



SYNDICAT MIXTE DES BASSINS DE L'ESCOUTAY ET DU FRAYOL

Rapport
Phase 1

ÉTUDE DU FONCTIONNEMENT HYDROMORPHOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DE L'ESCOUTAY ET ÉLABORATION D'UN PLAN DE GESTION PHYSIQUE DES COURS D'EAU

Phase 1 : État des lieux – Diagnostic



ARI-16-021
HYDRETUDES
Mars 2017

Émetteur

HYDRETUDES

815 route de champ Farçon
74 370 ARGONAY
Tél. : 04.50.27.17.26
Fax : 04.50.27.25.64



Agréé digues et barrages

IV. – Dignes et petits barrages - études et diagnostics		
NUMERO D'AGREMENT	DESIGNATION DE L'ENTREPRISE OU DE L'ORGANISME AGREÉ : dignes et barrages - études et diagnostics	AGREÉ JUSQU'AU
14	HYDRETUDES	10 juin 2017

V. – Dignes et petits barrages - études, diagnostics et suivi des travaux		
NUMERO D'AGREMENT	DESIGNATION DE L'ENTREPRISE OU DE L'ORGANISME AGREÉ : dignes et petits barrages - études, diagnostics et suivi des travaux	AGREÉ JUSQU'AU
14	HYDRETUDES	10 juin 2017

Réf. affaire : ARI-16-021

Titre : Étude du fonctionnement hydromorphologique- du bassin versant de l'Escoutay et élaboration d'un plan de gestion physique des cours d'eau

Indice	Date	Description	Statut	Établi par	Vérifié par	Approuvé par
01	28/02/2017	Première diffusion Pièce jointe : Annexes + Atlas carto.	<input checked="" type="checkbox"/> Provisoire <input type="checkbox"/> Définitif	JMD-CM	BC	PM
02	28/03/2017	Prise en compte des remarques du SMBEF et de l'ONEMA	<input type="checkbox"/> Provisoire <input checked="" type="checkbox"/> Définitif	CM	JMD	BC

Directeur de projet : Benoit Chapon

Chef de projet : Jean-Manuel Deleuze

Maître d'Ouvrage : Syndicat Mixte des Bassins de l'Escoutay et du Frayol (SMBEF)

Document protégé, propriété exclusive d'HYDRETUDES. Ne peut être utilisé ou communiqué à des tiers à des fins autres que l'objet de l'étude commandée

SOMMAIRE

1	Préambule.....	12
1.1	Contexte et motivation de la mission.....	12
1.2	Replacer l'Escoutay dans son contexte dynamique	12
1.3	Une démarche scientifique	13
2	Rappel de quelques notions de l'hydromorphologie	14
2.1	L'équilibre dynamique	14
2.2	Les modes de transport des matériaux.....	15
2.3	L'évolution granulométrique amont → aval, des lits à blocs aux lits à graviers	16
2.4	La trajectoire géomorphologique d'un cours d'eau	18
2.5	Un contexte morphologique hérité	18
2.6	L'incision	20
2.7	Métamorphose fluviale et temporalité	22
2.8	L'évolution de la bande active.....	24
3	Présentation du bassin versant de l'Escoutay	25
3.1	Contexte physique	25
3.2	Contexte géologique	29
4	Sectorisation morphodynamique de l'Escoutay	36
4.1	Méthodologie.....	36
4.2	Description des tronçons	37
5	Analyse hydrologique	38
5.1	Objectifs	38
5.2	Présentation du modèle pluie-débit MESRI	38
5.3	Données de base nécessaires	39
5.4	Mise en œuvre du modèle pluie-débit MESRI.....	40
5.5	Détermination des hydrogrammes de crue de projet	44
5.6	Détermination des courbes de débits classés	50
6	Analyse de la trajectoire géomorphologique de l'Escoutay	54
7	Héritage géomorphologique de l'Escoutay	56
7.1	Modifications hydroclimatiques	56
7.2	Modifications anthropiques	57
7.3	Analyse diachronique	66
8	Fonctionnement dynamique de l'Escoutay	77
8.1	État de la recharge sédimentaire	77
8.2	Capacité de charriage de l'Escoutay	91
8.3	Bilan sédimentaire semi-quantitatif de l'Escoutay	98

9	Évolution dynamique de l'Escoutay	100
9.1	Objectifs et méthodologie.....	100
9.2	Conditions de modélisation.....	100
9.3	Résultats.....	100
10	Synthèse du diagnostic hydromorphologique.....	102
11	Le suivi dynamique de l'Escoutay.....	103
11.1	Le suivi métrologique	103
11.2	Éléments du suivi dynamique de l'Escoutay	104
11.3	Une vision globale grâce au suivi dynamique	104
12	Espaces de bon fonctionnement	106
12.1	Principe et méthodologie	106
12.2	Style fluvial de référence	107
12.3	Espace de bon fonctionnement optimal	107
12.4	Espace de bon fonctionnement nécessaire	111
13	Glossaire.....	115
14	Références bibliographiques.....	122

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Bancs dans la zone d'accumulation de Saint-Alban avec basalte (grains foncés).....	12
Figure 2 : Démarche globale utilisée pour analyser la trajectoire géomorphologique de l'Escoutay.....	13
Figure 3 : Les trois zones fonctionnelles d'un cours d'eau (d'après Sear & Newson, 1993)	14
Figure 4 : Représentation du principe d'équilibre d'après Lane (1955) et Borland (1960)	15
Figure 5 : Schéma montrant les modes de transport solide	16
Figure 6 : Gradient morphologique des lits fluviaux	17
Figure 7 : Les trois composantes de la trajectoire géomorphologique d'un cours d'eau	18
Figure 8 : Évolution de la fourniture sédimentaire en fonction du climat.....	19
Figure 9 : Réponse temporelle à une perturbation suivant l'impact sur le profil en long (Malavoi & Bravard, 2010 d'après Knighton, 1984)	22
Figure 10 : Temps de réponse d'un cours d'eau suite à une perturbation (d'après Knighton, 1984) ...	23
Figure 11 : Exemple de trajectoire géomorphologique perturbée suite à un déséquilibre sédimentaire lié aux métamorphoses hydroclimatiques et anthropiques	23
Figure 12 : Évolutions événementielle et tendancielle de la bande active	24
Figure 13 : Localisation du bassin versant de l'Escoutay.....	25
Figure 14 : Profil en long 2016 du lit de l'Escoutay depuis la confluence avec le Ribeyras.....	26
Figure 15 : Cartographie du relief du bassin versant de l'Escoutay.....	27
Figure 16 : Cartographie de l'occupation du sol du bassin versant de l'Escoutay (Source : Corine Land Cover 2012).....	28
Figure 17 : Ammonite.....	29
Figure 18 : Alluvions actuelles présentant un mélange de galets de basalte (galets foncés) et marneux et calcaires (galets clairs).....	30
Figure 19 : Carte géologique de l'Escoutay au 1/50 000 ^e (Source : Géoportail).....	31
Figure 20 : Cartographie de la résistance à l'érosion des formations sur lesquelles s'écoule l'Escoutay	34
Figure 21 : Coupe géologique réalisée le long du lit de l'Escoutay (exagération vertical de 2,9)	35
Figure 22 : Localisation des tronçons de l'Escoutay.....	36
Figure 23 : Synthèse montrant le principe de la modélisation hydrologique	38
Figure 24 : Construction du bassin versant de l'Escoutay et de son réseau hydrographique à partir du Modèle Numérique de Terrain et découpage en sous bassins versants.....	40
Figure 25 : Transfert de ruissellement décomposé en un parcours sur les versants (flèches blanches) puis dans le réseau hydrographique jusqu'à l'exutoire (flèches bleues)	41
Figure 26 : Cartographie des distances de parcours sur versant (à gauche) et dans le réseau hydrographique (à droite) de l'Escoutay.....	41
Figure 27 : Résultats du calage sur le débit de pointe décennal à Viviers	43
Figure 28 : Résultats du calage sur le débit de pointe centennal à Viviers	44
Figure 29 : Hydrogrammes de crue de projet d'occurrence 5 ans à l'exutoire des tronçons de l'Escoutay	46

Figure 30 : Hydrogrammes de crue de projet d'occurrence 5 ans à l'exutoire des affluents	46
Figure 31 : Hydrogrammes de crue de projet d'occurrence 10 ans à l'exutoire des tronçons de l'Escoutay	47
Figure 32 : Hydrogrammes de crue de projet d'occurrence 10 ans à l'exutoire des affluents	47
Figure 33 : Hydrogrammes de crue de projet d'occurrence 30 ans à l'exutoire des tronçons de l'Escoutay	48
Figure 34 : Hydrogrammes de crue de projet d'occurrence 30 ans à l'exutoire des affluents	48
Figure 35 : Hydrogrammes de crue de projet d'occurrence 100 ans à l'exutoire des tronçons de l'Escoutay	49
Figure 36 : Hydrogrammes de crue de projet d'occurrence 100 ans à l'exutoire des affluents.....	49
Figure 37 : Courbe de débits classés de la Cèze à Bessèges calculée sur 28 047 données	51
Figure 38 : Courbes de débits classés à l'exutoire des tronçons de l'Escoutay	53
Figure 39 : Courbes de débits classés des principaux affluents de l'Escoutay	53
Figure 40 : Méthodologie générale utilisée pour construire la trajectoire géomorphologique de l'Escoutay	54
Figure 41 : L'héritage géomorphologique d'un cours d'eau	56
Figure 42 : Localisation des perturbateurs anthropiques (à gauche) et géomorphologiques (à droite) selon leur nature et leur degré d'impact.....	58
Figure 43 : Perturbateurs géomorphologiques secondaires : affleurements rocheux (a) et seuil naturel (b) et perturbateurs anthropiques majeurs : seuil Lestrade (c) et seuil para fouille du pont de la D86 à Viviers (d).....	59
Figure 44 : Répartition des perturbateurs hydromorphologiques selon leur type et par tronçon	60
Figure 45 : Merlon végétalisé (à gauche) et l'Escoutay s'écoulant au pied du merlon (à droite)	62
Figure 46 : Falaise contraignant la divagation latérale de l'Escoutay	62
Figure 48 : Extrait du devis pour un projet de construction entre la RN86 et le quartier l'Eymieux à Viviers datant de 1932 (Source : Archives départementales de l'Ardèche, n°30530) indiquant la rivière de l'Escoutay comme lieu d'extraction des sables et graviers.....	63
Figure 48 : Extrait du projet définitif de la construction d'un pont à trois arches sur la rivière de l'Escoutay à St-Thomé datant de 1902 (Source : Archives départementales de l'Ardèche, n°30470)	63
Figure 49 : Prélèvements de matériaux autorisés dans l'Escoutay entre 1995 et 2008 (Source : DDAF, SIBE, ONEMA).....	64
Figure 50 : Répartition des prélèvements autorisés dans l'Escoutay entre 1995 et 2008 par catégorie d'usagers (Source : DDAF, SIBE, ONEMA).....	65
Figure 51 : Répartition des prélèvements autorisés dans l'Escoutay entre 1995 et 2008 par localisation (Source : DDAF, SIBE, ONEMA).....	65
Figure 52 : Superposition des bandes actives 1947 (jaune) et 2013 (bleu) au niveau de Viviers montrant les espaces perdus (hachures en rouge) et les espaces construits (hachures en vert) par rapport à 1947	67
Figure 53 : Évolution de la superficie de la bande active de l'Escoutay	68
Figure 54 : Évolution de la bande active de l'Escoutay en amont de Viviers entre 1947 et 1961. La bande activée par la crue de 1960 est bien visible et témoigne de l'effet morphogène de cette crue.....	68

