Grand barrage / confluence
548	805		M	B2	?	4m	Ponts et chaussées
595	808		N	B3	?	?	Ponts et chaussées
700	817		P	B4	?	+ de 3m	Ponts et chaussées
?	848						Digue et épis des P et C (pas vus)
1 080	852			S5	1970		Contre barrage
1 103	862		S	B6	1963	12m	Réhausse de 4m (sur IPN) en 1977
1 130	864	ex 1			?	?	Détruit puis enfoui
1 400	880	ex 2			?	?	Détruit puis enfoui
1 522	890		cb2	B7	1959	5m	
1 538	892		cb1	S8	1951	4m	
1 547	895	ex A			?		Ouvrage historique détruit par la crue de 1950
1 563	899		A	B9	1951	8m	
1 631	908		B	B10	1951	5m	
1 688	915	ex C	C	B11	1951	5m	Ouvrage historique repris en 1951
1 807	929	ex D	D	B12	1951	7m	Ouvrage historique repris en 1951
1 945	946		E	B13	1959	10m	
2 088	966		F	B14	1959	10m	

Tableau 9 : Tableau de synthèse de l'implantation des ouvrages

V.1.7 Description des dispositifs de protection domaniaux

La figure suivante localise les dispositifs RTM sur le torrent de la Béoux et le ravin de Mias.

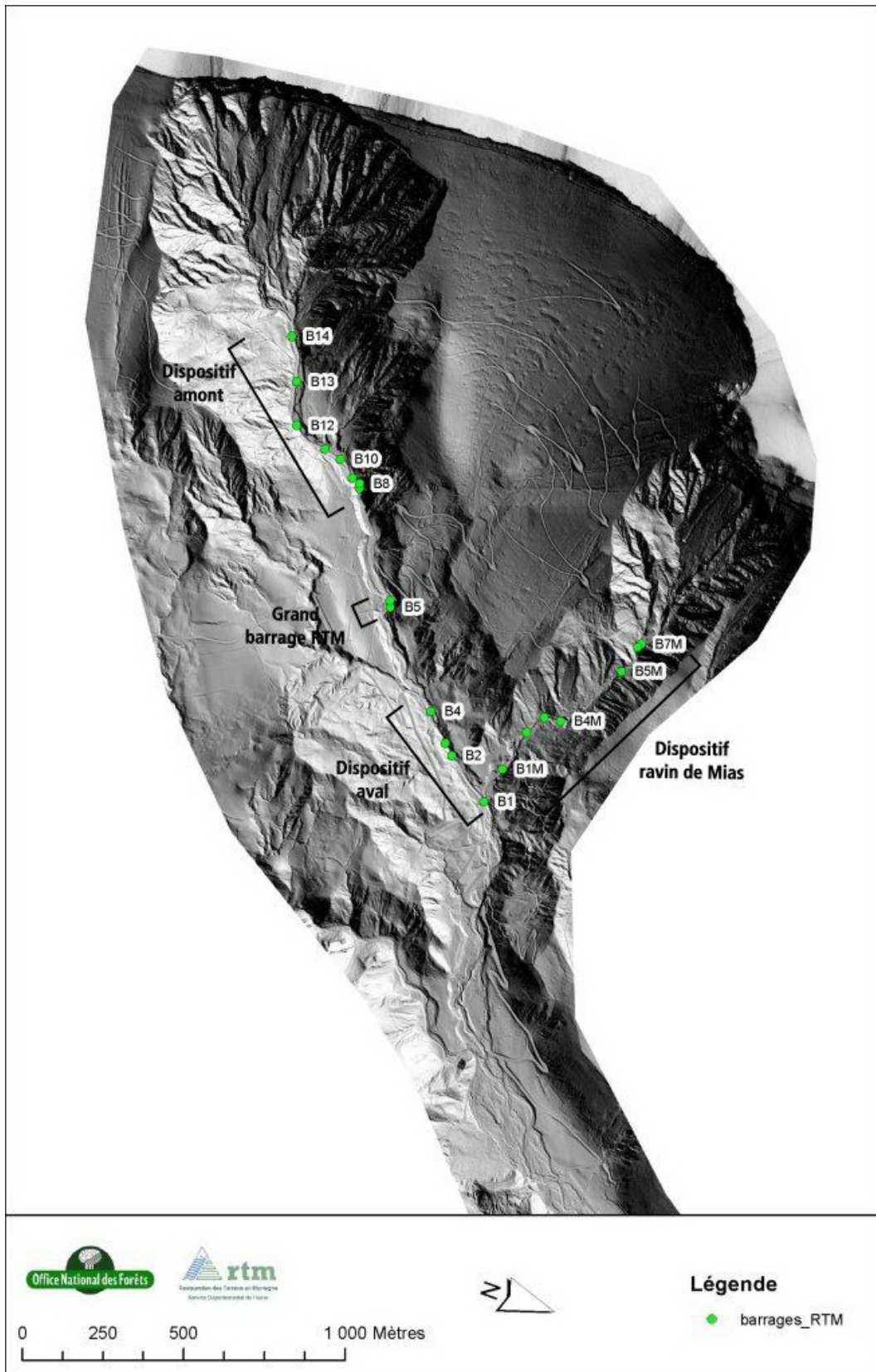


Figure 44 : Carte de localisation des dispositifs RTM du torrent de la Béoux et du Ravin de Mias

V.1.7.a Dispositif Béoux aval

Nombre d'ouvrages	4 barrages de correction torrentielle.
Numérotation	B1 à B4
Description / historique	<p>Le B1 a été édifié en béton en 1965, à l'aval immédiat de la confluence entre le Mias et la Béoux.</p> <p>Les barrages B2 à B4 sont des ouvrages construits par les Ponts et Chaussées probablement au début du 20^{ème} siècle, avant l'acquisition de ces terrains par l'Etat. Ils ont subi des réparations il y a plusieurs décennies, aucun travail n'a été effectué sur ces ouvrages depuis.</p>
Ouvrages notables	Le B1 a une longueur totale de 50 m, ce qui en fait un des ouvrages les plus longs du département.
Synthèse sur l'état structurel	<p>Très bon état général pour le B1, pas de signes d'affouillement en pied visibles pour le moment.</p> <p>Les B2 et B4 sont en très mauvais état, le B3 est complètement ruiné.</p>



Figure 45 : Ouvrage B4 (origine Pont et Chaussées)

V.1.7.b Dispositif central Beoux : le grand barrage (B6)

Nombre d'ouvrages	Barrage de correction torrentielle B6 et son contre barrage S5.
Numérotation	S5 et B6
Description historique	/ Ouvrage B6 édifié en 1963 en béton, le contre barrage quelques années plus tard. Le B6 a été surélevé de 4 mètres dans les années 80. Aucun travail n'a été effectué sur ces ouvrages depuis plusieurs décennies.
Ouvrages notables	La rehausse du B6 en a fait l'ouvrage le plus important du département : hauteur sous cuvette de 15 mètres et longueur totale de 43 mètres.
Synthèse sur l'état structurel	Bon état structurel.



Figure 46 : Clichés du grand barrage RTM. (haut) : Avant rehausse dans les années 60 ; (bas) : 2017

V.1.7.c Dispositif Béoux amont

Nombre d'ouvrages	8 barrages de correction torrentielle.
Numérotation	B7 à B14
Description historique	<p>Ouvrages édifiés à partir des années 1950, certains sur les vestiges des ouvrages construits lors de la création de la série RTM où pour les remplacer. Ces ouvrages ont été construits avec un parement de pierres maçonnées, jointées au mortier de béton. Le corps de l'ouvrage est fait de blocaille scellée au mortier de ciment. Plusieurs de ces ouvrages ont été confortés avec du béton à partir des années 70.</p> <p>Le B7 est exclusivement en béton (ouvrage poids).</p> <p>Aucun travail n'a été effectué sur ces ouvrages depuis plusieurs décennies</p>
Ouvrages notables	Ces ouvrages sont assez importants, les plus longs sont le B10 et le B14 dont la longueur dépasse 40m.
Synthèse sur l'état structurel	Ouvrages du dispositif globalement en bon état. Des travaux de confortement sont cependant à prévoir sur B7, B11 et B13.
Diagnostic fonctionnel	<p>Rôle : Calage du profil en long.</p> <p>Rôle secondaire : Les ouvrages aval tiennent des glissements de berges.</p>



Figure 47 : L'ouvrage B12

V.1.7.d Dispositif du Mias

Nombre d'ouvrages	8 barrages de correction torrentielle.
Numérotation	B1 à B8
Description historique	<p>Ouvrages édifiés lors de la création de la série RTM. Ils sont battis en pierre sèche avec des gros blocs, taillés et appareillés avec précision. Les B1, B6 et B7 ont été repris avec du béton : voile de béton sur le parement aval pour le B1 et parties du parement reconstruites en béton pour les B6 et 7</p> <p>Le B4 est totalement ruiné, seule une petite partie de l'aile droite subsiste.</p> <p>Aucun travail n'a été effectué sur ces ouvrages depuis plusieurs décennies</p>
Ouvrages notables	Ces ouvrages sont moins importants que ceux de la Béoux. Seule particularité à signaler : la cuvette du B7 a été surélevée à l'aide de pieux métalliques (IPN) entourés de pneus, procédé qui fut utilisé dans la Drôme sur différents barrages.
Synthèse sur l'état structurel	Excepté le B4 ruiné, les ouvrages du dispositif sont globalement dans un état moyen. Des travaux visant à prévenir l'affouillement en pied ou sur les ailes sont cependant à prévoir sur les B1, B6 et B7.



Figure 48 : le barrage B5

V.1.7.e Dispositif du ravin de Saint-Marcel

Nombre d'ouvrages	8 barrages ou seuils de correction torrentielle.
Numérotation	B1 à B8
Description historique	<p>Ouvrages en pierre édifiés lors de la création de la série RTM : B2, S5, B7 et B8, où pour les remplacer (béton) : B1, B3 et B6 dans les années 80.</p> <p>Les B6 et B8 ont été confortés avec du béton : aile droite pour le B7 et buton en pied d'ouvrage pour le B8.</p> <p>Un programme de confortement des ouvrages a été mis en œuvre en 2015 consistant à créer une semelle anti affouillement en enrochement bétonné sur le B1, B3, B6 et B8. Sur le B6, le soubassement et l'aile droite ont été reconstruits avec du béton coffré.</p>
Ouvrages notables	Néant
Synthèse sur l'état structurel	Ouvrages du dispositif en bon état. Depuis les derniers travaux quelques désordres sont apparus liés à l'érosion des berges au droit des ailes sur les S5 et B8.



Figure 49 : Les barrages B3 et B4

V.1.8 Estimation du volume de sédiments stockés par les barrages de correction torrentielle

Le volume de sédiments stockés par les ouvrages de correction torrentielle a été calculé avec la méthodologie suivante :

- Construction d'une courbe hypothétique de fond de lit avant correction torrentielle passant par les pieds de barrages ;
- Calcul d'une hauteur de stockage moyenne par différence du profil en long Lidar et du profil de fond de lit reconstitué ;
- Calcul de la surface du lit sur des tronçons représentatifs ;
- Les profils en travers n'étant pas rectangulaires, calcul d'un coefficient d'abattement sur chaque tronçon avec hypothèse de pente de talus 1H/1V.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. Dans l'hypothèse où le niveau du fond du lit avant réalisation des barrages RTM aurait été bien représenté, il ressort que le volume de sédiments stockés par les ouvrages RTM est de l'ordre de 57 000 m³, dont 54 % en amont du grand barrage RTM (B6). Le volume retenu entre le barrage B6 et l'amont du barrage B14 est de l'ordre de 49 400 m³. Ces ouvrages ont pour la plupart été réalisés à partir de 1951, certains en remplacement d'ouvrages plus anciens. Il est difficile de donner l'équivalent du volume stocké en années de transit sédimentaire. Sur la base d'un volume transporté tous les 10 ans de l'ordre de 10 000 m³ à 35 000 m³- incluant les évènements sous forme de lave et charriage - ce volume pourrait représenter entre 17 et 60 ans de transit sédimentaire au droit des barrages.

Tronçon	Surface (m ²)	Coef abattement	Delta Z (m)	Vol. (m ³)
B1-B6	6000	0,85	1,51	7 700
B6-B7	8510	0,76	4,74	30 660
B7-B13	6300	0,86	1,95	10 570
B13-B14	1900	0,80	2,95	4 480
Amont B14	1544	0,80	2,98	3 680
TOTAL				57 090

Tableau 10 : Volume de sédiments stocké par la correction torrentielle de la Béoux

V.1.9 Diagnostic fonctionnel qualitatif des dispositifs de correction torrentielle

V.1.9.a Rappel sur les fonctions assurées par les ouvrages de correction torrentielle

La figure suivante illustre les différentes fonctions possibles des barrages de correction torrentielle. On distingue :

- Les ouvrages de stabilisation : ces ouvrages ont pour vocation d'assurer une stabilisation longitudinale du cours d'eau (en fixant le lit) et une stabilisation transversale en recentrant les écoulements, en limitant les érosions latérales et par voie de conséquence les déstabilisations de berges ou de versant. Cette technique peut être employée dans des ravines comme dans le cours principal.
- Les ouvrages de consolidation : il s'agit généralement d'ouvrages de grande hauteur placés à l'aval d'instabilités et ayant pour vocation de former une butée de pied en mesure de consolider le pied de versant.
- Les ouvrages de rétention : il s'agit d'une technique marginale avec des ouvrages de très grande hauteur visant à stopper le transit sédimentaire dans le but de la protection des enjeux situés en fond vallée. Il est évident qu'une fois les ouvrages remplis de sédiments, ils n'assurent plus leur fonction initiale, sauf à venir curer les atterrissements régulièrement.

Tous ces ouvrages ont par ailleurs la vertu de modifier le régime d'écoulement qui passe de colluvial à alluvial. La différence fondamentale est que la pente à l'amont des barrages est directement liée à la charge solide provenant de l'amont (comme pour les rivières s'écoulant sur leurs alluvions en fond de vallée). Sauf circonstances exceptionnelles, cette pente est toujours inférieure à la pente du cours d'eau avant correction. Dans le cas de transit de laves torrentielles, comme dans le torrent de la Béoux, la diminution de pente peut être particulièrement intéressante puisque générant des conditions d'arrêt possible des coulées et une dislocation du front granulaire de l'écoulement.

La granulométrie observée sur les atterrissements des ouvrages est par ailleurs souvent beaucoup plus fine que granulométrie observé sur des tronçons non corrigés. En effet, les dépôts observé derrière les ouvrages sont caractéristiques de la charge de fond la plus couramment mobilisée, et donc présentant les diamètres les plus faibles. Dans un tronçon non corrigé, on retrouve par contre des structures de gros blocs beaucoup plus présentes, mais sans relation avec le transport réel et courant du cours d'eau.

Une conséquence directe de stocks de sédiments derrière les ouvrages de correction torrentielle et du fonctionnement alluvial est une régulation des apports solides. Celle-ci se traduit pour des apports liquides constants mais à concentration en matériaux variable, par des sorties du système régulées en matériaux. Il s'agit d'un effet très intéressant pouvant limiter les effets de chocs survenant lors de crues hyperconcentrées en sédiments.

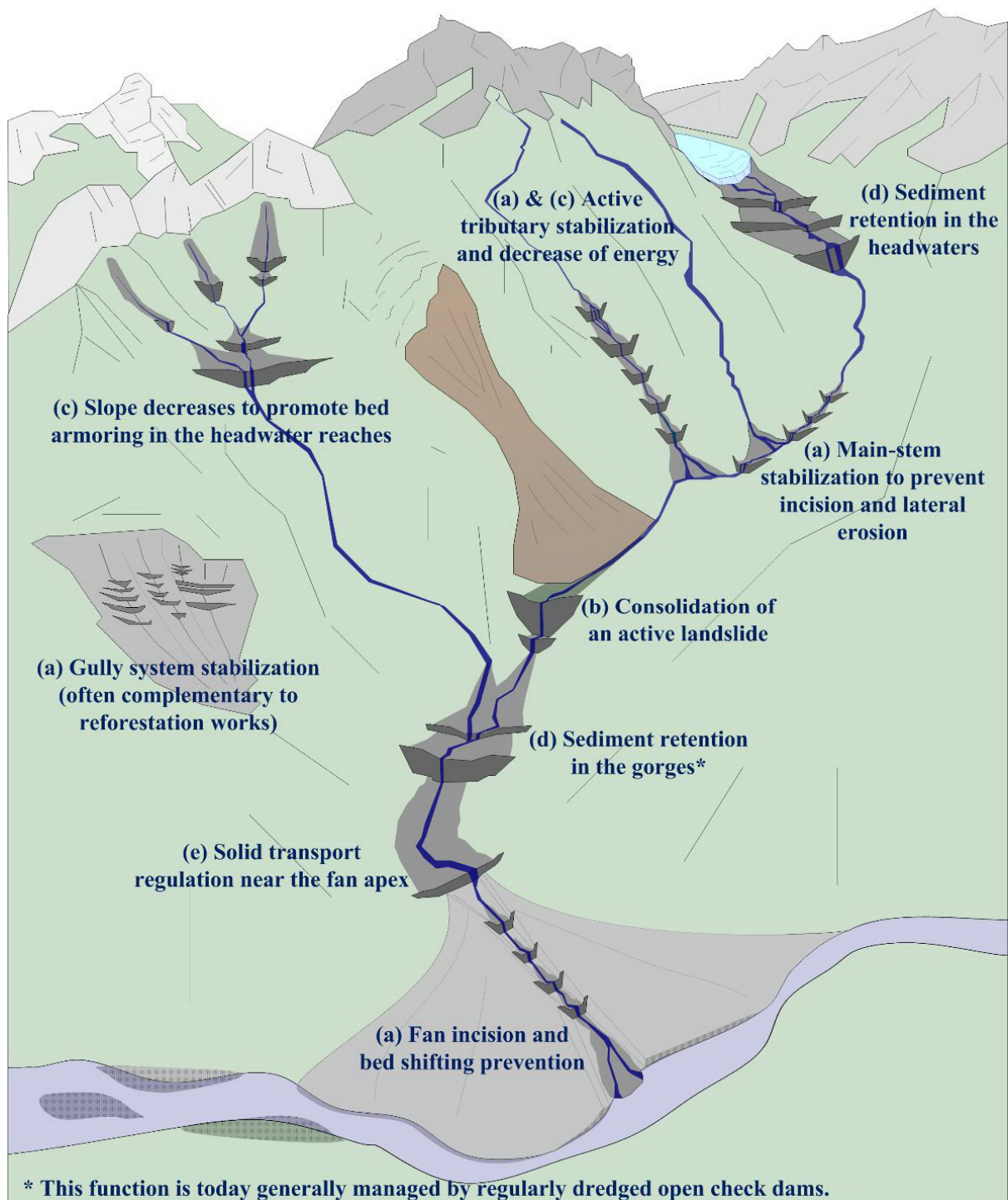


Figure 50 : Fonction des ouvrages de correction torrentielle d'après PITON (2016)

V.1.9.b Dispositif Béoux aval

Le barrage B1 est un barrage de grande hauteur situé en aval d'instabilités toujours actives (cf. § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), avec notamment un mouvement lent et profond affectant le versant rive droite. A ce titre, on peut donc considérer que le barrage B1 a une fonction principale de consolidation.

Les barrages B2 à B4 ont une hauteur plus modeste. Leur efficacité dans la consolidation des versants est nettement plus modeste. Leur fonction principale est davantage de stabiliser les versants en limitant l'incision et les érosions latérales. L'efficacité de ces ouvrages est très limitée pour les raisons suivantes :

- Le barrage B2 a un mode constructif qui ne permet pas la stabilisation des versants à l'amont. Le déversoir est en effet calé contre le versant rive droite, ce qui n'autorise pas de dépôts régressifs en pied de versant. Ce barrage n'a donc pas d'effet vis-à-vis des érosions latérales pouvant intervenir en rive droite. On observe qu'il s'agit d'un ancien barrage en pierres de taille dont le déversoir a été reconstruit postérieurement en béton, avec un niveau de crête inférieur de 1 à 2 m. Une relique de l'ancien barrage sert actuellement d'aile en rive gauche. Elle n'est pas connectée au versant et peut donc être contournée par des écoulements torrentiels lors de crues intenses.
- Le barrage B3 est détruit avec pour conséquent un grande distance entre le barrage B2 et le barrage B4. Celui-ci est situé en aval immédiat des zones en glissement les plus actives...
- Le barrage B4 assure une fonction de stabilisation principalement du fait de la fixation du profil en long. Il s'agit d'un barrage étroit calé entre deux terrasses fluviatiles, avec une cuvette arrondie et un parement aval en très mauvais état. Son aire d'influence est très limitée du fait de l'absence de correction à l'amont : le barrage B5 est en effet situé 370 m à l'amont.

V.1.9.c Grand barrage RTM

Le grand barrage a eu durant une phase transitoire vraisemblablement très courte - et correspondant à son remplissage par des sédiments - une fonction de sédimentation, i.e. d'arrêt de sédiments pouvant expliquer l'incision et la rétractation du lit à partir des années 60-70.

Aujourd'hui la vertu de cet ouvrage est de créer une rehausse très importante du profil en long, avec une section d'écoulement nettement élargie. La conjugaison des deux facteurs que sont la fixation du profil en long par l'aval et sa rehausse génèrent des conditions d'écoulement alluvionnaires. Le stock de sédiments à l'amont de l'ouvrage étant conséquent, **il assure une fonction primordiale de régulation du transport solide. D'autre part, et comme pour les ouvrages du dispositif Béoux amont, la réduction par rapport au lit naturel avant correction, génère des conditions d'écoulement propices à l'arrêt de laves torrentielles. On mesure en effet des pentes de l'ordre de 7 à 9% derrière les ouvrages RTM contre 8,5 à 13 % sur le profil passant par le pied des ouvrages. Les conditions d'arrêt sont en outre favorisées par l'augmentation de la largeur disponible : 15 à 30 m en amont du barrage B6 contre environ 10 m dans le lit non corrigé.**

La fonction de stabilisation est également importante, puisque le lit actif n'occupe pas ouvrages toute la section disponible et que des dépôts latéraux protègent les versants d'érosions latérales.

V.1.9.d Dispositif Béoux amont

Comme pour le grand barrage, les fonctions assurées par ce dispositif sont la stabilisation des versants, la régulation du transport solide et la diminution de l'énergie des écoulements via une diminution de la pente. Les barrages réalisés dans les années 1960 en pierres maçonnés sont particulièrement efficaces et bien construits. Il s'agit d'ouvrages de grande hauteur (> 4 m) et très larges. La cuvette est suffisamment large pour le transit des crues. Mais surtout, les ailes sont très longues et suffisamment hautes par à la crête du déversoir pour autoriser des dépôts latéraux régressifs derrière les ouvrages. Ces dépôts, assimilables à un tapis de protection de versant, les préservent d'une déstabilisation par érosion latérale.

V.1.9.e Dispositif du Mias

En amont du barrage B4 (détruit), une très grande partie du linéaire est calé soit par de très gros blocs issus d'éboulement, soit par le substratum qui est affleurant. Les barrages B5 et B6 sont d'ailleurs fondés sur le substratum. Les barrages B5 à B7 assurant une fonction de stabilisation vraisemblablement modeste. En cas de ruine de ces ouvrages, il est probable que les évolutions restent faibles compte tenu de la proximité du substratum.

Cela a d'ailleurs été le cas pour le barrage B4 détruit côté rive gauche. La majeure partie de l'ouvrage est toujours existante, et il semble que lit s'écoule aujourd'hui plus au Nord que par le passé. Ce barrage était vraisemblablement un barrage de compensation implanté en aval d'une instabilité en rive droite. Le lit s'est aujourd'hui recrusé contre le versant rive gauche jusqu'à atteindre le substratum. La ruine de l'ouvrage n'a pas occasionné de réactivation d'instabilités.

Enfin, les barrages B1 et B2 assurent une fonction de stabilisation du fond de lit et très probablement de compensation. Ils sont implantés en aval et au droit d'un glissement de terrain rive gauche ayant déporté le torrent contre le versant rive droite. Ils permettent en outre une modeste régulation des apports solides, avant le confluent avec le torrent de la Béoux.

On notera enfin que la cuvette du barrage B7 a été déplacée contre la rive gauche rocheuse (marnes) de manière à moins solliciter l'autre versant.

V.1.9.f Ravin de Saint-Marcel

Les ouvrages du ravin de Saint-Marcel ont une fonction classique de stabilisation des versants. On trouve des ouvrages récents en béton armé (B1, B3, B4, B8) et des ouvrages anciens en pierres sèches.

Les barrages B1, B3 et B4 sont particulièrement conçus avec une cuvette suffisamment large et des ailes également longues et pentées. Celles-ci permettent l'accumulation d'un dépôt régressif derrière l'ouvrage évitant la sollicitation des berges ainsi qu'un recentrage des écoulements.

Les barrages en pierres sèches, et notamment le B2, B5 et B7, sont des ouvrages de très faible hauteur (apparente) présentant aujourd'hui une efficacité très limitée, car intercalés entre des ouvrages plus récents de plus grande hauteur. En cas de disparition, compte tenu de la proximité du substratum et des nombreux blocs présent en fond de lit, il est peu probable que les ouvrages en béton armé soient menacés.

On note une faible activité torrentielle ces dernières années voire décennies avec découverte des fondations de plusieurs ouvrages (B1, B3, B6) ayant obligé à des reprises en sous-œuvre. Il s'agit d'un phénomène normal intervenant dans des torrents soumis à de fortes respirations. Le découverture des fondations du barrage B1 est selon nous davantage lié à la propagation d'une érosion régressive liée aux pratiques de curage effectuées en aval.

Enfin, il a été observé que le substratum est affleurant en de nombreux points du ravin : (a) en fondation du barrage B1 ; (b) entre le barrage B1 et le barrage B3 ; (c) entre les barrages B5 et B6. Les ouvrages RTM jouent donc davantage un rôle pour limiter les érosions latérales que l'incision du fond du lit.

V.2 Autres ouvrages de protection

La carte suivante localise l'ensemble des ouvrages non domaniaux inventoriés. On trouvera les photos de chaque ouvrage en annexe n°7.

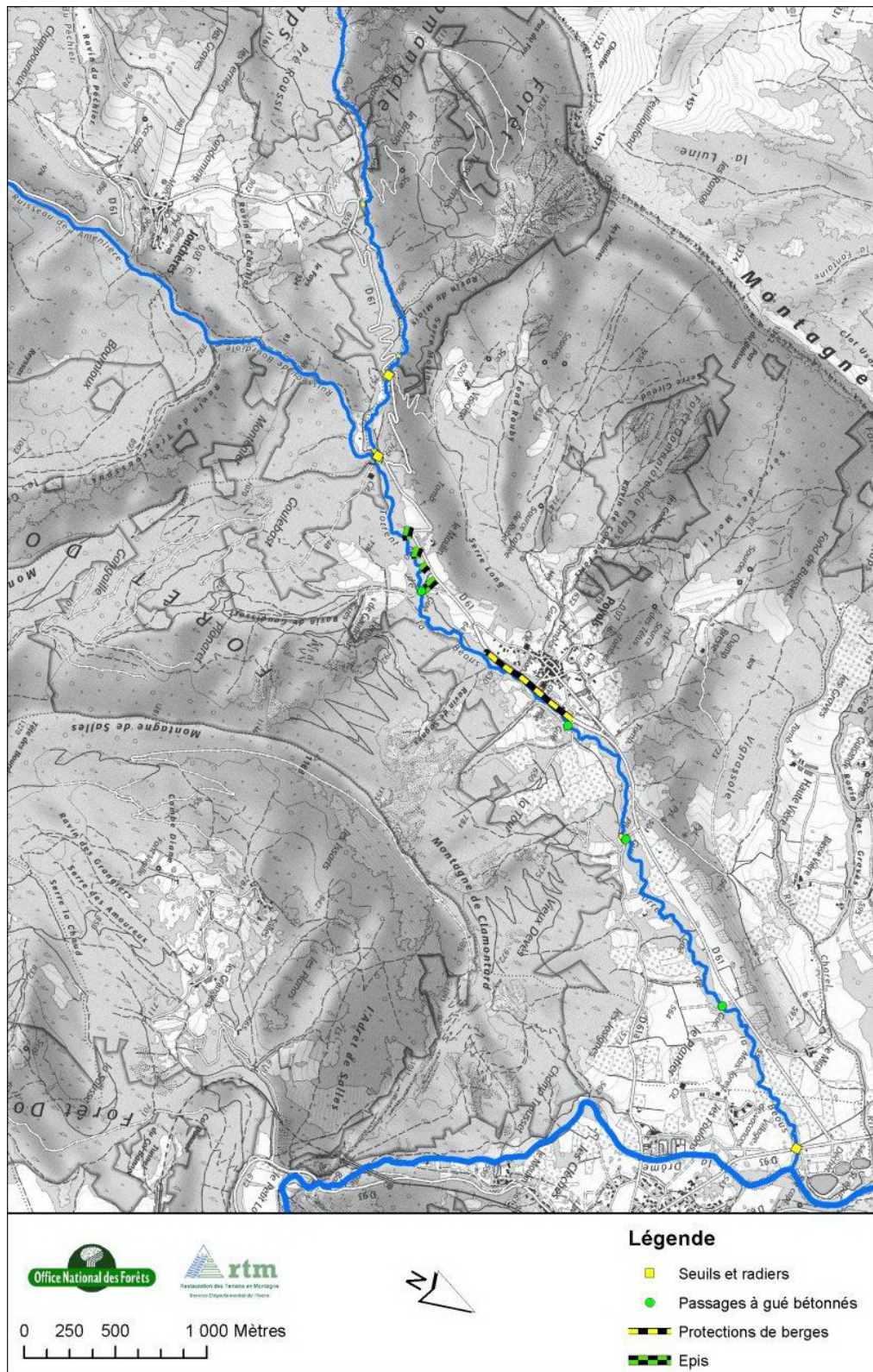


Figure 51 : Localisation des ouvrages de protection non domaniaux

V.2.1 Seuils radiers et gué

Les caractéristiques des seuils, radiers et gué fixant ponctuellement le fond du lit de la Béoux sont synthétisées ci-après. On dénombre au total 7 ouvrages, le plus important d'entre eux étant le seuil situé en aval immédiat du pont de la RD 93. Tous ces ouvrages limitent la propagation d'une érosion régressive (depuis la Drôme) et progressive (liée à la diminution des apports amont).

Altitude	Type	Dénivelé aval	Commentaire
537,5 m	Seuil	Env. 3,0 m	Sous pont RD 93
559,4 m	Passage à gué bétonné	Env. 1,0 m	-
588,7 m	Passage à gué bétonné	Env. 1,0 m	Sur RD 61a
611,8 m	Passage à gué bétonné	Env. 1,0 m	Face village de Poyols
657,6 m	Passage à gué bétonné	Env. 1,3 m	Accès ferme de Gaudissard
709,1 m	Radier + coursier	Env. 1,7 m	Sous et en aval du pont de Gaudissard
749,8 m	Seuil	Env. 1,0 m	Seuil aval pont vouté RD 61

Tableau 11 : caractéristiques des ouvrages non domaniaux fixant le fond du lit de la Béoux.

On trouvera en annexe

V.2.2 Epis de protection

Il a été dénombré 4 épis de protection en pierres maçonnées, probablement refaits suite à la crue de 1950 (cf. § VIII.1). Leur situation et leurs caractéristiques sont détaillés ci-dessous. Une probable relique d'un très vieil épi en pierre a également été observée quelques centaines de mètres en aval.

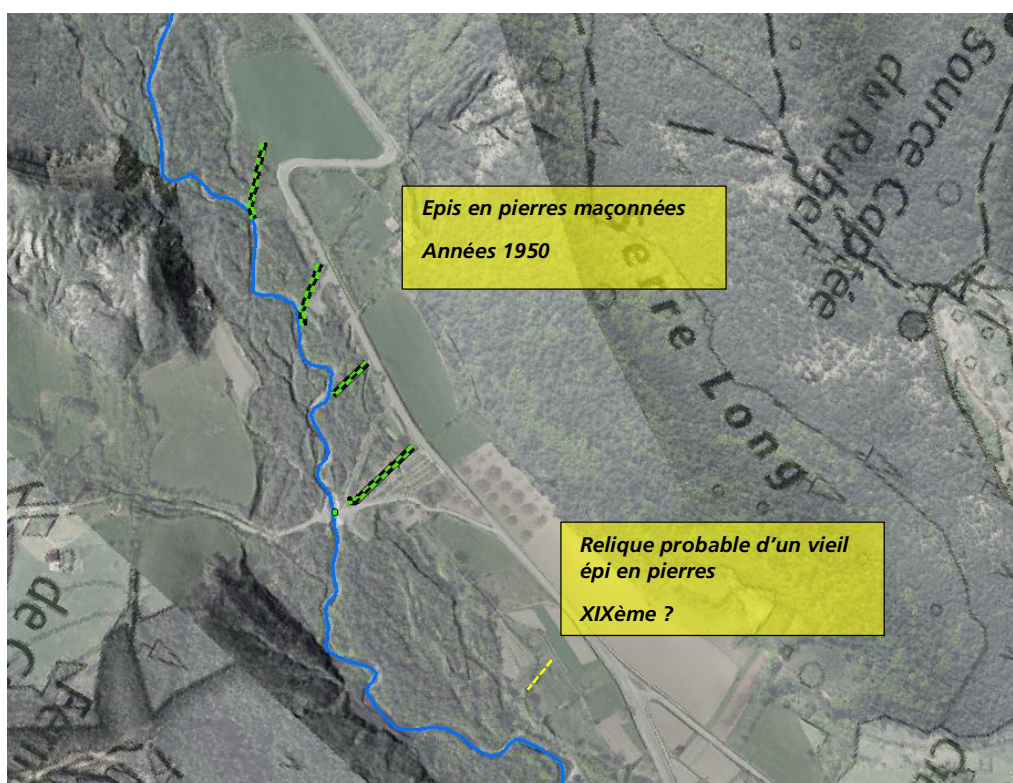


Figure 52 : Situation des épis de protection inventoriés

N°	Altitude	Dimensions	Commentaires
1	660,0 m	L : 88 m / h : 2 m / l : 1 m	Ouvrage mixte : pierre maçonnées / pierres sèches Mauvais état parement aval : nombreuses pierres manquantes. Végétation ligneuse en crête
2	663,8 m	L : 46 m / h : 2 m / l : 1 m	Bon état
3	668,1 m	L : 63 m / h : 2 m / l : 1 m	Bon état
4	673,1 m	L : 63 m / h : 3 m / l : 1 m	Végétation ligneuse en crête

Tableau 12 : Caractéristiques des 4 épis inventoriés

V.2.3 Protections de berges

6 protections de berges ont été inventoriées (cf. tableau suivant). La plus importante d'entre elles est située en bordure de la RD61 au droit du village de Poyols. On notera que la route dans ce secteur est surélevée par rapport aux terrains aval ($0,2 \text{ m} < h < 1,5 \text{ m}$) et peut par conséquent être considérée comme assurant une fonction de digue.

Altitude médiane	Longueur	Rive	Commentaire
589,6 m	18 m	RD	Pierres maçonnées – bon état – amont passerelle métallique
624,5 m	600 ml	RG	Enrochements non appareillés – bordure RD 61 – RD 61 assurant fonction de digue
708,0 m	38 ml	RG	Enrochements appareillés – aval pont de Gaudissard
711,1 m	41 ml	RD	Enrochements appareillés – amont pont de Gaudissard
765,3 m	15 ml	RD	Enrochements appareillés + pierres maçonnées – bordure RD 61 - Fondations apparentes à l'aval
850,1 m	Env. 20 ml	RD	Gabions montés sur semelle béton + épis – bordure RD 61 - Protections perchées par rapport au lit actuel

Tableau 13 : Caractéristiques des protections de berges

VI ETUDE HYDROLOGIQUE

L'objectif de cette partie est de définir les phénomènes de référence en termes de débit et volumes liquides mobilisables. Elle comprendra : une analyse des précipitations extrêmes - celles-ci permettant le calcul des débits de crue-, le calcul de débits liquides ce crue.

VI.1 Analyse des précipitations extrêmes

VI.1.1 Structure régionale des précipitations

Les figures page suivante montrent la structure spatiale des précipitations extrêmes autour de la zone d'étude à partir des quantiles de pluviométrie calculés aux niveaux des postes pluviométriques et des courbes d'iso-précipitations issues du travail de thèse de Djerboua (2001).

Les deux figures mettent en valeur l'influence du relief sur les précipitations avec une augmentation significative des quantiles sur le massif du Vercors et sur les monts du Diois. Il s'agit d'un fait bien connu pour les précipitations moyennes annuelles. Pour des pas de temps journalier et horaire, on retrouve la même tendance sur les quantiles de précipitations extrêmes. Le fond de la vallée de la Drôme dans le secteur du Diois semble ainsi être une zone moins arrosée.

Au pas de temps horaire, la structure des précipitations identifiée précédemment semble absente. Les deux principaux facteurs explicatifs sont les suivants : 1) le nombre de postes pluviométriques avec une mesure au pas de temps horaire est beaucoup plus faible. Il est donc normal que les techniques de spatialisation telles que celles mises en œuvre par Djerboua soient moins pertinentes. 2) A des pas de temps court (inférieur à quelques heures), les plus fortes intensités sont a priori liées à des phénomènes convectifs impactant de la même manière les fonds de vallées que les reliefs (cf. travaux de recherche de Desurosne).

En conclusion, le secteur d'étude semble être pour des pluies longues et intenses en bordure d'une zone de moindres précipitations. Au pas de temps horaire, l'influence du relief sur la structure des précipitations est difficile à évaluer. En se référant à la thèse de Desurosne, on considèrera un gradient hypsométrique nul (i.e. pas d'augmentation des quantiles avec l'altitude).