Figure 55 : Superposition des bandes actives de 1947 (jaune), 2013 (bleu) et 2016 (rose) dans la traversée de Viviers (Fond de plan : Orthophographie août 2016)	69
Figure 56 : Superficies des espaces perdus et construits par rapport à l'année 1947	69
Figure 57 : Mobilité latérale de l'Escoutay depuis la confluence avec le Téoulemale	70
Figure 58 : Analyse diachronique en plan de l'Escoutay.....	71
Figure 59 : Comparaison des profils en long 1991 (CNR) et 2011 de l'Escoutay (Source : STADE-DDE, 2011)	73
Figure 60 : Comparaison des profils en long 1991 et 2016 de l'Escoutay depuis le pont la Roche à Alba-la-Romaine	75
Figure 61 : Confluences Vernet-Escoutay et Téoulemale-Escoutay (BD Ortho 2013)	78
Figure 62 : Vue aérienne de la confluence Nègue-Escoutay (BD Ortho 2013)	79
Figure 63 : Vue de la hauteur des matériaux accumulés sur le cône de déjection (à gauche) et vue des matériaux et du talus vif suite à la remobilisation des matériaux par l'Escoutay (à droite)	80
Figure 64 : Vue de la confluence, le mur constitue la rive gauche de la Nègue et on voit les accumulations de matériaux (à gauche) et vue aval du cône de déjection avec épis de protection en blocs de béton (à droite)	80
Figure 65 : Superficies érodées de l'Escoutay par tronçon	81
Figure 66 : Surfaces d'érosion présentes sur l'Escoutay.....	82
Figure 67 : Localisation des surfaces d'érosion en fonction de leur superficie	82
Figure 68 : Analyse des structures alluvionnaires présentes sur les tronçons ESC_1 à ESC_3	84
Figure 69 : Extrait de l'analyse des structures des structures alluvionnaires présentes sur le tronçon ESC_4.....	84
Figure 70 : Localisation des structures alluvionnaires de l'Escoutay selon le volume stocké et leur degré de mobilité.....	85
Figure 72 : Répartition du stock alluvial de l'Escoutay par stade d'évolution et par degré de mobilité. En vert : très mobile ; en orange : mobile et en rouge : quasi fixée	87
Figure 72 : Répartition du stock alluvial par tronçon et par degré de mobilité.....	88
Figure 73 : Structures alluvionnaires très mobile (encadré en vert), mobile (orange) en cours de végétalisation et quasi fixée (rouge) présentes sur l'Escoutay	88
Figure 75 : Tressage sur le Vénéon (38)	89
Figure 75 : Cartes de Cassini, de l'État-major et diachronie de l'Escoutay entre Saint-Alban et la confluence avec le Rhône	90
Figure 76 : Évolution du diamètre caractéristique d_{50} sur l'Escoutay.....	93
Figure 77 : Granulométrie du lit du Ribeyras avec quelques éléments grossiers basaltiques notés Ba. Le biofilm épilithique empêche de bien voir la couleur des grains en lit.	93
Figure 78 : Granulométrie du Vernet montrant quelques éléments basaltiques de faible taille (à gauche) et granulométrie du Téoulemale (à droite)	94
Figure 79 : Granulométrie de la Nègue en amont (à gauche) et en aval (à droite) de la confluence avec le Dardaillon. On note la présence de matériaux anguleux et de taille grossière.	94
Figure 80 : Substrat du lit du Dardaillon (à gauche) et vue générale du lit (à droite)	94
Figure 81 : Capacité annuelle de charriage de l'Escoutay et de ses principaux affluents	96

Figure 83 : Bilan sédimentaire semi-quantitatif de l'Escoutay.....	99
Figure 83 : Évolution probable du profil en long de l'Escoutay (variations altitudinales probables par rapport au levé de 2016) pour des crues d'occurrences faible et forte.....	101
Figure 84 : L'approche métrologique (suivi dynamique) et les trois approches.....	103
Figure 85 : Schéma synthétisant les différentes enveloppes à délimiter	106
Figure 86 : Concaténation des bandes actives sur la période 1947-2013. L'enveloppe extérieure correspond au périmètre morphologique optimal (Fond de plan : BD Ortho 2013).....	107
Figure 87 : Schéma d'une plaine alluviale type avec ses différentes unités géomorphologiques. Le lit mineur correspond à l'emprise des crues non débordantes, le lit moyen au champ d'inondation des crues fréquentes et le lit majeur au champ d'inondation des crues rares à exceptionnelles.	108
Figure 88 : Atlas des Zones Inondables de l'Escoutay distinguant les trois unités géomorphologiques (Fond de plan : BD Ortho 2013)	109
Figure 89 : Périmètre morphologique et hydraulique optimal de l'Escoutay (Fond de plan : BD Ortho 2013)	110
Figure 90 : Analyse de la largeur de mobilité de la bande active sur la période 2007-2013 pour la définition du périmètre morphologique nécessaire, BA signifiant bande active.....	112
Figure 91 : Périmètres morphologique et hydraulique nécessaire de l'Escoutay	113
Figure 92 : Espace de bon fonctionnement nécessaire à ajuster pour intégrer les annexes fluviales.....	114

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Hiatus entre le temps géomorphologique et le temps de gestion	23
Tableau 2 : Échelle de résistance à l'érosion de différentes roches	32
Tableau 3 : Description des formations traversées par l'Escoutay	33
Tableau 4 : Principales caractéristiques des tronçons morphodynamiques de l'Escoutay.....	37
Tableau 5 : Coefficients de Montana pour une durée de pluie de 6 à 24 heures au poste pluviométrique de Montélimar.....	39
Tableau 6 : Paramètres hydrologiques retenus pour les hydrogrammes de crue de projet.....	45
Tableau 7 : Synthèse des débits de pointe caractéristiques obtenus par modélisation hydrologique..	45
Tableau 8 : Synthèse des données exploitées	50
Tableau 9 : Courbe des débits classés de la Cèze à Bessèges.....	51
Tableau 10 : Débits classés extrapolés à l'Escoutay et à ses principaux affluents.....	52
Tableau 11 : Synthèse des investigations de terrain réalisées par HYDRETUDES	55
Tableau 12 : Évolutions hydroclimatiques et incidences probables sur l'Escoutay.....	57
Tableau 13 : Synthèse des perturbateurs hydromorphologiques recensés sur l'Escoutay	59
Tableau 14 : Synthèse du corsetage du lit de l'Escoutay par type	61
Tableau 15 : Synthèse du corsetage du lit de l'Escoutay par type et par tronçon	62
Tableau 16 : Photographies aériennes disponibles sur l'Escoutay.....	66
Tableau 17 : Comparaison des profils en long 1991-2011 pour les secteurs incisés (Source : STADE-DDE, 2011).....	74

Tableau 18 : Répartition des volumes de matériaux stockés dans l'Escoutay par tronçon	86
Tableau 19 : Comparaison entre les conditions de tressage et l'état du tronçon ESC_4 de l'Escoutay .	89
Tableau 20 : Diamètres caractéristiques de l'Escoutay et de ses principaux affluents	92
Tableau 21 : Paramètres d'entrée hydrauliques retenus	95
Tableau 22 : Test de sensibilité de la formule par rapport à la largeur	97
Tableau 23 : Suivi dynamique préconisé pour l'Escoutay	105

LISTE DES ENCARTS

Encart 1 : Les orogénèses.....	29
Encart 2 : Les périodes glaciaires du Quaternaire	30
Encart 3 : Échelle de dureté de Mohs.....	32
Encart 4 : Évolution de la bande active et crue.....	67
Encart 5 : Grandes Forces Hydrauliques.....	72
Encart 6 : Les structures alluvionnaires	83
Encart 7 : Dépôt-obstruction-défluviation	91

1 Préambule

1.1 Contexte et motivation de la mission

Le Syndicat Mixte des Bassins de l'Escoutay et du Frayol souhaite définir un plan de gestion du transport solide et les espaces de bon fonctionnement de l'Escoutay.

En effet, l'Escoutay a un fonctionnement particulier dit « cévenol » caractérisé par des étiages sévères, voire des assècs, et des crues aussi soudaines que violentes. Cette situation génère un fonctionnement dynamique particulier, la charge grossière transitant rapidement dans les zones à forte pente en tête de bassin versant et s'accumulant en aval dès que la pente diminue.

Dans sa partie amont, l'Escoutay s'écoule souvent directement sur le substratum, ce qui semble témoigner d'une incision, caractérisée par un décapage du plancher alluvial.



Figure 1 : Bancs dans la zone d'accumulation de Saint-Alban avec basalte (grains foncés)

Dans les zones d'accumulation en aval du bassin versant, les matériaux stockés se caractérisent par un mélange de matériaux d'origine sédimentaire et basaltique provenant de la coulée volcanique des Coirons en amont du bassin. Cet élément montre *a priori* la faiblesse de renouvellement du stock alluvial*, puisqu'une partie des matériaux présents dans les structures alluvionnaires est composée de basalte.

Ces différents éléments semblent être les manifestations d'un déséquilibre morphodynamique hérité (*i.e.* de dysfonctionnements sédimentaires durant depuis un certain temps), probablement liés à une anthropisation du cours d'eau (implantation de seuils, extractions de matériaux alluvionnaires...), mais également

à un tarissement sédimentaire directement imputable aux évolutions hydroclimatiques de ces cent cinquante dernières années. Les conséquences de l'évolution de l'Escoutay, par réajustements successifs lors des crues morphogènes, conduisent ainsi à de l'incision ou de l'érosion menaçant infrastructures, ouvrages d'art, zones habitées...

Il convient donc d'étudier le fonctionnement dynamique de l'Escoutay pour mieux comprendre cet héritage et appréhender ces dysfonctionnements, et ainsi construire un plan de gestion cohérent et adapté.

1.2 Replacer l'Escoutay dans son contexte dynamique

Pour comprendre le fonctionnement dynamique de l'Escoutay, il est absolument essentiel de le **replacer dans son contexte dynamique**. Cette mise en contexte dynamique doit apporter une nouvelle dimension à la fois dans la compréhension de l'héritage, du diagnostic fonctionnel et des solutions préconisées pour s'adapter au mieux au fonctionnement et à l'évolution dynamiques de l'Escoutay.

Il s'agit donc de remonter le passé récent pour analyser l'héritage de ce passé et son impact sur le fonctionnement actuel et pouvoir ainsi se projeter dans l'évolution du cours d'eau et anticiper sa gestion future.

Cette démarche permettant de replacer l'Escoutay dans son contexte dynamique s'appuie sur le concept de la **trajectoire géomorphologique** (au sens de Wiederkehr *et al.*, 2008) caractérisée par trois éléments en interrelations :

- **L'héritage géomorphologique**, c'est-à-dire le vécu (passé) du cours d'eau dont les derniers siècles, et particulièrement les dernières décennies, sont très importants, étant donné qu'ils influencent directement le présent ;

- Le **fonctionnement dynamique**, c'est à dire le fonctionnement actuel du cours qui pourrait évoluer très vite sous l'effet d'une crue morphogène ou de modifications anthropiques ;
- L'**évolution dynamique** qui reflètera les crues morphogènes subies et les aménagements et/ou modes de gestion générés par l'Homme.

Ainsi, le diagnostic hydromorphologique, première étape essentielle à l'élaboration du plan de gestion, repose sur l'analyse de chacune des composantes de la trajectoire géomorphologique de l'Escoutay. Le présent rapport a donc pour objet de présenter cette analyse selon la méthodologie globale présentée à la Figure 2. Il est à noter qu'un atlas cartographique complète ce rapport.

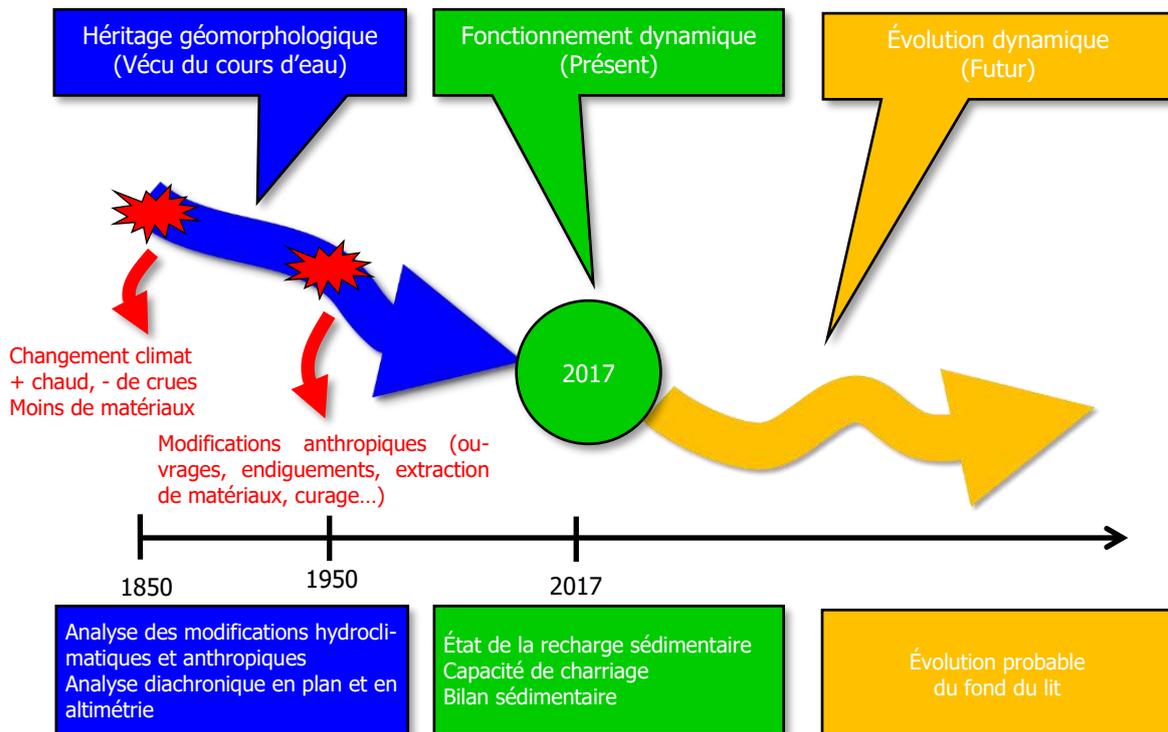


Figure 2 : Démarche globale utilisée pour analyser la trajectoire géomorphologique de l'Escoutay

1.3 Une démarche scientifique

L'hydromorphologie est une discipline relativement jeune qui est assez mal connue du grand public. Elle fait appel à des concepts et des connaissances assez divers et complexes qu'il convient d'intégrer et de clarifier dans la présente étude. Divers éléments complémentaires sont donc mis en œuvre dans le corps du texte pour favoriser sa compréhension ou encore conforter les affirmations faites :

- Des **encarts bleus** positionnés au gré des pages sont intégrés contre la marge de gauche, afin d'apporter des éclairages et des éléments de connaissance plus approfondis concernant des notions liées à l'hydromorphologie et à d'autres disciplines (géologie, hydrologie, climatologie, écologie...)
- Un **glossaire** disponible à la fin du rapport explique les termes techniques utilisés dans le texte suivi d'un astérisque ;
- Des **références bibliographiques** au format APA (APA, 2009) viennent étayer les propos techniques et scientifiques contenus dans le texte, respectant ainsi le principe d'Euclide qui expliquait : « *Ce qui est affirmé sans preuve peut être nié sans preuve.* »

2 Rappel de quelques notions de l'hydromorphologie

2.1 L'équilibre dynamique

Les cours d'eau constituent des zones de transfert, depuis l'amont vers l'aval, des débits et des matériaux érodés. Le transfert, aussi bien de l'eau que des matériaux, n'est pas constant dans le temps mais varie suivant les apports qui proviennent des pluies pour le débit liquide, et des glissements, éboulements, érosions et reprises d'anciens dépôts, pour le débit solide.

Les lits fluviaux **ajustent** donc leur **morphologie** en **réponse aux variations** de débits liquides et de la charge solide (Gilvear & Bravard, 1993).

La charge de fond transite ainsi depuis les zones de **production** primaire (têtes de bassin) vers l'aval (zone de **transfert** puis zone de **stockage** dans les grandes plaines alluviales), en passant par des phases de transfert/stockage/remobilisation dans le lit du cours d'eau sous diverses formes : cônes de déjection, lit, bancs actifs, bancs inactifs... (Sear & Newson, 1993).

Cette charge est également renforcée par des apports latéraux tout le long du cours d'eau (érosion latérale et affluents).

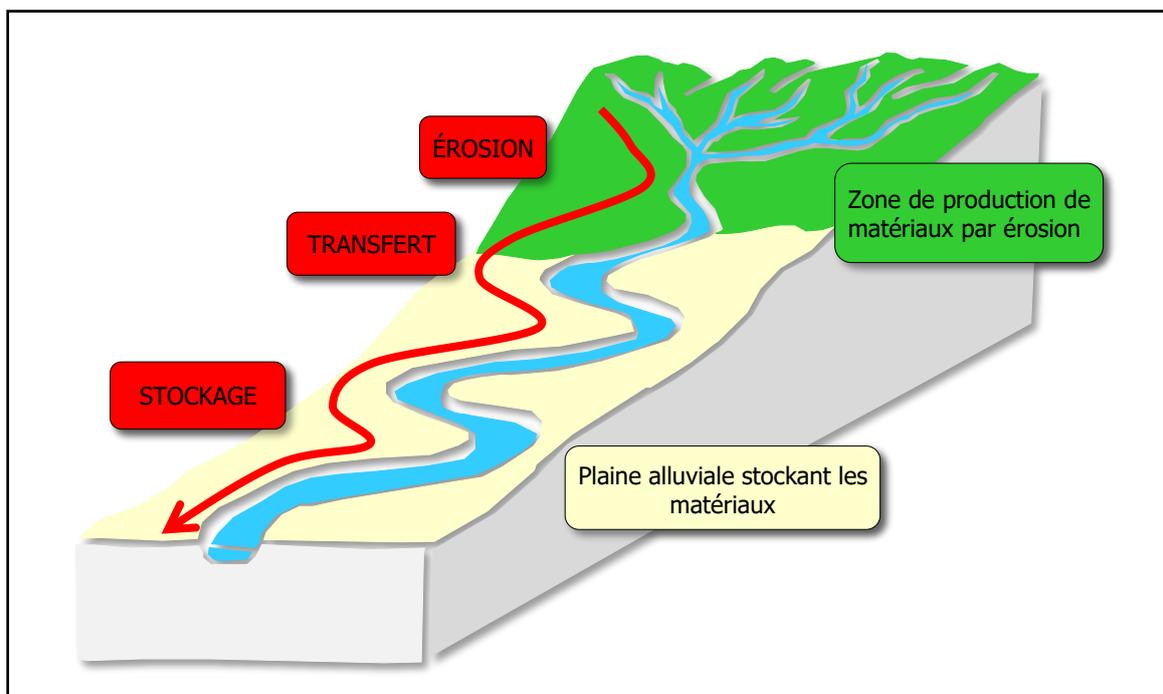


Figure 3 : Les trois zones fonctionnelles d'un cours d'eau (d'après Sear & Newson, 1993)

Il en résulte que la rivière est un **milieu vivant** en évolution permanente autour d'une **position d'équilibre**. Cette évolution permanente est ainsi influencée par des forçages de variables de contrôle et d'ajustements.

Les principes d'ajustement autour de cette position d'équilibre ont été expliqués dès la première partie du XX^{ème} siècle (Gilbert, 1914 ; Mackin, 1948), puis précisés par Lane (1955) et Borland (1960).

C'est d'ailleurs Borland qui présenta **l'équilibre dynamique** sous la forme d'une **balance** d'après les idées de Lane. Mais que ce soit à l'état naturel, après des aménagements ou des modifications (anthropiques, hydroclimatiques), l'hydrosystème évoluera aux niveaux physique et biologique. Ces changements peuvent être très lents mais également catastrophiques.

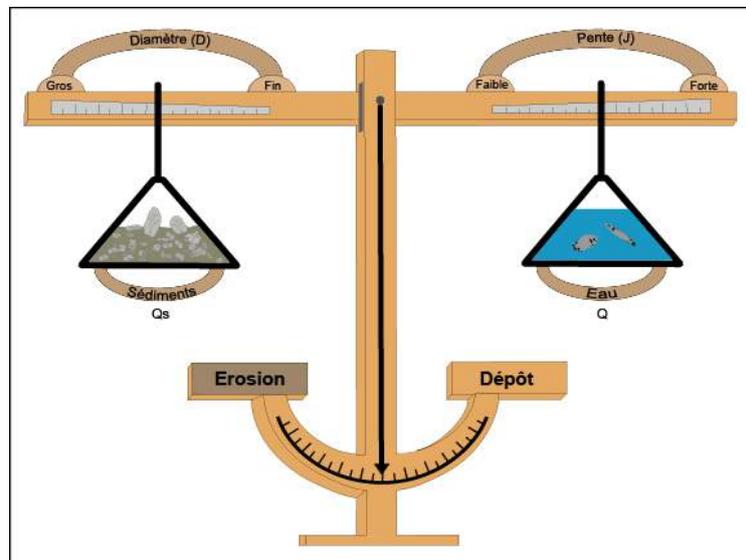


Figure 4 : Représentation du principe d'équilibre d'après Lane (1955) et Borland (1960)

Cet hydrosystème met en étroite relation des éléments physiques (géométrie en travers et en long du lit), hydrologiques (débits) et biologiques (colonisation des berges et du lit par les espèces végétales). Une modification d'un ou plusieurs de ces éléments entraîne un réajustement plus ou moins important des autres (Gilvear & Bravard, 1993).

En matière de dynamique sédimentaire, les principaux processus physiques qui permettent à la rivière de dissiper son énergie sont :

- Les débordements, permettant d'abaisser les vitesses en aval ;
- Les érosions, affectant les berges (érosion latérale) et le lit (érosion verticale) ;
- Le transport des sédiments (charriage et en suspension) ;
- La sédimentation (dépôts des matériaux transportés).

2.2 Les modes de transport des matériaux

Le transport des matériaux solides (ou sédiments) se produit de deux façons :

- Par **charriage** : transport des matériaux les plus grossiers au fond du lit ;
- Par **suspension** : transport dans la colonne d'eau des matériaux les plus fins lorsque le débit liquide est suffisamment important.

La limite « granulométrique » entre charriage et suspension a été fixée par Hjulström (1935) à 0,5 mm. Pour lui, au-dessus de cette limite, les matériaux transitent par charriage, en dessous, ils transitent en suspension.

En fait, cette limite est plutôt double : on considère qu'au-dessus de 8 mm le mode de transport dominant est le charriage (Bray & Church, 1980 ; Couvert *et al.*, 1999). La limite entre charriage et suspension n'est pas nette et le transport par charriage est graduel. Une même particule peut ainsi transiter successivement par charriage et suspension. On considère donc qu'entre 8 et 2 mm, il n'y a pas de mode de transport dominant. En effet, Moss (1972) et Middleton (1976) ont montré que les particules proches de 8 mm effectuent la plupart de leur transit en suspension, mais que c'est le charriage qui est le mode de transport dominant de ces particules.

La fraction grossière transite donc par charriage et la fraction fine par suspension. C'est cette fraction fine qui est colmatante, elle peut ainsi conduire à colmater des substrats intéressants pour le frai des espèces lithophiles* (au sens de Balon, 1975) et à indurer, voire cimenter, les matériaux grossiers en surface des lits (au sens de Archambaud, Giordano & Dumont, 2005).

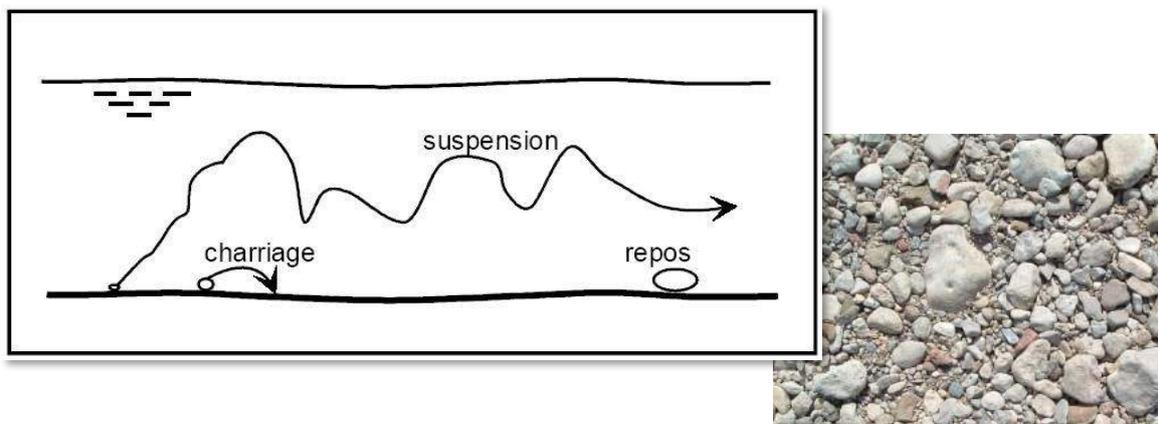


Figure 5 : Schéma montrant les modes de transport solide

Le débit solide conditionnant l'équilibre dynamique est donc constitué par les éléments grossiers transportés par charriage, les matières en suspension jouant un rôle négligeable. Ce débit solide et la morphologie du lit s'influencent mutuellement et s'ajustent ainsi l'un à l'autre (Paccaud & Roulier, 2010).

Toute modification de l'un ou l'autre des **variables de contrôle** (apports liquides et solides, caractéristiques du lit – profil en long, profil en travers – granulométrie, végétation...) provoque, par le biais des phénomènes de transport solide des **réajustements* morphologiques** (ou géométrique) jusqu'à ce qu'un nouvel **état d'équilibre** soit atteint. Joël Cacas (1987) résumait ces éléments par la formule suivante : « *La rivière est son propre architecte* ».

2.3 L'évolution granulométrique amont → aval, des lits à blocs aux lits à graviers

La diversité des cours d'eau dans les parties montagneuses est importante. Cette diversité est liée aux processus morphologiques qui s'adaptent à la capacité de transport et à la charge solide.

Cette diversité s'exprime sous la forme d'un **continuum amont-aval** (au sens de Vannote *et al.*, 1980), évoluant d'un excès de capacité de transport en amont (zones de production sédimentaire) à un excès de charge sédimentaire en aval (zones de stockage), passant par un système intermédiaire (zone de transfert). Le cours d'eau développe ainsi toute une stratégie de réponses morphologiques à divers pas de temps.