VI.1.2 Données de quantiles de pluie d'après cartographies de Djerboua

Les valeurs de précipitations décennales et centennales au niveau du bassin versant de la Beoux d'après spatialisation par krigeage des quantiles estimés aux postes pluviométriques sont présentés ci-après :

- Coefficients de Montana (T=10 ans) : $a = 34 / b = 0,712$
- $P_{j10} = 85$ mm
- $P_{j100} = 122$ mm
- $P_{1h,10} = 34$ mm
- $P_{1h,100} = 47$ mm
- g24h calculé avec valeurs retenues : 15,7 mm/unité gumbel ; d'après cartographie (Figure 55) : 17 mm/unité gumbel

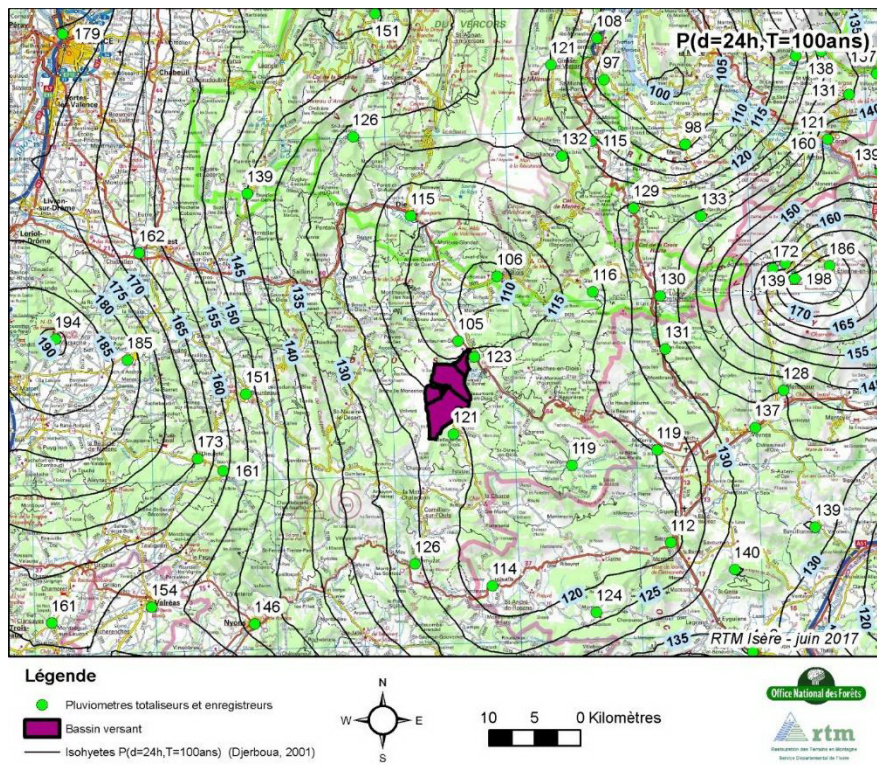


Figure 53 : Structure régionale des quantiles de précipitations P_{100}

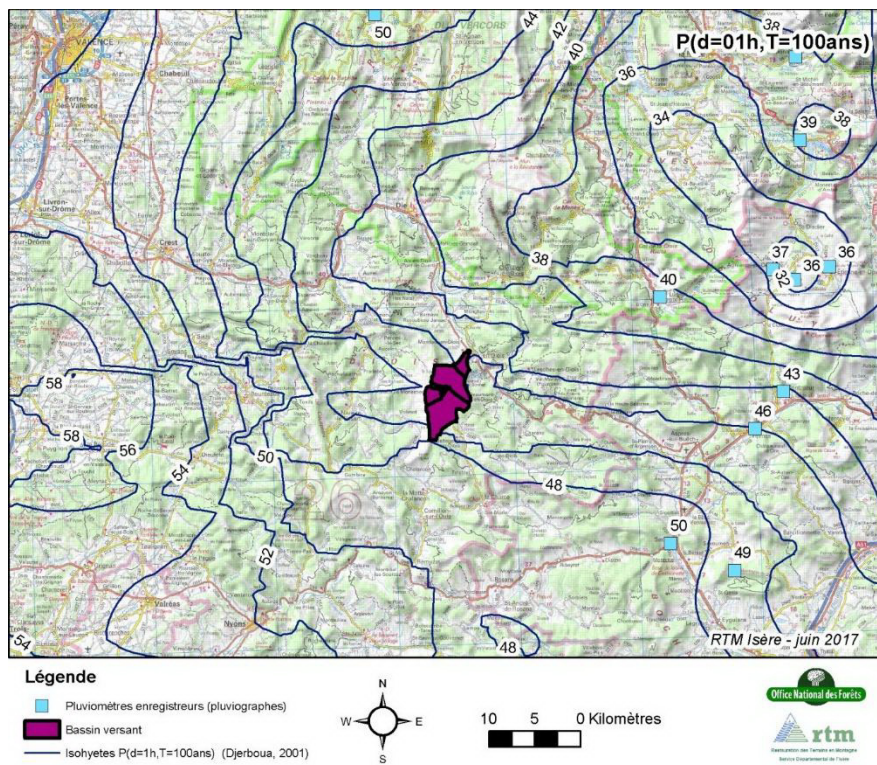


Figure 54 : Structure régionale des quantiles de précipitations $P_{1h, T=100ans}$

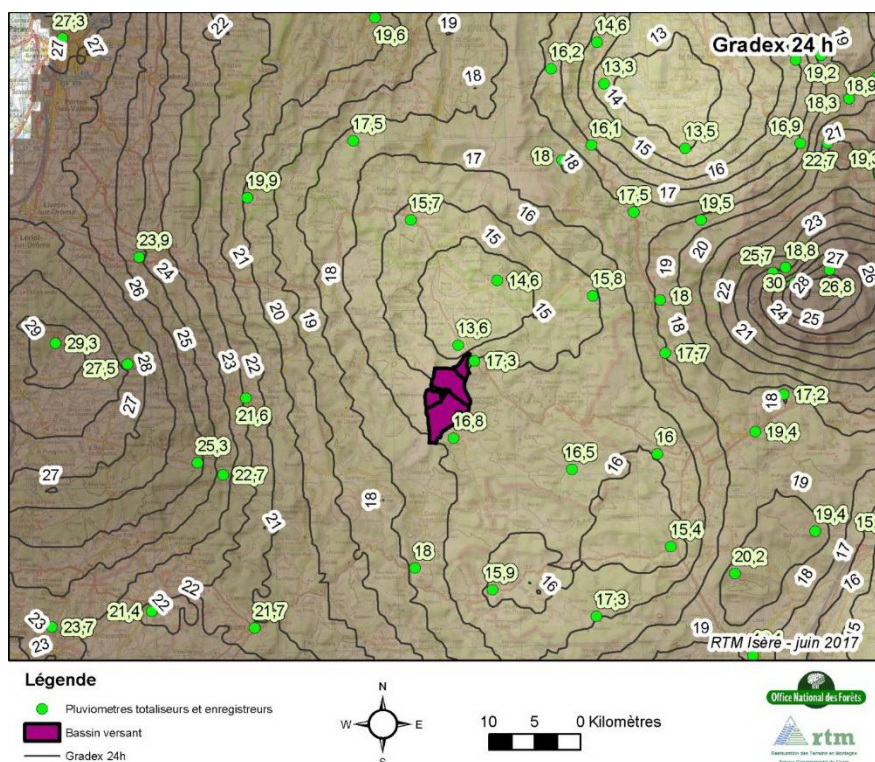
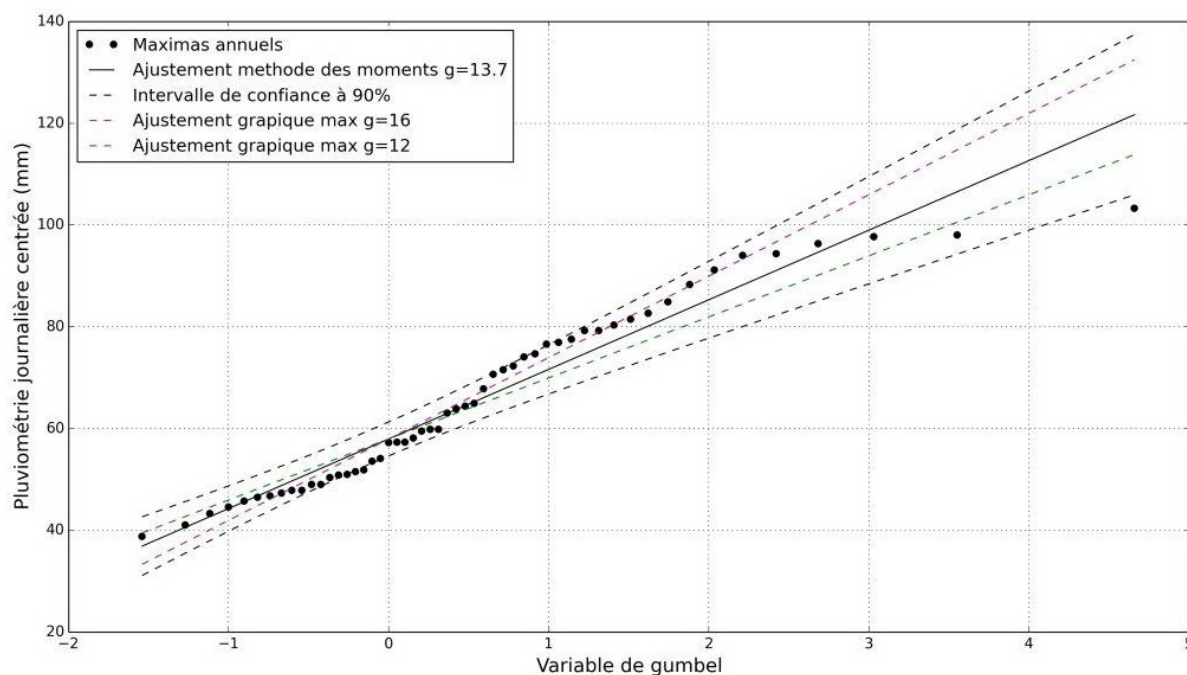


Figure 55 : Valeurs du gradex de 24h d'après ajustement aux postes pluviométriques et spatialisation par krigeage [Djrboua, 2001]

VI.1.3 Traitement statistique des précipitations observées à Luc en Diois

Il a également été procédé un traitement statistique des données de précipitations journalières au niveau du poste météo France du Luc en Diois, avec une chronique allant de 1953 à 2005 soit 53 années de mesure.

La méthodologie de traitement est la suivante : a) extraction des maxima annuels de la chronique de données ; b) application d'une correction de Weiss pour effectuer le traitement sur des données de pluie pseudo centrées ; c) Ajustement selon une distribution de Gumbel par la méthode des moments ; d) Ajustement graphique pour déterminer les bornes plausibles de gradex.



Les quantiles de précipitations calculés à partir de l'ajustement par la méthode des moments (avec $a=58,0$; **gradex=13,7**) sont : **Pj10 = 89 mm** et **Pj100 = 121 mm**, soit des valeurs proches de celles trouvées à partir de cartographies établies par Djerboua. Le graphique illustre également que des valeurs de gradex comprises entre 12 et 16 mm/ unité de gumbel sont plausibles. Selon nos ajustements, la valeur du gradex des pluies de 24h au poste de Luc en Diois serait donc inférieure à celle obtenue par Djerboua qui annonce un gradex de 24h de 17 mm/ unité de gumbel.

VI.1.4 Données de pluie retenues

On retiendra dans la suite de l'étude des valeurs sécuritaires, soit :

- Coefficients de Montana (T=10 ans) : $a = 34$ / $b = 0,712$
- $P_{j10} = 85$ mm
- $P_{j100} = 121$ mm
- $P_{1h,10} = 34$ mm
- $P_{1h,100} = 48$ mm
- $g_{24h} = 16$ mm/unité de gumbel

VI.2 Débits de crue

L'objectif est ici de calculer le débit de pointe décennal et centennal. On utilisera deux types de méthodes :

1. **Calcul des débits à partir d'information locale** en exploitant les chroniques de débits mesurées sur des BV voisins (Drôme à Luc en Diois et Bez à Chatillon en Diois).
2. **Comparaison des résultats obtenus avec des méthodes globales**

VI.2.1 Calcul des débits de crue à partir d'information locale

Les données prises en compte ici sont :

- La chronique de maxima de la saison d'été de la pluie journalière au poste de Luc en Diois ;
- Les chroniques de maxima annuels de débits journaliers sur la Drôme à Luc en Diois ($S=194 \text{ km}^2$) et le Bez à Chatillon en Diois ($S=227 \text{ km}^2$)

Analyse équifréquence des chroniques de pluies et de débits

L'analyse du graphique équifréquence Pluie – Débit journalier montre l'existence de 3 domaines :

- Domaine des crues courantes. Il correspond au domaine où l'équivalent pluie journalière est inférieur à $24,8 \text{ m}^3/\text{s}$, soit $P_j=75,4 \text{ mm}$ ($T < 5,1 \text{ ans}$) ;
- Domaine de transition entre crues courantes et crues rares. Elle correspond au domaine $24,8 < P_{eq} < 31,5 \text{ m}^3/\text{s}$, soit $75,4 \text{ mm} < P_j < 95,8 \text{ mm}$ ($T < 15 \text{ ans}$) ;
- Domaine des crues rares. Il s'agit du domaine situé au-delà de la seconde cassure de la courbe.

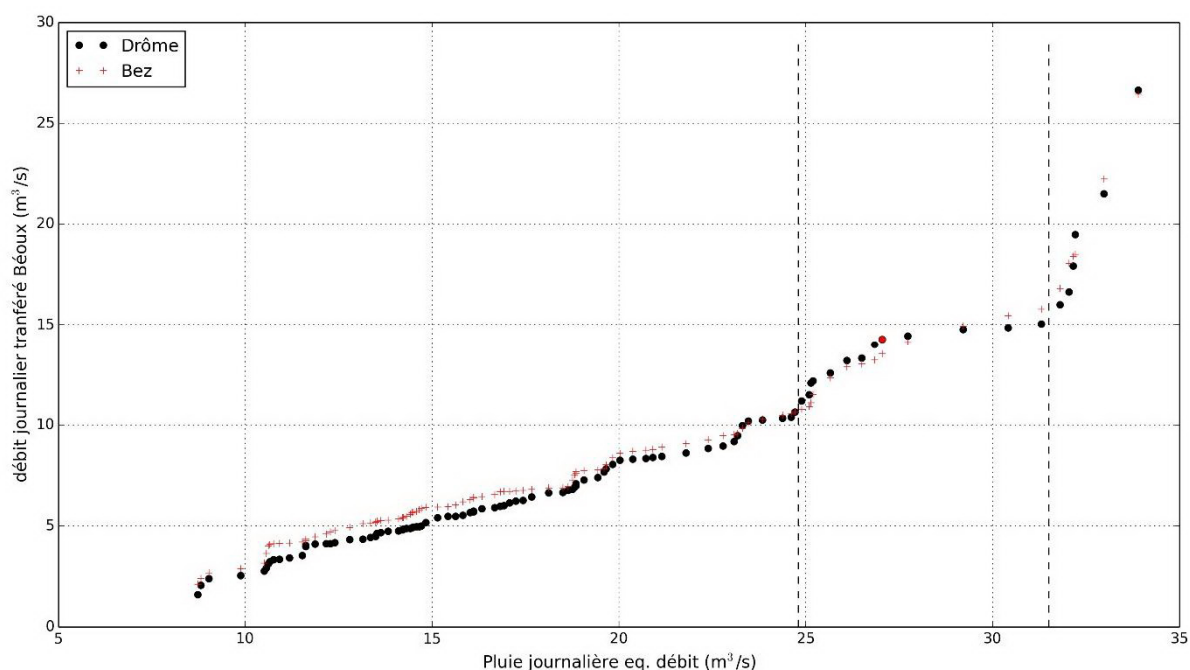


Figure 56 : Graphique équifréquence Pluie journalière – Débit journalier

Calcul des débits de crue journaliers de la Béoux

Suivant le domaine de crue les débits sont calculés suivant les méthodes spécifiées dans le tableau suivant. Aux fréquences rares, on comparera les résultats issus du modèle du GRADEX et du modèle AGREGEE qui sera appliqué sur le domaine de transition et le domaine des crues rares. Pour le calcul des débits de crue dans le domaine des crues rares, l'ajustement à une loi de gumbel bien que moins bon que celui à une loi de Galton a été préféré car présentant des valeurs de débit plus sécuritaires.

Méthode	Domaine courantes crues	Domaine de transition	Domaine des crues rares
AJ ^a + GRADEX	AJ	AJ	X
AJ ^a + AGREGEE	AJ	X	X

(a) Ajustement des débits maxima annuels suivant une loi de gumbel avec la méthode des moments

Les résultats sont présentés sur la Figure 57 et dans le tableau qui suit. Les résultats des calculs avec les deux méthodes employées sont très proches.

Période de retour	Qj Béoux (m ³ /s)	
	Méthode AJ + GRADEX	Méthode AJ + AGREGEE
5	11,2	11,2
10	14,1	14,2
20	17,2	17,5
50	22,4	22,2
100	26,3	25,9

Tableau 14 : Débit de crue journalier de la Béoux suivant deux modalités de calcul

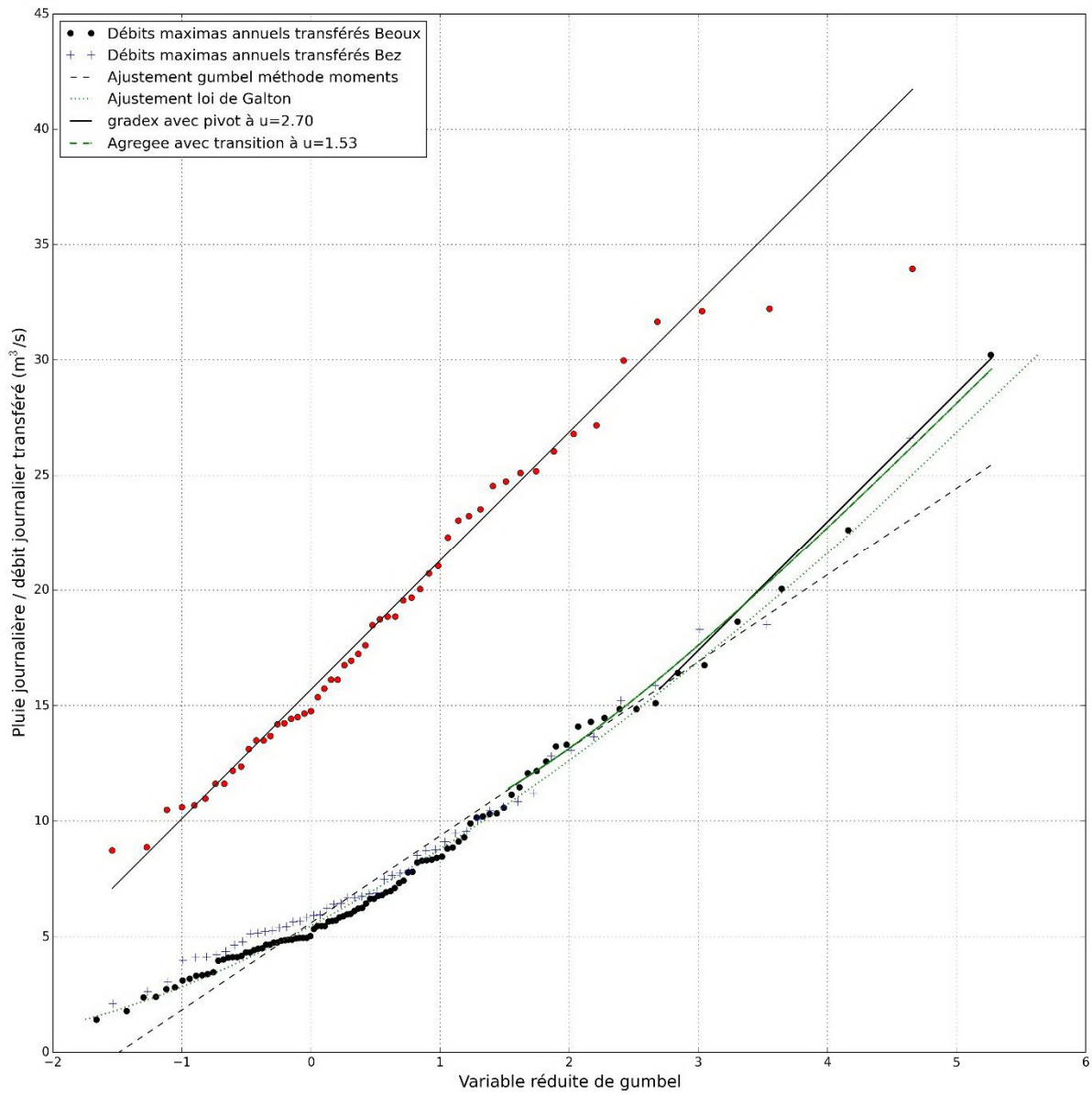


Figure 57 : Calcul des débits de crues à partir de l'information locale sur les pluies et les débits

Calcul des débits de pointe de la Béoux

Pour effectuer la transformation des débits journaliers au débit de pointe on applique le coefficient de forme calculé par régression linéaire sur les chroniques de débits de la Drôme et du Bez. La figure suivante illustre que le coefficient de forme peut être considéré comme constant quel que soit la période de retour. D'autre part, on trouve des comportements très proches entre le Bez et la Drôme avec des coefficients de forme respectivement de 1,52 et 1,53. On remarquera par ailleurs, que la valeur trouvée est très proche de la valeur usuellement recommandée pour l'utilisation de la méthode du GRADEX, ce qui justifie d'autant plus l'analyse réalisée au pas de temps journalier.

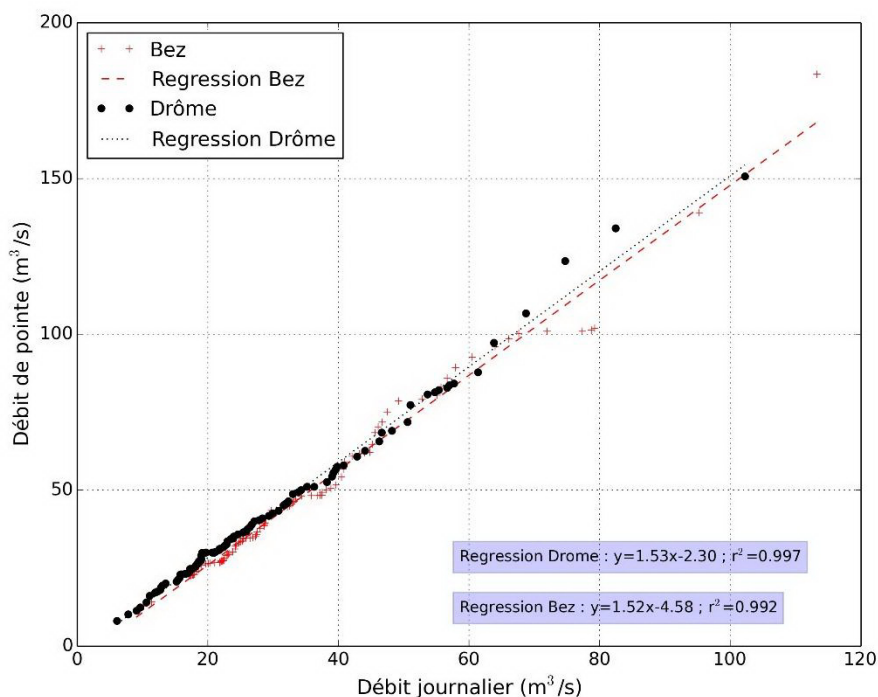


Figure 58 : Graph équiréquence Débit de pointe vs Débit journalier

Débits de pointe calculés

Le tableau suivant présente le calcul des débits de crue avec coefficient de forme égal à 1,52 et à partir des débits journaliers calculés avec la méthode du gradex.

Période de retour	Débit de pointe Qi Béoux (m³/s)
5	17,1
10	21,4
20	26,1
50	34,1
100	40,0

Tableau 15 : Débits de pointe de la Béoux calculés par utilisation de l'information locale sur les pluies et les débits

VI.2.2 Débits de crue obtenus avec des méthodes globales ou conceptuelles

Méthodes globales d'estimation du débit décennal

On présente ci-après les résultats des estimations de débit de crue décennal obtenues avec les méthodes les plus couramment utilisées en ingénierie. Les estimations varient entre 16,4 et 21,7 m³/s et encadrent par conséquent les estimations réalisées à partir de l'information locale.

COMMUNE: Poyols	SURFACE (km²): 28.4 km ²
TORRENT: Beoux	ALT. EXUTOIRE (m): 533 m

S =	28.40 km ²	P10Tc =	37 mm
L =	9.07 km	P10D =	56 mm
Im =	8.4%	α =	1.314
Tc =	2.00 h	β =	0.8251
D =	15.00 h	K = rd =	1.50
Pa =	1300 mm	Cr =	0.15
Ta =	13.0 °C	CNII =	70
b(10) =	0.71	IP =	3
a(10) =	34.0	Po =	60.00 mm
Pj10 =	85 mm	R =	1.00
Pj10 SHYREG =	90 mm	CR =	1.00
Secteur alpin	Centre	Zmoy =	985

méthode	Qi10 (m ³ /s)	variables utilisées	Domaine de validité
Régressions multiples (Alpes)	18.4	S, Pj10, secteur alpin	?<S<500 km ²
SOCOSE	16.8	S, Pj10, L, b, Pa, Ta	2<S<200 km ²
CRUPEDIX	16.4	S, Pj10, R	2<S<2000 km ²
CRUPEDIX (Sud-Est)	18.3	S, Pj10, CR	2<S<2000 km ²
RATIONNELLE	21.7	S, Tc, Pd10, Cr	S<15 km ²

Moyenne indicative 18.3

Calcul des débits avec la méthode SHYREG Débit [IRSTEA] (période de retour de 2 à 1000 ans)

Les débits de crue calculés par IRSTEA avec la méthode SHYREG sont présentés dans le tableau suivant ainsi que sur la Figure 59. L'adéquation avec les données locales, tant au pas de temps journalier qu'instantané n'est pas bonne. Le crédit à apporter à ces estimations doit donc être considéré comme faible.

T (an)	Pointe	Jour	1h	2h	3h	4h	6h	12h	24h	48h	72h
T= 1000	76.8	25.3	60.2	55.4	50.2	46.3	41.1	33.6	27	18	13.1
T= 500	62.4	21.3	50.2	46.5	42.5	39.2	34.8	28.4	22.8	15.2	11.1
T= 100	36.4	14	31.1	29.2	27.2	25.4	22.7	18.5	14.9	10.2	7.77
T= 50	28.4	11.7	24.8	23.4	21.9	20.6	18.6	15.3	12.4	8.71	6.77
T= 20	20.3	9.28	18.1	17.2	16.4	15.6	14.2	11.9	9.84	7.15	5.66
T= 10	15.7	7.8	14.2	13.6	13	12.5	11.6	9.85	8.27	6.15	4.9
T= 5	12.1	6.52	11	10.7	10.3	9.94	9.32	8.09	6.91	5.22	4.16
T= 2	8.38	4.99	7.76	7.58	7.38	7.18	6.82	6.08	5.28	4.06	3.21

Tableau 16 : Débits de crue calculés avec la méthode SHYREG

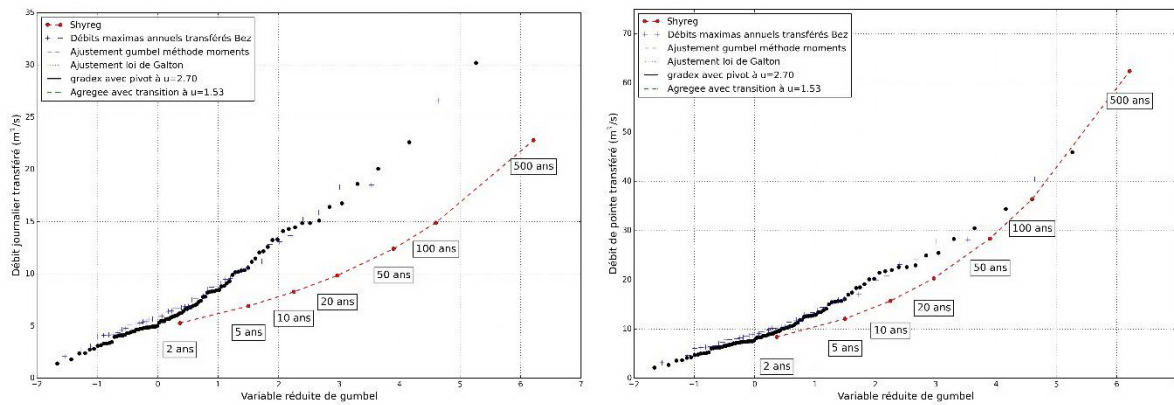


Figure 59 : adéquation des débits SHYREG avec les données locales
(gauche) : débits journaliers / (droite) : débits de pointe

VI.2.3 Débits de crue retenus

On retiendra les valeurs de débits de crue issues des calculs réalisés en exploitant l’information locale sur les pluies (à Luc en diois) et les débits (Bez à Chatillon en diois et Drôme à Luc en Diois) :

Période de retour	Débit de pointe Qi Béoux (m³/s)
5	17,1
10	21,4
20	26,1
50	34,1
100	40,0

Tableau 17 : Débits de pointe de crue de la Béoux retenus

VI.2.4 Hydrogrammes de crue

L’objectif est ici de construire des hydrogrammes de crues qui pourront être utilisés pour les calculs de capacité de transport solide, et qui sont statistiquement représentatifs de crues de période de retour 10 et 100 ans. La difficulté de cet exercice est que la notion de période de retour s’applique à des variables uniques (débit de pointe, volume de crue, débit journalier, débit moyen maximal sur une durée d...).

Dans le cas présent, pour des calculs de transport solide, il semblerait plus juste de se focaliser sur des hydrogrammes dont le volume est de période de période de retour 10 ou 100 ans. Ce traitement statistique est difficilement accessible, y compris pour les bassins versants jaugés. Il a été pris le parti de construire des hydrogrammes simplifiés avec la formule de Lavabre :

$$Q(t) = Q_p \frac{2\left(\frac{t}{t_m}\right)^\alpha}{1 + \left(\frac{t}{t_m}\right)2^\alpha}$$

Où Q_p est le débit de point, t_m le temps de montée de crue et α un paramètre de forme. Cette méthode présente l’avantage de la simplicité. Les volumes de crues sont toutefois très sensibles aux valeurs de temps de montée et de paramètre de forme.

Et vérifiant les contraintes suivantes :

- (1) $Q_p = Q_{T=10 \text{ ou } 100 \text{ ans retenu}}$
- (2) $VCX(d,T)_{lavabre} = VCX(d,T)_{\text{modèle QdF}} \text{ et } d(Q > \frac{Q_p}{2}) = D$

Où $VCX(d,T)$ est le débit moyen maximal de durée d et de période de retour T ; et D la durée caractéristique de crue définie comme la durée pendant laquelle le débit est supérieur à la moitié de du débit pointe.

Autrement dit, on construit un hydrogramme de crue de forme simplifié présentant une période de retour de 10 ou 100 ans sur les variables suivantes : débit de pointe, débit moyen maximal sur une durée égale à la durée caractéristique de crue, laquelle est définie comme la durée pendant laquelle la moitié du débit de pointe est dépassée.

L'ajout d'autres variables n'a volontairement pas été intégré. En effet, Si la corrélation entre plusieurs variables est faible, la construction d'un hydrogramme respectant une période de retour donnée pour chaque variable, donne un hydrogramme résultant avec une période de retour plus élevée...

Le modèle QdF applicable sur le site d'étude est le modèle dit de « FLORAC » représentatif d'un régime méditerranéen. Il est par ailleurs fait l'hypothèse d'une durée caractéristique de crue de 9 heures, qui correspond à la valeur calculée avec la formule de SOCOSE adaptée aux BV à forte pente.

BV de la Béoux au niveau du confluent avec la Drôme

La résolution numérique du système numérique avec les contraintes présentées précédemment aboutit aux valeurs suivantes : pour $T=100$ ans $t_m = 4,13$ h et $\alpha = 1,4$; pour $T=10$ ans $t_m = 3,75$ h et $\alpha = 1,30$. On retrouve une valeur de temps de montée du même ordre que le temps de concentration du bassin versant.

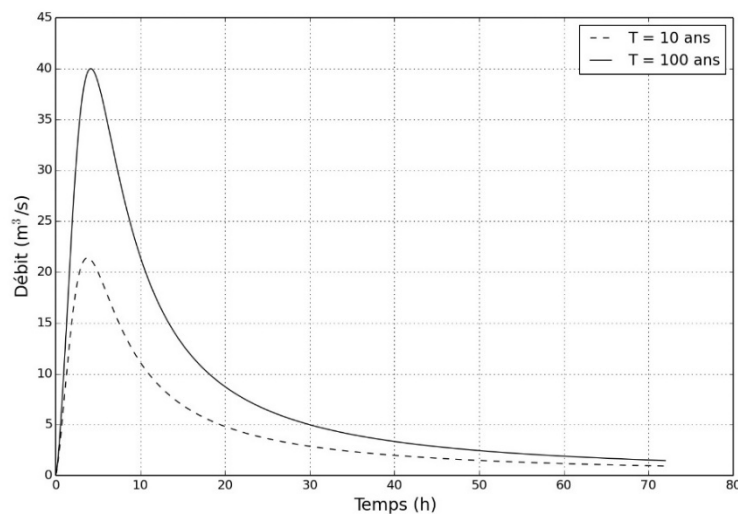


Figure 60 : Hydrogrammes de crue retenus pour les calculs de capacité de transport solide

BV de la Béoux au niveau du confluent avec le ravin de Mias ($S=3,2 \text{ km}^2$)

Le débit de pointe décennal est recalculé par utilisation de la formule rationnelle avec un coefficient de ruissellement compris entre 0,15 et 0,2 et un temps de concentration estimé à 0,6 h. On retient une valeur de débit décennal médiane de $7 \text{ m}^3/\text{s}$. Cette valeur est bien supérieure à celle qui aurait été obtenue par utilisation d'une simple loi de transfert. Elle apparait cependant justifiée au regard des très grandes superficies de terrain nues contribuant beaucoup plus à la production de ruissellements. Pour le débit centennal, on retient une valeur de $15 \text{ m}^3/\text{s}$, avec par conséquent un rapport Q_{100}/Q_{10} très légèrement supérieure à 2,0, (valeur du modèle QdF de Florac pour des débits instantanés). On gardera à l'esprit que cette rapide estimation des débits est soumise à des incertitudes très fortes...qui peuvent se propager au niveau des calculs de transport solide par charriage.

Pour la construction de l'hydrogramme, il est pris une hypothèse de durée caractéristique de crue de 1,7 h qui est le résultat moyen obtenu avec les formules empiriques SCS-BV rapides et SOCOSE-BVs à fortes pentes.

La résolution numérique du système numérique avec les contraintes présentées précédemment aboutit aux valeurs suivantes : pour $T=100$ ans $t_m = 1,17$ h et $\alpha = 2,66$; pour $T=10$ ans $t_m = 1,49$ h et $\alpha = 2,54$. On retrouve une valeur de temps de montée du même ordre que le temps de concentration du bassin versant.

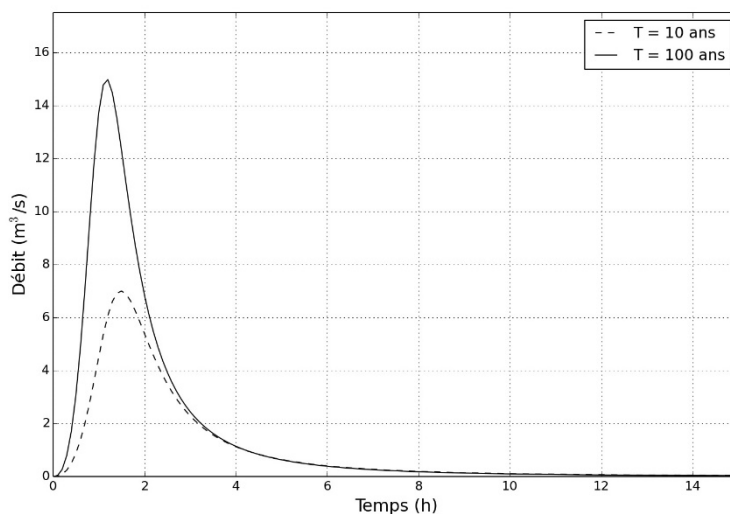


Figure 61 : Hydrogrammes de crue retenus pour les calculs de capacité de transport solide
BV à l'aval du confluent avec le ravin de Mias

BV de la Béoux au niveau du confluent avec le ruisseau de Bourdiolle (S=16,6 km²)

On utilise ici une loi de transfert simple pour le calcul des débits de pointe. On obtient : $Q_{10} = 13,5$ m³/s et $Q_{100} = 27$ m³/s. La durée caractéristique de crue est prise égale à 4h. Les hydrogrammes résultants sont présentés ci-après.

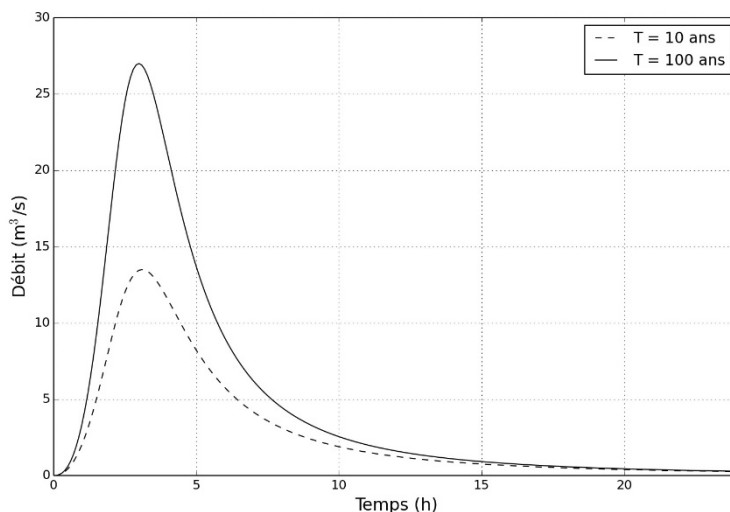


Figure 62 : Hydrogrammes de crue retenus pour les calculs de capacité de transport solide
BV à l'aval de la confluence avec le ruisseau de Bourdiolle

VII QUANTIFICATION DES VOLUMES DE SEDIMENTS MOBILISABLES EN CRUE

VII.1 Mode de transport solide préférentiel

L'objectif de ce paragraphe est de déterminer le mode de transport prépondérant lors de crues intenses en différents points du bassin versant. Il a été utilisé l'approche morphométrique développée par Marchi et Brochot (2000) qui est fondée sur l'analyse conjointe de l'indice de Melton et de la pente conditionnant le transport solide (cf. figure suivante). Ce type d'approche permet de faire un diagnostic rapide sur la susceptibilité d'un bassin à produire des laves ; cependant elle ne prend pas en compte les conditions de fourniture sédimentaire.

Le graphique suivant permet de distinguer deux modes de fonctionnements différents :

- **Au niveau des bassins versants supérieurs (Béoux au niveau du B14, Ravin de Mias, Ravin de St-Marcel), les crues sont susceptibles de se produire sous forme de laves torrentielles.** Le mode de transport prédominant est cependant mixte, avec transport solide possible (entre deux événements et au sein d'une même crue) sous forme de charriage et de laves torrentielles. Dans les faits, on considèrera – ce qui est à notre sens une bonne approximation- que les crues les plus courantes se produisent sous forme de charriage, et que les crues exceptionnelles associées à des fréquences faibles ont davantage de probabilité de se produire sous forme laves ou d'écoulements hyper-concentrés.
- **Dès le confluent avec le Ravin de Mias, le transit des laves torrentielles semble beaucoup moins probable.** Le transport par charriage en aval est très largement prédominant, et le transit de crues sous forme de laves ne peut relever que de conditions rares. En aval du confluent avec le ruisseau de Bourdiolle, la pente, égale à 6 %, ne permet plus le transit de ce type d'écoulements.