Dans les têtes de bassin versant à forte pente, les lits présentent successivement des formes en cascades, puis en step-pool et enfin en rapides (Montgomery & Buffington, 1997 ; Church & Zimmerman, 2007). Les pavages y sont caractérisés par des éléments grossiers (blocs et rochers) les structurant. C'est le domaine des **lits à blocs** particulièrement rugueux et relativement stables.

Puis, la pente et la puissance du cours d'eau diminuent et celui-ci ne peut plus mobiliser tous les apports amont. On entre dans le domaine des **lits à graviers** en « seuil-mouille-banc » où le stockage prédomine. Plus la charge est excédentaire, plus le cours d'eau développera des chenaux multiples (Church & Jones, 1982). On rencontre dans cette zone des **lits en tresses** (au sens de Tricart, 1977), à méandres et divagants avec des capacités de stockage/transfert importantes.

Plus bas dans les grandes plaines alluviales à faible pente, on rentre dans le domaine des **rivières à sables**.

Cette évolution granulométrique conditionne les faciès d'écoulement (au sens de Malavoi & Souchon, 2002), qui conditionnent eux-mêmes les habitats. On pourrait ainsi démontrer que le gradient granulométrique et l'évolution de la nature et de la composition granulométrique des lits fluviaux d'amont en aval, c'est-à-dire le compartiment physique du lit, constituent la base du *continuum* de la rivière (au sens de Vannote *et al.*, 1980).

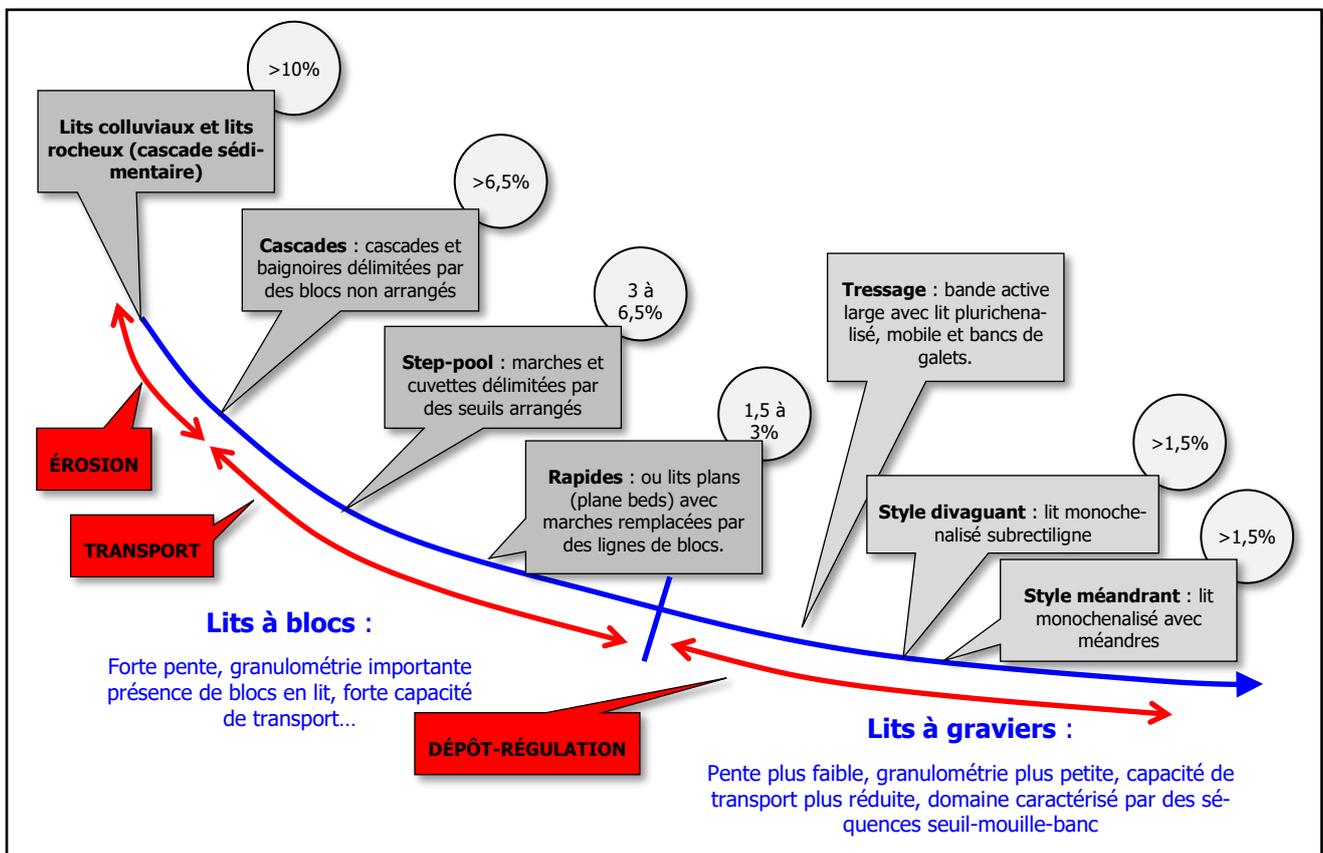


Figure 6 : Gradient morphologique des lits fluviaux

2.4 La trajectoire géomorphologique d'un cours d'eau

Un cours d'eau est une entité dynamique qui présente une trajectoire, c'est-à-dire dans le sens d'une courbe décrite dans le temps par cette entité. Elle intègre ainsi le passé, le présent et le futur et exprime la dynamique du cours d'eau en fonction de son évolution géomorphologique.

Ainsi, la trajectoire géomorphologique d'un cours d'eau se caractérise par trois composantes en interrelation :

- **L'héritage géomorphologique***, c'est-à-dire le vécu (passé) du cours d'eau, dont les derniers siècles, et particulièrement les dernières décennies, sont très importants étant donné qu'ils influencent directement le présent ;
- Le **fonctionnement dynamique***, qui correspond au fonctionnement actuel du cours d'eau et qui pourrait évoluer très vite sous l'effet d'une crue morphogène ou de modifications anthropiques ;
- **L'évolution dynamique*** qui est sous influence de l'héritage géomorphologique et qui reflètera les crues morphogènes subies et les aménagements et/ou modes de gestion générés par l'Homme.

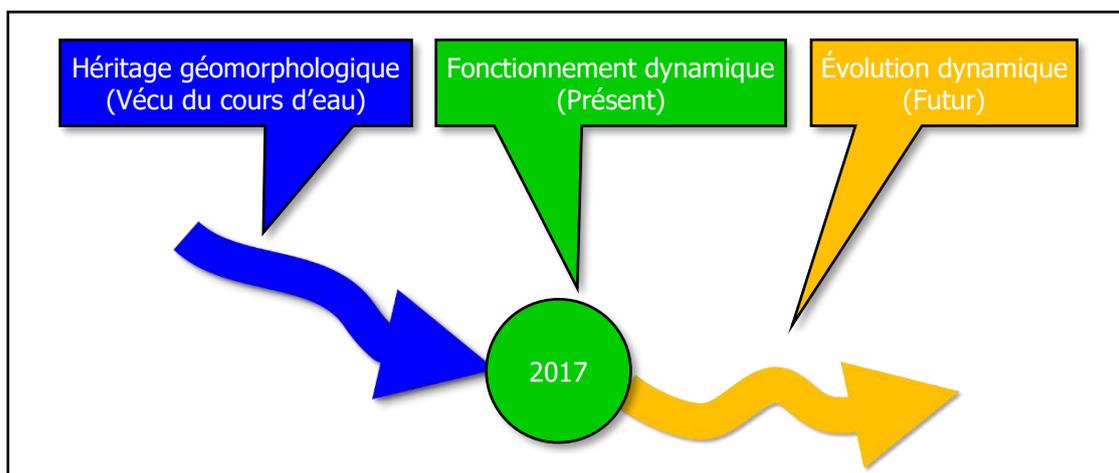


Figure 7 : Les trois composantes de la trajectoire géomorphologique d'un cours d'eau

2.5 Un contexte morphologique hérité

La trajectoire géomorphologique d'un cours d'eau est sous l'influence directe de forçages externes (au sens de Hack, 1960), en particulier les forçages hydroclimatiques et anthropiques.

A Forçage hydroclimatique

L'évolution dynamique des cours d'eau s'est façonnée depuis la fin de la dernière glaciation il y a 12 000 ans. Depuis cette époque, les aléas hydroclimatiques ont contrôlé l'évolution dynamique des bassins versants. Les cours d'eau ont alors ré-entaillé et remanié les matériaux fluvi-glaciaires issus des quatre périodes glaciaires du Quaternaire (entre -600 000 ans et -12 000 ans) lors desquelles les cours d'eau étaient plus puissants (Malavoi, Garnier, Landon, Recking & Baran, 2011).

Plus récemment, une période importante entre 1350 et 1850, appelée **Petit Âge Glaciaire** (PAG) a fortement modelé les bassins versants et les lits des cours d'eau (Le Roy Ladurie, 1967 ; Bravard *et al.*, 1989 ; Antoine, 2010 ; Antoine, 2011).

En effet, le Petit Âge Glaciaire présentait un **climat instable** avec une forte variabilité d'une année à l'autre, voire d'une saison à l'autre (Antoine, 2010). Il alternait des périodes d'**exacerbation climatique** (caractérisées par des épisodes de crues répétées et violentes sur plusieurs décennies) et des périodes d'accalmies assez courtes.

Ainsi, d'un point de vue hydrologique, cette période se caractérisait par une fréquence et une intensité marquées des **crues fortement morphogènes** dites « **Basse Fréquence Haute Magnitude** » (BFHM) (Arnaud-Fassetta & Fort, 2004), par rapport à la période actuelle. Cette fréquence/intensité supérieure des crues BFHM conduisait à une évolution morphogénique des cours d'eau avec notamment une **érosion** plus marquée, un **transport solide** conséquent et des apports de matériaux dans le lit importants. On peut ainsi parler de recharge sédimentaire quasiment en continu, lors de cette période, les planchers alluviaux se sont rechargés.

Durant le Petit Âge Glaciaire, les hivers étaient également plus rigoureux, ce qui a eu pour effet de limiter le développement de la végétation en montagne et donc d'y favoriser l'érosion. Les étés étaient plus pluvieux favorisant aussi l'érodabilité des versants. La charge grossière était donc plus abondante (Malavoi *et al.*, 2011).

La plupart des auteurs considèrent que le Petit Âge Glaciaire s'est terminé vers 1850, s'en est suivie une période transitoire de sortie du Petit Âge Glaciaire (1850-1949), marquée notamment par une baisse de la fréquence et de l'intensité des crues conduisant à une raréfaction des crues Basse Fréquence Haute Magnitude.

Depuis la fin du Petit Âge Glaciaire, on note de manière quasi généralisée une **incision* des lits fluviaux** (Bravard, 1994), résultant du **tarissement sédimentaire** après le Petit Âge Glaciaire (Landon, 2001 ; Malavoi *et al.*, 2011). En effet, après 1850, le retour à des conditions hydroclimatiques plus calmes, à un espacement et une moindre magnitude des crues Basse Fréquence Haute Magnitude a conduit à une très forte limitation de la charge grossière et a donc favorisé l'érosion verticale au détriment de l'érosion latérale, ainsi que la rétraction des bandes actives des cours d'eau avec également une diminution des zones en tresses.

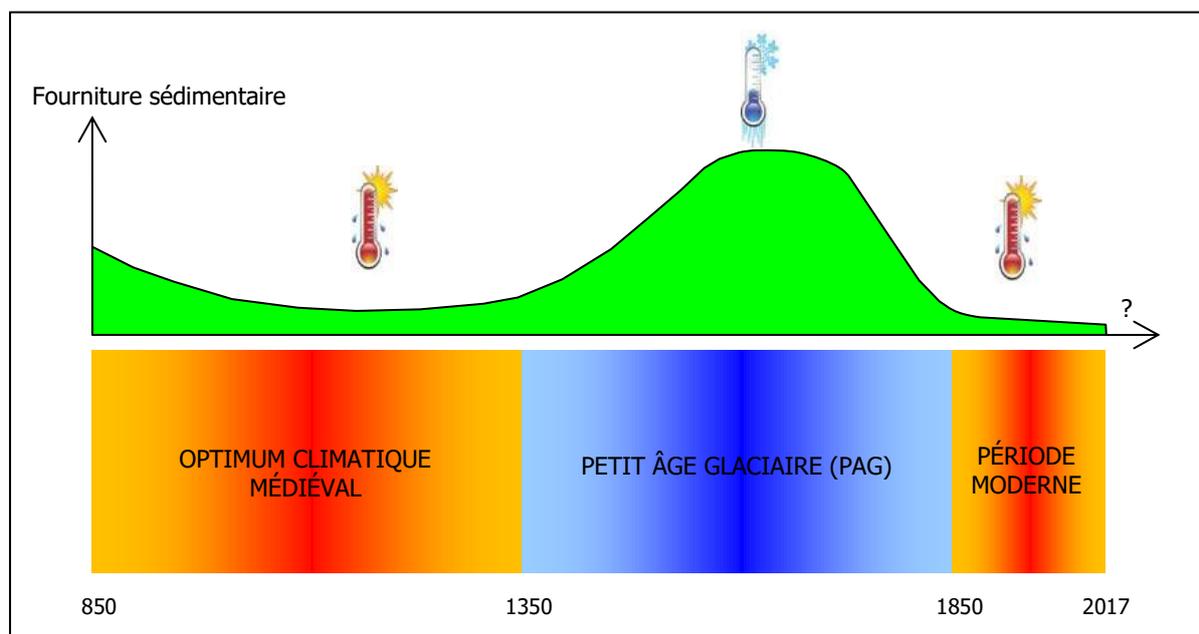


Figure 8 : Évolution de la fourniture sédimentaire en fonction du climat

B Forçages anthropiques

Les modifications liées à l'évolution hydroclimatique post-Petit Âge Glaciaire ne sont pas les seuls éléments contrôlant la trajectoire géomorphologique des cours d'eau. L'impact de certaines activités anthropiques contribuent également à limiter la charge sédimentaire et sont donc également importantes comme facteur favorisant l'incision des lits fluviaux. Elles ont ainsi contribué à amplifier le tarissement sédimentaire post-Petit Âge Glaciaire. On parle de forçage anthropique.

Les principales modifications anthropiques susceptibles d'impacter la trajectoire géomorphologique des cours d'eau sont les suivantes (liste non exhaustive) :

- Le **reboisement des parties hautes des bassins**, initié essentiellement par les services de Restauration des Terrains en Montagne (RTM) à partir des années 1860, a contribué à limiter les apports de charge grossière par stabilisation des versants (Bravard, 1994 ; Bravard, 2001 ; Malavoi, Garnier, Landon, Recking & Baran, 2011).
- La **déprise rurale** (ou agro-pastorale) en zone de montagne a permis la recolonisation des estives par la forêt, limitant l'érosion et la recharge sédimentaire des têtes de bassin (Malavoi, Garnier, Landon, Recking & Baran, 2011).
- Les **ouvrages transversaux** limitent également la fourniture sédimentaire, voire la bloquent totalement. Le déficit en matériaux à l'aval de l'ouvrage conduit ainsi à une incision du lit. On peut trouver soit un pavage grossier (Bray & Church, 1980) lié au fait que le cours d'eau ne peut plus remobiliser sa charge grossière et ne remobilise plus que les matériaux fins (Williams & Wolman, 1984 ; Kondolf, 1997), soit avoir un déficit généralisé en matériaux alluviaux (Malavoi *et al.*, 2011).
- Les **extractions de matériaux alluvionnaires** en lit mineur ont commencé à partir du milieu du XX^{ème} siècle (Bravard & Malavoi, 2000). Ces matériaux étaient extraits notamment pour la construction et ont généré une incision de certains cours d'eau pouvant dépasser les 10 mètres comme dans les Alpes avec 12 mètres sur l'Arve et 14 mètres sur le Fier (Peiry, Salvador & Nouguier, 1994).
- Les **curages** sont effectués pour améliorer l'écoulement des eaux ou limiter l'érosion que certains bancs peuvent engendrer sur les berges, en retirant du lit les dépôts sédimentaires. Ces méthodes mal employées peuvent altérer durablement le transport solide et favoriser également l'incision du lit. *A contrario* leur emploi dans le cadre d'une gestion sédimentaire basée sur une connaissance des phénomènes de transport solide peut être pertinent sur certains cours d'eau, notamment après des crues morphogènes.
- Les **Tronçons Court-Circuités** sont des sections de cours d'eau parfois longues qui se retrouvent avec des débits fortement diminués et une capacité de transport très limitée, les alluvions ne peuvent pratiquement plus être mobilisées. Dans ces tronçons court-circuités se forment alors des pavages grossiers (Bray & Church, 1980) liés à une absence de renouvellement de la charge de fond et à une très forte réduction des débits de crue. La ségrégation granulométrique remobilise seulement les particules fines laissant alors en lit une couche superficielle grossière formant le pavage.

2.6 L'incision

A Une tendance durable

L'incision d'un lit fluvial peut provoquer plusieurs effets pervers qui se cumulent et se renforcent (rétroaction positive au sens de Bravard & Petit, 1997) sans aucun phénomène de régulation, car le fonctionnement naturel (équilibre dynamique symbolisé par la balance de Lane) est dégradé, voire rompu, au moins à court et moyen termes.

Cette dégradation n'est toutefois pas identique sur l'ensemble du profil en long du cours d'eau. L'incision n'est pas générale, mais globalement généralisée, c'est une **tendance lourde**.

En effet, les discontinuités du *continuum* sédimentaire (Vannote *et al.*, 1980) ne sont pas régulièrement réparties et se font sentir sur une plus ou moins longue distance tant vers l'aval que vers l'amont. Il y a donc des zones excédentaires (s'exhaussant) et des zones déficitaires (s'incisant), mais la tendance générale pour le lit est à l'incision.

Cette dégradation du fonctionnement dynamique est la plupart du temps **irréversible naturellement** à court, voire à moyen, termes (Bravard, 1994). C'est donc une **évolution dynamique durable**.

En effet, la balance de Lane est bloquée durablement en position déséquilibrée, le blocage se renforçant au fil du temps par autodéstabilisation et la réponse morphologique à l'incision n'est plus adaptée.

Seules des modifications substantielles dans les apports et les conditions d'écoulements pourraient rééquilibrer ce processus dégradé. C'est pourquoi, il est nécessaire de mettre en place une stratégie d'accompagnement pour essayer d'apporter une réversibilité « anthropique » à ces phénomènes de dégradation.

Cette réversibilité ne pourra donc se faire que par un **forçage assisté du système**, basé sur un transfert des matériaux rétablissant une certaine continuité sédimentaire.

B Les effets de l'incision

Les effets de l'incision des lits fluviaux sont maintenant bien connus :

- **L'abaissement de la ligne d'eau** conduit à l'abaissement de la nappe d'accompagnement ce qui a un effet direct sur la forêt alluviale. Celle-ci se trouve déconnectée du cours d'eau qui pourtant est le moteur de son évolution.

En effet, cette évolution passe par des processus allogéniques* de régénération de la forêt alluviale lors des crues, et notamment l'arrachement des arbres sénescents (arbres du passé), laissant les arbres du présent, qui ralentissent ce flux, se développer (Piégay, Pautou & Ruffinoni, 2003).

Ainsi, la crue amène des sédiments, des nutriments et des diaspores* d'espèces pionnières qui colonisent les clairières dégagées et constituent le moteur de la régénération et de l'évolution de la forêt alluviale. Les premiers stades arborés de la communauté de bois tendre (saules, peupliers noirs, aulnes...) apparaissent alors (arbres potentiels).

Ainsi, l'incision par l'abaissement du toit de la nappe d'accompagnement et la diminution de la fréquence, voire de la disparition, des inondations dans la forêt alluviale, provoque des réajustements dans les communautés végétales de cette forêt et génère à terme une véritable métamorphose de la couverture végétale (Piégay, Pautou & Ruffinoni, 2003).

- **La stabilité des ouvrages d'art**, dont les fondations d'appui (culées, piles...) ont été certainement édifiées sans prendre en compte ce phénomène. Il en est de même pour les confortements de berge dont les fondations (semelles d'ancrage...) peuvent se trouver déstabilisées.
- **La déconnexion des structures alluvionnaires*** du stock alluvial* normalement facilement remobilisables. En effet, lorsque le lit n'est pas incisé, les structures alluvionnaires sont régulièrement mobilisées avant qu'elles ne se fixent par végétalisation (strate arborée). L'incision diminue, voire interdit, la remobilisation des structures alluvionnaires ce qui favorise alors leur végétalisation. C'est autant de matériaux qui sont soustraits au stock alluvial et qui contribuent à favoriser l'incision en n'apportant plus de charge solide localement, c'est un phénomène « d'auto-dérégulation » de l'équilibre sédimentaire (*cf.* Balance de Lane).

2.7 Métamorphose fluviale et temporalité

Sous nos latitudes, la trajectoire géomorphologique des cours d'eau est donc perturbée par une double **métamorphose fluviale** (au sens de Schumm, 1977 ; Bravard, 1989). En effet, les forçages hydroclimatiques et anthropiques ont modifié les variables de contrôle (le transit sédimentaire) et ont eu un tel impact que la morphologie et donc le fonctionnement des cours d'eau en ont été durablement modifiés.

Ces modifications sont tellement rapides et importantes qu'elles dépassent alors la **capacité de réajustement** des cours d'eau entraînant alors des changements irrémédiables, tels qu'une incision généralisée.

Le temps de réponse à ces forçages externes est plus ou moins long. Knighton (1984) a proposé un schéma spatio-temporel illustrant la réponse d'un cours d'eau à différents forçages (cf. Figure 9). Ce schéma met en relation la longueur du profil en long perturbé et les ajustements dans le temps permettant de retrouver un équilibre dynamique cohérent.

Toujours d'après Knighton (1984), la réponse dynamique aux différents forçages externes comprend plusieurs temps (cf. Figure 10).

- Un **temps de réaction** qui correspond à la période de mise en œuvre de réajustements du cours d'eau pour réactiver une dynamique fonctionnelle ;
- Un **temps de relaxation** qui correspond à la période nécessaire pour rechercher un nouvel équilibre intégrant les nouvelles conditions dynamiques.

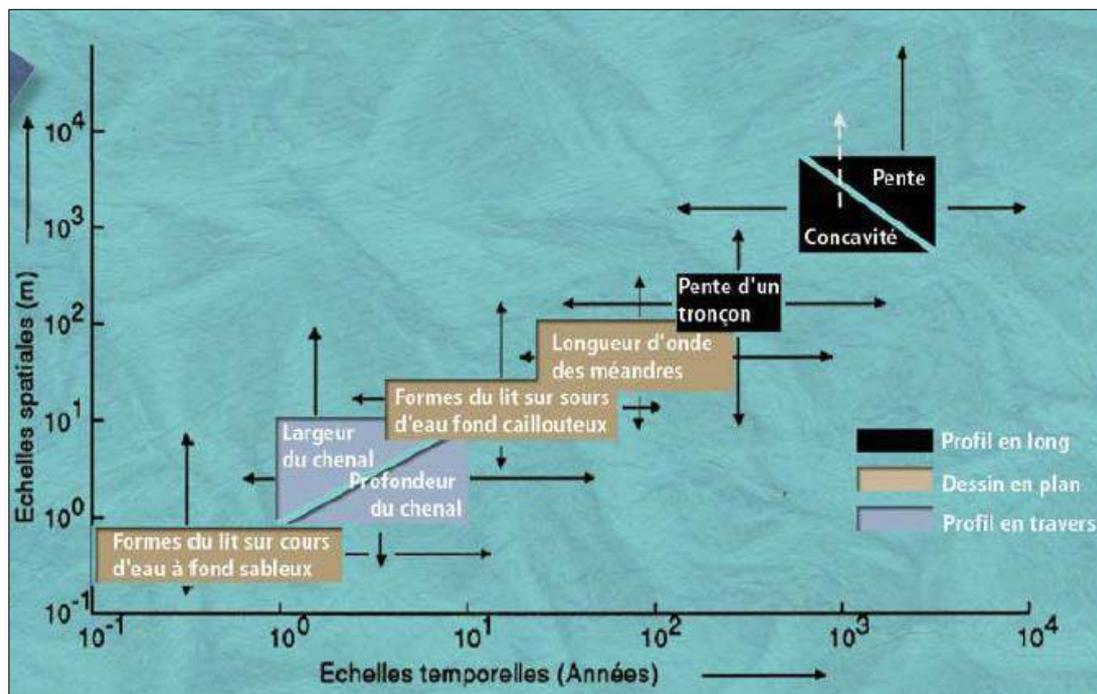


Figure 9 : Réponse temporelle à une perturbation suivant l'impact sur le profil en long (Malavoi & Bravard, 2010 d'après Knighton, 1984)

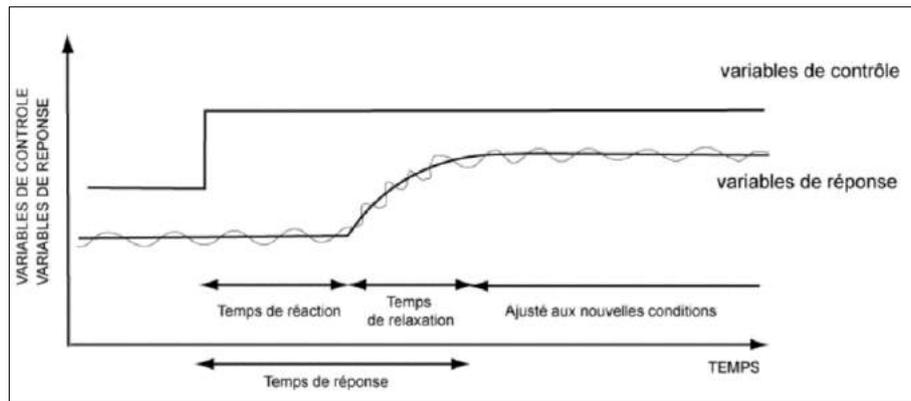


Figure 10 : Temps de réponse d'un cours d'eau suite à une perturbation (d'après Knighton, 1984)

Par ailleurs, il est à noter que le **temps géomorphologique** et le **temps de gestion** concernent des échelles de temps qui sont en total décalage (cf. Tableau 1). C'est pourquoi des stratégies d'accompagnement des processus d'évolution et/ou de réajustements des cours d'eau, voire la création de réajustements spécifiques, doivent être développées.