Cette rapide analyse nous semble bien refléter les observations de terrain et les descriptions de crues. Pour le premier groupe, le facteur déterminant est la disponibilité sédimentaire en tête de bassin.

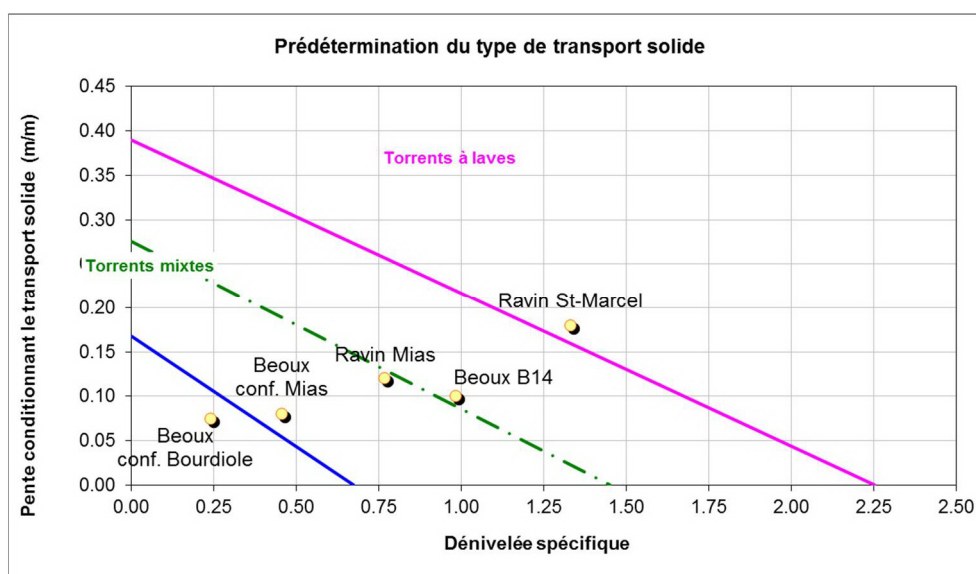


Figure 63 : Processus de transport dominant à différents points du bassin versant

On ajoutera à cette analyse que le dispositif de correction torrentielle génère des conditions d'écoulement moins propices à la propagation de laves torrentielles : (a) du fait d'une pente de lit plus faible que dans le lit naturel, laquelle s'approche au niveau du grand barrage de conditions d'arrêt ; (b) de la section d'écoulement importante qui peut permettre la dislocation des fronts de laves.

Les volumes mobilisables par charriage seront évalués par une méthode dite hydraulique et une méthode globale développée par les services RTM et IRSTEA (ECSTREM). Les volumes d'apports possibles par laves torrentielles seront également évalués avec des méthodes globales.

VII.2 Granulométrie des sédiments transportés (charriage)

La granulométrie des sédiments transportés par charriage a été étudiée grâce :

- à des mesures granulométriques réalisées pour l'EBR par comptage suivant la méthode Wolman.
- aux mesures réalisées par F. LIEBAULT durant sa thèse (2003), laquelle comprenait un site d'étude sur le torrent de la Béoux.

Mesures granulométrique réalisées pour cette étude

Sept mesures granulométriques ont été réalisées pour les besoins de l'EBR. Celles-ci portent sur :

- Des sédiments fins provenant de nappes de charriage ou de bancs latéraux :
 - G0a, G0b, G1 : nappes de charriage en amont de barrages RTM ;
 - G3 à G5 : bancs latéraux en fond de vallée entre le confluent avec le ruisseau de Bourdiolle et la Drôme. La mesure G4, située quelques dizaines de mètres en aval de la mesure G3, porte sur un banc présentant une structure plus grossière.
- Une structure morphologique à blocs en cours de pavage (G1, à l'amont du pont de la RD 65)

Nom	Alt. (m)	Diamètres caractéristiques					Autres paramètres			
		d16 (cm)	d30 (cm)	d50 (cm)	d84 (cm)	d90 (cm)	dm (cm)	d90/d30	Pente lit (m/m)	L (m) (%)
G0a	918	1.9	2.4	3.3	6.5	8.2	5.4	3.4	0,074	14
G0b	875	1.2	1.5	2.1	3.7	4.7	2.5	3.1	0,073	18
G1	790	1.4	2.0	2.7	4.8	5.7	3.8	2.8	0,070	11
G2	753	1.2	2.0	3.4	12.2	14.4	7.3	7.2	0,075	8
G3	570	1.0	1.3	1.8	3.0	3.6	2.0	2.8	0,020	6
G4	569	1.3	1.8	2.5	5.6	6.8	3.2	3.7	0,020	6
G5	534	1.1	1.5	2.0	3.4	3.8	2.2	2.6	0,018	9,5

Figure 64 : Diamètres caractéristiques des sédiments échantillonnés

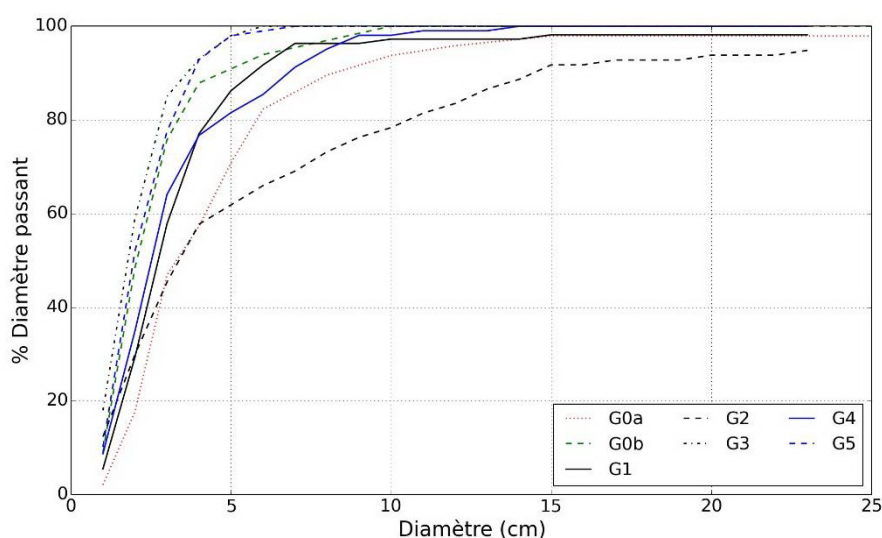


Figure 65 : Courbes granulométriques des sédiments échantillonnés

Les structures de type nappes de charriage ou bancs latéraux ont été échantillonnées préférentiellement, celles-ci étant caractéristiques de dépôts de crue avec transport par charriage. Elles présentent une étendue granulométrique faible avec un rapport d_{90}/d_{30} inférieure à 4. En amont du confluent avec le ruisseau de Bourdiolle, les nappes de charriage coexistent avec des structures morphologiques beaucoup plus hétérogènes, avec de très nombreux blocs et une pente du lit généralement plus irrégulière et plus forte. Les nappes de charriage et les bancs latéraux sont beaucoup plus mobiles et constituent l'essentiel du stock de sédiments transféré vers l'aval. Les blocs et cailloux émergeant localement dans le tronçon corrigé ou à l'aval de la correction RTM, sont quant à eux probablement mobilisés beaucoup moins fréquemment et participent au pavage du lit lors de phases de déstockage.

Cette analyse est confirmée par les mesures effectuées par LIEBAULT (2003) durant sa thèse et lors de laquelle les caractéristiques granulométriques des sédiments transportés ont pu être mesurées grâce à un traçage des sédiments (suivi de sédiments par peinture, cf. tableau suivant). Le tableau suivant montre des caractéristiques granulométriques très proches entre les sédiments transportés et les sédiments échantillonnés sur les atterrissements des barrages de correction torrentielle, ou au niveau de bancs latéraux en fond de vallée.

Mesures	D ₁₆ (cm)	D ₃₀ (cm)	D ₅₀ (cm)	D ₈₄ (cm)	D ₉₀ (cm)
Moyenne mesures amont correction	1,5	2,0	2,7	5,0	6,2
Moyenne mesures fond de vallée	1,1	1,5	2,1	4,0	4,7
LIEBAULT (2003) fond de vallée	1,2	2,0	3,0	4,5	5,5

Tableau 18 : Comparaison des diamètres caractéristiques mesurés pour l'EBR avec ceux des sédiments transportés lors de crues suivies durant la thèse de LIEBAULT (2003)

Lors de crues très intenses, il est probable que la courbe des sédiments transportés soit modifiée avec une proportion d'éléments grossiers plus importante. Ce facteur ne sera pas pris en compte dans les calculs, car sans influence sur les résultats. On gardera pour les calculs de transport solide, la courbe granulométrique synthétique issue des mesures effectuées par LIEBAULT (2003).

VII.3 Volumes mobilisables par laves torrentielles et distances de parcours probables

Ce paragraphe concerne uniquement l'estimation des volumes potentiels de laves torrentielles au niveau des ravins supérieurs : ravin de Trescherennes et ravin de Mias. Les laves torrentielles vont se propager dans le lit de la Béoux et vont constituer des stocks de sédiments qui pourront être repris ultérieurement (en partie) par des crues moins intenses avec transport par charriage.

VII.3.1 Volumes de laves torrentielles

Les volumes mobilisables sous forme de laves torrentielles ont été estimés à partir de **modèles globaux**. Il s'agit de relations (courbes enveloppes, modèles de régression, modèles semi-empiriques) reliant le volume de lave torrentielle à des paramètres descriptifs simples du bassin versant (surface, longueur du torrent, pente,...). Seules quelques relations sont associées à des périodes de retour de 100 ans, les autres donnant des volumes exceptionnels potentiellement mobilisables.

Les résultats obtenus en utilisant une compilation de la plupart des relations disponibles dans la bibliographie sont présentés dans les tableaux suivants. Ils ont été regroupés en trois classes :

1. **Classe 1 : Volumes maximums** pouvant être observés obtenus à partir de relations de type courbe-enveloppe
2. **Classe 2 : Volumes moyens** obtenus à partir de modèles de régression ou de modèle semi-empiriques (courbe représentatif du comportement moyen du jeu de données)
3. **Classe 3 : Volumes associés à une période de retour de 100 ans** et ayant requis une analyse statistique préalable à l'établissement des modèles.

Pour chaque classe on observe une dispersion très importante des résultats ce qui illustre la difficulté à approcher les volumes de laves.

Béoux au niveau du barrage B14

Pour la Béoux au droit du barrage B14, on pourra retenir que :

- Les volumes maximums pouvant être mobilisés sont inférieurs à 80 000 m³ ;
- Les volumes moyens correspondant à des crues intenses sont de l'ordre de 3 000 à 30 000 m³
- Les volumes associés à une période de retour de 100 ans sont inférieurs à 40 000 m³. **En écartant les valeurs extrêmes, les volumes sont compris entre 3 000 et 10 000 m³.**

TORRENT : Béoux au niveau barrage B14			
S = 0.60 km ²	Surface du bassin versant		
SNV = 0.39 km ²	Surface non végétalisée		
Sa = 0.39 km ²	Surface en érosion active connectée		
Dz = 600 m	Dénivelée point culm. -> exutoire		
M = 0.77	Indice de Melton		
L = 600 m	Longueur du chenal érodable		
Im = 0.52 m/m	Pente moyenne du torrent		
Ic = 0.115 m/m	Pente du cône de déjection		
I _{ts} = 0.115 m/m	Pente locale repr. transport solide		
K = 1000	Facteur de torrentialité		
P10-24h = 85	Pluie journalière décennale		
IGM = 2	Indice géologique Robert Marie		
IGA = 2	Indice géologique d'Agostino		
Classe torrent = 3b	Classe Torrent		

Méthode	Approche	Volume (m ³)	Variables
RTM (2010)	Vmax, Courbe enveloppe	15000	S
RTM (2010)	Vmax, Courbe enveloppe	68200	SNV
D'AGOSTINO et MARCHI (2001)	Vmax, Courbe enveloppe	42000	S
TAKEI (1980) F=0.95	Régression + F. non dép.	83000	S
RICKENMANN (1997)	Courbe enveloppe	30360	L, Ic
KRONFELLNER-KRAUS (1985)	Semi-empirique	31200	S, K, Im
D'AGOSTINO (1996)	Régression	20700	S
D'AGOSTINO (1996)	Semi-empirique	21300	S, Im, IGA
D'AGOSTINO et MARCHI (2001)	Semi-empirique	13200	S, Im, IGA
MARCHI et D'AGOSTINO (2004)	Semi-empirique	3400	S, Im, IGA
FRANZI et BIANCO (2001)	Régression	6100	S
TAKEI (1980)	Régression	10000	S
D'AGOSTINO et MARCHI (2001)	V100, Courbe enveloppe	37900	S
ECSTREM LAVES (RTM, IRSTEA - 2010)	V100, borne sup. IC93%	9202	Sa, Dz
ECSTREM LAVES (RTM, IRSTEA - 2010)	V100, Régression	4601	Sa, Dz
ECSTREM (RTM, IRSTEA - 2010)	V100, borne sup. IC82%	18542	Sa, I _{ts}
ECSTREM (RTM, IRSTEA - 2010)	V100, Régression	9271	Sa, I _{ts}
ZELLER (1976), c2=20	V100max, Semi-empirique	10100	S, c2
ZELLER (1976), c2=6	V100min, Semi-empirique	3000	S, c2
BROCHOT (1998)	V100, ACP + Régression	6600	Classe torrent
BIANCO et al. (2001)	V100, Semi-Empirique	800	S, M, IGM, SNV
BROCHOT (2003)	V100, Semi-Empirique	1400	S, M, IGM, SNV, P10-24h

Ravin du Mias au niveau confluence avec Béoux

Pour ravin du Mias, on pourra retenir que :

- Les volumes maximums pouvant être mobilisés sont inférieurs à 50 000 m³ ;
- Les volumes moyens correspondant à des crues intenses sont de l'ordre de 2 000 à 20 000 m³
- Les volumes associés à une période de retour de 100 ans sont inférieurs à 30 000 m³. **En écartant les valeurs extrêmes, les volumes sont compris entre 3 000 et 10 000 m³.**

TORRENT : Ravin de Mias	
S = 0.51 km ²	Surface du bassin versant
SNV = 0.25 km ²	Surface non végétalisée
Sa = 0.25 km ²	Surface en érosion active connectée
Dz = 702 m	Dénivelée point culm. -> exutoire
M = 0.98	Indice de Melton
L = 500 m	Longueur du chenal érodable
Im = 0.30 m/m	Pente moyenne du torrent
Ic = 0.090 m/m	Pente du cône de déjection
I _{ts} = 0.090 m/m	Pente locale repr. transport solide
K = 1000	Facteur de torrentialité
P10-24h = 85	Pluie journalière décennale
IGM = 2	Indice géologique Robert Marie
IGA = 2	Indice géologique d'Agostino
Classe torrent = 3b	Classe Torrent

Méthode	Approche	Volume (m ³)	Variables
RTM (2010)	V _{max} , Courbe enveloppe	12800	S
RTM (2010)	V _{max} , Courbe enveloppe	52200	SNV
D'AGOSTINO et MARCHI (2001)	V _{max} , Courbe enveloppe	35700	S
TAKEI (1980) F=0.95	Regression + F. non dép.	76000	S
RICKENMANN (1997)	Courbe enveloppe	17300	L, Ic
KRONFELLNER-KRAUS (1985)	Semi-empirique	15300	S, K, Im
D'AGOSTINO (1996)	Régression	18500	S
D'AGOSTINO (1996)	Semi-empirique	8100	S, Im, IGA
D'AGOSTINO et MARCHI (2001)	Semi-empirique	5600	S, Im, IGA
MARCHI et D'AGOSTINO (2004)	Semi-empirique	1400	S, Im, IGA
FRANZI et BIANCO (2001)	Régression	5400	S
TAKEI (1980)	Régression	9000	S
D'AGOSTINO et MARCHI (2001)	V100, Courbe enveloppe	32200	S
ECSTREM LAVES (RTM, IRSTEA - 2010)	V100, borne sup. IC93%	8988	Sa, Dz
ECSTREM LAVES (RTM, IRSTEA - 2010)	V100, Régression	4494	Sa, Dz
ECSTREM (RTM, IRSTEA - 2010)	V100, borne sup. IC82%	10203	Sa, I _{ts}
ECSTREM (RTM, IRSTEA - 2010)	V100, Régression	5101	Sa, I _{ts}
ZELLER (1976), c2=20	V100max, Semi-empirique	8900	S, c2
ZELLER (1976), c2=6	V100min, Semi-empirique	2700	S, c2
BROCHOT (1998)	V100, ACP + Régression	5600	Classe torrent
BIANCO et al. (2001)	V100, Semi-Empirique	900	S, M, IGM, SNV
BROCHOT (2003)	V100, Semi-Empirique	1800	S, M, IGM, SNV, P10-24h

On retiendra pour chacun des deux ravins des volumes de laves pouvant être mobilisés lors de crues rares (T env. 100 ans) de l'ordre de 10 000 m³. En cas de circonstance défavorable (éboulement, réactivation d'une ancienne instabilité), les volumes pouvant être mobilisés pourraient atteindre 30 000 m³.

VII.4 Volumes mobilisables par charriage en crue décennale et centennale

Les estimations de volumes mobilisables par charriage sont réalisées avec deux méthodes différentes :

- Méthode hydraulique : il s'agit ici de calculer les volumes mobilisables en appliquant des formules de transport solides sur un hydrogramme de crue de référence ;
- Méthode ECSTREM reposant sur l'exploitation statistique de données de curage sur plus de 40 bassins versants torrentiels.

Comme pour les laves torrentielles, on gardera à l'esprit que les méthodes disponibles ne permettent d'accéder qu'à des ordres de grandeur des volumes mobilisés.

VII.4.1 Méthode hydraulique

Les estimations seront réalisées en trois endroits :

- (1) Au confluent Torrent de la Béoux – Ravin de Mias au niveau de l'atterrissement derrière le barrage B1 ;
- (2) Au confluent Torrent de la Béoux – Ruisseau de Bourdiolle ;
- (3) A l'amont de la confluence avec la Drôme.

En amont de la confluence avec la Drôme, la morphologie de la Béoux présente des signes d'armurage avec par conséquent une capacité de transport inférieure aux apports réels.

VII.4.1.a Méthodologie

Sur les rivières qui s'écoulent dans leurs alluvions et qui sont, de ce fait, libres de façonner leur lit, on observe habituellement qu'un équilibre moyen s'installe entre le débit solide, le débit liquide, la granulométrie des sédiments charriés et la pente d'écoulement. Ce constat a conduit à l'établissement de nombreuses formulations empiriques, généralement issues de l'expérimentation en canal de laboratoire, afin de mettre en relation ces différents paramètres explicatifs.

Parmi toutes les très nombreuses relations existantes, seules quelques-unes s'avèrent applicables dans des conditions de fortes pentes telles qu'on les rencontre sur les torrents et les rivières de montagne. Dans la suite de l'étude, 2 formules dédiées aux cours d'eau de pentes fortes à modérées sont appliquées : la relation de Lefort (2015) et la relation de Recking (2016). L'intérêt de ces relations est qu'elles fournissent une estimation de la capacité maximale de charriage de manière globale. Cette capacité ne peut être atteinte que si aucune limitation due aux apports amont ou à la fourniture de sédiments par le lit n'intervient.

On gardera à l'esprit que le calcul des volumes transportés par charriage avec cette approche est entaché de très fortes incertitudes liées notamment à l'estimation de la durée caractéristique de crue, du débit liquide de pointe, des diamètres caractéristiques, mais aussi aux formules de capacités de transport elles-mêmes avec une très grande variation des résultats suivant la relation utilisée.

Les pentes prises en compte pour le calcul ont été déterminées d'après le profil en long du torrent. Pour le BV amont, on a pris en compte 2 pentes :

- $I=7,6$ % : cette pente correspond à la pente d'atterrissement observée en amont des barrages de correction torrentielle. Elle est représentative des conditions de fourniture sédimentaire actuelle.
- $I=10$ % : Cette seconde valeur de pente correspond à la pente d'anciens dépôts torrentiels, végétalisés, qui ont été ré-incisés par la Béoux. Elle correspond à des conditions de fourniture sédimentaire plus importantes, et est vraisemblablement représentative des conditions d'occupation du sol antérieures aux années 1960.

VII.4.1.b Résultats

Les résultats des calculs sont présentés ci-après (cf. Tableau 19).

Lieu	T (ans)	Capacité de transport solide (m ³)	
		Lefort 2015	Recking 2016
BV aval (conf. Drôme) S= 28,4 km ² , l=2% L=9m	10 ans	3360	3730
	100 ans	8120	9340
BV intermédiaire (conf. Bourdiolle) S= 16,6 km ² , l=6 % L=12m	10 ans	4080	2890
	100 ans	8800	6380
BV amont (conf. Mias) S=3,2 km ² , l=7,6 % L=12m	10 ans	1710	1210
	100 ans	3610	2400
BV amont (conf. Mias) S=3,2 km ² , l=10 % L=12m	10 ans	3060	2040
	100 ans	6210	3980

Tableau 19 : Capacité de transport solide en trois endroits du BV

VII.4.2 Methode ECSTREM

VII.4.2.a Methodologie

Il est utilisé la méthode ECSTReM² développée par les services RTM et l'IRSTEA [Peteuil et Liebault, 2011]. Le principe de la méthode repose sur l'exploitation statistique des données de curage de plus de quarante plages de dépôt gérées par les services RTM. Elle fournit des estimations de volumes d'apports en crue décennale et centennale en fonction de descripteurs simples du bassin versant (surface en érosion active connectée au réseau hydrographique, pente représentative des apports solides) et en fonction du type de transport solide prépondérant.

Pour le charriage, les descripteurs utilisés sont la superficie en érosion active connectée au réseau hydrographique (S_a) et la pente du lit à l'endroit considéré (l). Les relations retenues pour l'estimation des volumes décennaux et centennaux sont les suivantes :

$$V_{10} = 23\,988 \cdot S_a^{0,82} l^{0,5}$$

$$V_{100} = 112\,700 \cdot S_a^{0,93} l^{0,75}$$

Les superficies en érosion active connectées au réseau hydrographique retenues pour les calculs sont présentées dans le tableau de résultats. Il a été pris en compte une hypothèse haute en conservant l'ensemble des zones en érosion, et une hypothèse basse en excluant les surfaces marneuses (marnes noires) considérant que ces roches se délitent très rapidement et participent peu au charriage.

VII.4.2.b Résultats

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

² acronyme de **E**stimation de la **C**harge **S**édimentaire des **T**orrents par **R**égressions **M**ultivariées".

Lieu	T (ans)	Volumes mobilisables méthodes ECSTREM (m ³)	
		Exclusion des zones marneuses	Ensemble zones érosion active connectées
BV aval (conf. Drôme) S= 28,4 km ² , l=2% Sa=0,4 ou 0,7	10 ans	1 600	2 500
	100 ans	2 600	4 300
BV intermédiaire (conf. Bourdiolle) S= 16,6 km ² , l=6 % Sa=0,35 ou 0,6	10 ans	2 500	3 900
	100 ans	5 100	8 500
BV amont (conf. Mias) S=3,2 km ² , l=7,6 % Sa=0,35 ou 0,6	10 ans	2 800	4 400
	100 ans	6 100	10 100

Tableau 20 : Volumes mobilisables en crue décennale et centennale – Méthode ECSTREM

Compte tenu du fait que les zones sources de sédiments sont quasi intégralement situées dans le bassin versant amont, il résulte que les volumes mobilisables décroissent vers l'aval du réseau hydrographique.

VII.4.3 Synthèse

Les deux méthodes mises en œuvre illustrent la difficulté d'estimer des volumes mobilisables par charriage. La méthode ECSTREM se base sur des données réelles et présente selon nous moins d'incertitudes sur le site d'étude. On propose donc de retenir les volumes mobilisables suivants :

Lieu	T (ans)	Volumes retenus (m ³)
BV aval (conf. Drôme) S= 28,4 km ² , l=2% Sa=0,4 ou 0,7	10 ans	1 600
	100 ans	2 600
BV intermédiaire (conf. Bourdiolle) S= 16,6 km ² , l=6 % Sa=0,35 ou 0,6	10 ans	3 000
	100 ans	6 000
BV amont (conf. Mias) S=3,2 km ² , l=7,6 % Sa=0,35 ou 0,6	10 ans	3 500
	100 ans	7 000

Tableau 21 : Volumes mobilisables retenus

VII.5 Volumes mobilisables annuellement

Le calcul des volumes moyens mobilisables annuellement réalisée en différents points du bassin versant peut donner, via une approche calculatoire, et sous réserve de réalisations d'hypothèses appropriées, des éléments d'explication des changements de style fluvial observés depuis le début des années 1950.

VII.5.1 Synthèse résultats thèse F. LIEBAULT

Les volumes annuels charriés entre 1997 et 2002 sur la Béoux à l'aval du village de Poyols sont compris entre 225 et 1100 m³ avec une moyenne annuelle de 565 m³ [Liebault, 2003].

On notera que l'année 1997 ne correspond pas à une année complète de mesures. Les précipitations des années 1997 à 2002 ont été comparées à la moyenne des précipitations de 1965 à 2002. Au poste de Luc en diois, les précipitations moyennes annuelles correspondant aux années où les volumes charriés ont été mesurés sont de 1035 mm contre 918 mm sur l'ensemble de la période. Les volumes charriés mesurés pendant la thèse de Liebault devraient donc être représentatifs des volumes transitant en moyenne annuelle.

Cours d'eau	1997	1998	1999	2000	2001	2002	MOYENNE*
Béoux	227	143	249	1082	691	997	565 [490-640]

*les valeurs entre parenthèses correspondent aux intervalles de confiance fondés sur une marge d'erreur de 13%

Figure 66 : Volumes charriés annuellement sur la Béoux – Tableau extrait de la thèse de LIEBAULT (2003)

Les observations relatives à la mobilité de la charge de fond de la Béoux montrent que les sédiments grossiers sont mis en mouvement 6 à 7 jours par an en moyenne.

VII.5.2 Approche calculatoire

VII.5.2.a Méthodologie

Les volumes moyens annuels potentiellement charriés ont été calculés avec la méthodologie suivante :

- Import de la chronique de débits journaliers de 1907 à 2017 sur la Drôme à Luc en Diois avec classement fréquentiel. Cette étape est essentielle car le transport solide n'a lieu que quelques jours par an et l'essentiel du volume transporté est lié à des débits de fréquence élevée. Il faut donc décrire du mieux possible la queue de distribution sous peine de sous-estimer les débits pouvant transiter.
- Transfert des débits au niveau de la Béoux avec une formule de transfert simple. Le coefficient de transfert a été pris égal à 1 pour la Béoux aval, et à 0,9 au niveau du BV amont.
- Calcul des volumes transportés avec la formule de Lefort 2015.

Cette méthode comporte une incertitude forte liée au transfert de la courbe de débits classés et à la formule de transport.

VII.5.2.b Résultats

Les calculs indiquent des volumes moyens annuels de l'ordre de 2600 m³ supérieurs à ceux mesurés pendant la thèse de Liebault. Il s'agit de volumes établis d'après capacité de transport : il s'agit donc d'une borne haute qui ne peut être atteinte que sous hypothèse de non limitation des sources sédiments. Cette hypothèse est en limite de validité puisque le style fluvial montre la prédominance à l'aval du confluent avec le ruisseau de Bourdiolle de lit plan avec un début d'armurage caractéristique de déficit d'apports.

Les différences avec les volumes mesurés entre 1997 et 2002 peuvent aussi s'expliquer par l'absence de crue majeure pendant la faible période de mesure de la thèse. Les calculs sont effectués basés sur le classement fréquentiel d'une chronique de plus de 100 ans de données alors que les mesures ont été réalisées sur 6 ans. Si on ne

conserve que les données avec fréquence au non dépassement inférieures à 0,99 on retrouve alors des ordres de grandeur similaires à ceux mesurés entre 1997 et 2002.

On retrouve comme pour les mesures effectuées des durées effectives de transport solide faible. 98 % du volume est transporté sur une durée d'environ 8 jours.

Fréquence non dépassement	Jours non dépassés	Débit journalier (m ³ /s)	Volume solide (m ³)	Volume solide cumulé (m ³)	Fraction Vol. total
0,1	36,5	0,0	0	0	0,00
0,2	73,0	0,0	0	0	0,00
0,3	109,5	0,0	0	0	0,00
0,4	146,0	0,0	0	0	0,00
0,5	182,5	0,0	0	1	0,00
0,6	219,0	0,1	1	2	0,00
0,7	255,5	0,1	3	5	0,00
0,8	292,0	0,1	5	11	0,00
0,85	310,3	0,1	10	21	0,01
0,9	328,5	0,2	4	26	0,01
0,91	332,2	0,2	5	31	0,01
0,92	335,8	0,2	6	37	0,01
0,93	339,5	0,2	7	44	0,02
0,94	343,1	0,2	9	53	0,02
0,95	346,8	0,2	52	105	0,04
0,96	350,4	0,3	103	208	0,08
0,97	354,1	0,3	188	396	0,15
0,98	357,7	0,3	362	758	0,29
0,99	361,4	0,5	212	970	0,37
0,9925	362,3	0,5	276	1246	0,47
0,995	363,2	0,6	374	1620	0,61
0,9975	364,1	0,8	541	2162	0,82
0,9995	364,8	1,4	301	2462	0,93
0,9999	364,9635	2,5	177	2640	1,00

Tableau 22 : Calcul des volumes moyens annuels au niveau du BV aval (S=28,4 km²)

VII.5.3 Volumes retenus en moyenne annuelle

On propose de retenir un volume moyen annuel supérieur à celui mesuré pendant la thèse de F. LIEBAULT en raison du fait qu'il n'a pas été observé de crue intense pendant les travaux de recherche.

Il est ainsi proposé la valeur suivante : $V_{\text{moy_annuel}} = 800 \text{ m}^3$

VII.6 Evolution des volumes mobilisés entre le XIX^{ème} siècle et nos jours

VII.6.1 Pour des crues de périodes de retour 10 et 100 ans

On tente dans ce paragraphe d'approcher quantitativement l'évolution des volumes de sédiments mobilisés en crue entre le XIX^{ème} siècle et la période actuelle. Il est utilisé la méthode ECSTReM³ développée par les services RTM et l'IRSTEA [Peteuil et Liebault, 2011].

Les valeurs ne sont pas en prendre dans l'absolu mais en relatif en raison de la difficulté d'appréciation des superficies en érosion. Pour chaque période elles ont été évaluées à l'aide des cartographies d'occupation du sol présentées au § III.3. Les localisations des zones prises en compte sont précisées en annexe 8. Pour le XIX^{ème} siècle on prend en compte deux hypothèses : a) superficies en érosion au sens strict connectées au réseau hydrographique (4,2 km²) ; b) superficies en érosion + ½ des zones de langes friches dans le BV de la Béoux à l'amont du confluent avec le Mias.

Les pentes du lit ont été déterminées par exploitation du Lidar de 2013. Pour le XIX^{ème} siècle elles ont été évaluées à partir de la pente relevée sur les terrasses alluviales récentes à l'amont de la confluence avec la Drôme (2,3 %). Pour la période actuelle, on a retenu la pente du lit mineur (2,0 %).

Les résultats sont présentés ci-après. Les volumes calculés pour la période actuelle pour des périodes de retour de 10 et 100 ans sont du même ordre de grandeur que ceux évalués avec l'approche hydraulique (cf § VII.4). **Les volumes de matériaux mobilisés au XIX^{ème} siècle seraient 3 à 4 fois supérieurs à ceux mobilisés actuellement pour des crues de même période de retour.** L'influence du reboisement dans la diminution des volumes mobilisés par la Béoux est donc prépondérante.

Période de retour	Vol. mobilisables XIX ^{ème} siècle / Vol. actuels	
	Hypothèse basse	Hypothèse haute
T = 10 ans	3,0	3,4
T = 100 ans	3,6	4,1

Tableau 23 : Evolution des volumes mobilisables par charriage entre le XIX^{ème} siècle et aujourd'hui méthode ECSTREM

VII.6.2 En conditions d'écoulement moyennes annuelles

On reprend ici la même méthodologie que celle développée au § VII.5.2. On prend en compte le style divagant du XIX^{ème} siècle avec application d'un rapport L/h de 30 et 50, ce qui revient à appliquer les formules de transport avec une largeur d'écoulement variant en fonction du débit.

La pente prise en compte est ici mesurée sur les terrasses alluviales en amont du pont de la RD93. Elle est de 2,3 % contre 2,0% actuellement.

Les calculs montrent que le volume potentiellement mobilisable annuellement au XIX^{ème} siècle est compris entre 4650 m³ et 6900 m³ suivant le rapport L/h utilisé. **En condition moyenne annuelle, les volumes de matériaux mobilisés au XIX^{ème} siècle seraient 1,7 à 2,6 fois supérieurs à ceux mobilisés actuellement pour des crues.**

³ acronyme de Estimation de la Charge Sédimentaire des Torrents par Régressions Multivariées".

Fréq. non dépassement	Jours non dépassés	Débit journalier (m ³ /s)	Largeur calculée L/h = 50	Volume solide (m ³)	Volume solide cumulé (m ³)	% Vol. total
0,1	36,5	0,0	1,6	0	0	0,00
0,2	73,0	0,1	2,1	0	0	0,00
0,3	109,5	0,1	2,6	0	1	0,00
0,4	146,0	0,1	3,1	1	2	0,00
0,5	182,5	0,2	3,6	3	5	0,00
0,6	219,0	0,3	4,1	7	12	0,00
0,7	255,5	0,4	4,7	15	26	0,01
0,8	292,0	0,6	5,5	18	44	0,01
0,85	310,3	0,8	5,9	30	74	0,02
0,9	328,5	1,0	6,5	61	135	0,03
0,91	332,2	1,0	6,7	79	214	0,05
0,92	335,8	1,1	6,8	103	317	0,07
0,93	339,5	1,1	7,0	130	447	0,10
0,94	343,1	1,2	7,2	174	621	0,13
0,95	346,8	1,4	7,5	239	860	0,18
0,96	350,4	1,5	7,8	323	1183	0,25
0,97	354,1	1,7	8,2	446	1629	0,35
0,98	357,7	2,0	8,7	671	2299	0,49
0,99	361,4	2,7	9,8	310	2610	0,56
0,9925	362,3	3,0	10,2	382	2991	0,64
0,995	363,2	3,4	10,8	488	3479	0,75
0,9975	364,1	4,5	12,1	647	4126	0,89
0,9995	364,8	8,1	15,3	335	4461	0,96
0,9999	364,9635	14,5	19,3	191	4652	1,00

Tableau 24 : Volumes potentiellement mobilisables par application de formule de Lefort 2015 sur courbe de débits classés

N.B : application d'un coefficient β de transfert de 1 entre la Drôme et la Béoux

VII.6.3 Effet global sur la morphodynamique de la Drôme

De la même manière que pour le tronçon corrigé de la Béoux, il a été évalué rapidement le volume de sédiments correspondant à l'enfoncement du lit observé entre le profil de 1928 et le profil actuel. Il a été pris en compte une largeur moyenne de 20 m sur l'ensemble du linéaire allant du confluent Béoux / Drôme jusqu'au Bez. Sur cette base, les volumes déstockés sont les suivants :

- Béoux → Pont de Recoubeau : delta z moyen : 1,3 m soit déstockage de 148 000 m³ ;
- Béoux → Bez : delta z moyen de 1,86 m soit déstockage de 234 000 m³.

Le stockage de sédiments par la correction torrentielle de la Béoux est d'environ 60 000 m³, auquel il convient d'ajouter des volumes de curage de l'ordre 5 000 m³ entre 2005 et 2017. Une partie de ce volume a été stocké avant les années 1950 puisque les ouvrages existants ont pour beaucoup repris des ouvrages plus anciens. Ces volumes sont partiellement compensés par une incision de la Béoux en aval des tronçons corrigés. Cette compensation n'a pu être évaluée dans le cadre de ce travail.

A cela s'ajoute un différentiel de transit annuel lié à l'effet des boisements :

- En retenant un volume moyen annuel transporté de l'ordre de l'ordre 800 m³/an (fourchette haute des mesures réalisées par LIEBAULT) ;
- En considérant un facteur 2,2 entre les volumes transportés avant boisement et aujourd'hui ;
- En considérant que le boisement est totalement acquis depuis 1970 et que l'effet est progressif entre le début du XX^{ème} siècle et aujourd'hui ;
- Le déficit de sédiments lié au boisement serait de l'ordre de 80 000 m³.

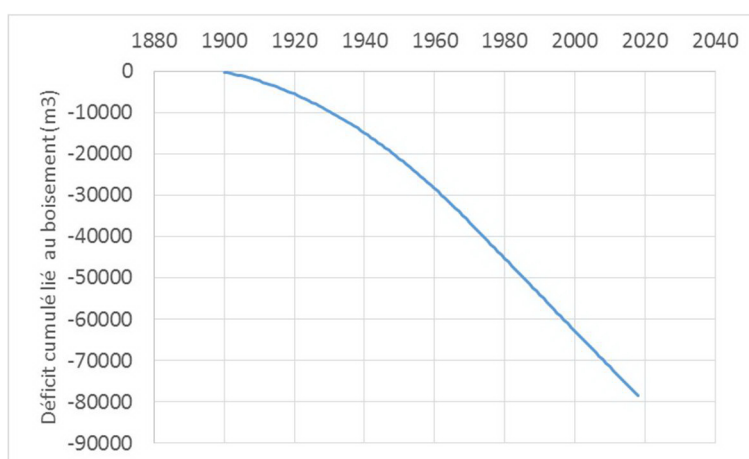


Figure 67 : Modèle très sommaire visant à évaluer le déficit de matériaux lié aux boisements

Il s'agit bien évidemment de calculs très incertains dont l'objet est d'identifier des ordres de grandeur.

A la vue de cette analyse, et sous hypothèse que l'ensemble des hypothèses effectuées soient valides, il est possible que les changements d'occupation du sol sur le bassin de la Béoux combinée à la correction torrentielle RTM aient eu un effet prépondérant sur la dynamique de la Drôme. Les autres facteurs que l'on peut citer mais pour lesquels nous n'avons pas de données sont : la pratique d'extractions dans le secteur confluent Béoux → Confluent avec le Bez.

VIII ETUDE DES ALEAS TORRENTIELS

VIII.1 Historique des crues

Après dépouillement des archives RTM, il n'a été retrouvé trace que d'un seul évènement historique ayant impacté le village de Poyols en 1950 (cf. tableau ci-après).