TEMPS GÉOMORPHOLOGIQUE <i>VERSUS</i> TEMPS DE GESTION			
Terme	Temps géomorphologique	Temps de gestion	
		Durée	Nature
Court terme	10-100 ans	0-5 ans	Mandat
Moyen terme	100-10 000 ans	5-10 ans	Programme
Long terme	100 000 ans et +	10-30 ans	Vision prospective

Tableau 1 : Hiatus entre le temps géomorphologique et le temps de gestion

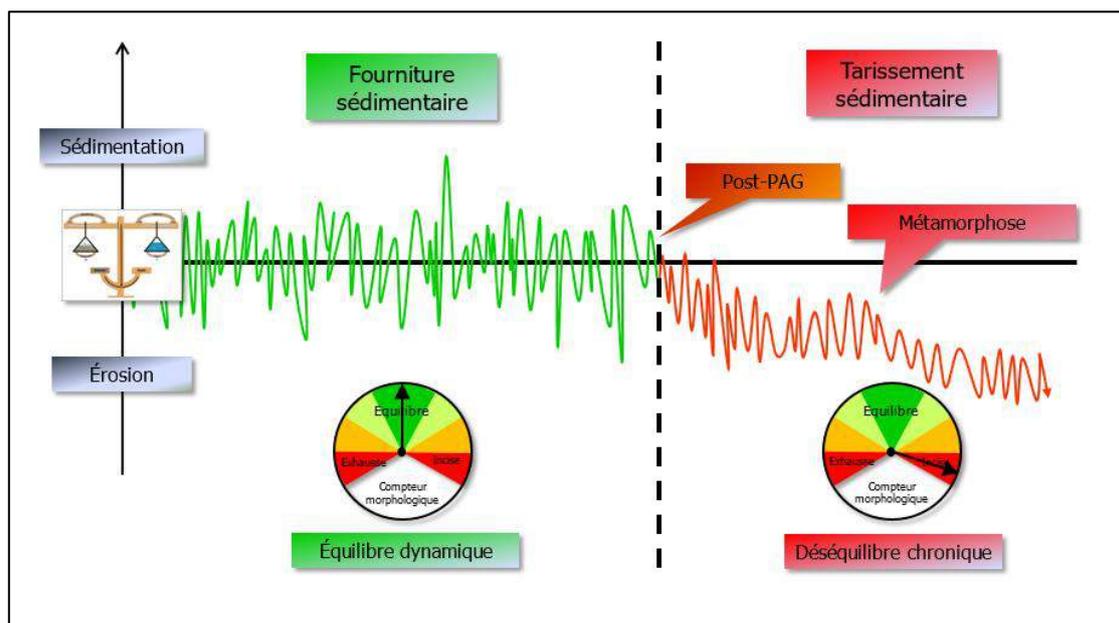


Figure 11 : Exemple de trajectoire géomorphologique perturbée suite à un déséquilibre sédimentaire lié aux métamorphoses hydroclimatiques et anthropiques

2.8 L'évolution de la bande active

C'est pour les systèmes en tresses que l'on parle préférentiellement de bande active. En effet, la bande active des cours d'eau en tresses se caractérise par des chenaux et des structures alluvionnaires non végétalisées qui sont très mobiles. Elle est donc très facilement identifiable.

Par extension, la bande active concerne la bande dans laquelle s'écoule un cours d'eau et où se concentre l'activité morphogène, notamment les chenaux et les dépôts sédimentaires.

En particulier, ce terme est approprié pour caractériser le fuseau dans lequel une crue morphogène de type Basse Fréquence Haute Magnitude* a identifié des chenaux et des structures alluvionnaires avant qu'elle ne se rétracte au fil des ans (par végétalisation et/ou enfoncement du lit).

La bande active d'un cours d'eau évolue et passe par différents stades d'évolution : expansion, contraction ou stabilité. L'élargissement et le rétrécissement de la bande active sont en fait des réponses (ajustements géométriques) à la variabilité temporelle des débits solide et liquide (Schumm, 1977 ; Piégay *et al.* 2003). On parle alors de respiration de la bande active.

La communauté scientifique s'accorde sur le fait que l'évolution de la bande active est sous contrôle à la fois de la fourniture sédimentaire et des crues morphogènes. L'évolution s'effectue donc à deux échelles de temps emboîtées :

- **Évolution tendancielle** (moyen et long termes) liée aux conditions hydroclimatiques : l'expansion de la bande active serait liée à une fourniture sédimentaire importante et continue, tandis que leur rétraction, voire leur disparition (monochenalisation), serait due à une fourniture sédimentaire limitée se tarissant dans le temps et générant une incision du lit (Leduc, 2013).
- **Évolution évènementielle** (court et moyen termes) liée aux conditions hydrologiques : on constate que les bandes actives les plus larges se rencontrent après les crues morphogènes (Piégay *et al.*, 2009). En fait, la bande active s'élargit après les crues morphogènes et a tendance à se rétracter lors des périodes de calme hydrologique entre deux crues morphogènes (temps de relaxation), notamment par le développement de la végétation. L'intensité des crues n'est pas proportionnelle à l'élargissement de la bande active (Piégay *et al.*, 2009).

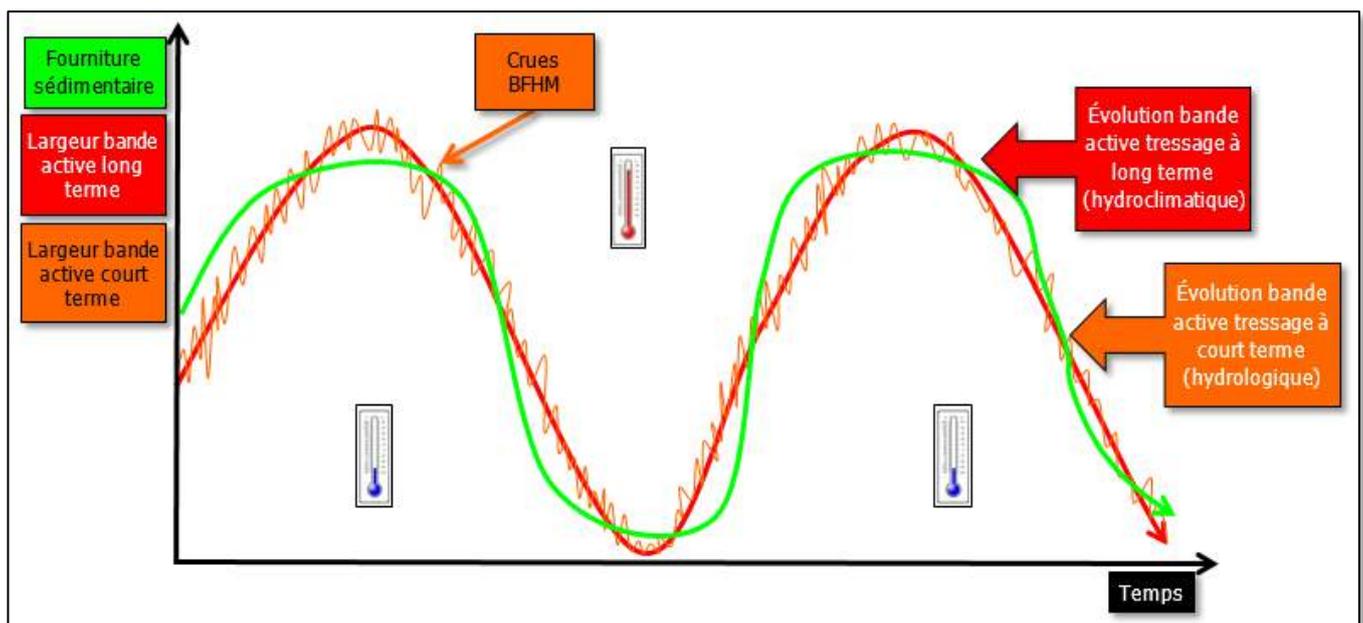


Figure 12 : Évolutions évènementielle et tendancielle de la bande active

3 Présentation du bassin versant de l'Escoutay

3.1 Contexte physique

A Géographie

L'Escoutay prend sa source dans la commune de Saint-Jean-le-Centenier en Ardèche méridionale (07) à 460 mètres d'altitude au hameau de Jastrie et rejoint le Rhône dans la commune de Viviers après un parcours d'environ 23 kilomètres. Affluent de rive droite du Rhône, l'Escoutay draine ainsi un bassin versant orienté Nord-Ouest/Sud-Est d'une superficie de 168 km².

Le réseau hydrographique de l'Escoutay présente de nombreux affluents, dont certains constituent des contributeurs sédimentaires potentiels (en termes d'apports solides) importants pour l'Escoutay. Dans le cadre de l'étude, on considérera les principaux affluents de l'Escoutay, à savoir le Ribeyras, le Vernet, le Téoulemale, le Salauzon, le Dardaillon et la Nègue.

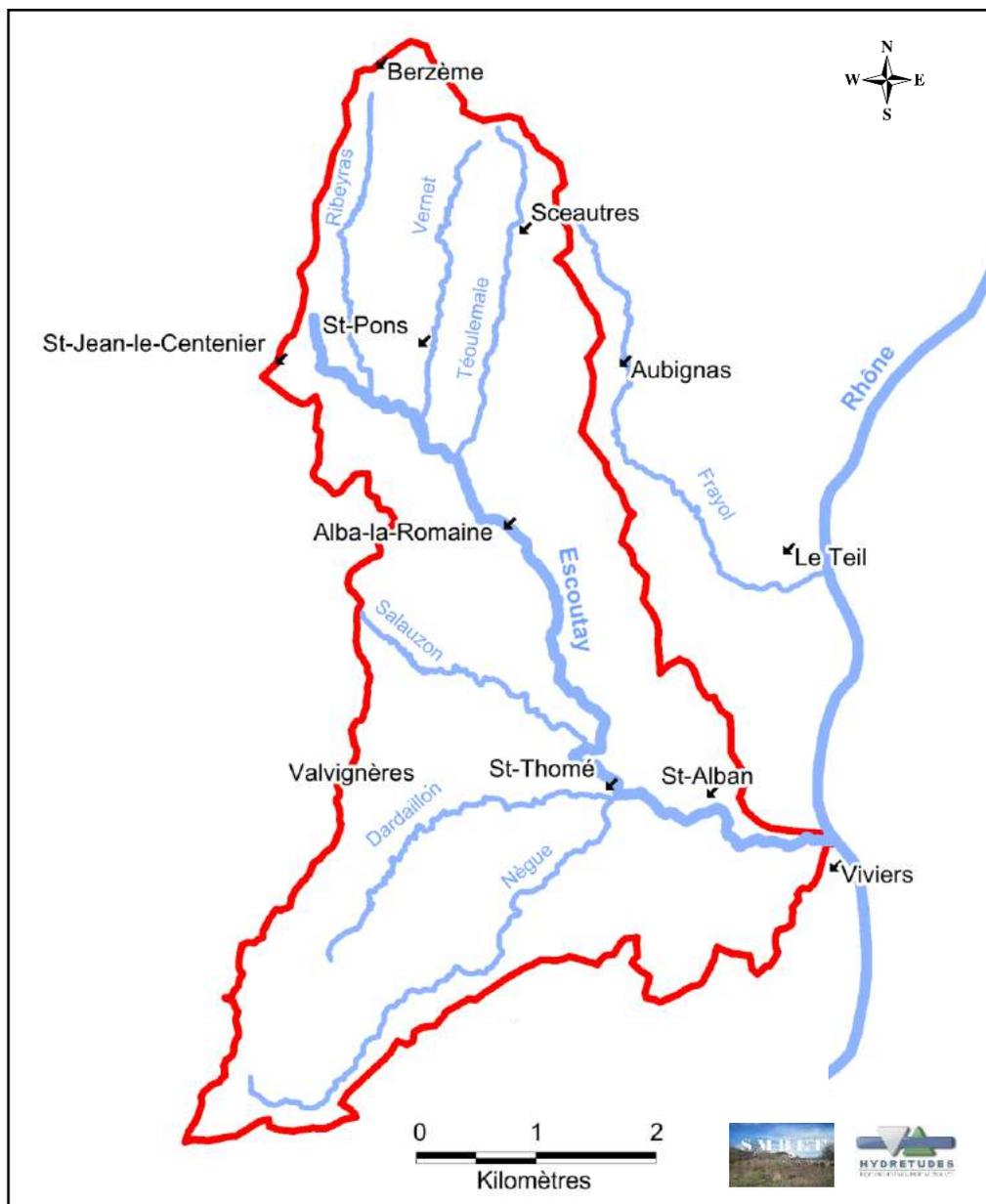


Figure 13 : Localisation du bassin versant de l'Escoutay

B Topographie

Le bassin versant de l'Escoutay présente une altitude comprise entre 85 et 700 mètres d'altitude (*cf.* Figure 15). Il est marqué par trois massifs qui délimitent le bassin versant et dont certains influencent par leur géologie le tracé de l'Escoutay :

- Le massif volcanique du Coiron au Nord (1 061 mètres d'altitude) dans lequel les affluents de rive gauche de l'Escoutay prennent leur source. Il s'agit d'anciennes coulées volcaniques empilées largement entaillées par le Ribeyras, le Vernet et le Téoulemale, en témoignent les galets basaltiques présents dans le stock alluvial de ces affluents ;
- La montagne de Berg à l'Ouest qui culmine à 517 mètres d'altitude près du lieu-dit Le Jeu de Paume ;
- Le plateau du Laoul au Sud qui borde le bassin versant depuis St-Thomé (au niveau de la Nègue) jusqu'à Viviers, contraignant l'Escoutay à méandrer dans son encaissement sans grande possibilité de mobilité latérale.