Compte tenu de l'analyse de Lidar et de l'emprise de la bande active au droit du village de Poyols, il est extrêmement probable que le village ait été impacté dans des périodes historiques de plus forte activité torrentielle.

L'ampleur de la crue de 1950 mérite selon nous d'être nuancée. L'analyse de la photo aérienne de 1956 montre en effet la présence divagations dans le secteur des épis. Plus en aval, il n'est pas vu de traces de divagations et de dépôts de sédiments dans les zones agricoles bordant la route départementale. Il est donc vraisemblable que le village ait été atteint par des écoulements très liquides ayant ruisselé sur la chaussée jusqu'au village.

Date	Ref	Description
17/05/1950	[1]	« Dans l'après-midi de ce jour, un violent orage s'abattit sur Jonchères et plus particulièrement sur le bassin de réception de la Béoux. En peu de temps le torrent enfla et acquit de la rapidité ; au niveau du village de Poyols une partie des eaux sortit du lit et divagua dans la rue principale de l'agglomération ; à quelques kilomètres en amont de ce même village, digue et épis protégeant la route de Jonchères furent emportés (à l'heure actuelle les Ponts et Chaussées font reconstruire ces ouvrages). Une telle violence jointe à la nature friable du terrain (marnes oxfordiennes) apporta un bouleversement appréciable dans tout le canal d'écoulement.

Tableau 25 : Crues recensées dans la base de données RTM

[1] : Rapport de l'Administration des Eaux et Forêts du 13/09/1950 – Modifications à apporter aux travaux de correction sur le torrent « La Béoux ».

VIII.2 Etude de propagation de laves torrentielles

L'étude de la propagation des laves torrentielles est appréciée suivant plus approches :

- (a) : Exploitation du profil en long ;
- (b) : approche empirique de Rickenmann ;
- (c) : modélisation hydraulique 2D d'étalement de laves torrentielles

VIII.2.1 Exploitation du profil en long

Les laves torrentielles boueuses sont des écoulements à contrainte seuil nécessitant une contrainte de cisaillement minimale pour observer un déplacement du fluide. Autrement dit, en dessous de certaines valeurs de pente, l'énergie gravitaire n'est plus suffisante pour permettre l'écoulement. Sur la base d'observations réalisées dans les Alpes sur des laves boueuses, on considèrera les seuils suivants :

- (1) Seuil de 10 % de pente longitudinale : cette valeur peut être considérée comme un premier seuil pour l'arrêt de laves boueuses ;
- (2) Seuil de 6 à 7 % : ces valeurs de pente ne permettent pas l'écoulement de la plupart des laves torrentielles.

Sur la base de ces critères :

- Il est vraisemblable que la plupart des coulées de laves torrentielles provenant du ravin de Trescherennes se déposent dans le tronçon corrigé où la pente d'atterrissement derrière les ouvrages est de l'ordre 7 à 8 %.
- Concernant les laves en provenance du bassin d'alimentation du ravin de Mias, le dépôt de coulées de laves est possible en amont de la confluence avec la Béoux, au moins pour celles présentant un volume

limité. Pour des coulées conséquentes, il est vraisemblable que la zone principale d'arrêt se situe entre le barrage B1 et la confluence avec le ruisseau de Bourdiolle.

- Les coulées de laves torrentielles en provenance du ravin de Trescherennes comme du Mias, ne devraient pas se propager plus loin que l'aval de zone de confluence avec le ruisseau de Bourdiolle où la pente longitudinale n'est plus que de 5,9 %.

VIII.2.2 Méthode simplifiée de Rickenmann

Sur la base de l'analyse de 150 événements survenus majoritairement en Suisse, Rickenmann a proposé deux relations empiriques reliant le volume de laves torrentielles à la différence d'altitude entre le point de départ et le dépôt situé le plus à l'aval :

$$L_{max} = 5 \cdot V^{0,16} H^{0,83}$$

$$L_{moy} = 1,9 \cdot V^{0,16} H^{0,83}$$

Les deux graphiques suivants montrent la distance moyenne et maximale de propagation pour des laves torrentielles se formant dans les zones d'éboulis des ravins de Trescherennes et du Mias, d'après les deux formules présentées ci-dessus.

On retrouve des conclusions similaires à celles obtenues avec l'analyse du profil en long, à savoir :

- dépôt de la plupart des coulées dans les linéaires domaniaux avec correction RTM ;
- parcours des coulées les plus fluides et/ou les plus intenses jusque dans la zone allant du confluent avec le ruisseau de Bourdiolle jusqu'au confluent avec le ruisseau de Gaudissart.

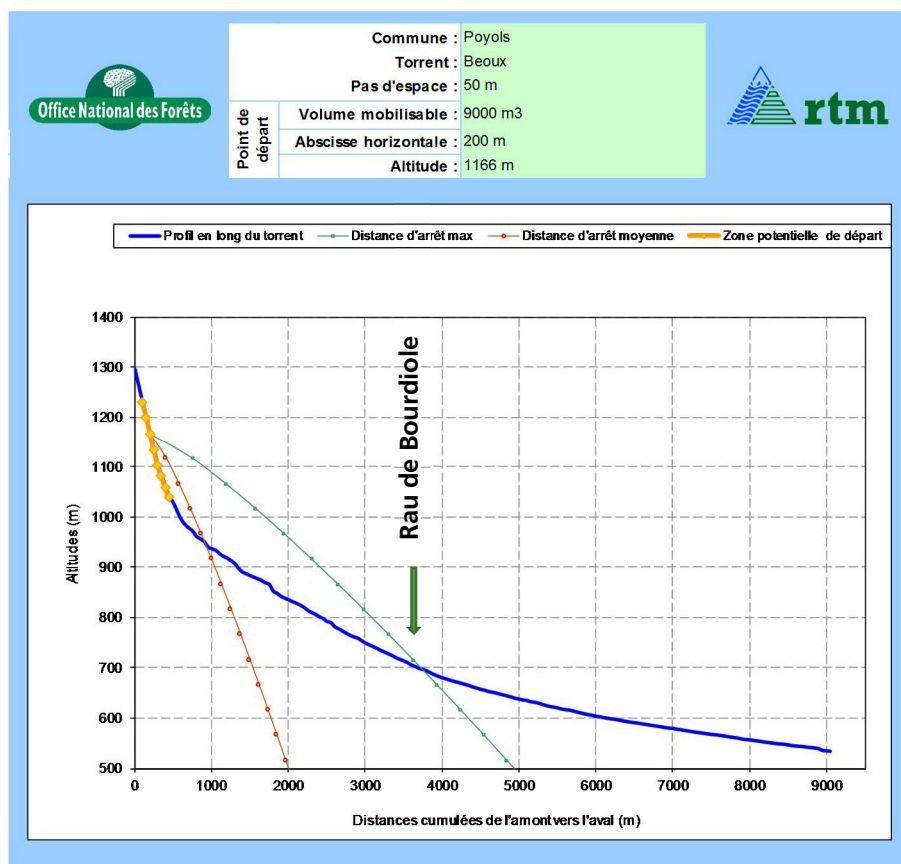


Figure 68 : Distance de parcours de laves torrentielles – Ravin de Trescherennes
Approche simplifiée de Rickenmann

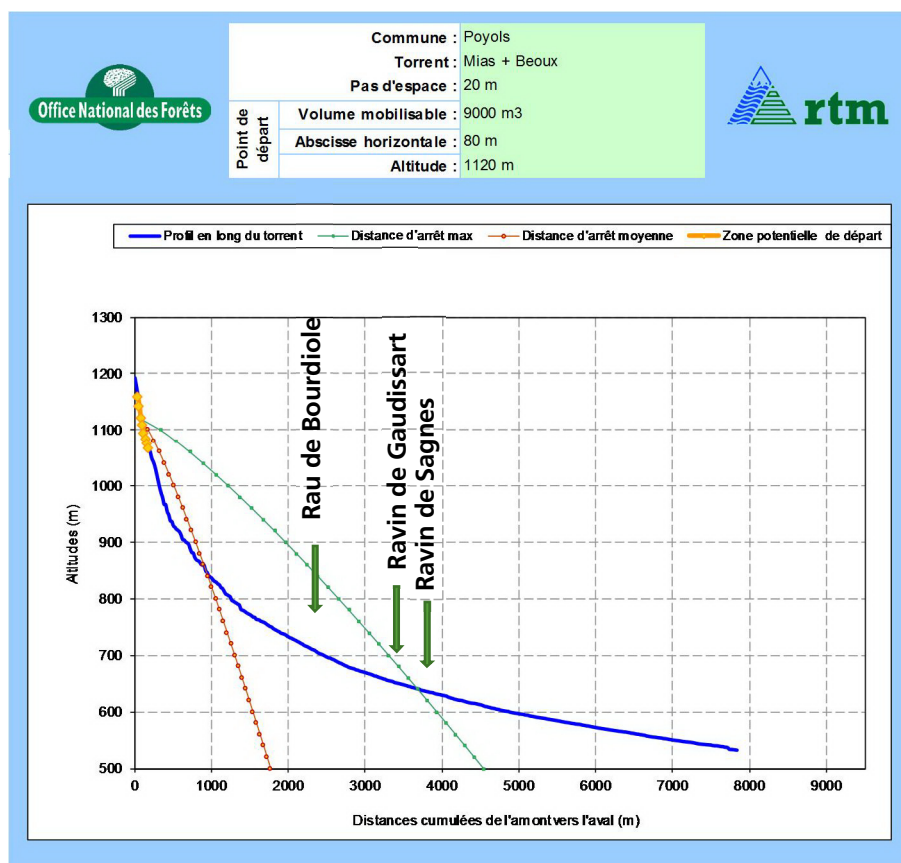


Figure 69 : Distance de parcours de laves torrentielles – Ravin de Mias puis Béoux
 Approche simplifiée de Rickenmann

VIII.2.3 Modélisation hydraulique 2D d'étalement de laves torrentielles

Il est ici proposé d'étudier plus en détail la propagation de laves torrentielles par utilisation d'un modèle numérique d'étalement de laves torrentielles et en considérant un scénario exceptionnel de laves torrentielles avec un volume d'apport de 30 000 m³. On gardera à l'esprit que ces modèles ne sont capables uniquement de modéliser la propagation et le dépôt de laves. Les divagations résultant d'érosion et de remaniement du terrain naturel ne peuvent malheureusement pas être prises en compte.

Il a été utilisé le modèle commercial FLO-2D qui intègre un modèle rhéologique quadratique développé par O'Brien et al. (1993) et destiné à reproduire aussi bien le comportement d'écoulements newtoniens d'eaux claires que d'écoulements torrentiels non newtoniens hyperconcentrés ou de laves torrentielles.

Les études réalisées par les services RTM dans les Alpes montrent que les caractéristiques de propagation des laves boueuses peuvent être approchées par application de deux jeux de paramètres représentatifs des distances de parcours faibles ou élevées :

- Jeu 1 : matériau type Glenwood 4 ; $C_v = 0,45$; $K = 500$;
- Jeu 2 : matériau type Glenwood 4 ; $C_v = 0,55$; $K = 100$.

L'injection des laves torrentielle a été réalisée en aval du barrage B1 au niveau du pont de la route départementale. L'hydrogramme est triangulaire avec un temps de montée de 0,1 h et une durée totale de 1,0 h. Les résultats sont présentés sur les figures suivantes.

En termes de distances de propagation, les résultats sont en parfaite cohérence avec les analyses qualitatives précédentes. Les laves les plus visqueuses atteignent sans le dépasser le confluent avec le ruisseau de Bourdirole. Les laves plus fluides, se propagent quant à elles jusqu'en amont de la confluence avec le ravin de Gaudissart.

Concernant l'emprise spatiale des écoulements, On observe des débordements et divagations latérales en amont du pont du chemin forestier de Gaudissart aussi bien en rive droite qu'en rive gauche. L'ombrage du Lidar révèle que ces zones ont été régulièrement parcourues par les crues. Aujourd'hui la rive gauche est endiguée au droit

du parc à bois ONF. Des possibilités de débordement existent sur le linéaire amont ainsi que dans un scénario vraisemblable de rupture de la digue. Les divagations sont probables en rive droite pour des écoulements de laves torrentielles. Compte tenu de l'enfoncement du lit dans ce secteur, elles sont par contre peu probables pour des événements courants.

En aval du confluent avec le ruisseau de Bourdiolle, les écoulements reprennent d'anciennes divagations latérales situées en bordure la route départementale, sans la toucher. Les zones d'épis situées plus en aval ne sont par contre pas atteintes.

On gardera à l'esprit que ces modélisations, de par les hypothèses réalisées, ne donnent qu'une image restreinte des phénomènes possibles.

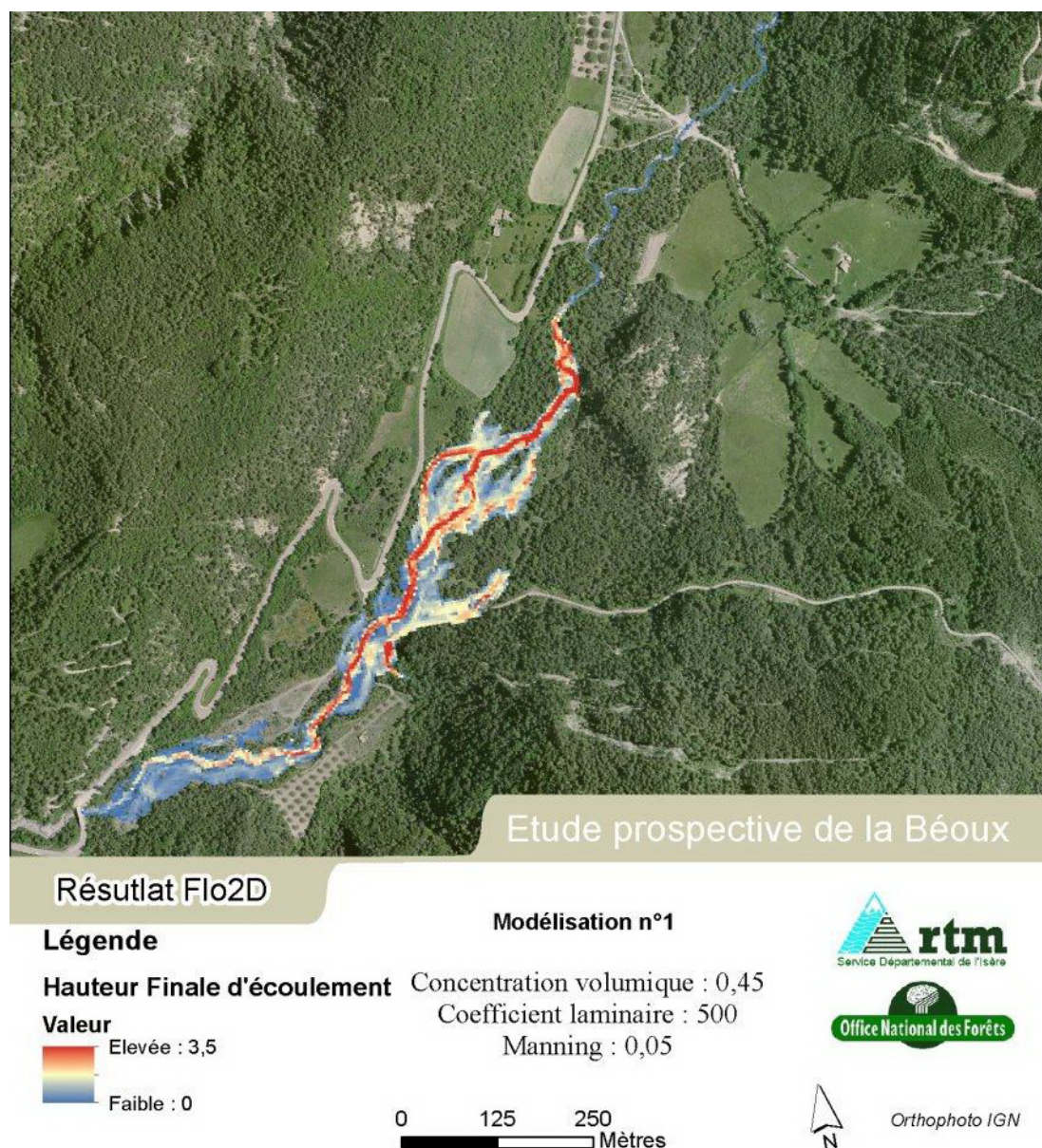


Figure 70 : Modélisation d'étalement de laves torrentielles – Modèle FLO2D – $C_v=0,45$ – $K_l = 500$

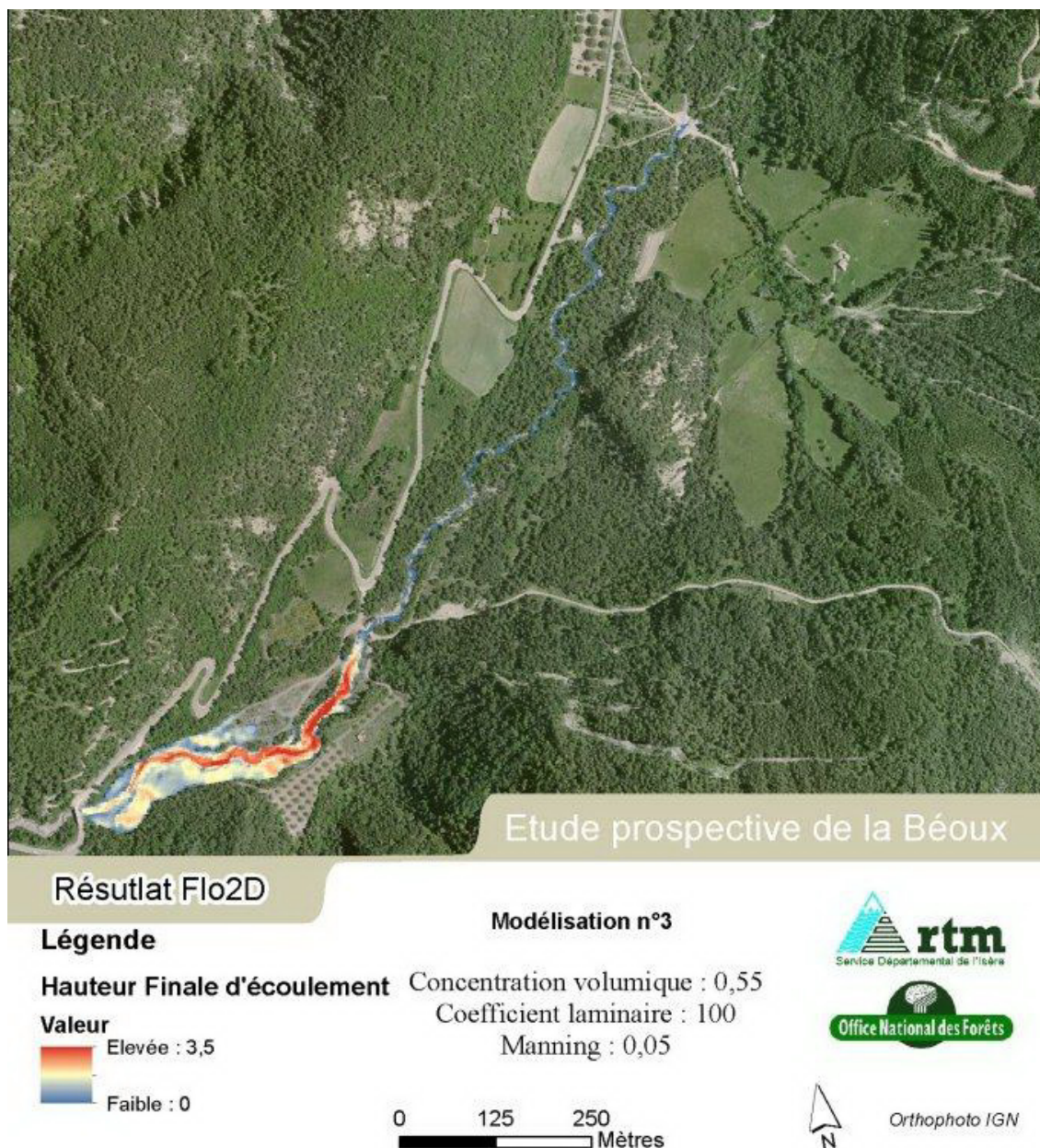


Figure 71 : Modélisation d'étalement de laves torrentielles – Modèle FLO2D – $C_v=0,55$ – $K_l = 100$

VIII.3 Etude des conditions d'écoulement en fond de vallée

L'étude des conditions d'écoulement en fond de vallée a été réalisée à partir d'une méthodologie adaptée au caractère potentiellement divagant du cours pour ses crues les plus intenses. Pour ce type de cours d'eau libres de remanier leur lit au cours d'une crue, l'écoulement est souvent très proche du régime critique (minimum énergétique pour un débit donné). De nombreuses observations menées sur des cours d'eau naturels et reportées dans des publications scientifiques, montrent que le rapport Largeur d'écoulement / Hauteur d'écoulement est compris dans une gamme de 15 à 50. Ces deux critères réunis permettent d'appréhender la hauteur, la charge et la vitesse des écoulements librement divagants.

Les possibilités de débordement en fond de vallée sont étudiées par la méthode de l'enveloppe des niveaux dans laquelle on cumule sur des profils en travers donnés une respiration du fond du lit à une hauteur d'écoulement calculée avec la méthode indiquée au paragraphe précédent.

Le niveau de la respiration est ici fixé de manière arbitraire de manière à combler le lit mineur actuel et à considérer une respiration ramenant le fond de lit au niveau de terrasses alluviales récentes. La hauteur de respiration prise en compte est de l'ordre de 0,6 et 1,5 m ce qui semble un ordre de grandeur tout à fait atteignable pour une

respiration de fond de lit au cours d'une crue. La hauteur de respiration la plus forte prise en compte est située au niveau du confluent avec le ravin rive droite de la Béoux situé face au village de Poyols. Des possibilités d'exhaussement importantes du lit dans ce secteur sont réelles car le lit de la Béoux a été contraint en largeur suite au déplacement de la RD 61.

Pour les calculs hydrauliques, il a été pris en compte un débit centennal de $40 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui est donc sécuritaire. Le graphique présenté ci-dessous montre que pour un rapport L/h de l'ordre de 15, la hauteur d'écoulement n'excède pas 1 m.

La localisation des profils en travers pris en compte est montrée en Figure 73. Les cotes altimétriques caractéristiques au niveau de chaque profil en travers étudié sont présentées dans le Tableau 26. Les lignes en rouges correspondent aux profils en travers où la cote de l'enveloppe des niveaux dépasse la cote de la RD 61. Les lignes en orange correspondent quant à elles aux profils en travers où la revanche est inférieure à 50 cm. Enfin, on trouve à la suite du tableau l'ensemble des profils en travers étudiés avec le report des cotes caractéristiques.

Les principales conclusions de l'analyse sont les suivantes :

- La RD 61 assure une fonction d'endiguement au droit du village de Poyols (PT2 au profil PT6) et beaucoup plus localement au niveau des PT 10 et 11 ;
- Les points critiques vis-à-vis du débordement sont situés au niveau des PT8 à PT11, dans le secteur où les épis de protection ont été réalisés. Dans ce secteur la route est située à la même cote altimétrique que d'anciennes divagations de la Béoux. Les ouvrages ont donc un rôle de protection très important en limitant l'extension possible des divagations latérales sur la rive gauche du cours d'eau ;
- En dehors de cette zone les possibilités de débordement sont faibles voire nulles. Au niveau du village de Poyols, la diminution de la largeur du lit est compensée par une rehausse du niveau de la route par rapport aux terrains adjacents côté terres.

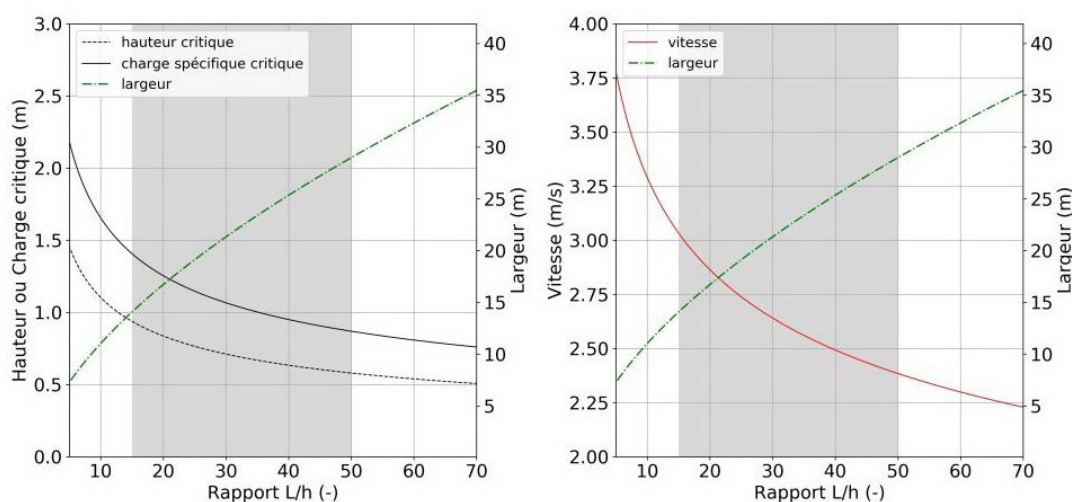


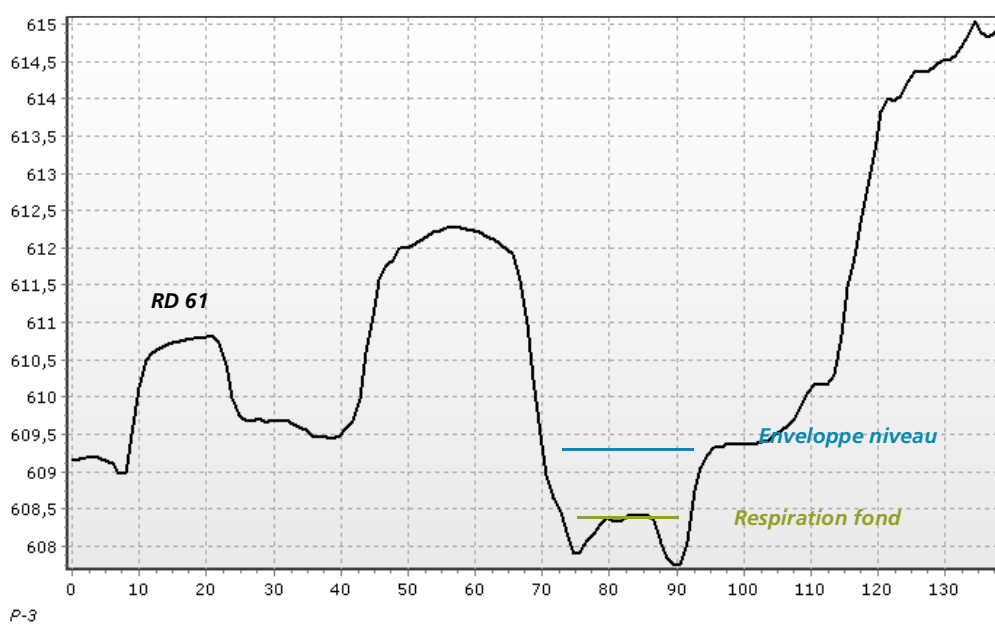
Figure 72 : Hydraulique d'écoulements divagants pour un débit de $40 \text{ m}^3/\text{s}$

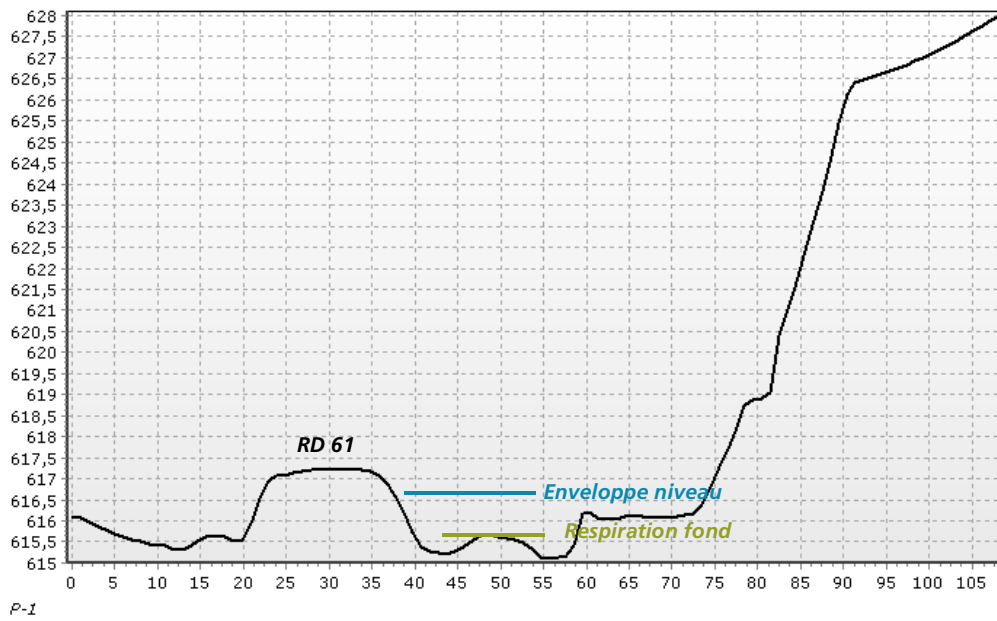
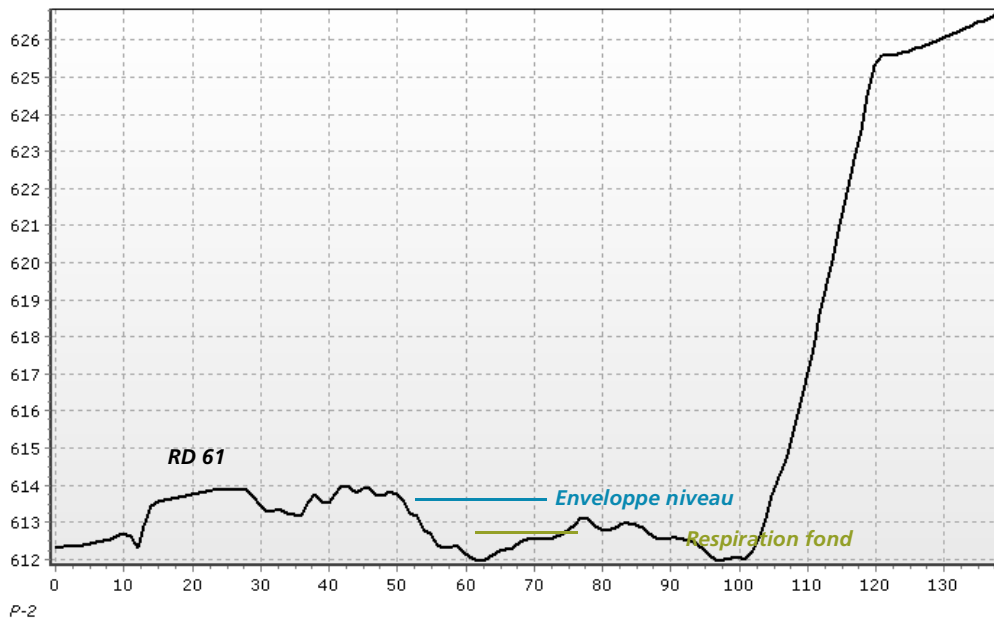


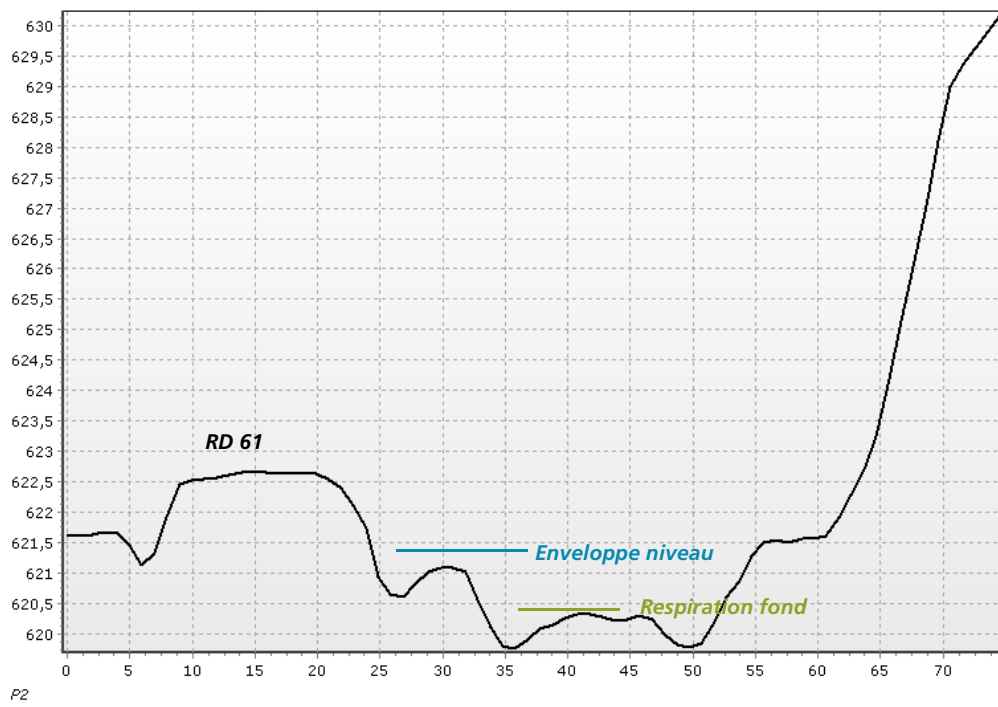
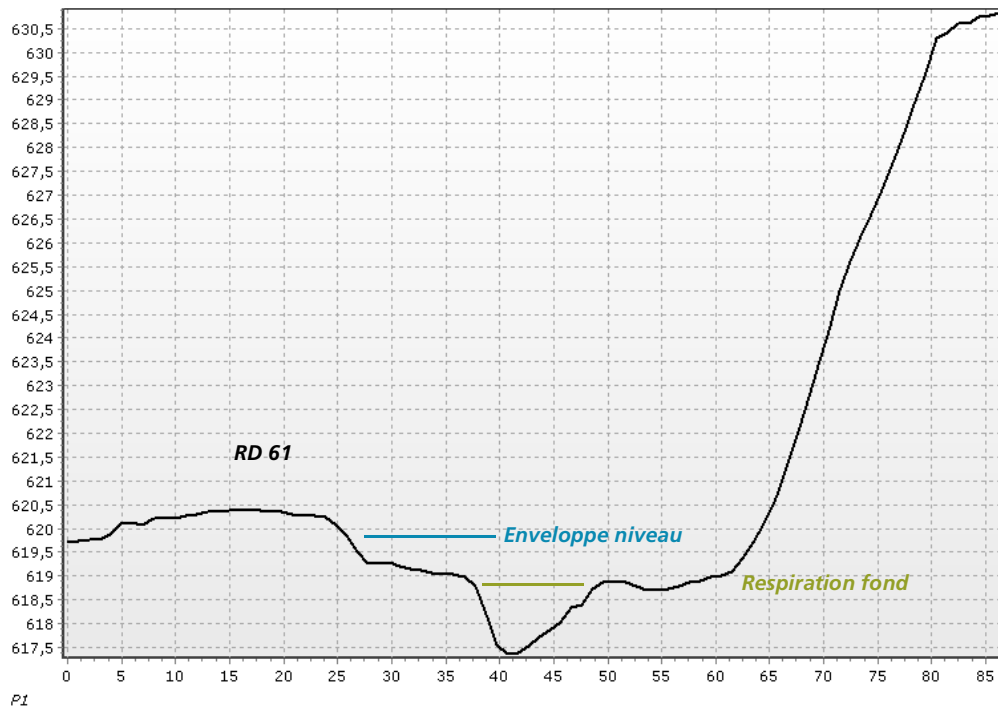
Figure 73 : Localisation des profils en travers

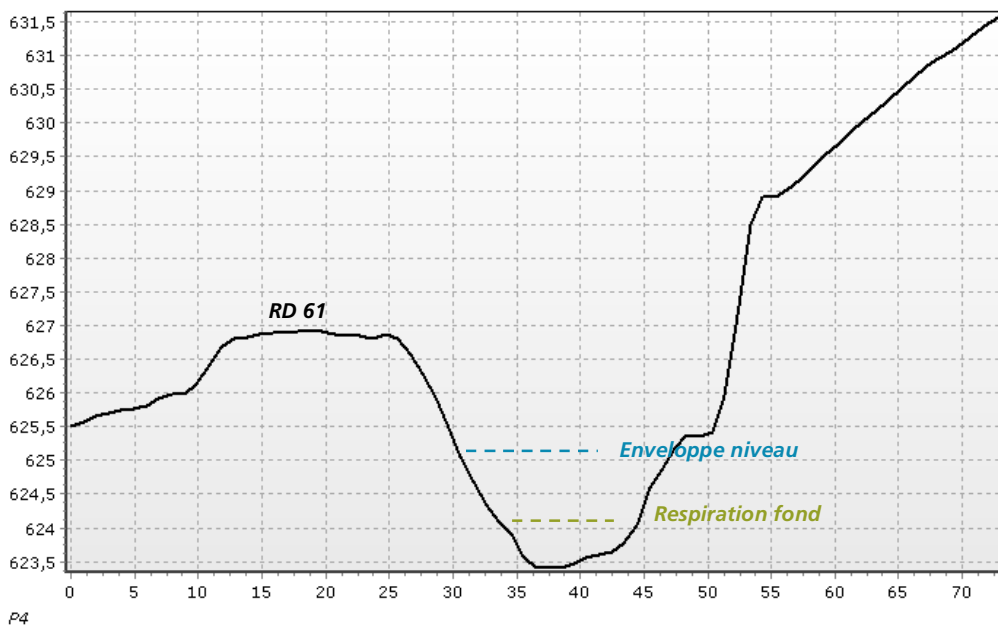
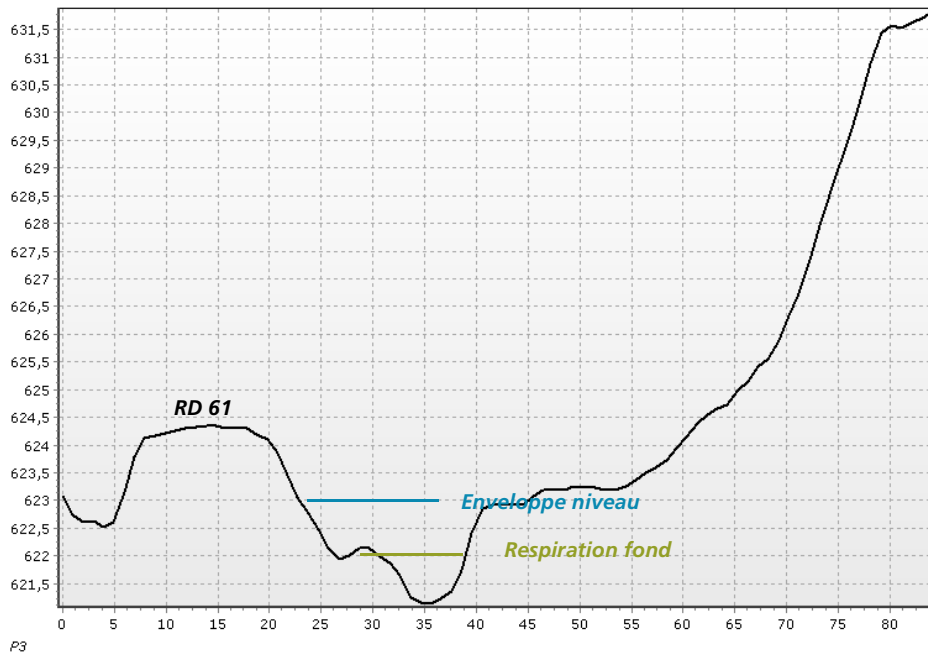
PT	Fond (m)	Respiration (m)	h respiration (m)	Z enveloppe (m)	Z RD 61 (m)	Z terrains aval (m)
PT-3	607,7	608,4	0,7	609,4	610,8	609,2
PT-2	612,0	612,7	0,7	613,7	614,0	612,5
PT-1	615,1	615,7	0,6	616,7	617,2	615,5
PT1	617,3	618,8	1,5	619,8	620,4	619,7
PT2	619,7	620,3	0,6	621,3	622,6	621,6
PT3	621,2	622,0	0,8	623,5	624,3	622,5
PT4	623,5	624,2	0,7	625,2	626,9	625,5
PT5	629,0	630,0	1,0	631,0	631,4	630,5
PT6	633,8	634,5	0,7	635,5	636,0	635,1
PT7	645,6	647,3	0,8	648,3	649,5	649,5
PT8	661,7	662,4	0,7	663,4	663,4	662,0
PT9	666,3	666,9	0,6	667,9	667,6	666,8
PT10	670,7	671,7	1,0	672,7	673,0	672,1
PT11	673,6	674,6	1,0	675,6	676,0	675,5

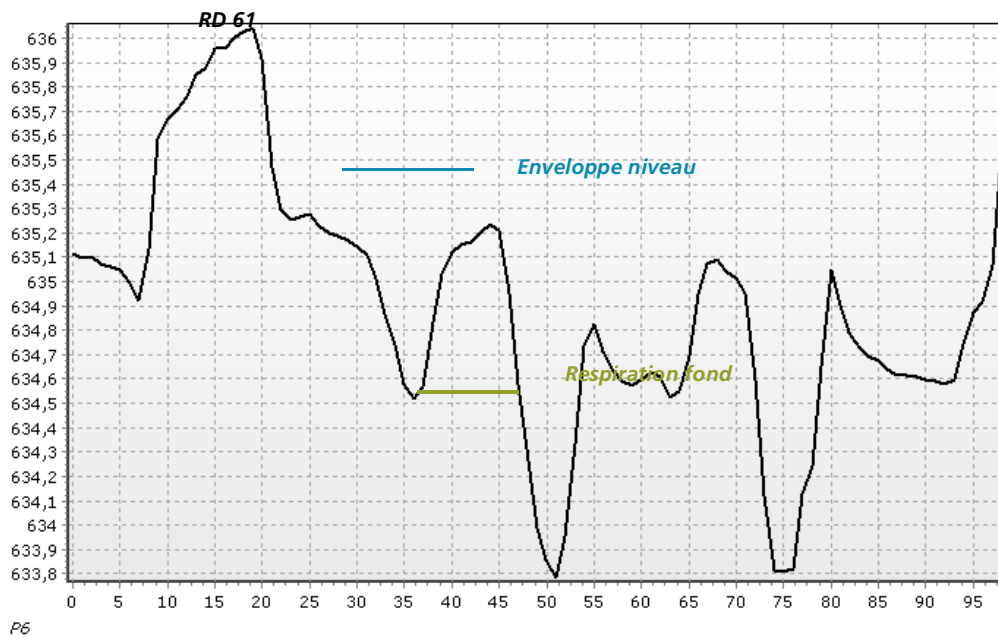
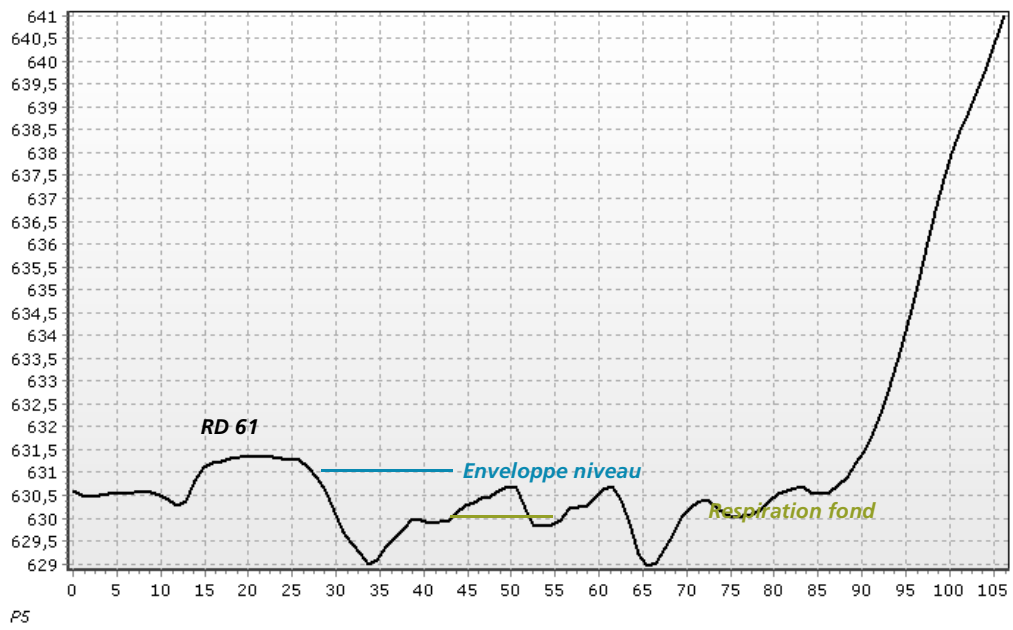
Tableau 26 : Cotes altimétriques au niveau de chaque profil de référence

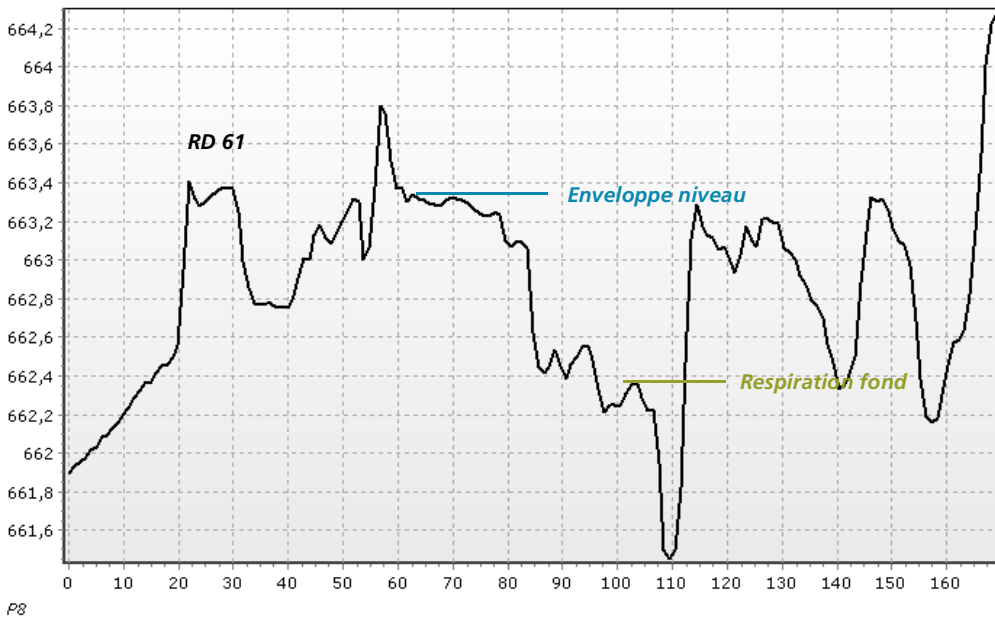
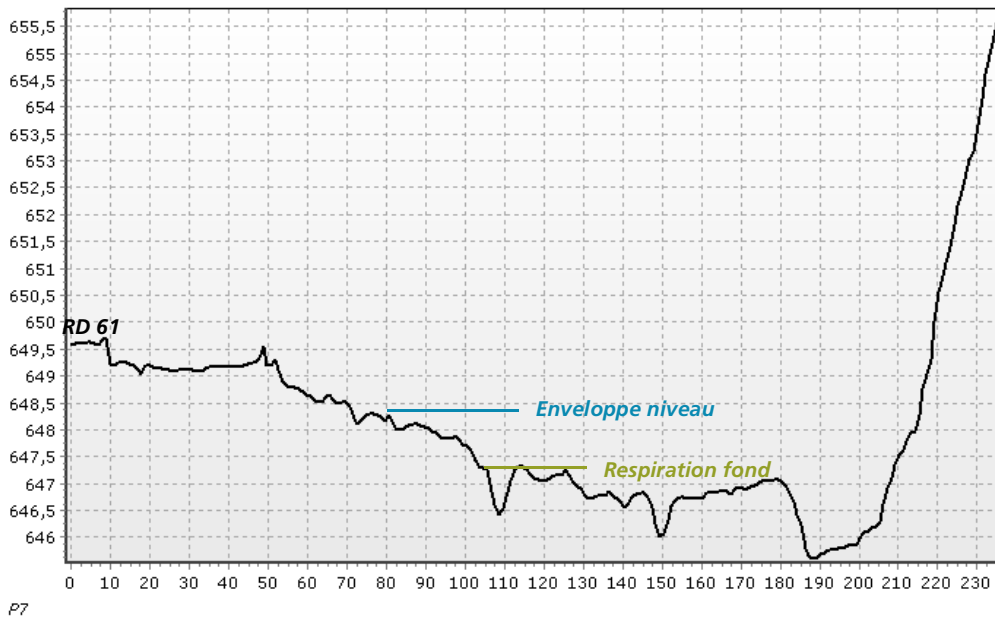


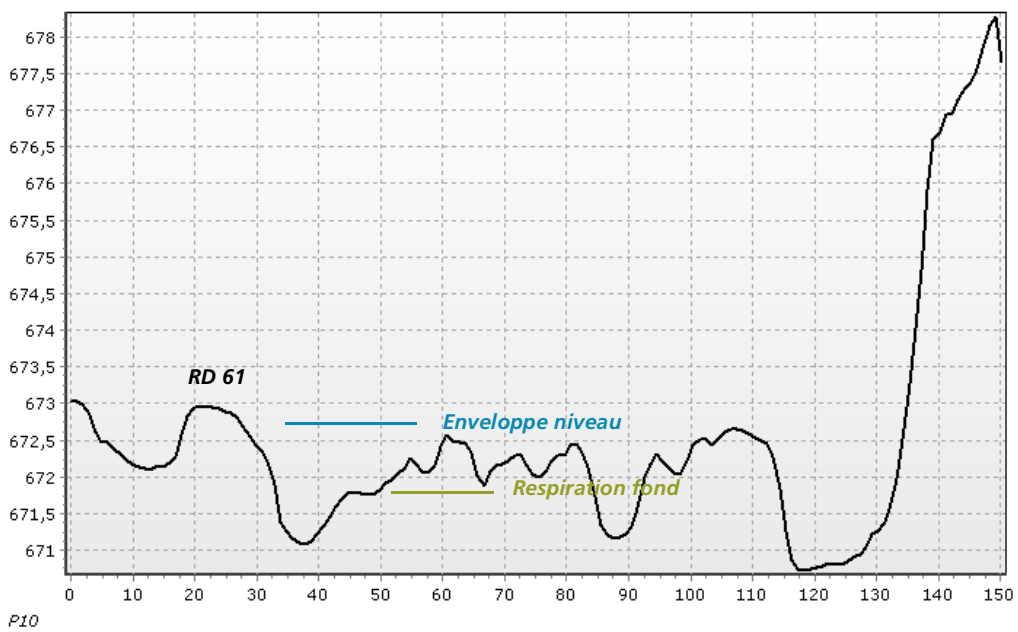
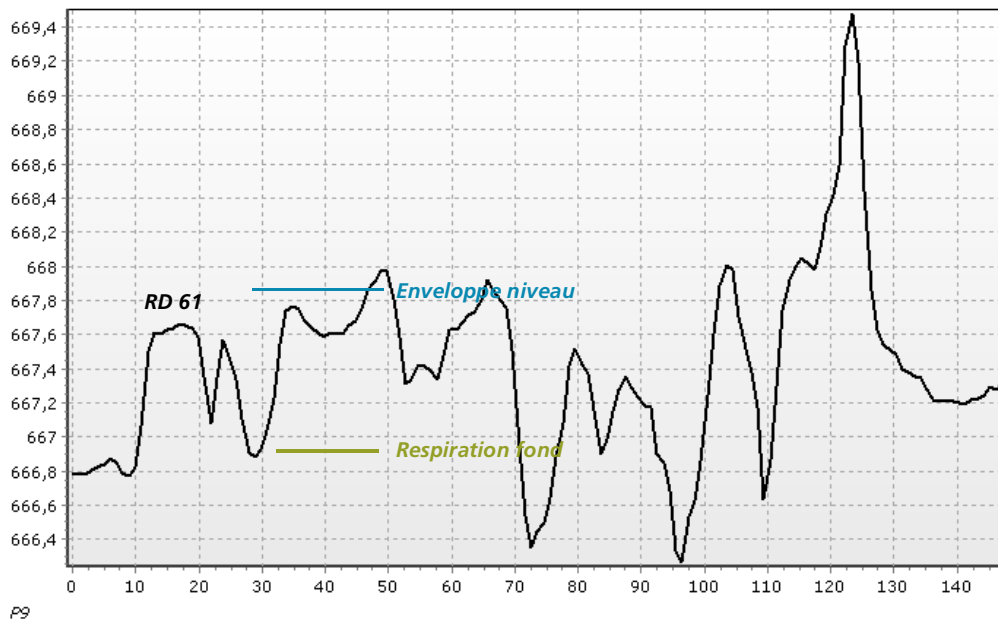


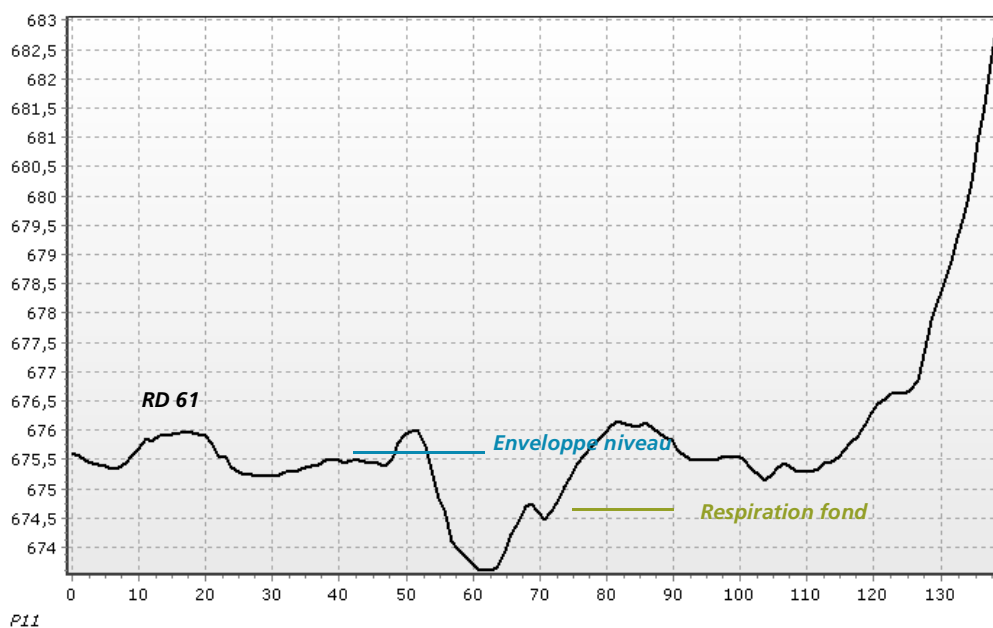












VIII.4 Synthèse

Ce paragraphe a pour objectif d'identifier les scénarios de défaillance potentiels et de les caractériser en termes de probabilité, d'aléa, de gravité et de criticité.

La méthodologie est détaillée ci-après :

1. Pour chaque scénario de défaillance identifié les enjeux potentiellement impactés sont recensés,
2. L'aléa au niveau de chaque enjeu fait l'objet d'une démarche d'analyse similaire à celle conduite dans les Plans de Prévision des Risques en croisant les critères d'intensité de la crue et de probabilité d'atteinte,
3. La gravité du scénario de défaillance est déterminée pour chaque enjeu en fonction de la nature même des enjeux (ex : route communale = gravité faible ; vie humaine = gravité forte),
4. Enfin la criticité résulte du croisement Aléa x Gravité.

Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-après.

N°	Scénario de crue	Enjeux	Intensité	Probabilité d'atteinte	Aléa	Gravité	Criticité
SD1	Lave torrentielle – Ravin du Mias Dépôt massif au confluent avec la Béoux. Sortie du lit de la Béoux en amont du barrage B1 et/ou du barrage B6 en rive droite	RD 61	Moyenne	Faible	Moyen	Moyen	Moyenne
SD2	Crue torrentielle Rupture de l'endiguement rive gauche au niveau du parc à bois ONF	Parc à bois RD 61	Forte Faible	Moyenne Faible	Fort Faible	Faible Moyenne	Moyenne
	Débordement en amont du pont de gaudissard en rive gauche et en rive droite	Pont de Gaudissard et route forestière	Forte	Forte	Fort	Faible	
SD3	Crue torrentielle Atteinte de la RD61 dans la zone d'épi sur à destruction de l'un des ouvrages par affouillement	RD 61 Village de Poyols	Forte Faible	Faible à Moyenne Faible à potentielle	Fort Faible à potentiel	Moyenne Forte	Moyenne à Forte

On notera en outre un scénario nécessitant la concomitance de facteurs exceptionnels, mais pouvant générer des désordres au niveau du village à savoir, une crue exceptionnelle au niveau ravin rive droite faisant face au village de Poyols (par exemple suite à un éboulement), dépôt massif dans la zone de confluence qui se trouve rétrécie par le nouveau tracé de la RD 61, et crue de la Béoux. Ce scénario ne mérite pour l'instant pas d'être considéré en l'absence d'apports exceptionnels en tête de ravin, et du fait que les divagations du ravin rive droite interviennent à ce jour très haut sur le versant

IX CONCLUSION

IX.1 Diagnostic

En termes de géomorphologie

- L'étude montre des changements très importants d'occupation du sol entre le XIX^{ème} siècle et aujourd'hui. La superficie des formations boisées a notamment été multipliée par 3. Cette augmentation est le résultat d'une politique volontariste de reboisement engagée fin XIX^{ème} siècle conjuguée à des reboisements naturels. En conditions moyennes annuelles, les calculs suggèrent des volumes mobilisables moindres d'un facteur 2,0 à 2,5. Depuis le début du XX^{ème} siècle, le différentiel de volume lié au boisement pourrait atteindre 80 000 m³.
- L'action de reboisement a été conjuguée sur le bassin versant de la Béoux à une action intense de correction torrentielle. Les barrages actuellement présents sur principaux ravins n'ont pas d'effet sur le transit actuel (si ce n'est une régulation des apports). Par contre, le volume de sédiments stocké par les ouvrages proche de 60 000 m³ est important. Il a eu par conséquent, lors de la phase de remplissage des ouvrages, des effets transitoires non négligeables, puisque un tel volume équivaut entre 20 à 60 années de transit sédimentaire au droit des barrages...
- L'analyse de la séquence géomorphologique et les calculs effectués suggèrent que ces deux facteurs constituent les facteurs principaux d'évolution de style fluvial de la Béoux, avec passage de lit en tresses à chenal unique sinueux.
- Compte tenu des volumes potentiels mis en jeu, il est plausible que les modifications de style fluvial observées sur la Drôme en amont du confluent avec le Bez soient grandement liées aux effets conjugués du reboisement et des barrages RTM. Il n'a malheureusement pas été possible, par manque de données disponibles, de quantifier le poids des extractions sur ce secteur.
- La situation est à ce jour globalement équilibrée. La dynamique d'incision au niveau de la Drôme n'est plus observée depuis l'arrêt des extractions. Les milieux physiques sont par contre altérés, notamment à l'aval de la confluence avec la Béoux où le style en tresses a laissé place à un chenal rectiligne incisant les terrasses alluviales et s'écoulant partiellement sur le substratum marneux.

Ce travail ne fait donc que confirmer les travaux antérieurs, notamment ceux entrepris dans le cadre de la thèse de F. LEIBAUULT, mais aussi ceux postérieurs dans le cadre du projet Life « Forêt et recharge sédimentaire ».

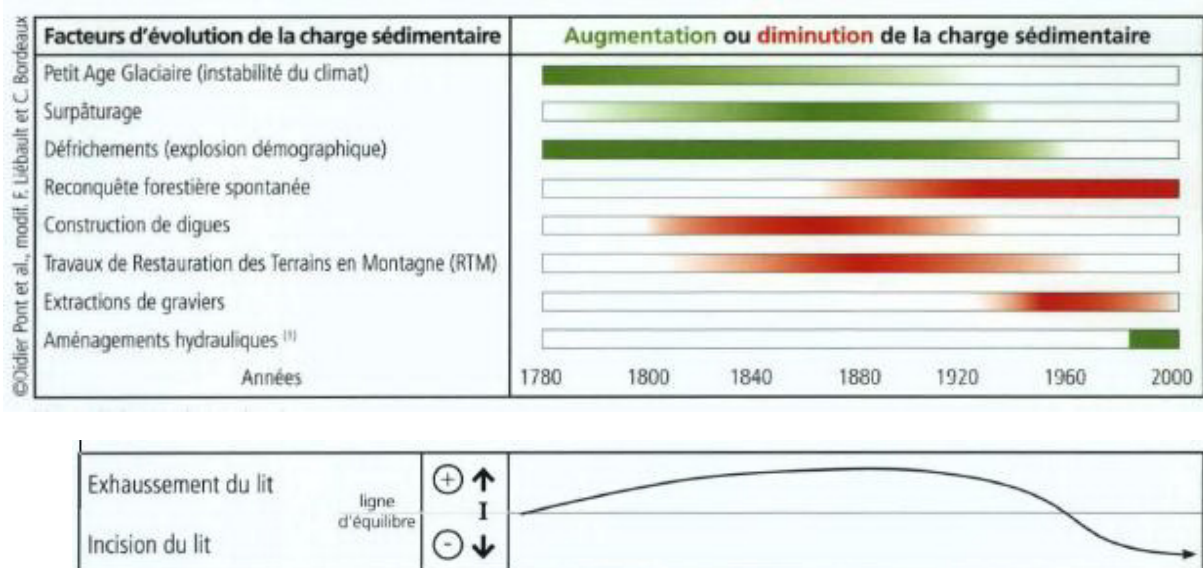


Figure 74 : Facteurs influençant l'augmentation et la diminution de la charge sédimentaire (source : rapport programme LIFE « Forêt et recharge sédimentaire »)

En termes de risques naturels

→ L'atteinte du village de Poyols par des crues de la Béoux parait aujourd'hui hypothétique. Elle nécessiterait l'atteinte de la RD61 dans la zone des épis (et donc une destruction des ouvrages). Compte tenu du linéaire important à faible pente jusqu'au village, celui-ci ne pourrait être impacté que par des écoulements peu concentrés en sédiments.

→ Il semble cependant nécessaire de procéder à des améliorations du niveau de protection au droit des deux grands barrages RTM où des débordements en rive droite sur les pistes d'accès pourraient atteindre la route départementale. De même, les épis jouent un rôle de protection et sont d'un intérêt patrimonial remarquable. Leur entretien est donc nécessaire.

IX.2 Une réversibilité est-elle possible et souhaitable ?

Ce diagnostic pose la question de la réversibilité des changements de styles fluviaux, notamment au niveau de la Drôme où le substratum est affleurant en aval de la confluence avec la Béoux. Les facteurs principaux du des changements identifiés sont :

- Le boisement, artificiel ou naturel ;
- La réalisation d'ouvrages de correction torrentielle ;
- Les extractions ;
- Le changement climatique (favorisant le boisement naturel de zones en érosion et diminuant les apports de matériaux par gélifraction au niveau des falaises).

Sur chacun de ces facteurs, il convient d'étudier la faisabilité sociale, technique, financière des actions possibles.

Déboisement de versants connectés au réseau hydrographique

Des déboisements de ravines ont été testés à titre expérimental dans le cadre d'un programme Life Eau et Forêts (Forêt et recharge sédimentaire de rivières torrentielles). Sur le bassin de la Drôme, deux ravines ont été déboisées. La production relative sur l'une des deux ravines a été augmentée d'un facteur 3, soit des résultats cohérents avec les calculs issus de la présente étude.

Des effets à long terme ne peuvent donc être obtenus que sous les conditions suivantes déboisements de plusieurs centaines d'hectares de terrains connectés au réseau hydrographique et maintien de l'érosion par coupe régulière de la végétation. Cette action ne semble pas supportable financièrement compte tenu de la dynamique actuelle de la végétation. Elle pourrait également menacer la stabilité de versants aujourd'hui stabilisés.

Déboisement de terrasses alluviales

Une terrasse alluviale de la Béoux a également été déboisée à titre expérimental dans le cadre du programme Life Eau et Forêts (Forêt et recharge sédimentaire de rivières torrentielles). Cette action a été relayée dans deux projets financés par l'agence de l'eau RMC et la région Rhône-Alpes (2007-2009) puis par la Syndicat Mixte Rivière Drôme (06/2009->12/2010). Le test n'a pas été conduit sur une durée suffisante pour déterminer si l'action permet une remobilisation significative de sédiments. On notera qu'aucune crue intense n'a été observée pendant la durée des suivis. Il a été observé un recul de berge d'en moyenne 15 cm/an. Appliqué à l'ensemble des berges déboisables (berges à concavité marquée susceptibles d'emporter des terrains non agricoles), soit 1700 ml, le calcul de la recharge annuelle supplémentaire d'environ 185 m³/an.

Bien que menant à un potentiel de remobilisation a priori modeste, cette action peut être menée de manière opérationnelle sur des superficies de l'ordre de 1 à 2 ha sans obstacles particuliers. L'ouverture des abords du cours d'eau permettrait de redonner de la diversité aux milieux. Elle serait également profitable d'un point de vue paysager. Les coûts associés à cette action seraient par ailleurs tout à fait limités.

Destruction d'ouvrages de correction torrentielle

La destruction d'ouvrage ouvre la voie à un possible relargage de 60 000 m³ de sédiments. Cette action pose en premier lieu des questions en termes de risques naturels. Il n'existe à notre connaissance pas d'exemple de destruction volontaire d'ouvrages de correction torrentielle. Les dynamiques de relargage de sédiments suite à de telles actions ne sont donc pas connues.

Il existe par contre des précédents de destruction de barrages de correction torrentielle au cours de crues, par exemple sur le torrent du Saint-Antoine à Modane lors de la crue de 1987. Les volumes de sédiments stockés derrière les ouvrages avaient alimenté une lave torrentielle et ont été transférés au cours d'un seul épisode jusqu'au cône de déjection du torrent.

Dans le cas d'une destruction contrôlée d'un ou plusieurs ouvrages, il est cependant peu probable dans le cas de la Béoux que les sédiments soient transférés intégralement jusqu'au fond de vallée en un seul évènement. Les raisons sont les suivantes :

- Très grand linéaire jusqu'au fond de vallée avec par conséquent une capacité de régulation toujours présente même en l'absence d'ouvrages de correction torrentielle ;
- Consolidation des matériaux stockés derrière les ouvrages rendant leur mobilisation lors d'un seul évènement moins probable ;
- Incision et érosion progressive se réalisant généralement de manière subverticale au niveau de profils en travers d'écoulement. Il est donc peu probable que l'ensemble du profil rehaussé soit sujet à l'incision.

Il est par contre vraisemblable que la destruction occasionne la réactivation de mouvement de versants notamment en rive droite et affecte par conséquent la RD61 entre Poyols et jonchères.

En conclusion, il s'agit d'un sujet complexe, mal, connu, et il n'est dans l'état pas envisageable de détruire l'ensemble des ouvrages avec des conséquences qui seraient difficilement appréhendables. Une destruction du barrage B14 le plus en amont pourrait être envisagée dans un cadre expérimental compte tenu du volume limité stocké en amont (env. 3500 m³). Celle-ci ne serait cependant pas en mesure de modifier les évolutions de style fluvial observée depuis le début des années 1950.

Restauration du lit de la Drôme à l'aval de la confluence avec la Béoux

Le lit de la Drôme a subi depuis le début des années 1950 une incision avec changement de style fluvial très marqué. A l'aval de la confluence avec la Béoux, le lit en tresses a disparu et a fait place à un chenal rectiligne incisé dans les terrasses alluviales et s'écoulant partiellement sur le substratum marneux. La disparition du matelas alluvial et la déconnexion du lit avec les terrasses alluviales conduit à un appauvrissement du milieu physique.

Aucune action sur la Béoux ne permettra d'obtenir une réversibilité des styles fluviaux et de revenir vers une dynamique de lit en tresses en aval de la confluence Béoux/Drôme. Il est par contre possible d'envisager deux actions visant à restaurer le matelas alluvial et à restaurer un lit sinueux plus respectueux de la morphologie à long terme du cours d'eau.

Ces actions présentent cependant des contraintes fortes :

1. La reconstitution d'un matelas alluvial sur le linéaire où le substratum est affleurant (190 m à partir du seuil en aval de la confluence Béoux/Drôme) n'est possible qu'en réalisant un seuil de 1 m de hauteur, lequel serait fondé sur le seuil rocheux naturel situé à l'aval du tronçon. La franchissabilité piscicole serait donc rendue plus difficile.
2. La restauration d'un lit sinueux sur le tronçon situé plus en aval (690 m) a lieu dans un site d'intérêt communautaire avec de nombreuses espèces remarquables. Des études environnementales préliminaires doivent donc être menées pour déterminer le bénéfice réel de cette action en prenant en compte les impacts inhérents aux travaux.

IX.3 Liste des actions prises en compte

Suite à la réunion de présentation du diagnostic qui s'est tenue le 19/04/2018 en présence de l'ensemble des partenaires associés, il a été décidé de retenir les actions suivantes.

ACTIONS RELATIVES A LA STRATEGIE DE REMOBILISATION DE SEDIMENTS

- DESTRUCTION BARRAGE RTM B14
- DEBOISEMENT DE TERRASSES ALLUVIALES
- RESTAURATION D'UN MATELAS ALLUVIAL ET RENATURATION DU LIT DE LA DROME EN AVAL DU CONFLUENT AVEC LA BEOUX

ACTIONS RELATIVES A LA STRATEGIE DE PROTECTION CONTRE LES CRUES TORRENTIELLES

- AMELIORATION DU NIVEAU DE PROTECTION CONTRE LES CRUES AU DROIT DU BARRAGE B6
- AMELIORATION DU NIVEAU DE PROTECTION CONTRE LES CRUES AU DROIT DU BARRAGE B1
- ENTRETIEN DES EPIS DE PROTECTION CONTRE LES CRUES

Chaque action est détaillée dans le document annexe « Fiches actions »

ANNEXES

- ANNEXE 1 : Descriptif des enjeux environnementaux dans et à proximité du site d'étude
- ANNEXE 2 : Extrait du cadastre Napoléonien de 1832
- ANNEXE 3 : Extrait de la carte d'Etat Major de 1866
- ANNEXE 4 : Comparaison diachronique de photos aériennes (1948, 1971, 2013)
- ANNEXE 5 : Comparaison diachronique de photos aériennes sur des cours d'eau drômois non aménagés
- ANNEXE 6 : Photos des barrages de correction torrentielle
- ANNEXE 7 : Photos des ouvrages non domaniaux
- ANNEXE 8 : Localisation des zones en érosion prises en compte pour l'application de la méthode ECSTREM
- ANNEXE 9 : Synthèse de l'étude IMSRN sur les unités de glissement 3 et 4
- ANNEXE 10 : Historique des acquisitions des terrains domaniaux
- ANNEXE 11 : Contexte national de la création des périmètres RTM
- ANNEXE 12 : Comparaison brute de profils en travers issus des levés Lidar 2013 et 2017
- ANNEXE 13 : carte géomorphologique

ANNEXE 1

Descriptif des enjeux environnementaux dans et à proximité du site d'étude

ZNIEFF de type 2 n°820030080 « chaînons du Diois central » :

Ce vaste ensemble délimite les chaînons du Diois central, au sud de la vallée de la Drôme et de la ville de Die. Les formations végétales méditerranéennes sont ici dominantes, mais l'altitude autorise le développement d'un important étage supra-méditerranéen marqué par la présence de hêtraies. Il présente un grand intérêt botanique avec des stations de plantes particulièrement rares et faunistique notamment ornithologique et entomologique

Le secteur abrite un karst caractérisé par sa discontinuité, du fait des mouvements tectoniques, des variations de faciès et de l'érosion intervenue durant la période miocène. Il abrite plusieurs espèces endémiques du Diois et du Vercors. Le secteur représente une vaste zone d'alimentation ou de reproduction pour plusieurs espèces remarquables qu'il s'agisse d'oiseaux, de mammifères, de batraciens, ou de poissons.

L'ensemble présente par ailleurs un intérêt paysager et biogéographique, compte-tenu de la cohabitation souvent insolite d'animaux ou de plantes appartenant aux domaines montagnard et méditerranée

ZNIEFF de type 2 n° 820000418 « ensemble fonctionnel formé par la rivière Drôme et ses principaux affluents »

La Drôme est, parmi les grandes rivières de la région, celle qui a subi le moins d'aménagements lourds. Des milieux aquatiques remarquables y sont distingués à travers le maintien d'un ensemble alluvial abritant des espèces en danger. La flore compte par ailleurs des espèces méridionales intéressantes (Orchis à longues bractées), et quelques remarquables messicoles (plantes associées aux cultures traditionnelles) comme la Nielle des blés ou la Nigelle de France.

En termes de fonctionnalités naturelles, le val de Drôme et ses annexes exercent tout à la fois des fonctions de régulation hydraulique (champs naturels d'expansion des crues) et de protection de la ressource en eau. Les milieux naturels abritent une faune et une flore variées dont de nombreuses espèces protégées. Ils constituent également un corridor écologique ainsi qu'une étape migratoire et une zone de reproduction. L'ensemble présente par ailleurs un grand intérêt paysager, géomorphologique et phytogéographique avec de nombreuses espèces méditerranéennes parvenant ici en limite de leur aire de répartition

ZNIEFF de type 1 n° 820030086, montagne d'Aucelon, de Boutarinard et d'Eyriau

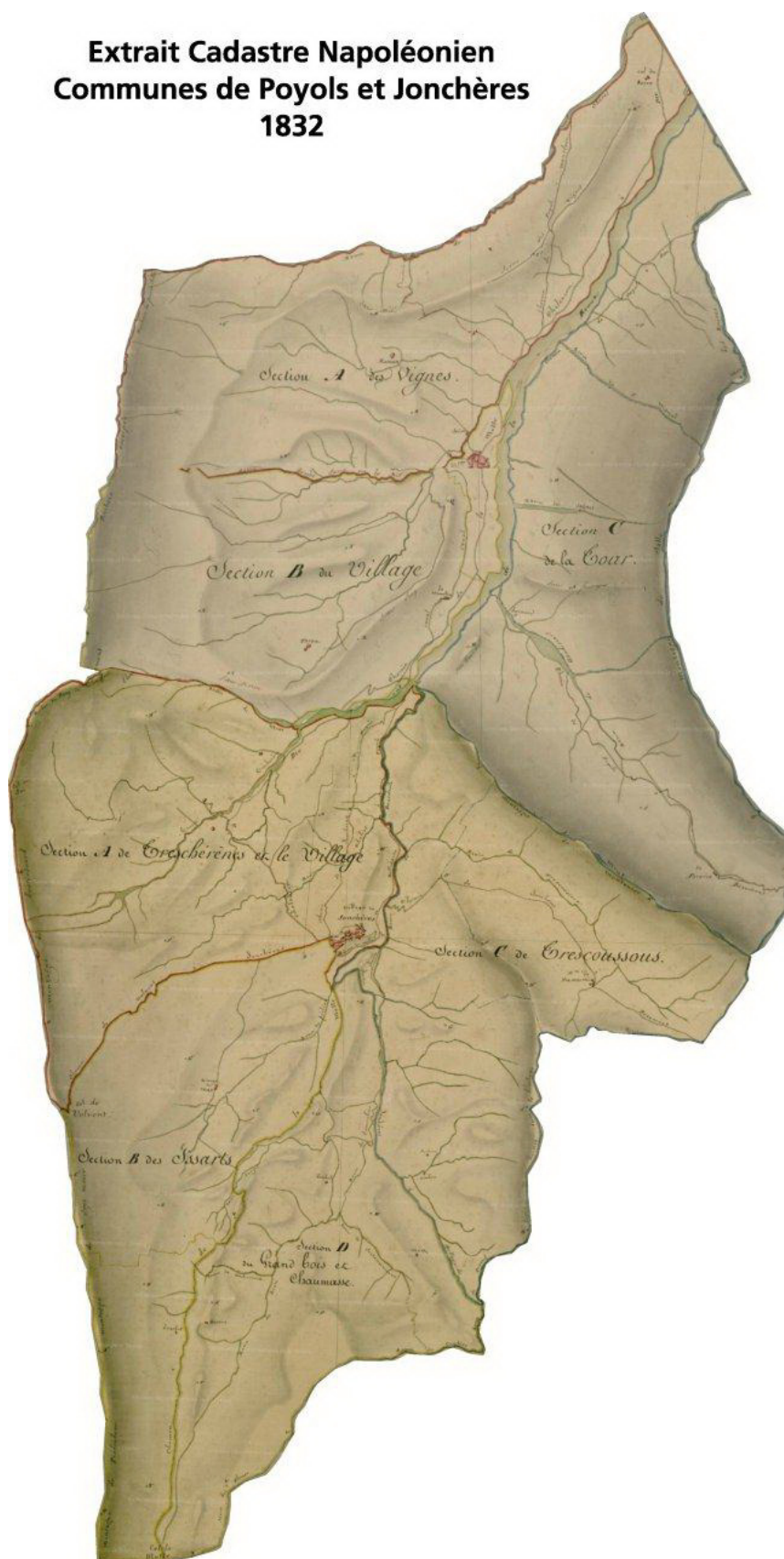
La montagne d'Aucelon formée de calcaire tithonique se prolonge au nord par les montagnes de Boutarinard, de Praloubeau et de l'Eyriau. On distingue sur le site des milieux variés : pelouses d'altitude, pelouses sèches, milieux forestiers qui abritent une faune riche parmi laquelle on peut citer le chamois, l'aigle royal qui y niche, de nombreuses espèces d'oiseaux parmi lesquelles : les Bruants fou, ortolan et proyer, la Pie-grièche écorcheur, le Bec-croisé des sapins, l'Engoulevent d'Europe ou le Grand-duc d'Europe. Les milieux karstiques abritent le Petit Rhinolophe. La Pivoine officinale, espèce protégée, est présente sur le site.