Par ailleurs, l'Escoutay présente une pente moyenne de 3,2% depuis la confluence avec le Ribeyras jusqu'à son exutoire dans le Rhône d'après les levés topographiques terrestres réalisés dans le cadre de la présente étude, la classant ainsi dans les rivières torrentielles (au sens de Bernard, 1925, pente comprise entre 1% et 6%). Toutefois, on note une forte réduction de la pente en aval du bassin à partir de la confluence avec la Nègue (0,6%), propice à l'accumulation d'alluvions.

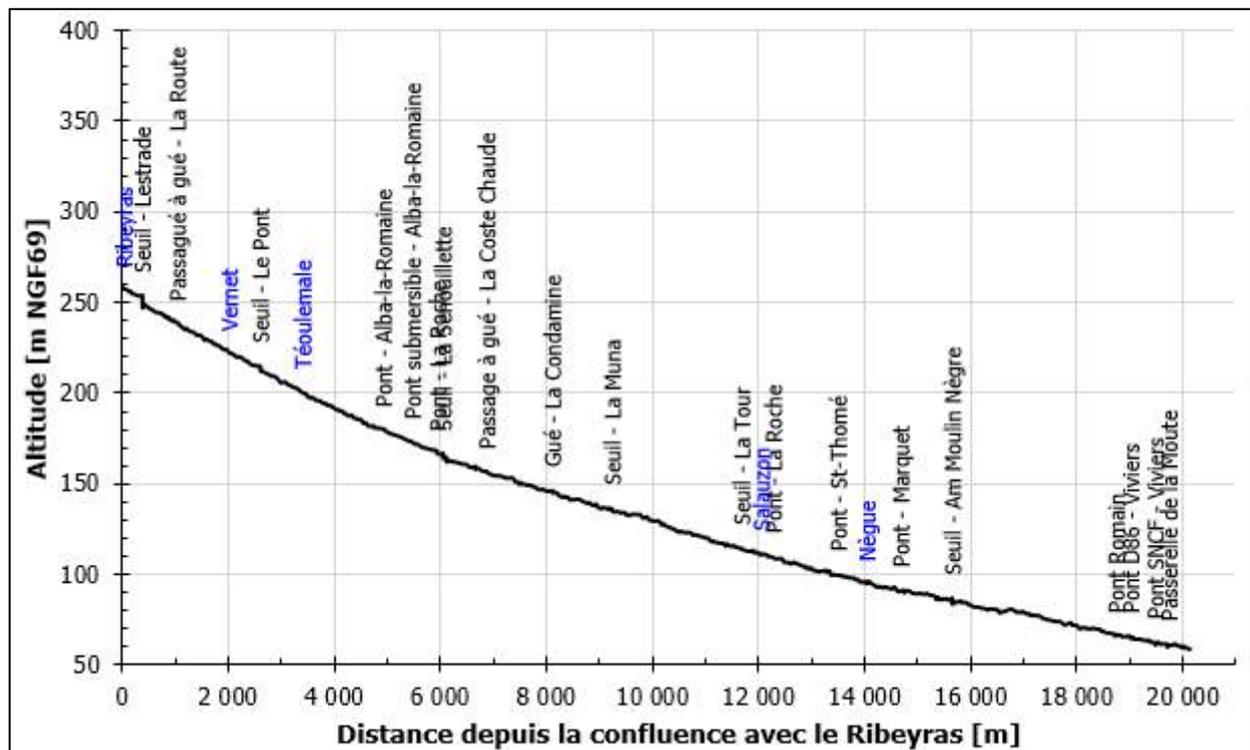


Figure 14 : Profil en long 2016 du lit de l'Escoutay depuis la confluence avec le Ribeyras

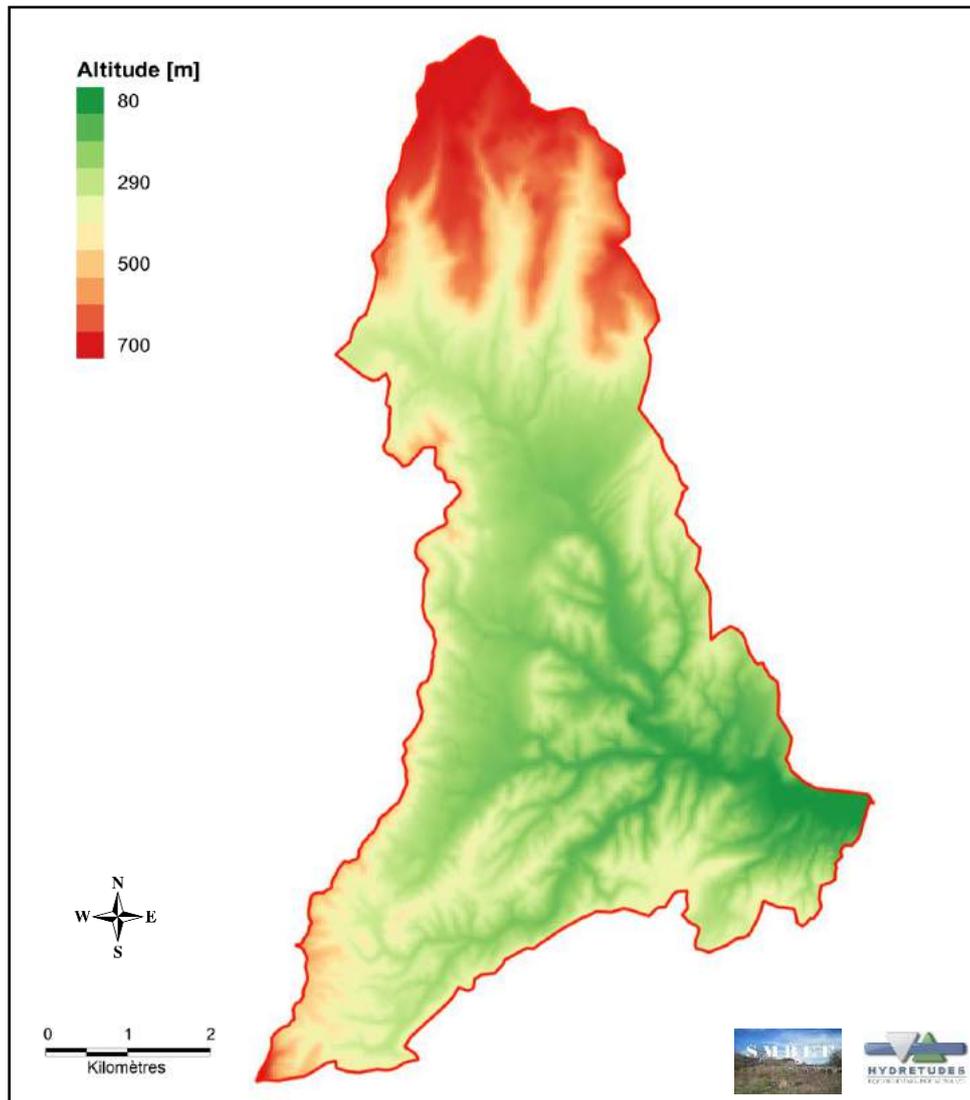


Figure 15 : Cartographie du relief du bassin versant de l'Escoutay

C Occupation du sol

Le bassin versant de l'Escoutay est marqué par une occupation du sol qui a connu une évolution relativement importante. Au XIX^{ème} siècle, le bassin est caractérisé par une polyculture céréalière (à dominante de blé), complétée par de la vigne et des vergers en bordure de cours d'eau, mais également des muriers dédiés à la sériciculture. À la fin du XIX^{ème} siècle, les maladies du vers à soie, telles la pébrine et la flacherie, ainsi que la concurrence internationale sonnent le glas de la culture du murier remplacée alors par la vigne. Le XX^{ème} siècle voit la prédominance de la viticulture. Il reste quelques vergers dans la partie aval du bassin à Viviers et une polyculture méditerranéenne sur la partie amont du bassin à partir de Saint-Pons.

Actuellement, le bassin versant de l'Escoutay présente une **urbanisation très faible**, les territoires artificialisés occupant 1% du bassin d'après la base de données Corine Land Cover (2012). Les **territoires agricoles** (cultures, prairies, zones agricoles) sont présents sur 34% du territoire, dont 13% concernent les cultures de vignobles.

Ce sont les **forêts et les milieux semi-naturels** qui couvrent majoritairement à 65% le bassin versant de l'Escoutay, dont 36% de forêts. Toutefois, celles-ci sont concentrées sur la partie basse du bassin et sont des forêts de type méditerranéen. Compte tenu de leur répartition géographique, elles ont une incidence limitée sur la recharge sédimentaire, les têtes de bassin présentant peu de forêts susceptibles de limiter érosion et recharge sédimentaire (e.g. Salauzon, Dardaillon...).

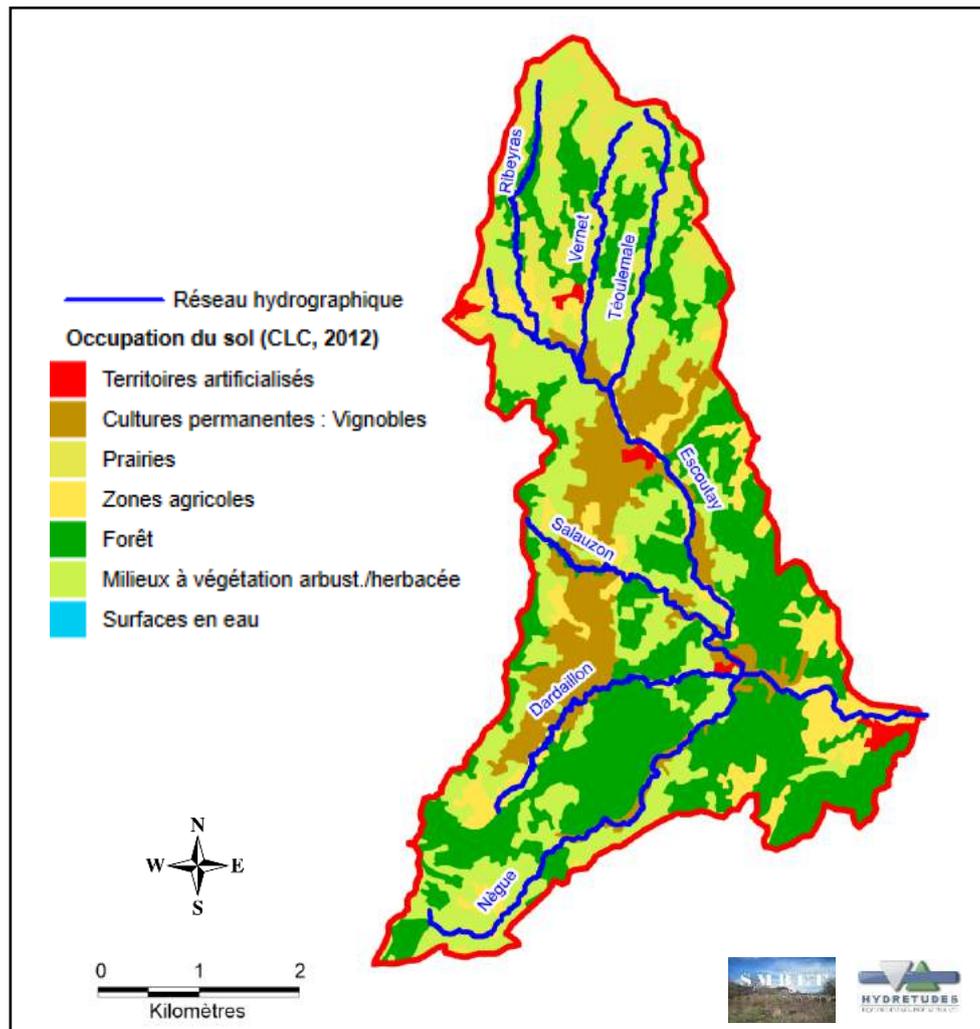


Figure 16 : Cartographie de l'occupation du sol du bassin versant de l'Escoutay
(Source : Corine Land Cover 2012)

3.2 Contexte géologique

A Histoire géologique de la région

❖ Ère primaire (-542 à -251 millions d'années)

Les orogénèses hercyniennes et pyrénéennes

Le terme « orogénèse » désigne les processus aboutissant à la formation d'une chaîne de montagne.