IX.3.1.a ZNIEFF de type 1 n° 820030100, Claps, Montagne de Clamontard et pic de Luc

Ce site rocheux et montagnard prend en écharpe les montagnes autour du village de Luc-en-Diois et du Claps de la Drôme, du pic de Luc à la montagne Clamontard. Une population de Chamois parcourt les éboulis aux environs du village. Les milieux rupestres sont fréquentés par trois espèces prestigieuses de rapaces : l'Aigle royal, le Faucon pèlerin et le Grand-duc d'Europe. Plusieurs couples d'Hirondelle rousseline ont élu domicile sur le site en 2004. La plus grande des sauterelles européennes, la Magicienne dentelée, a été observée ici. Cette prédatrice de criquets et de sauterelles recherche les fourrés sur des pentes arides. Le Myosotis à fleurs minuscules est une espèce rare, inscrite au "livre rouge" de la flore menacée en France. Cette plante très discrète, aux petites fleurs bleues, n'est connue en France que de quelques stations dans le Haut-Diois (dont le Claps), et d'une seule dans les Hautes-Alpes

ANNEXE 2

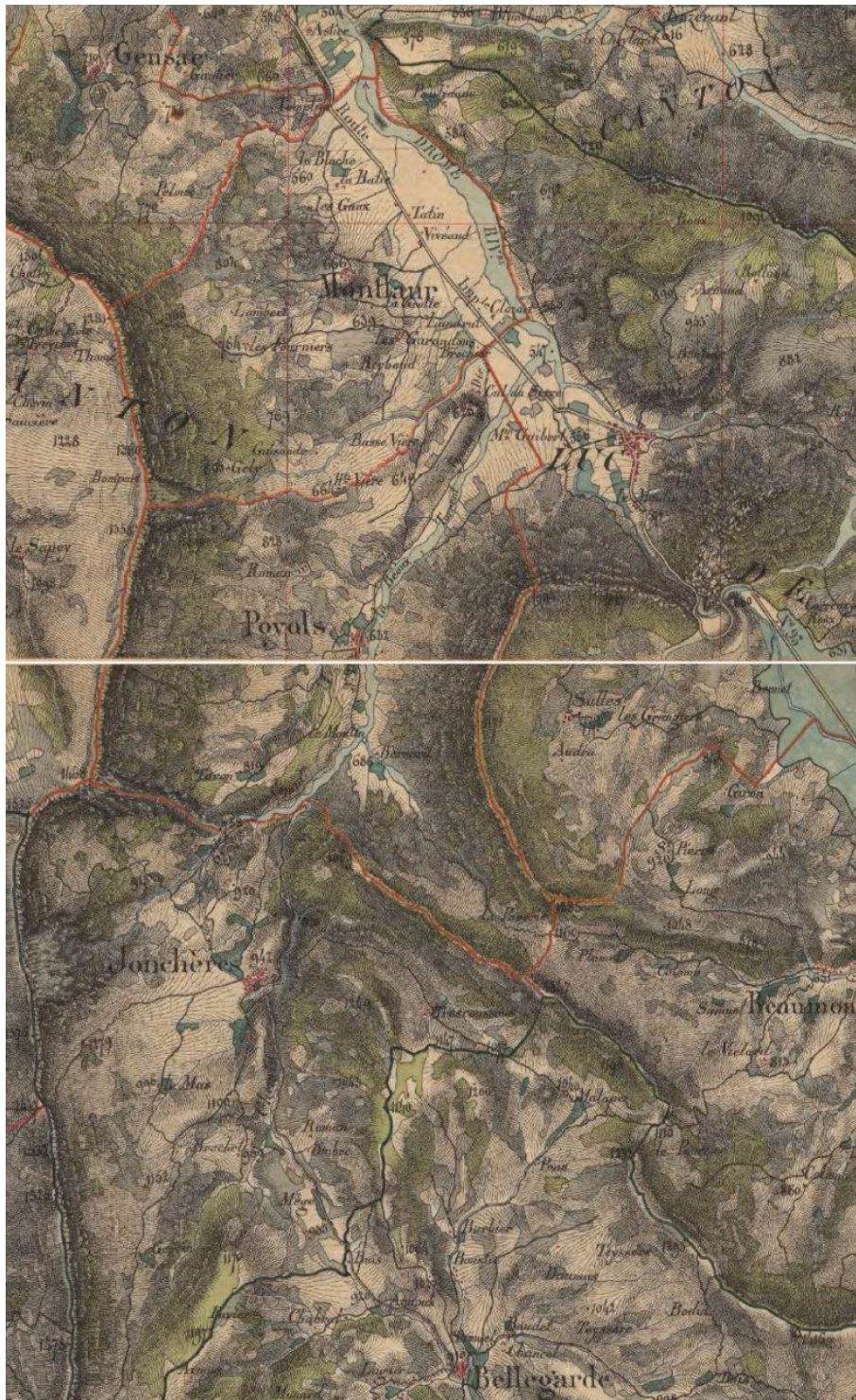
Extrait Cadastre Napoléonien Communes de Poyols et Jonchères 1832



Extrait du cadastre Napoléonien (1832) centré sur le BV de la Béoux (source : AD26)

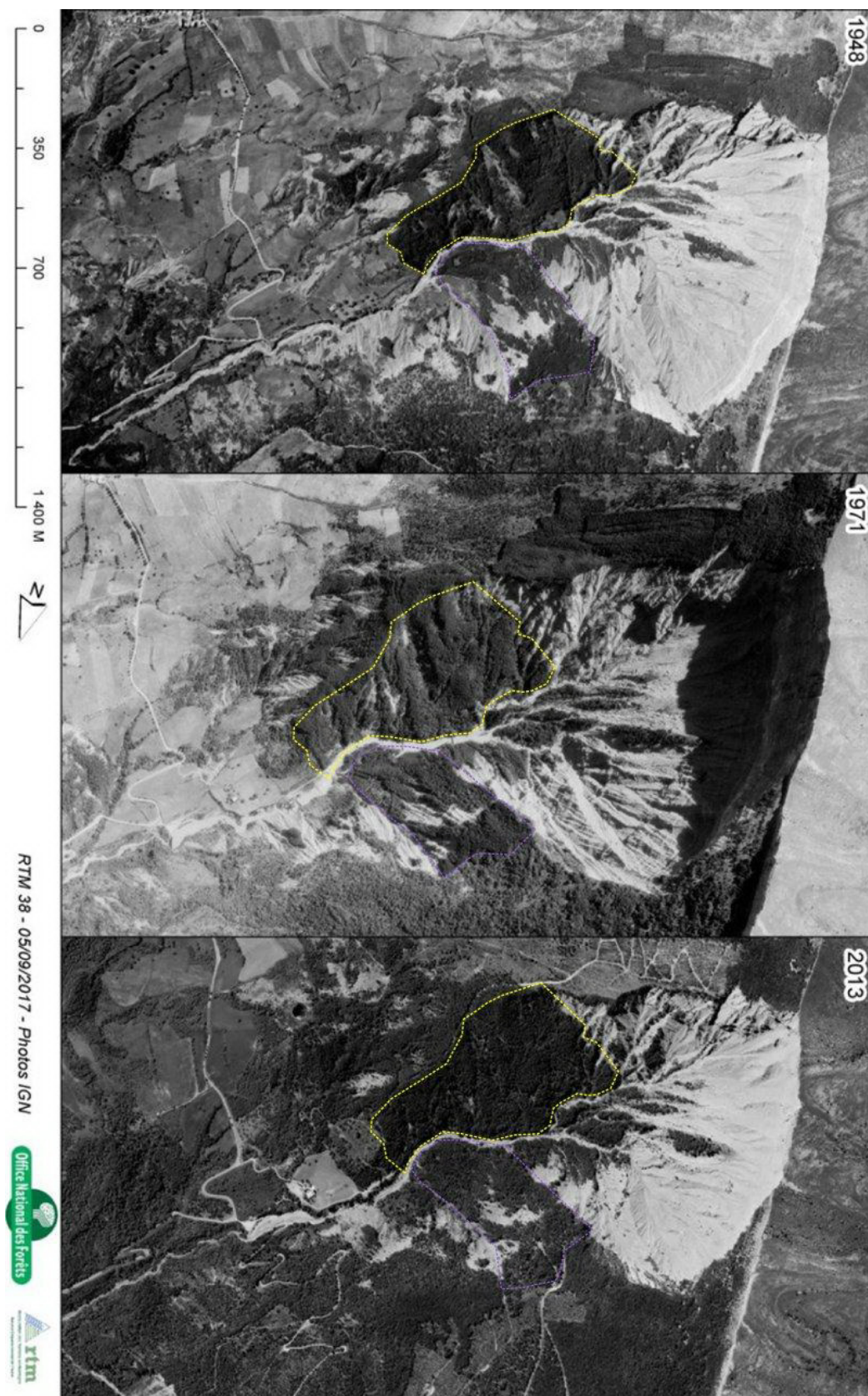
ANNEXE 3

EXTRAIT DE LA CARTE D'ETAT MAJOR DE 1866

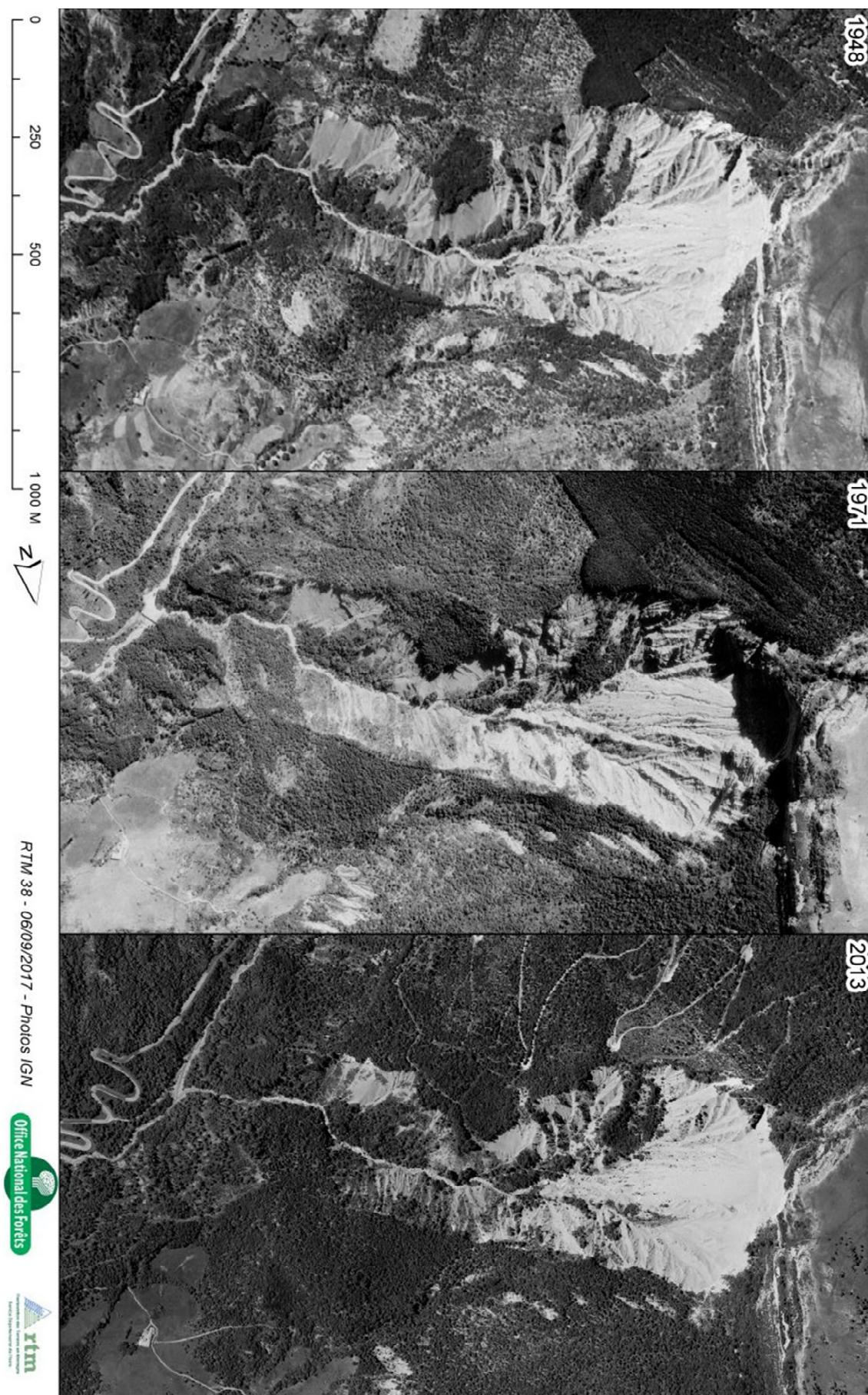


ANNEXE 4

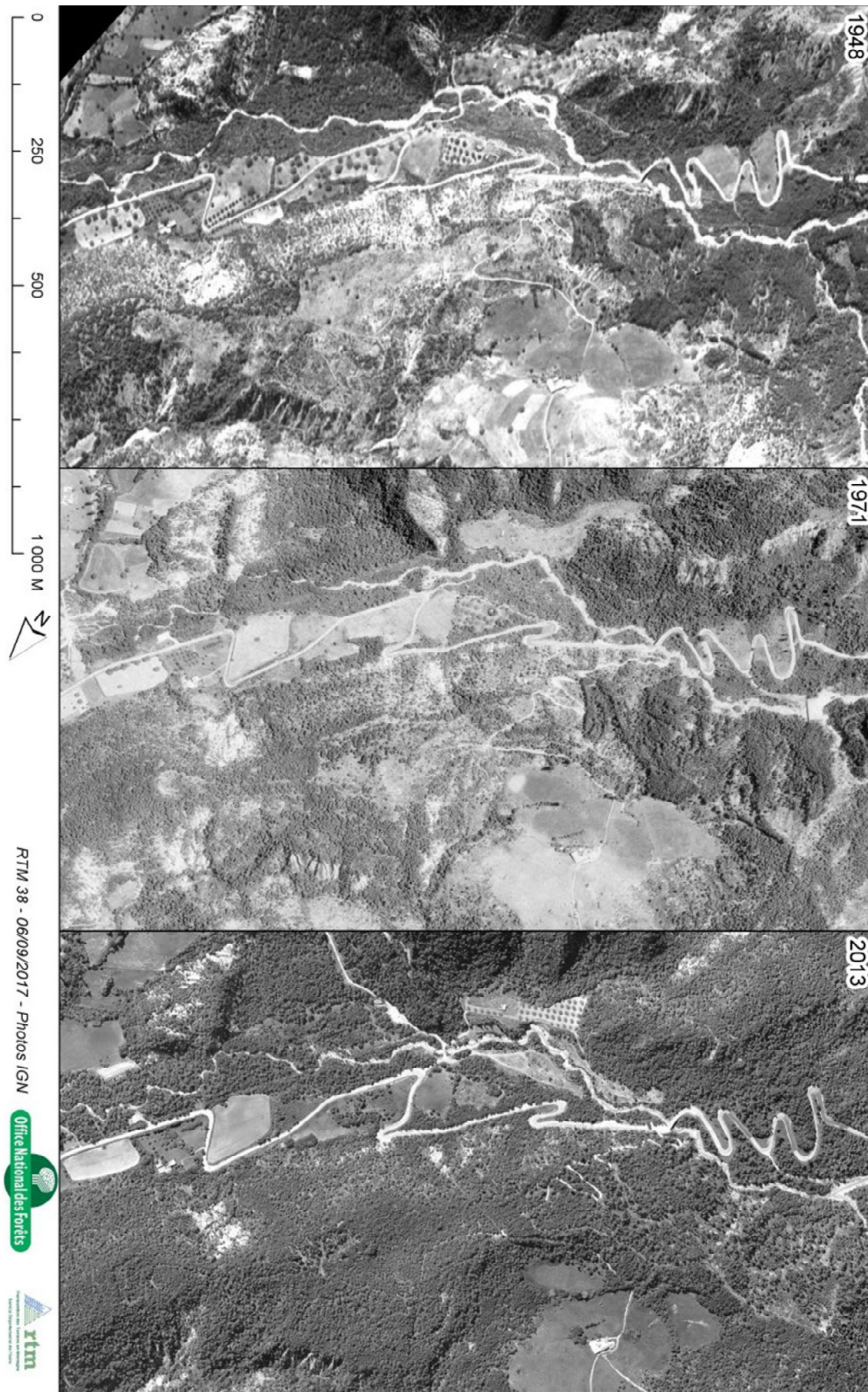
COMPARAISON DIACHRONIQUE DE PHOTOS AERIENNES



Comparaison diachronique de photos aériennes – Ravin de Trescherennes



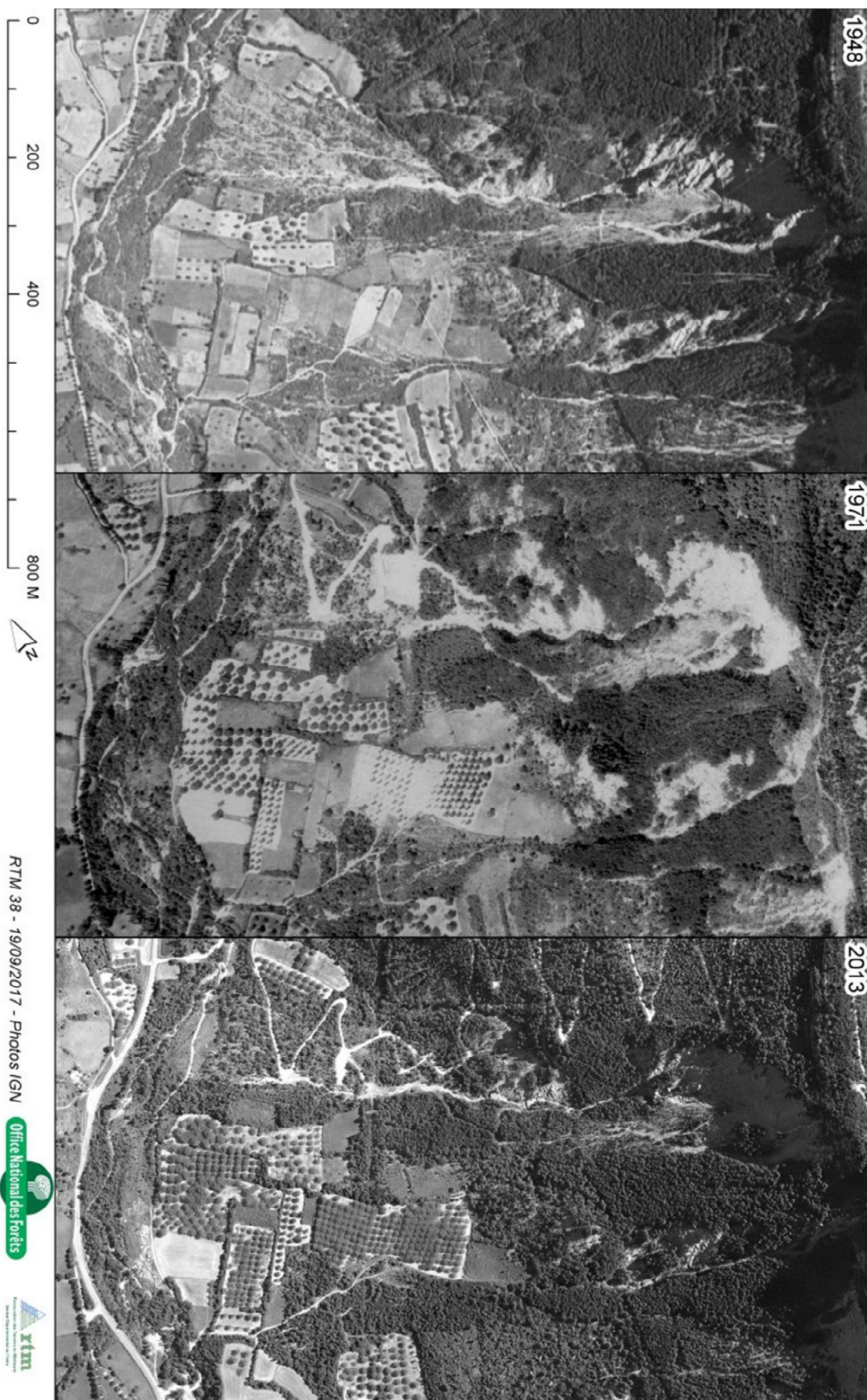
Comparaison diachronique de photos aériennes – Ravin de Mias



Comparaison diachronique de photos aériennes – Amont du village de Poyols



Comparaison diachronique de photos aériennes – Face au village de Poyols



Comparaison diachronique de photos aériennes – Ravin de Saint-Marcel



Comparaison diachronique de photos aériennes – Ravin face au village de Poyols



Comparaison diachronique de photos aériennes – Amont du confluent avec la Drôme



Comparaison diachronique de photos aériennes – Drôme à l’aval du confluent avec la Béoux

ANNEXE 5

COMPARAISON DIACHRONIQUE DE PHOTOS AERIENNES SUR DES COURS D'EAU DROMOIS NON AMENAGES

Source : remonterletemps.ign.fr

A gauche : photo actuelle / A droite : photo aérienne années 1950-1960

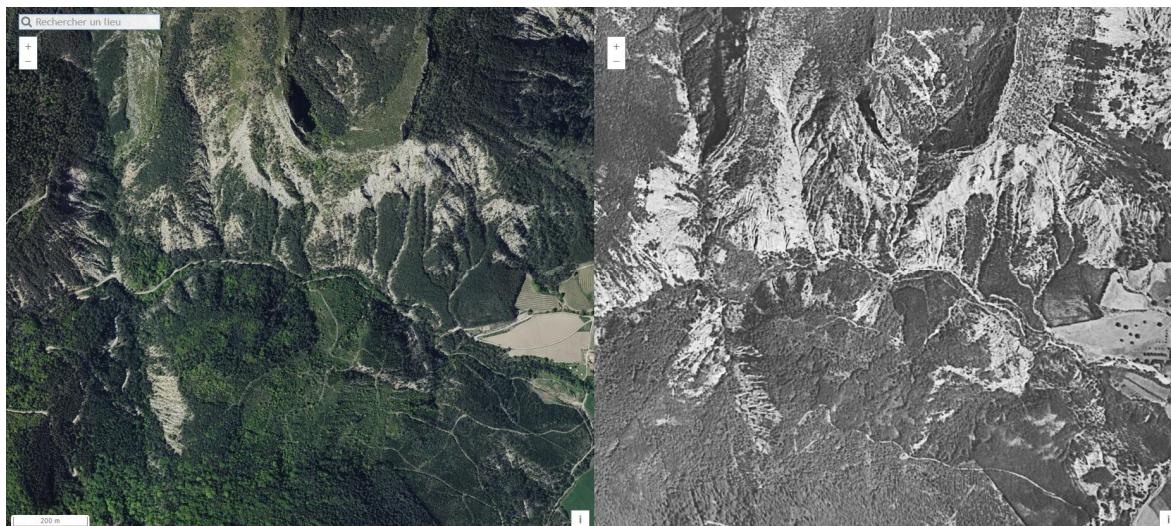
Torrent de Barsac



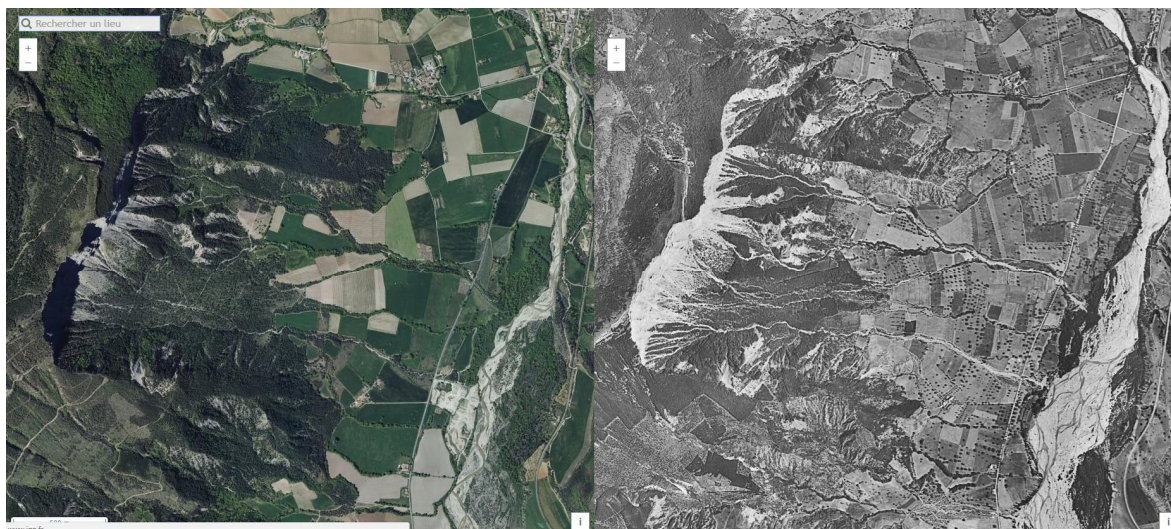
Ruisseau de Beaufayn – Confluence Drôme



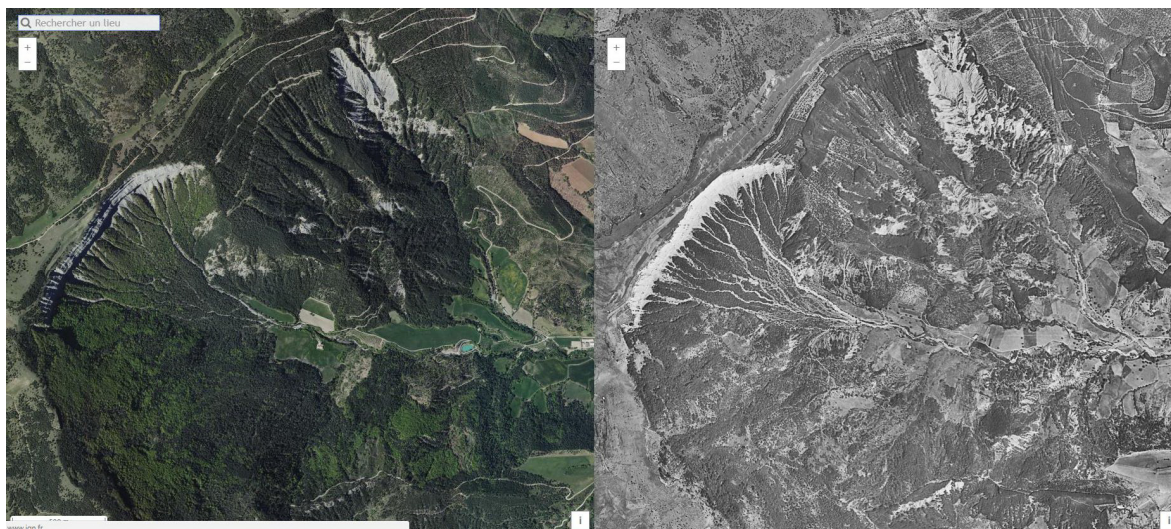
Ruisseau de Beaufayn – Bassin d'alimentation



Divers ravins – Solaure en Diois



Rocher des Baux et Coste Belle – Montmaur en Diois



ANNEXE 6

PHOTOS DES BARRAGES DE CORRECTION DE TORRENTIELLE

Torrent de la Béoux

Barrage B2



Barrage B3



Barrage B4



Barrages B5 et B6



Barrage B7



Barrages B8 et B9



Barrage B9



Barrage B10 et enrochement en aval du B10 en rive droite



Barrage B11



Barrage B12



Barrage B13



Barrage B14



Ravin du Mias

Barrage B2



Barrage B3



Barrage B4 détruit



Barrage B5



Barrage B6



Barrage B7



Ravin de St-Marcel

Barrage B1



Barrage B2 (gauche) et B1 à B3 droite



Barrages B3 et B4



Barrage B4



Barrage B5



Barrage B6



Barrage B7



Barrage B8

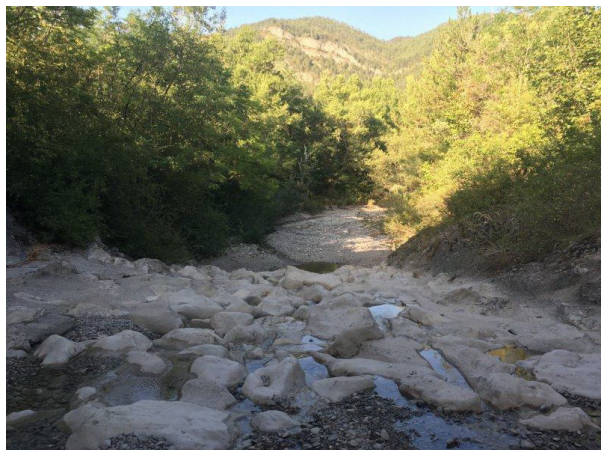


ANNEXE 7

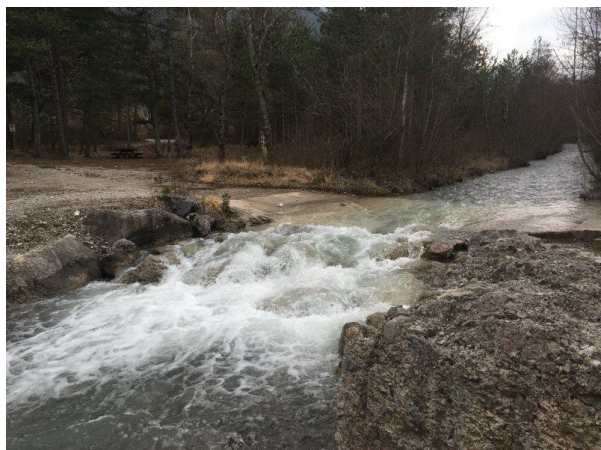
PHOTOS DES OUVRAGES NON DOMANIAUX

(de l'aval vers l'amont)

Seuil – alt 537,5 m – aval pont RD 93



Passage à gué - alt. 559,4 m



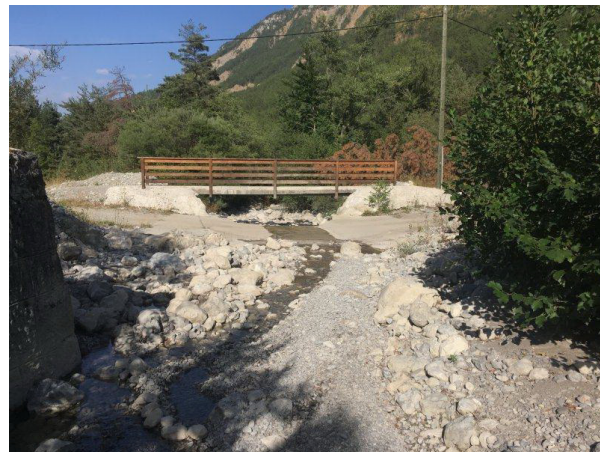
Passage à gué alt 588,7 m



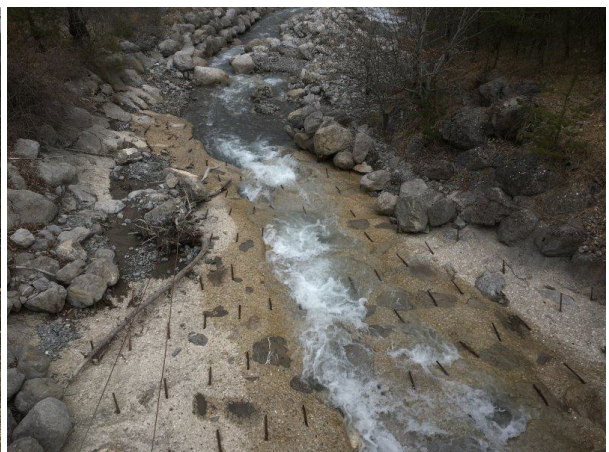
Passage à gué alt 611,8 m



Passage à gué alt. 657 m



Radier + coursier sous pont de Gaudissard alt 709,1 m – Dimsions pont : Lx h : 6 x 2,5 m



Seuil alt 749,8m aval pont vouté RD 61



EPIS (de l'aval vers l'amont)

Epi 1





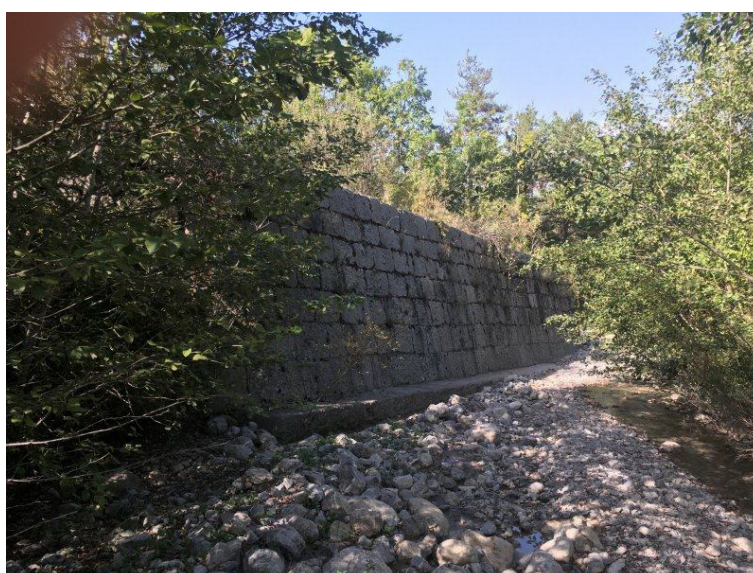
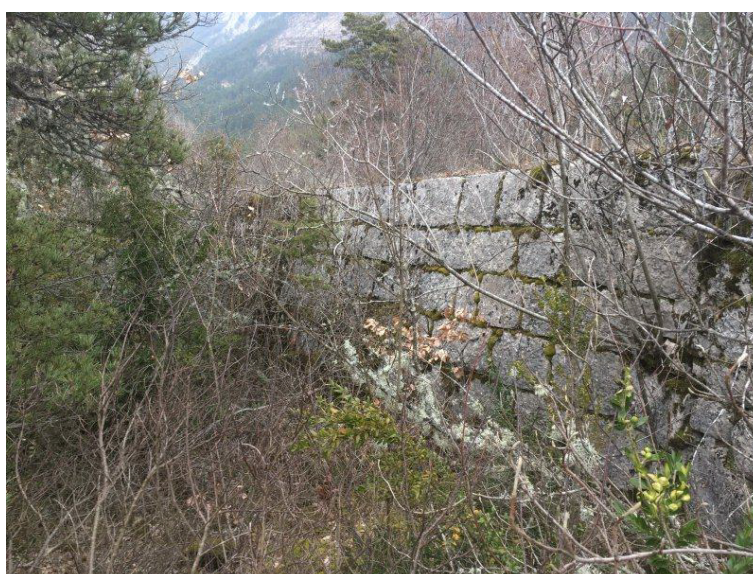
Epi 2



Epi 3



Epi 4



PROTECTIONS DE BERGE

Alt 589,6 m – L 18 ml – amont RD 61 a



Alt 624,5 m – L 600 ml – bordure RD 61



Alt 708,0 m – L 38 ml – RG Béoux - aval pont de Gaudissard



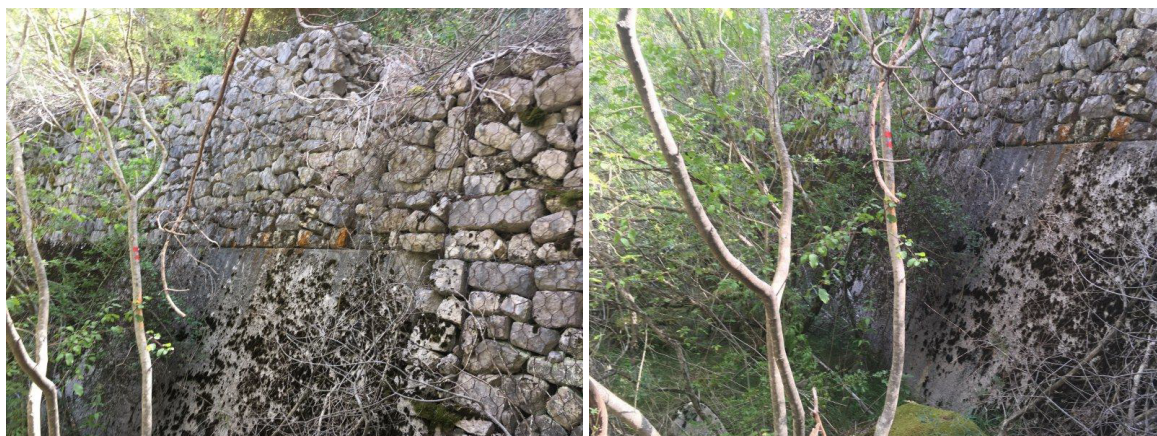
Alt 711,1,5 m – L 41 ml – RD Béoux – amont pont de Gaudissard



Alt 765,3 m – L 15 ml – RD Béoux – bordure lacet RD 61



Alt 850,1,3 m – L 20 ml – RD Béoux – bordure lacet RD 61 (aval B5)

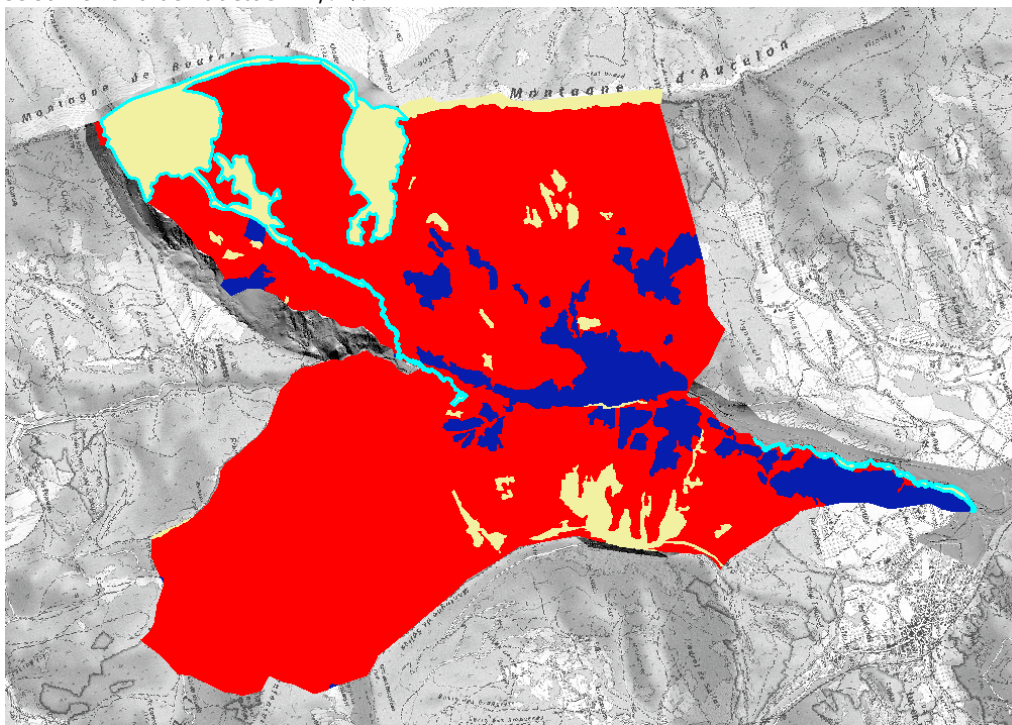


ANNEXE 8

Localisation des zones en érosion prises en compte pour l'application de la méthode ECSTREM

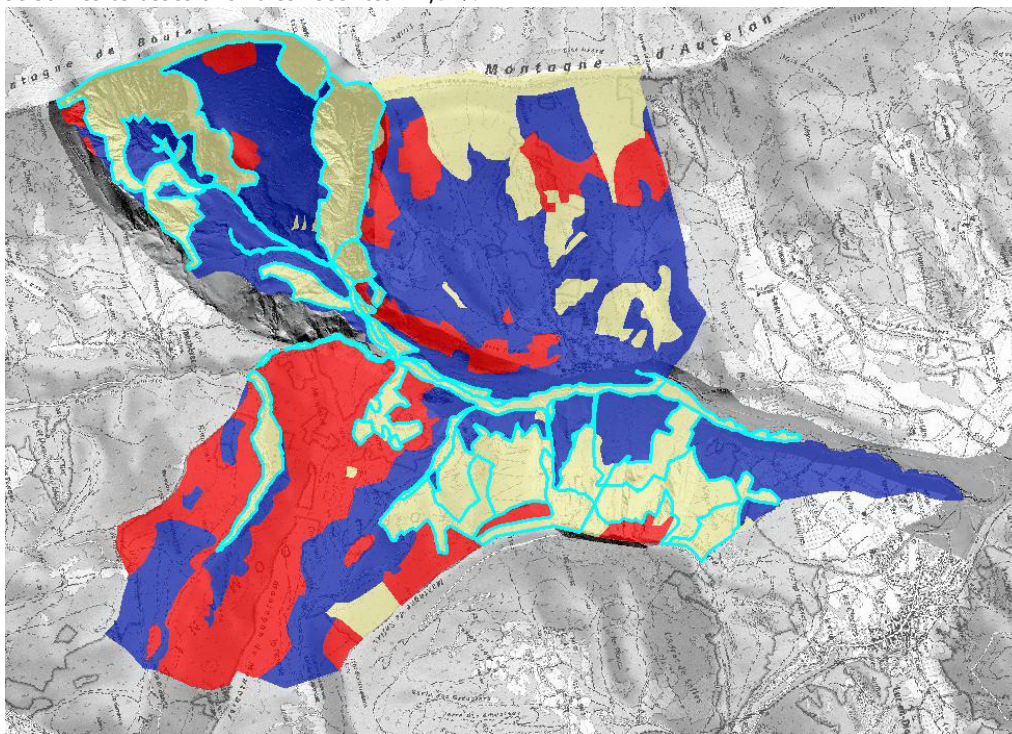
2017 : 1,18 km²

Pente prise sur le fond de lit actuel : 2,0 %

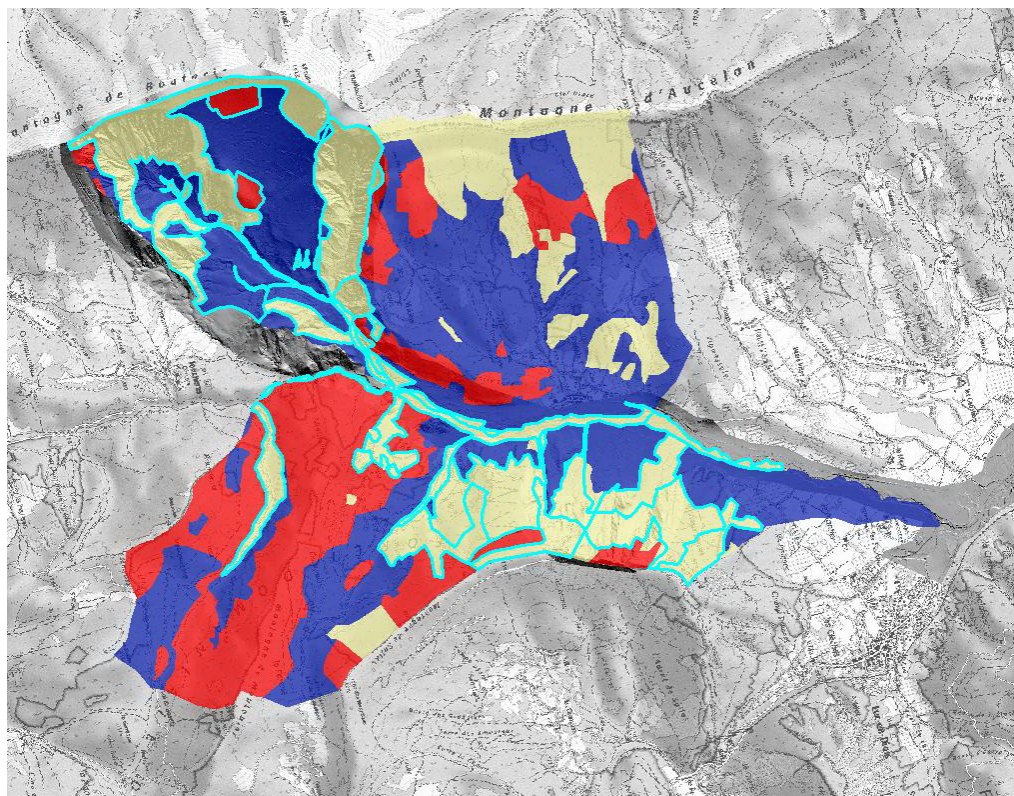


XIXème siècle : hypothèse 1 / 4,2 km²

Pente prise sur les terrasses alluviales récentes : 2,3 %



XIXème siècle : hypothèse 2 / zones en érosion + 1/2 des zones landes/friches : 4,8 km²



ANNEXE 9

Synthèse de l'étude IMSRN sur les glissements de terrain des unités 3 et 4

Une étude sur les unités 3 & 4 de glissement de terrain a été réalisée en août 1995 par le bureau d'études IMSRN. Les objectifs étaient de reconnaître les indices de mouvements ainsi que les éventuels indices hydrogéologiques associés et de préciser le mécanisme des phénomènes observés. Les investigations mises en œuvre ont été :

- Observations géologiques de surface,
- Sondages à la pelle mécanique,
- Mesures de conductivité.

3 sous unités de glissements de terrain ont été délimitées, 1 en rive gauche du torrent, et 2 en rive droite recoupant la RD 61 (cf. Figure 75).

Historique : il s'agit de mouvements de grande ampleur sur la rive droite, qui déstabilisent complètement la colline du Fays depuis son sommet. Les mouvements les plus actifs se situent entre la route départementale et la Béoux.

Hydrogéologie : mesures de conductivité effectuées sur toute la zone d'étude dans les sondages à la pelle mécanique (points Pm de la carte). Les valeurs sont extrêmement variables allant de 275 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 1 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indiquant une très grande variabilité des zones d'alimentation et de circulation souterraines. Les valeurs les plus élevées correspondent aux point Pm4 et Pm5 avec des arrivées d'eau sous pression. De tels conductivités impliquent une circulation lente et prolongée au seins des matériaux marneux altérés.

Les principales conclusions des sondages sont les suivantes :

- Sondage en rive droite (Pm5 et Pm6) : au niveau de Pm5, arrivée d'eau entre les terrains de couverture (4m d'épaisseur) et le substratum marneux. Au toit de ce dernier on observe de nombreuses arrivées d'eau et une surface de glissement. Pour le sondage Pm6, il n'a été observé aucune surface de glissement active dans les argiles, dont la base se situe 3 mètres sous le niveau actuel du torrent.
- Sondage en rive gauche (Pm7 à Pm 9) : révèlent des mouvements de terrain récents. La rive gauche a tendance à repousser le torrent sur la rive droite.

Dynamique du glissement : le glissement de la colline du Fays est sans doute ancien, depuis la fin du Wurm, et il présente une activité lente mais régulière. Depuis 1995, de nombreuses portions de route ont dû être refaites. Au niveau de la Béoux, le glissement reste actif aujourd'hui, notamment sur la courte portion de lit fortement resserrée (barrages B2 et B3). A cet endroit, la surface de glissement se trouve à faible profondeur, 3 à 4 m maximum sous le fond alluvial. Le grand barrage B1, à la confluence Trescherennes/Mias joue un rôle de contrefort pour le glissement du Fays. Au niveau de B2 et B3 (détruit), l'incision des dépôts alluviaux (2 à 3m) devrait entraîner mécaniquement une activation de la partie superficielle du glissement. Elle n'est pas aujourd'hui constatée au niveau de la route départementale. La reconstruction de B3 aurait de toute façon un rôle négligeable dans la stabilisation de l'ensemble du glissement : les masses en mouvements sont telles qu'il faudrait édifier un grand barrage ou une série de petits barrages entre B2 et B4, sur 10 à 17m de hauteur. Cela permettrait de caler la butée de pied du glissement. Ces chiffres ont été obtenus par modélisation géotechnique de stabilité (logiciel TALREN).

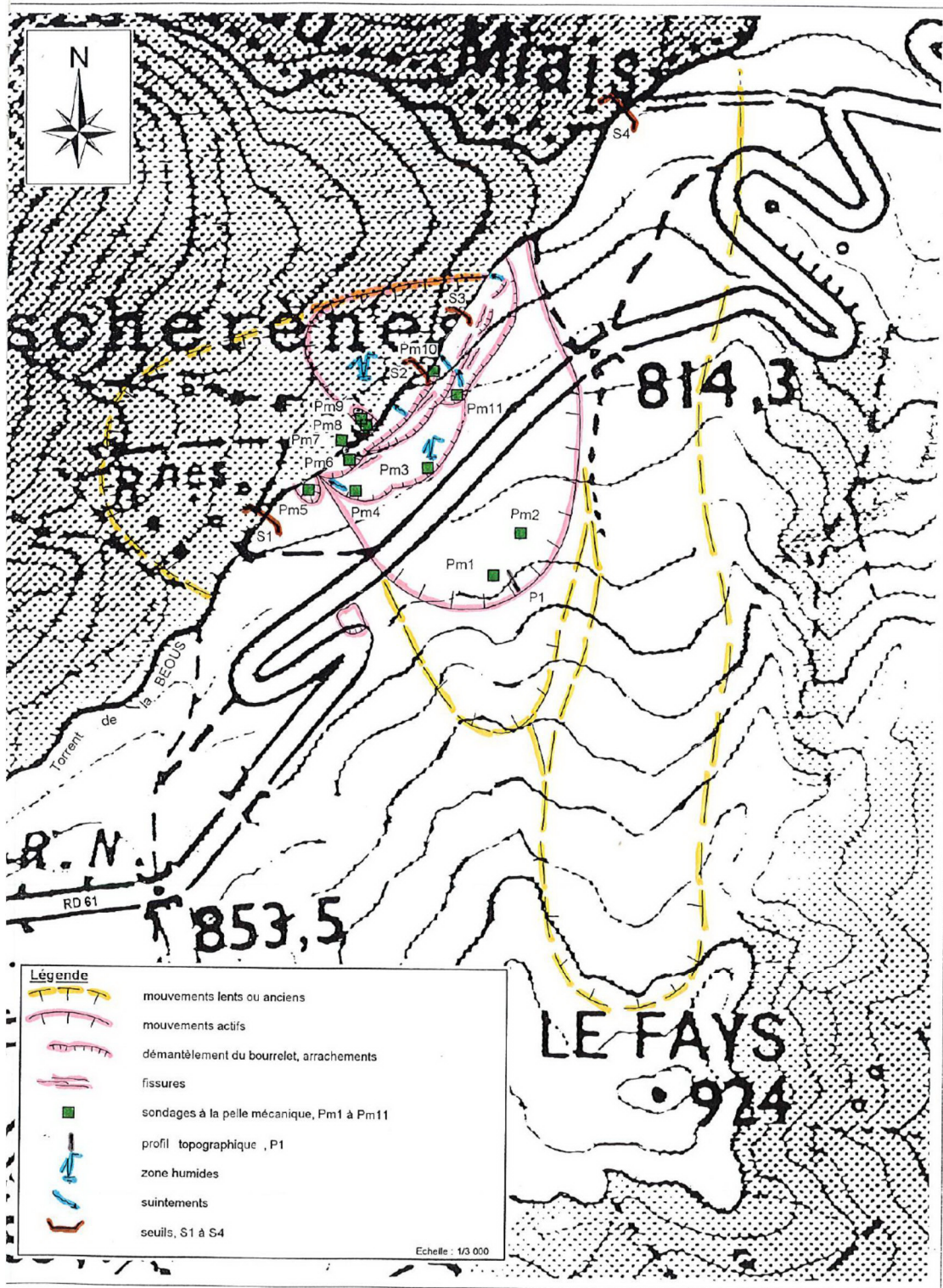


Figure 75 : Carte de localisation des phénomènes – étude IMSRN

ANNEXE 10

Historique des acquisitions des terrains domaniaux

L'historique des acquisitions ne suit pas toujours la constitution des périmètres. Les terrains pouvaient être acquis :

- à l'amiable suite à la DUP ;
- par expropriation du fait de la DUP ;
- à l'amiable au gré des opportunités puis inclus rétroactivement dans un futur périmètre de restauration ;
- à l'amiable en dehors du périmètre de restauration, et le rester.

Pour les séries qui nous concernent :

- la totalité des terrains de la première DUP ont été acquis dans les 20 années qui ont suivies ;
- seulement 25% des terrains de la deuxième DUP ont finalement été acquis avant la Grande Guerre.

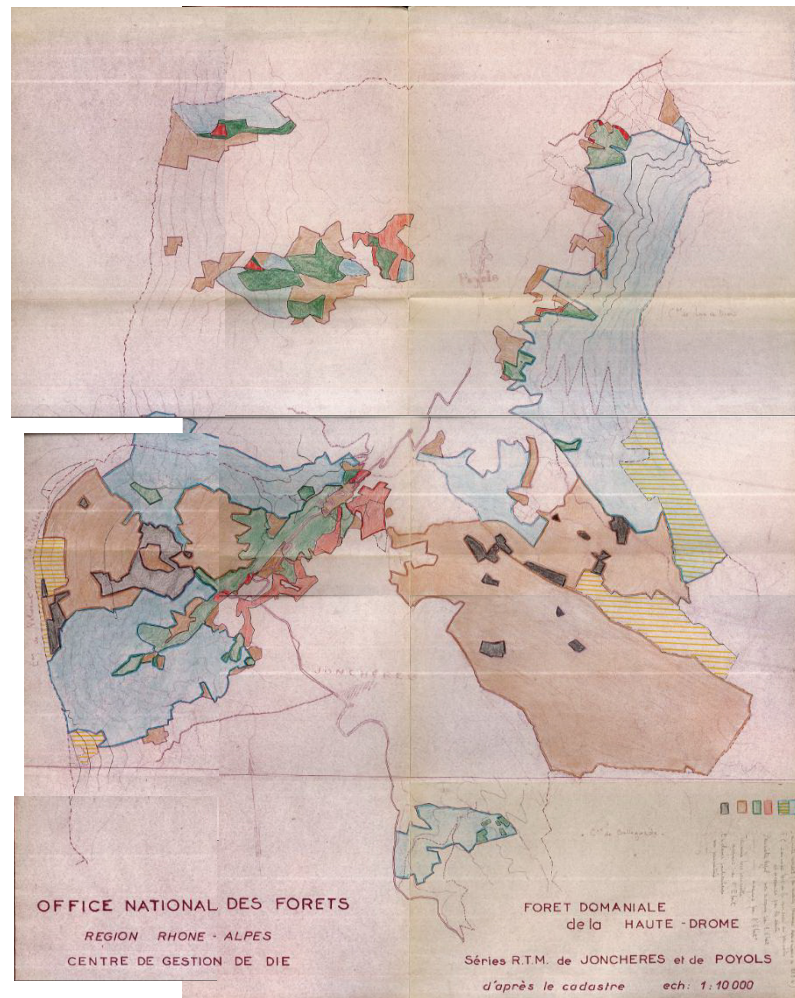
Le tableau suivant, issu de l'aménagement forestier de 1977, résume le rythme des acquisitions dans les communes concernées (dans et hors périmètres) :

Commune	de 1883 à 1900	de 1901 à 1925	de 1926 à 1953	de 1951 à 1976	après 1976	Surface actuelle	Surface de la série RTM
JONCHERES	165,02	4,99	216,23	80,37	18,23	484,84	160,92
POYOLS	271,24	120,96	7,58	5,79	10,02	415,59	284,85
Total	436,26	125,95	223,81	86,16	28,25	900,43	445,77
%	48,45%	13,99%	24,86%	9,57%	3,14%	100,00%	49,50%

Acquisitions de terrains dans les communes de Jonchères et de Poyols

Les acquisitions réalisées depuis 1976 sont exclusivement liées à des résorptions d'enclaves ou des simplifications de périmètre afin de faciliter la gestion.

La carte ci-dessous date de 1965. Elle représente les terrains domaniaux sur le bassin versant de la Béoux, à cette date.



Localisation des terrains domaniaux en 1965

Les terrains où s'exerce l'action RTM sont figurés en bleu non hachurés (terrains acquis, inclus dans le périmètre révisé de 1883) et en vert (terrains acquis dans le périmètre légal de la 2^{ème} DUP). Les terrains en marron sont des terrains domaniaux non RTM. Les terrains en rouge font partie du périmètre légal, mais n'ont pas été acquis.

ANNEXE 11

Contexte général de la création des périmètres RTM

I- Genèse de la Restauration des Terrains en Montagne

La Restauration des Terrains en Montagne (RTM) désigne l'ensemble des actions engagées par l'Etat visant « l'extinction des torrents, la régularisation du régime des cours d'eau, la mise en valeur des terrains instables et improductifs » (Tetreau, 1883).

Elle débute à la fin du XIX^{ème} siècle suite aux crues à répétition survenues sur les plus grandes rivières de France de 1845 à 1860 et dont la fréquence importante a été attribuée aux déboisements, aux abus et destructions de pâturages en Montagne ainsi qu'aux modifications apportées aux lits des rivières (endiguements, recalibrages) (Thiery, 1891). Citons par exemple les crues de l'Isère du XIX^{ème} siècle : crue du 18 novembre 1840 avec inondation du faubourg des trois cloîtres à Grenoble, crue de 1843 qui produisit l'inondation de la vallée du Drac, crue du 18 juin 1849 avec débordements à l'amont et à l'aval de Grenoble ; crue des 31 juillet et 1^{er} août 1851 qui inonda la vallée de Voreppe à Saint-Quentin ; crue du 31 mai 1856 qui inonda toute la ville de Grenoble et surtout la crue du 02 novembre 1859 où les eaux dépassèrent de plus de 2 m le niveau de crue déjà important de la crue de 1856.

Le lien de cause à effet effectué entre destruction de forêt et dérégularisation du régime des eaux repose sur une idéologie du reboisement dont le plus brillant défenseur fut Surell (1841). Dans son ouvrage « Les torrents des Hautes-Alpes », il émettait les quatre principes suivants : (1) la présence d'une forêt sur un sol empêche la formation d'un torrent ; (2) la destruction d'une forêt livre le sol en proie aux torrents ; (3) le développement des forêts provoque l'extinction des torrents ; (4) la chute des forêts revivifie les torrents. »

Les énoncés de Surell sur les effets du déboisement et sur le fonctionnement des bassins versants torrentiels⁴ sont d'une simplicité extrême qui explique en partie leur acceptation rapide et massive. Cependant, ceux traitant du rôle de la forêt sur la formation des torrents ont été largement nuancés, voire combattus par certains ingénieurs ou géographes⁵. Ainsi, M. Lechalas, Inspecteur général des Ponts et Chaussées écrit en introduction de l'ouvrage de Thiery (1891) : « tout cela est d'une simplicité frappante et a effectivement frappé tous les esprits ; on a vu les choses, parce qu'on ne s'embarassait pas des détails qui auraient pu nuire à la clarté de la vision, et il en a résulté une opinion générale, populaire, qui a amené en assez peu d'années les gens de la plaine, c'est-à-dire la majorité, à décider l'exécution de grands travaux dans les montagnes, fort souvent malgré les montagnards ».

La thèse développée par Surell sur le rôle protecteur de la forêt est sans nul doute à l'origine de la première loi sur le reboisement qui a été présentée devant le Parlement en 1847 avant d'être rejetée. La série d'inondations survenues entre 1845 et 1860 relança les débats et la loi de reboisement fut finalement promulguée le 28 juillet 1860. L'objectif de reboisement affiché était de 1,1 à 1,3 millions d'hectares (selon les différentes sources) ce qui peut être considéré comme très ambitieux. La loi intègre des mesures très coercitives ne laissant aucune place à la concertation avec les populations de montagne. Elle prévoit sur les périmètres délimités à l'initiative de l'administration des Eaux et Forêts l'expropriation pour cause d'utilité publique des propriétés privées. Pour les propriétés communales, l'expropriation n'est par contre pas autorisée. Les travaux de reboisement sont rendus possibles par une prise de possession par l'Etat des propriétés communales. Au terme des travaux réalisés par l'Etat, les communes se doivent de rembourser les sommes engagées ou d'abandonner la moitié de leurs propriétés.

Très logiquement, la loi de reboisement a suscité une opposition massive de la part des populations de montagne. Devant les difficultés de sa mise en application, l'Etat a été conduit à assouplir sa doctrine. Ainsi, la loi de gazonnement du 08 juin 1864 reconnaît les effets positifs de la végétation herbacée sur la stabilisation des sols et laisse la faculté aux communes de demander la substitution du gazonnement au reboisement.

⁴ La première partie de l'ouvrage de Surell décrit le fonctionnement des bassins versants torrentiels : érosion dans le bassin de réception, dépôt sur le cône de déjection, transit au niveau du canal d'écoulement.

⁵ Le déboisement des Alpes et ses conséquences sur les crues a fait l'objet d'un débat scientifique passionné entre M. Lenoble, géographe, et M. Mougin, grand nom de la RTM

Malgré cette inflexion, les deux lois sont remises en cause. Outre les résistances des populations locales, leur application s'avère être un échec. En effet, entre 1860 et 1870, 37 609 ha sont reboisés soit 4 179 ha/an. Au rythme de travaux de reboisement engagés sur cette décennie, il aurait fallu plus de 285 années pour atteindre l'objectif affiché de 1,2 millions d'hectares. D'autre part, les propos de M. Lechallas (1891) traduisent également une évolution dans les stratégies des ingénieurs. Il écrit : « nos forestiers se sont mis à l'œuvre et ont parfaitement rempli leur office spécial de planteurs ; mais ils sont ingénieurs aussi, et n'ont pas perdu de vue que le reboisement n'est qu'une partie de la question. » Car il n'est pas question de nier les effets dévastateurs des torrents à une échelle locale.

En décembre 1874, des travaux préparatoires du Parlement s'engagent alors sur un nouveau texte. Les discussions aboutissent sept années plus tard avec l'adoption de la loi de Restauration et de Conservation des Terrains de Montagne du 04 avril 1882. L'Etat opère un changement de stratégie, tant sur la forme que sur le fond. Sur le fond, il n'est plus question de reboisement systématique censé résoudre tous les problèmes d'érosion. L'article 1 de la loi spécifie en effet qu'« il est pourvu à la restauration et à la conservation des terrains en montagne, soit au moyen de travaux exécutés par l'Etat, ou par les propriétaires, avec subvention de l'Etat, soit au moyen de mesures de protection,(...). ». En ne définissant pas les types de travaux qui pourront être prescrits, le législateur laisse toute latitude à l'administration des Eaux et Forêts d'engager les mesures les plus efficaces (Tetreau, 1883). Sur la forme, les auteurs de la loi se sont préoccupés des intérêts des populations de montagne en apportant notamment des garanties sur la propriété privée. Ainsi, les travaux de restauration ne peuvent être effectués que s'ils sont rendus nécessaires par la dégradation du sol et par des dangers nés et actuels. Ceci restreint ainsi considérablement le droit d'initiative de l'administration des Eaux et forêts pour la fixation de périmètres de restauration.

Toutefois, devant les succès obtenus par l'administration des Eaux et Forêts durant les trente premières années de RTM, les forestiers obtiennent avec la loi préventive de 1913 la possibilité d'élargissement des Périmètres de Restauration aux zones où le danger est latent. Vu le contexte international, cette loi aura très peu d'impact (Michel-Villaz, 2004).

II- Les différentes périodes de la Restauration des Terrains en Montagne

A partir du vote de la loi de 1882, il est possible de découper la politique de Restauration de Terrains en Montagne en plusieurs périodes (Brugnot et Cassayre, 2003) :

1882-1914 correspond à l'âge d'or de la RTM. Selon Brugnot et Cassayre, « c'est pendant cette période que vont être réalisés la plus grande partie des travaux de restauration des terrains de montagne. Jugés à l'aune des technologies actuelles, on peut les qualifier de travaux pharaoniques, entendant par-là la mobilisation de moyens financiers et surtout humains considérables. On a, pendant cette époque, traité 1 100 torrents, une centaine de couloirs d'avalanches et plus de 100 glissements de terrain. L'effort de boisement s'est maintenu, même si les objectifs de la loi de 1860 ont dû rapidement être revus à la baisse. Les 177 périmètres RTM ont permis de traiter 300 000 hectares, sur lesquels 215 000 étaient déjà terminés en 1909. »

1914-1940 correspond à l'âge de la gestion. Nous reprenons encore ci-après les arguments de Brugnot et Cassayre : « la première guerre mondiale est suivie d'un essoufflement de la politique de restauration des terrains de montagne. Les effets, économiques et démographiques, de la guerre ont accéléré une émigration amorcée auparavant. En matière de politique RTM, on relève un fort ralentissement de la politique d'acquisition et la plupart des moyens sont consacrés à l'entretien des périmètres existants, dont on commence à entrevoir la charge importante que cela représente.

Ni la loi instaurant les forêts de protection en 1922, ni la loi créant le Fonds Forestier National en 1946 ne vont relancer la politique d'acquisition et de travaux "neufs", dont on peut fixer le terme en 1943, avec la création du dernier périmètre, celui du Vallespir. La seconde guerre mondiale va accélérer cette évolution et conduire à une réelle décadence, cette fois propre à notre pays. »

1940-1980 marque la décadence de la mise en œuvre de la politique RTM. Cette période est caractérisée par une diminution des crédits, une augmentation du coût de la main d'œuvre, un exode des territoires de montagne accompagné dans le même temps d'une mutation profonde des modes d'occupation de la montagne (développement touristique, principalement hivernal). Ces évolutions se traduisent par un vieillissement généralisé du parc d'ouvrages et par une densification des enjeux sur les cônes de déjection torrentiels.

Dans certains secteurs, la diminution des crédits est compensée par la construction d'ouvrages de correction torrentielle massifs en béton armé (exemples en Savoie : grand barrages sur la Ravoire de Pontamafrey, le Claret, le Nant Trouble,...).

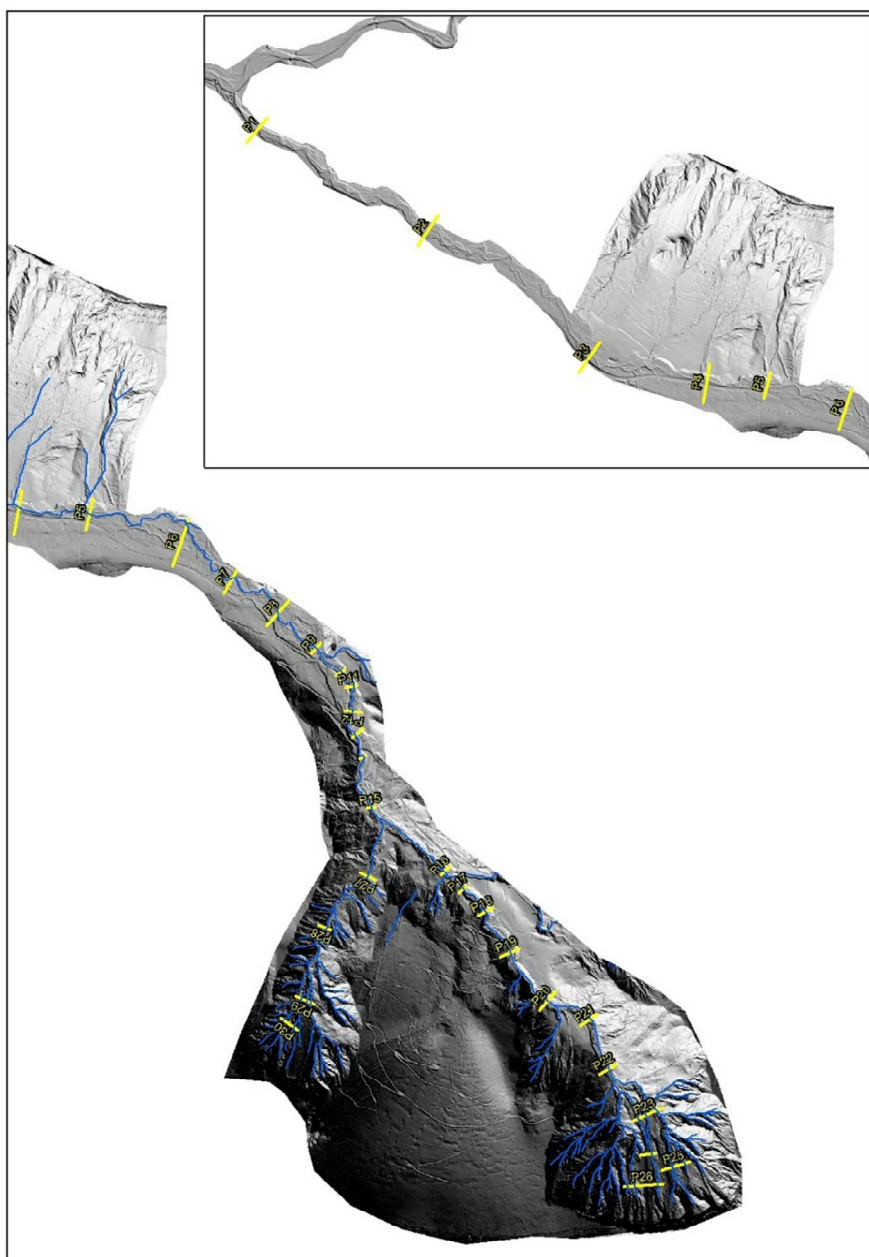
Enfin la période 1980-2010 correspond à l'âge de refondation des services RTM. Cette refondation intervient suite aux drames de Passy (74) et de Val d'Isère (73) en 1970 qui causèrent respectivement 71 et 39 victimes et qui mettent à jour de manière brutale un aménagement de la montagne lié au tourisme sans prise en compte des risques naturels. Il s'en suit un programme de prise en compte des risques dans l'urbanisme (CLPA, PZEA, ZERMOS,...) qui découlent sur des travaux de protection passive visant la protection directe des enjeux menacés.

ANNEXE 12

Comparaison brute de profils en travers issus des levés Lidar 2013 et 2017

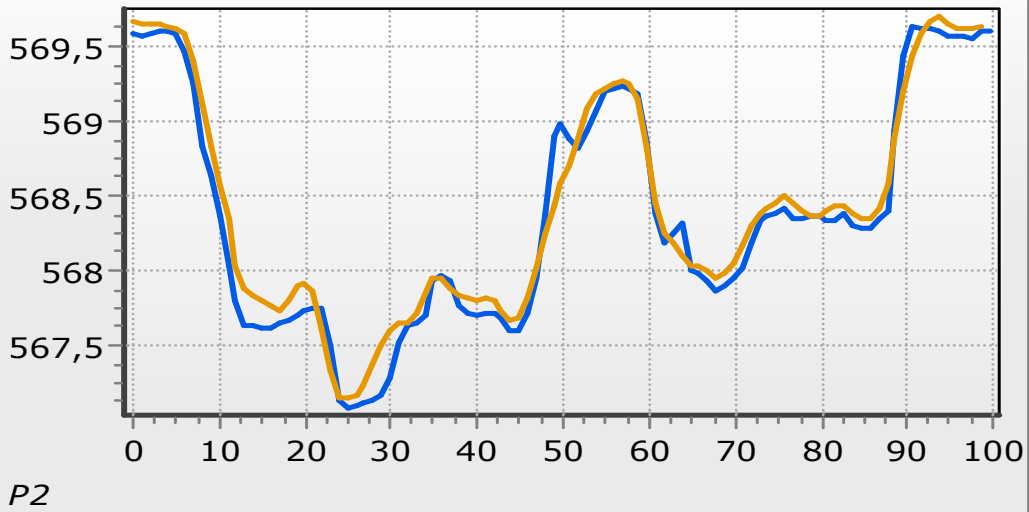
On présente ci-après une comparaison brute de profils en travers issus du levé Lidar 2013 utilisé pour cette étude et du nouveau levé transmis par le SMRD en mars 2018. Il s'agit d'une comparaison sans réalignement préalable des nuages de points. Pour plus de précision, et notamment pour l'établissement de bilans sédimentaires, l'étape de réalignement est primordiale. On se reportera pour plus d'informations au rapport méthodologique suivant :

https://www.researchgate.net/publication/315056839_METHODOLOGIE_DE_COMPARAIION_DE_DONNEES_T_OPGRAPHIQUES_A_HAUTE_RESOLUTION_Synthese_bibliographique_et_exemples_d'application

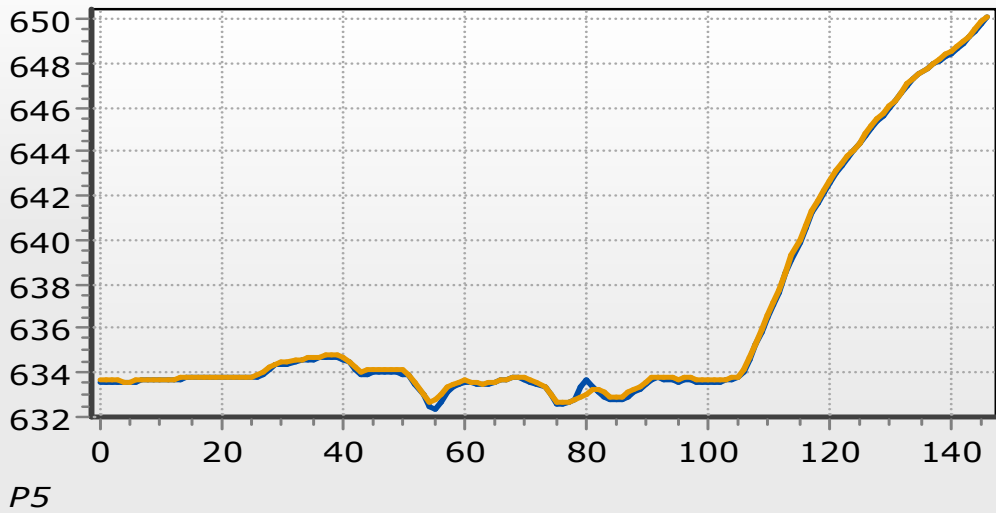


En jaune : profil 2017 – En bleu : profil 2013

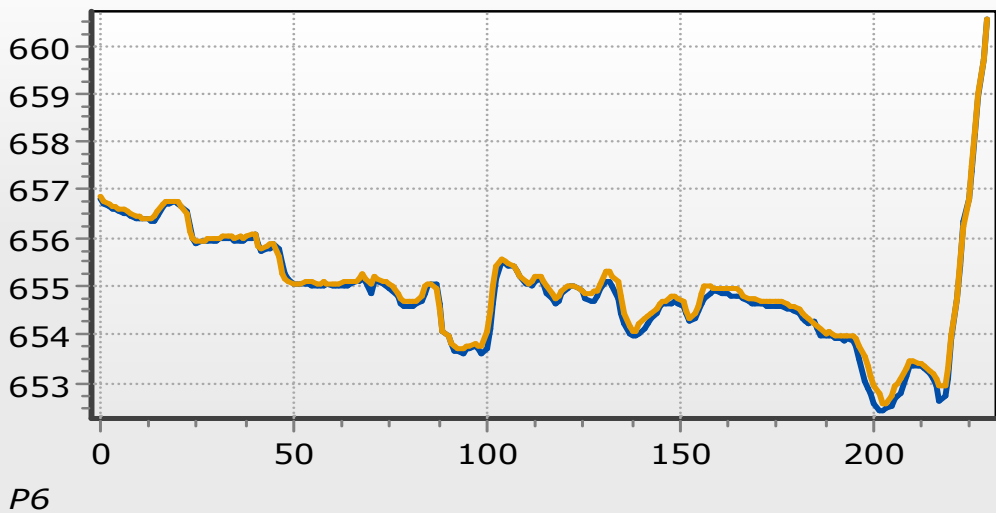
Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



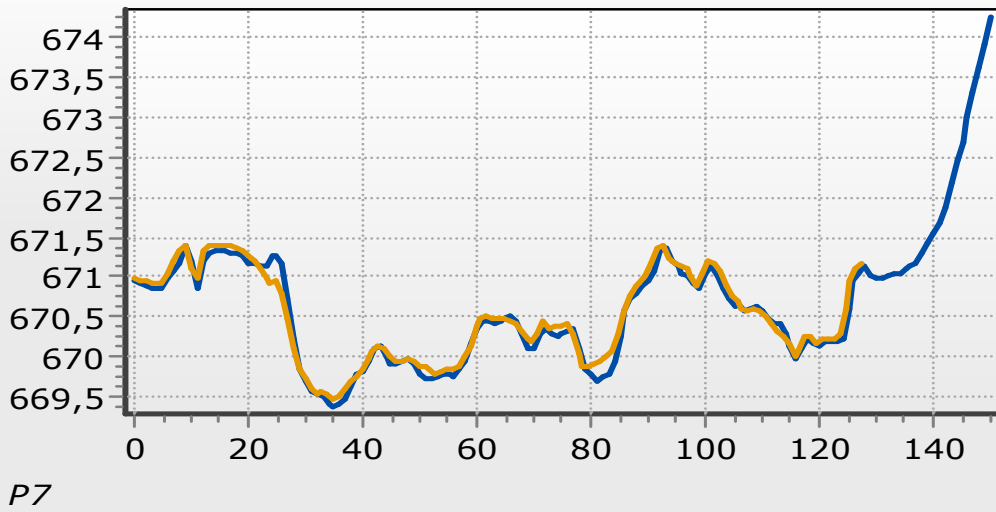
Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



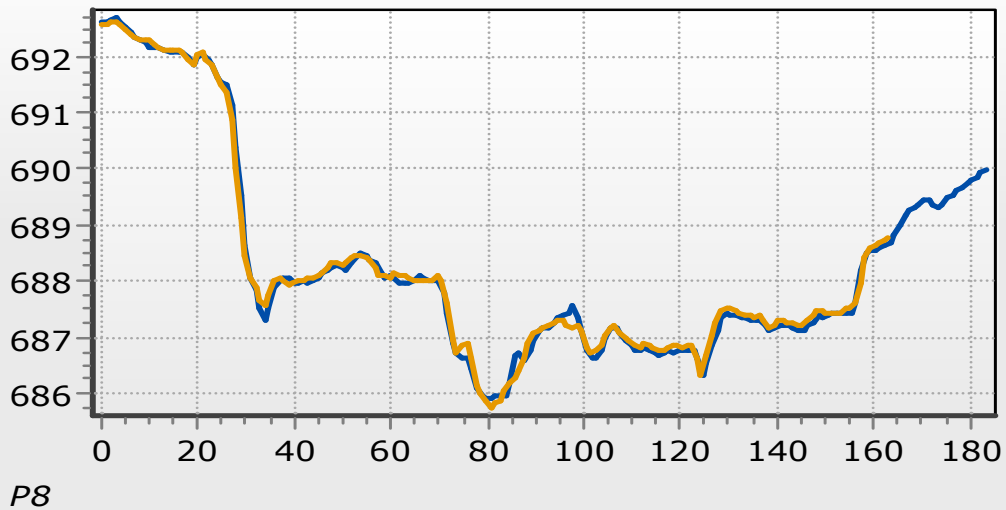
Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



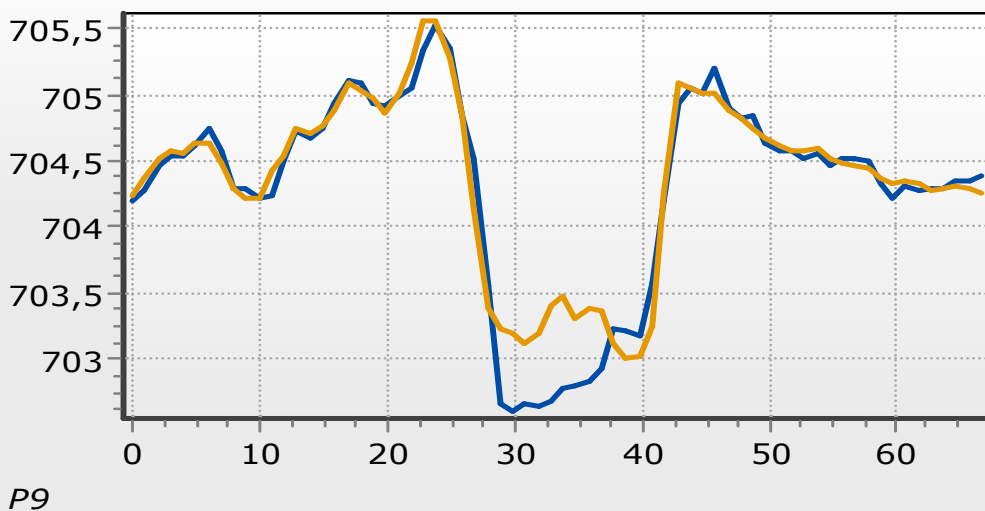
Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



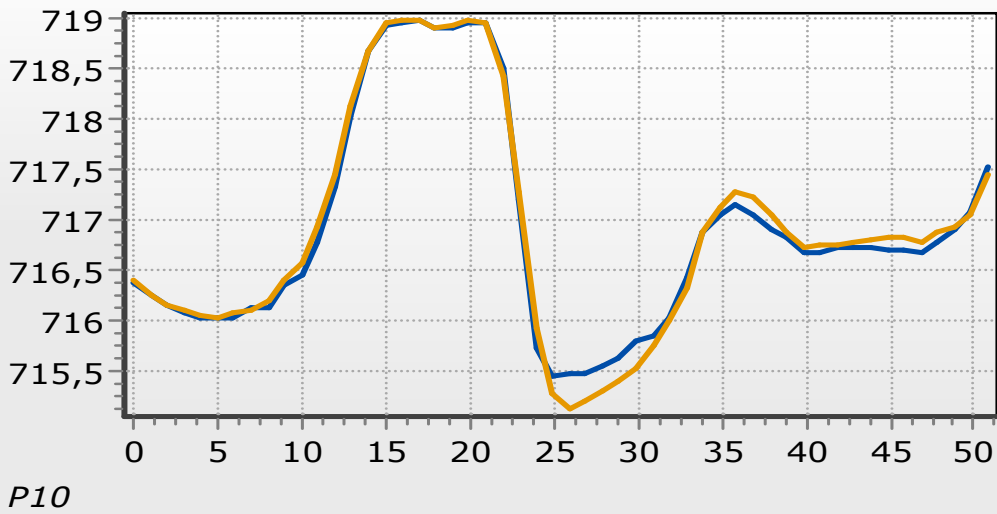
Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



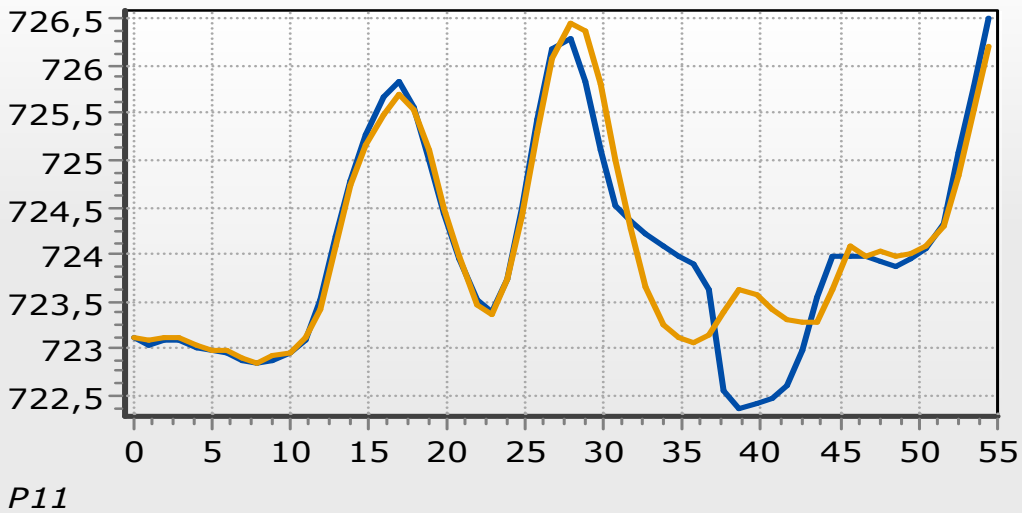
Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



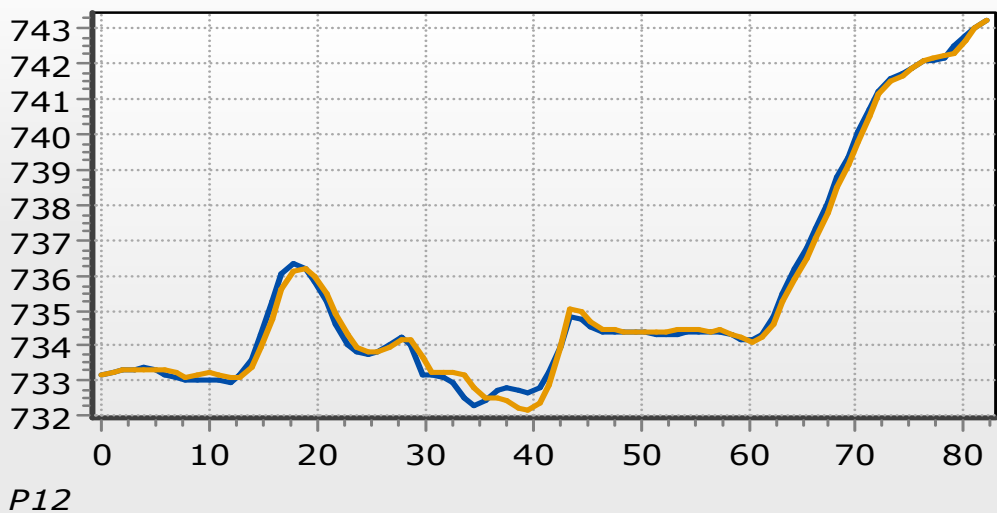
Profils en travers sur lidar 2013 et 2017

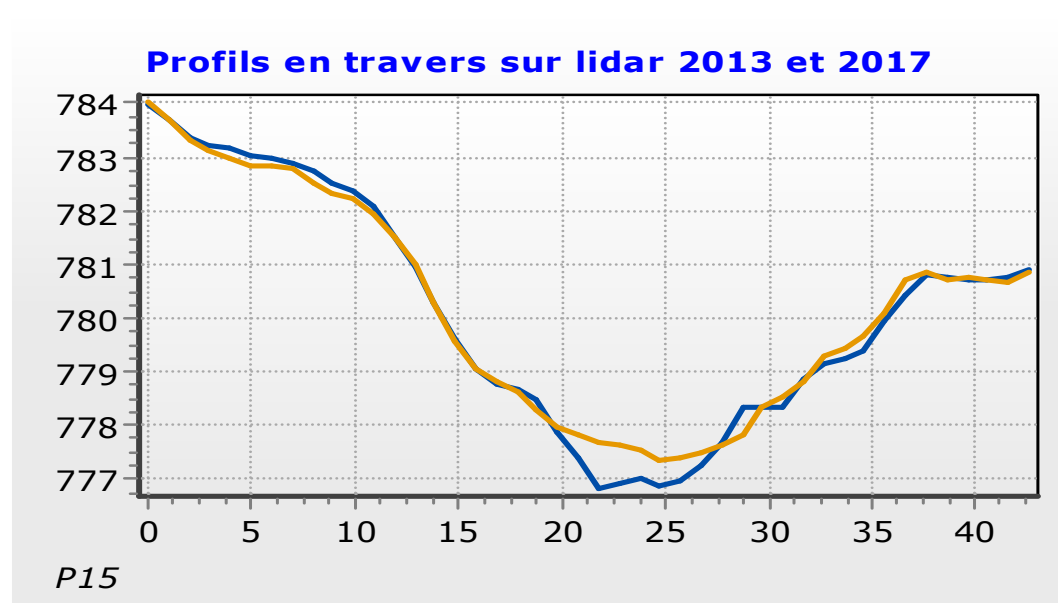
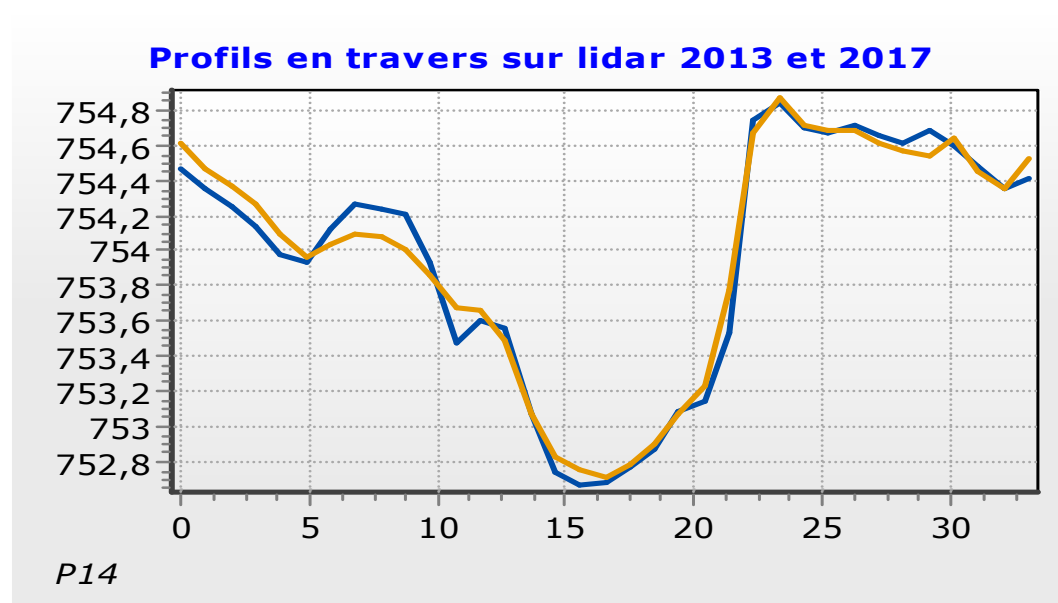
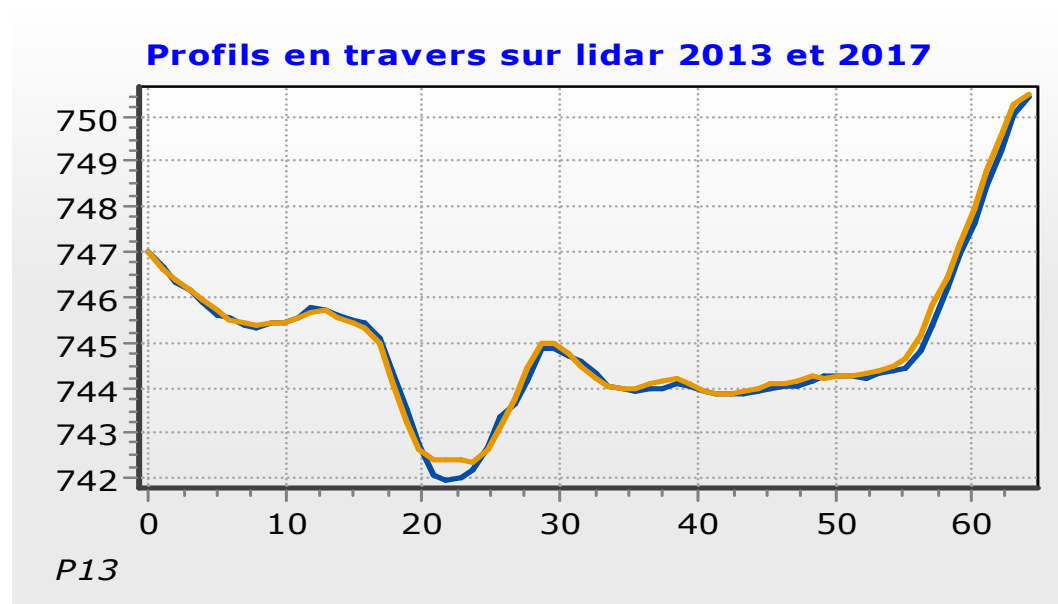


Profils en travers sur lidar 2013 et 2017

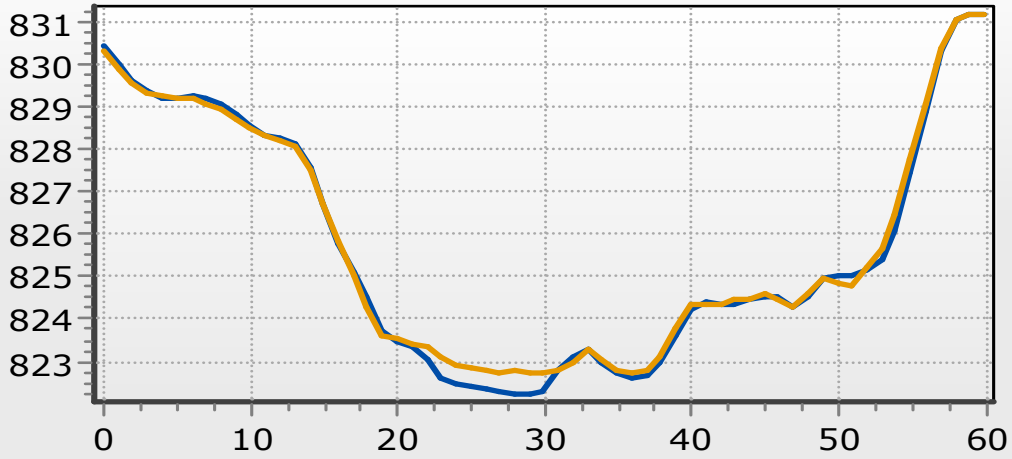


Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



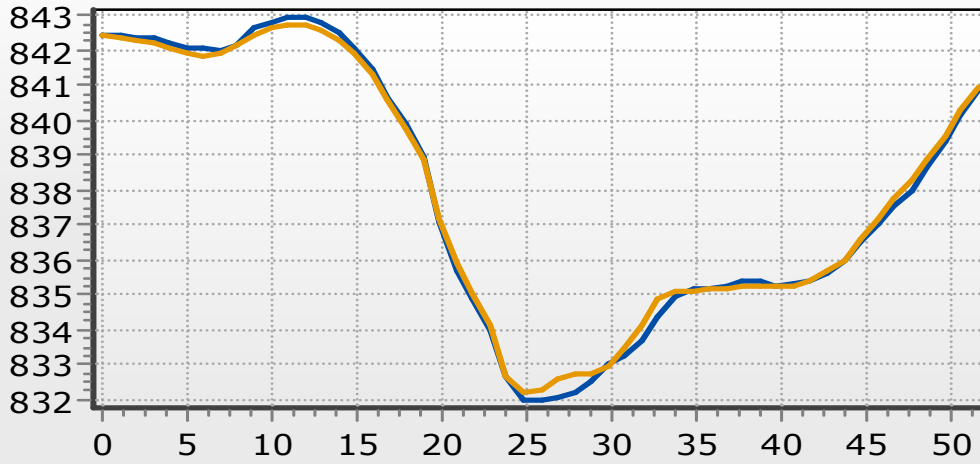


Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



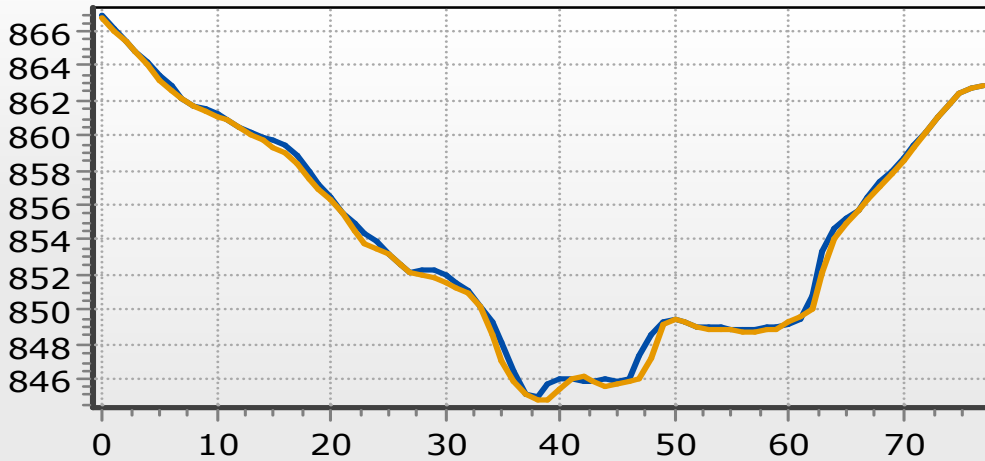
P16

Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



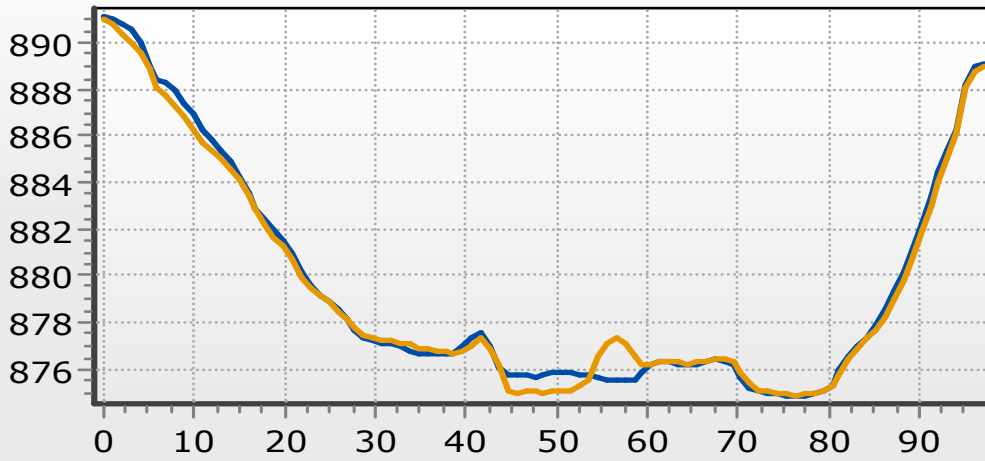
P17

Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



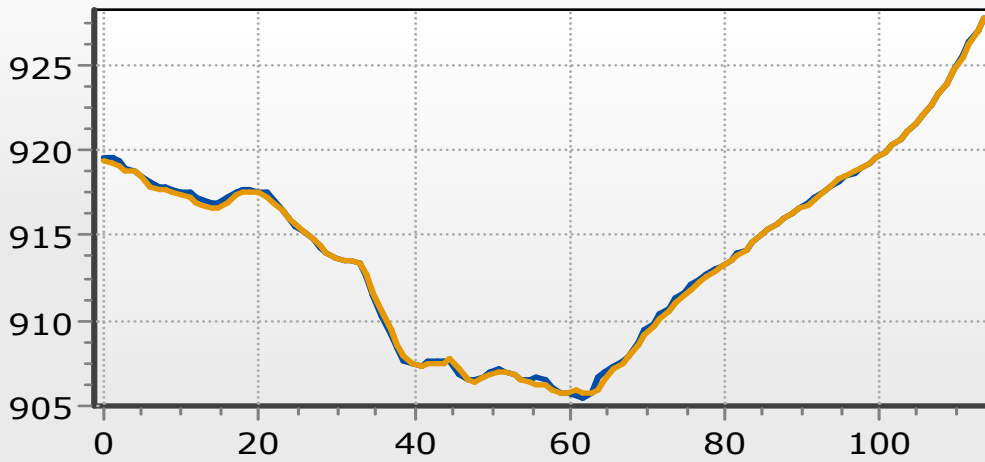
P18

Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



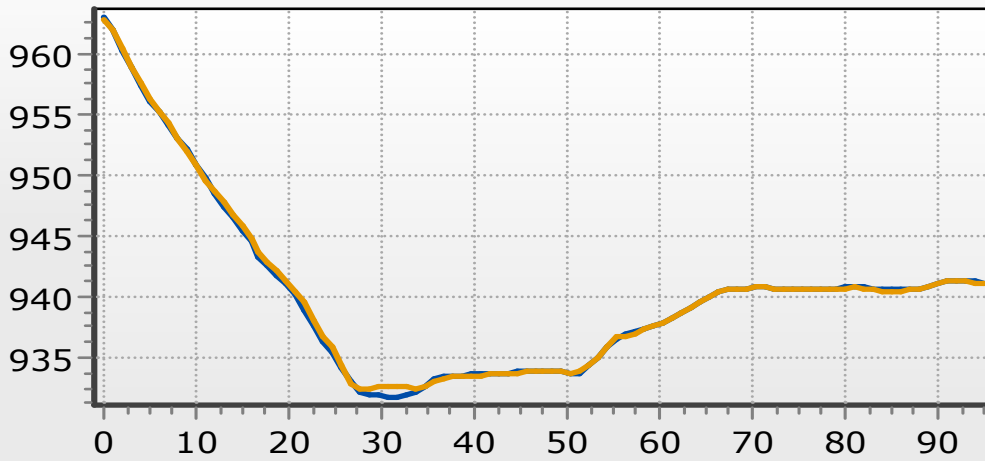
P19

Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



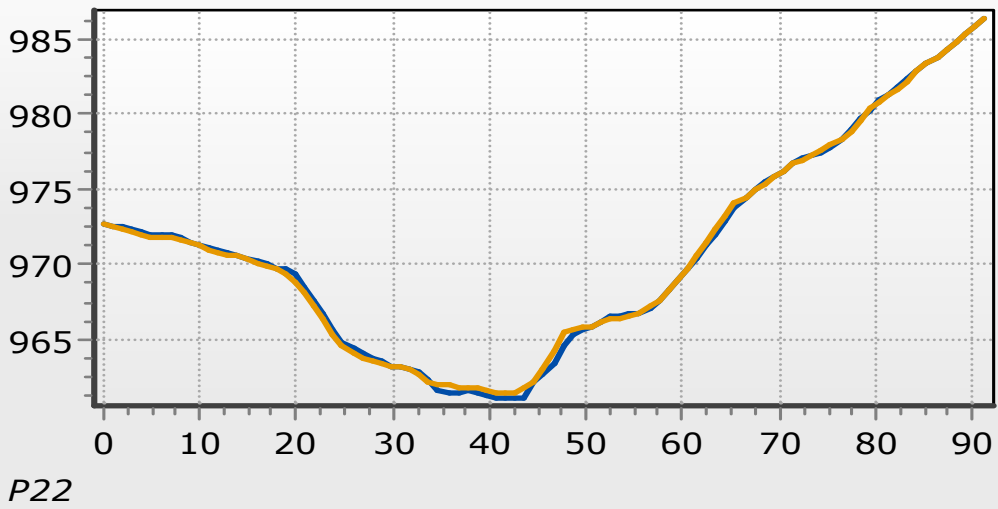
P20

Profils en travers sur lidar 2013 et 2017

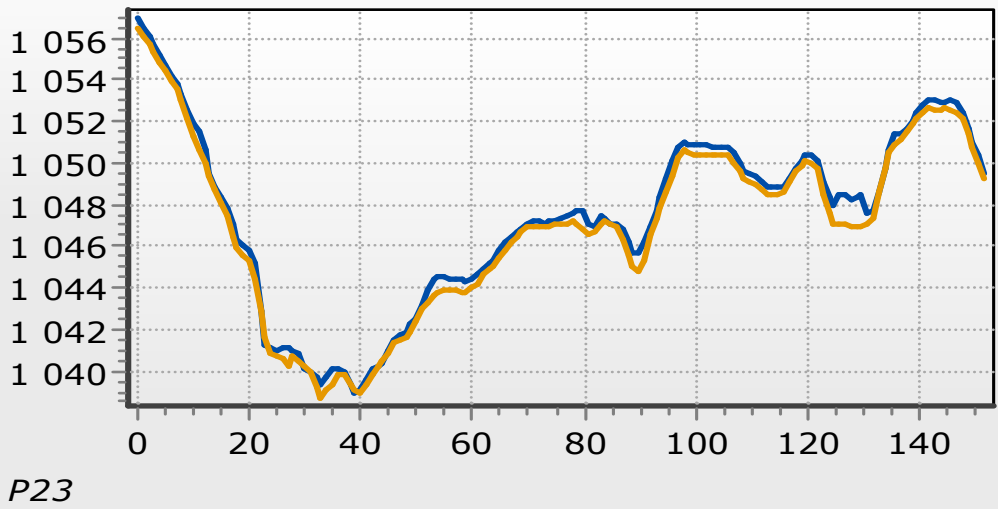


P21

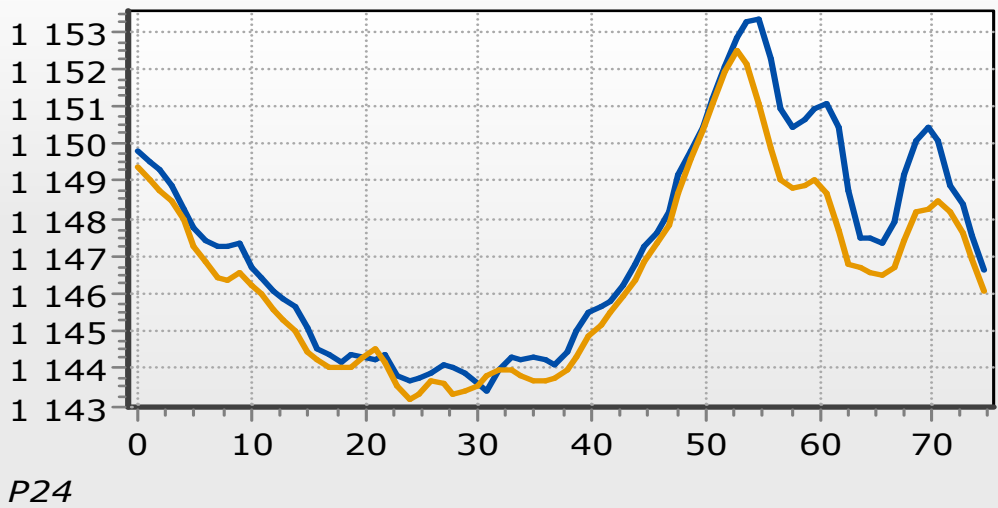
Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



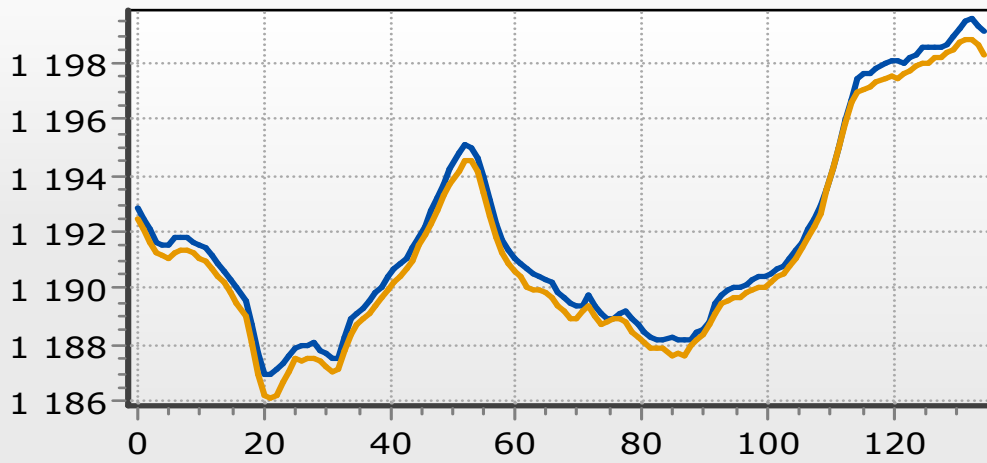
Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



Profils en travers sur lidar 2013 et 2017

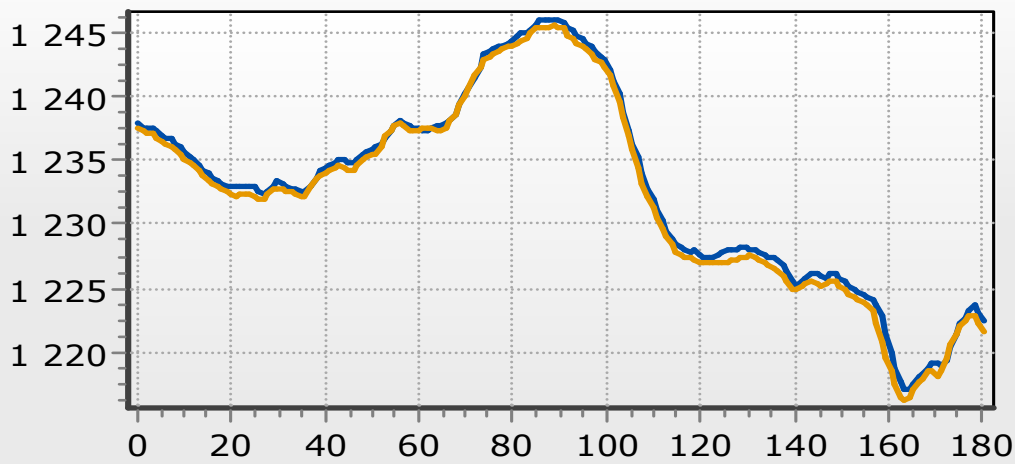


Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



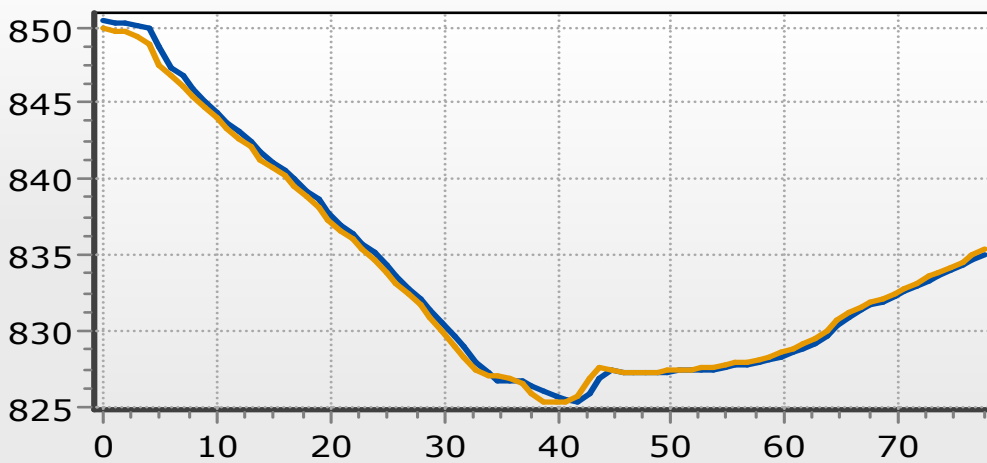
P25

Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



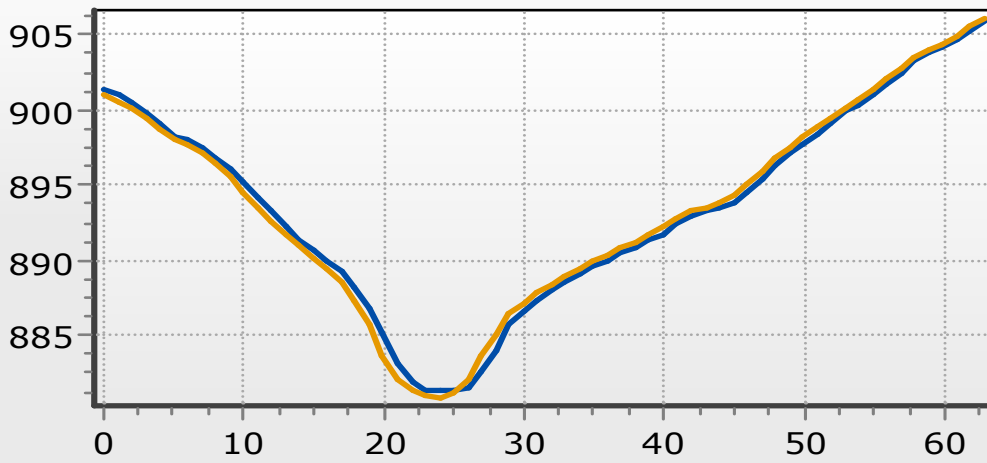
P26

Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



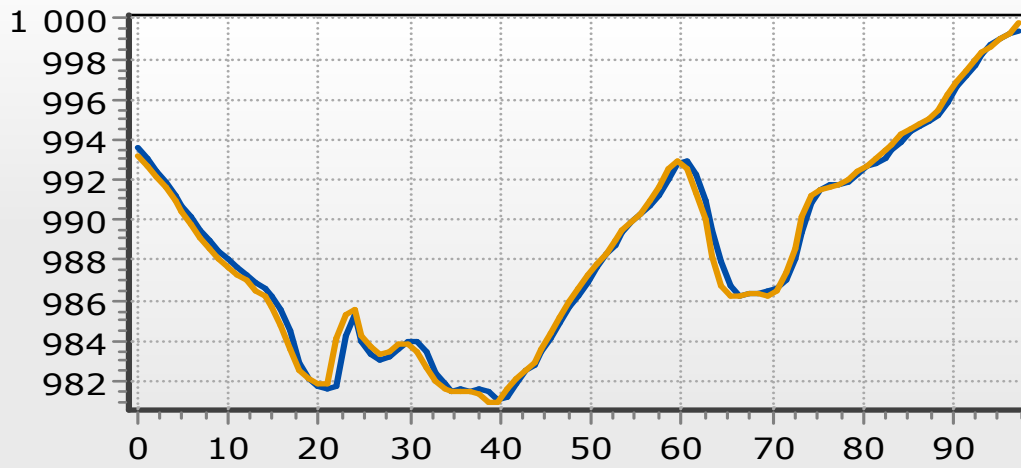
P27

Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



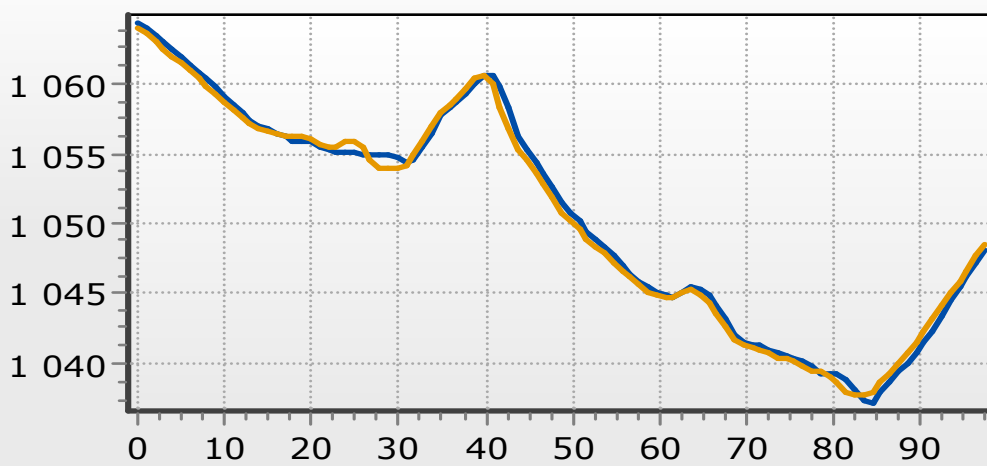
P28

Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



P29

Profils en travers sur lidar 2013 et 2017



P30

ANNEXE 13

Carte géomorphologique

(planche A0 hors texte)

Carte géomorphologique du ravin de Mias