Le cycle orogénique hercynien débute au Dévonien (- 400 Ma) et se termine avec le Permien (- 245 Ma). Ce cycle est dû au rapprochement de trois masses continentales aboutissant à la formation de la Pangée. Certaines structures de la chaîne hercynienne sont encore visibles aujourd'hui comme les Appalaches aux Etats-Unis ou le Massif Central en France.

Beaucoup plus récente, l'orogénèse pyrénéenne débute il y a 40 Ma d'années avec la collision des plaques ibérique et eurasiennne. Ce cycle a remanié des roches formées au moment de l'orogénèse hercynienne. Ainsi, bien que la chaîne soit jeune au sens géologique du terme, elle est composée en partie de roches métamorphiques très anciennes.

L'ensemble des formations secondaires reposent sur un socle métamorphique et cristallin hercynien. Non affleurantes au niveau même de l'Escoutay mais à une dizaine de kilomètres à l'ouest de sa source, ces formations de micaschiste, gneiss, quartzite, migmatite et granite datent du carbonifère supérieur (Pennsylvanien). Leur dépôt et leur structure sont dus à l'orogénèse hercynienne (cf. Encart 1).

Encart 1 : Les orogénèses

❖ Ère secondaire (-251 à -66 millions d'années)

La fin de l'orogénèse hercynienne s'accompagne dans la région d'une longue période d'érosion. La pénéplanation* du relief, ainsi qu'une reprise de l'activité tectonique à la fin du Trias inférieur font baisser le niveau global des terres. Le domaine ardéchois se différencie alors en cuvette évaporitique* qui va être sujette à une série de cycles de régressions/transgressions marines (avancées et reculées des mers) durant le Secondaire. C'est durant un de ces cycles du Crétacé inférieur que se déposent les formations sur lesquelles s'écoule l'Escoutay.

Au cours du Valanginien inférieur, le niveau des mers est haut et permet le dépôt de faciès marneux à faune pélagique (Ammonites – cf. Figure 17). L'Hauterivien voit le niveau des mers varier mais rester assez profond pour permettre le dépôt de marnes hémipélagiques et de calcaires « à miches ».



Figure 17 : Ammonite

À partir du Barrémien inférieur, s'installe la plate-forme carbonatée urgoniennne, marquant la fin du grand cycle de premier ordre commencé avec la Trias. Les dépôts, affleurant autour et en aval de Saint-Thomé, ont une succession classique : sables bioclastiques épais et grossiers à la base, niveaux intermédiaires à récifs coralliens isolés, calcaires à rudistes au sommet, caractéristiques de mers peu profondes. Ces différents faciès sont séparés par des vives marneuses.

La fin des épisodes urgoniens est due à une baisse du niveau des eaux jusqu'à une faible émergence des terres et la mise en place d'un cycle régression/transgression à l'Aptien, traduit par le dépôt des calcaires grésos-gloconieux lors du Bédoulien supérieur. Le début de l'orogénèse pyrénéo-provençale pendant le Santonien cause une émergence totale et définitive des terres.

❖ *Ères tertiaire (-66 à -1,8 millions d'années) et quaternaire (depuis 1,8 millions d'années)*

Le Néogène est marqué par des dépôts de laves massives de composition basaltique ainsi que des dépôts scoriacés visibles au Nord du bassin versant qui alimentent le transport solide en galets basaltiques très résistants à l'érosion.

Enfin, les derniers dépôts sédimentaires sont des alluvions quaternaires formées par les anciennes bandes actives de l'Escoutay à une époque où le cours d'eau était plus haut et plus puissant :

Les glaciations du Quaternaire

Les glaciations désignent une succession de périodes glaciaires survenant régulièrement et séparées par des périodes interglaciaires.

Quatre glaciations se sont déroulées durant le Quaternaire entre 600 000 et 12 000 ans BP :

ÈRES GLACIAIRES DE LA FIN DU PLEISTOCÈNE		
Période glaciaire	Périodes interglaciaire	Années (BP)
Günz	→	600 000 540 000
-	Inter Günz-Mindel	540 000 480 000
Mindel	→	480 000 430 000
-	Inter Mindel-Riss	430 000 240 000
Riss	→	240 000 180 000
-	Inter Riss-Würm	180 000 120 000
Würm	→	120 000 12 000

Les années sont exprimées en années BP (*Before Present*) ou « avant le présent », c'est-à-dire en années en comptant depuis 1950 (année de référence et des premières datations absolues au carbone 14 : ¹⁴C).

- Des **alluvions anciennes de très hautes terrasses** visibles autour de Saint-Thomé se sont déposées au Günz. Elles sont composées de cailloutis résiduels décimétriques à pluridécimétriques de grès, de granite et de basalte, et culminent à 50 mètres au-dessus du lit actuel de l'Escoutay. Autour d'Alba-la-Romaine affleurent également des alluvions datées du Günz, mais composées uniquement de galets de basaltes irrégulièrement répartis sur un substratum calcaire.

- Des **alluvions de hautes et moyennes terrasses** dominent l'Escoutay d'une dizaine de mètres. Composées d'un limon sableux gris acide reposant sur une argile sableuse bariolée et imperméable, elles se sont déposées au Riss.

- Des **alluvions anciennes de basses terrasses** déposées au Würm bordent le lit en aval d'Alba-la-Romaine, le surplombant de quelques mètres. Ces alluvions sablo-limoneuses sont facilement recoupées par la bande active de l'Escoutay.

Les alluvions actuelles présentes en lit dans les zones d'accumulation aval sont constituées d'un mix de galets basaltiques et calcaires.

Encart 2 : Les périodes glaciaires du Quaternaire



Figure 18 : Alluvions actuelles présentant un mélange de galets de basalte (galets foncés) et marneux et calcaires (galets clairs)

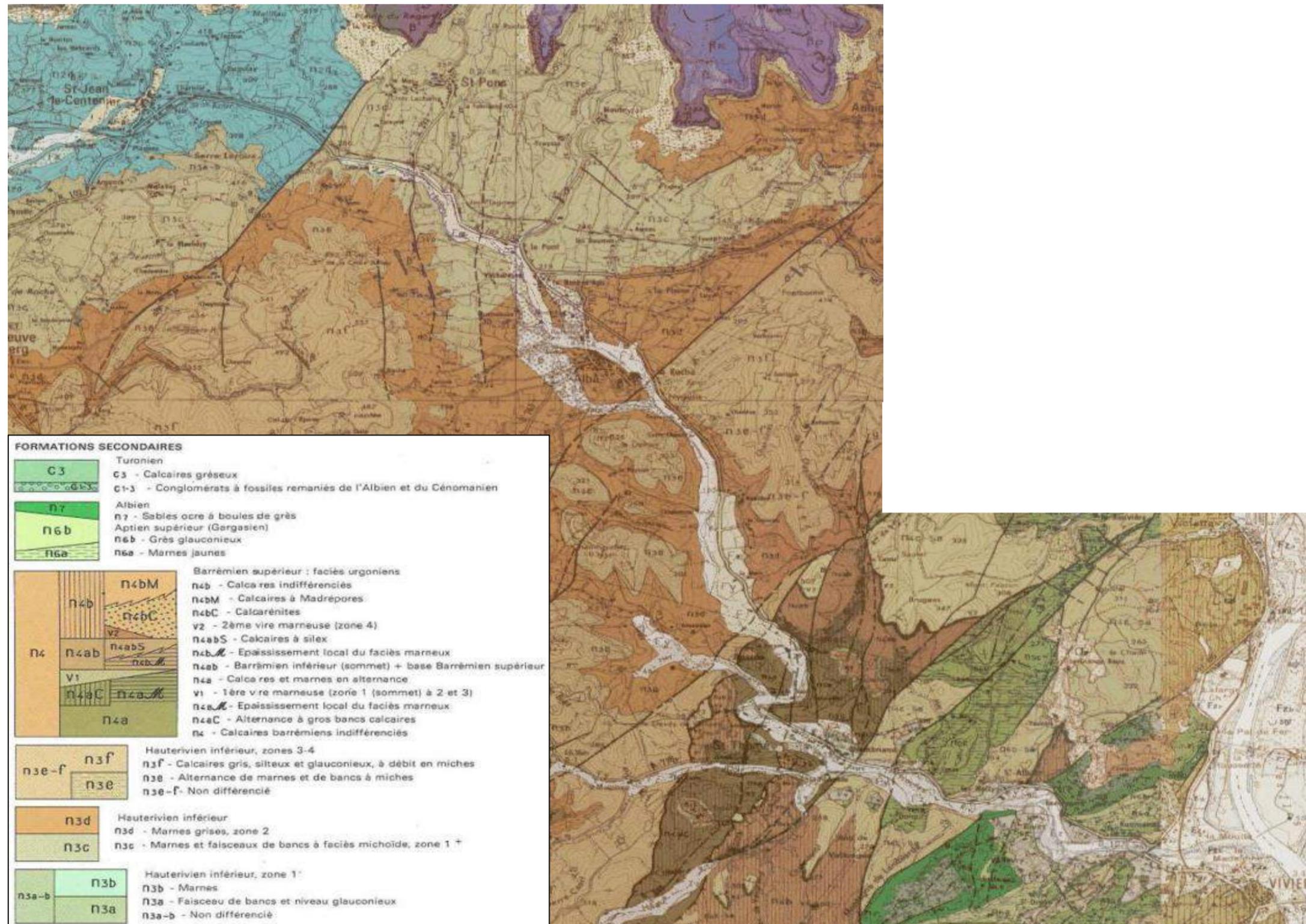


Figure 19 : Carte géologique de l'Escoutay au 1/50 000^e (Source : Géoportail)

B Quantification de l'érodabilité des formations

Les formations constituant le substratum sur lequel s'écoule l'Escoutay ont toutes une résistance à l'altération propre. Il est possible de les classer par rapport à leur degré d'érodabilité*, ce qui permet d'avoir une idée plus précise des zones sensibles au phénomène d'érosion.

Dureté des minéraux	
En 1812, Friedrich Mohs crée une échelle permettant de classer les minéraux par leur dureté en les comparant avec d'autres matériaux dont la dureté est déjà connue.	
Si cette échelle ne s'applique qu'aux minéraux, il est possible de se baser sur celle-ci pour estimer la dureté d'une roche (en fonction d'autres paramètres tels que la consolidation de la roche).	
ECHELLE DE DURETE (Mohs, 1812)	
Minéral	Dureté
Talc	1
Gypse	2
Calcite	3
Fluorine	4
Apatite	5
Orthose	6
Quartz	7
Topaze	8
Corindon	9
Diamant	10

Encart 3 : Échelle de dureté de Mohs

La résistance à l'érosion physique (désagrégation) d'une roche est estimée à partir de sa composition minérale, qui elle-même permet d'évaluer la dureté de la roche par l'échelle de Mohs (*cf.* Encart 3).

La résistance à l'érosion chimique (dissolution) d'une roche est déterminée par sa composition chimique.

L'analyse des différentes formations traversées par l'Escoutay (*cf.* Tableau 3) montre que celui-ci s'écoule sur des terrains sédimentaires marno-calcaires, dont on peut établir les critères suivants :

- Les **marnes** sont constituées d'un mélange de calcite et d'argiles. La calcite a une dureté de Mohs égale à 3 et présente une faible résistance chimique car elle se dissout dans une eau acide. Les argiles ont une dureté de Mohs comprise entre 1 et 2 et ont une faible résistance chimique car elles sont facilement hydrolysées et faiblement consolidées. La résistance des marnes à l'érosion, tant physique que chimique, est donc faible voire très faible.
- Les **calcaires** sont composés majoritairement de calcite, ce qui leur confère une faible résistance à l'altération chimique. Toutefois, leur consolidation est en général bien supérieure à celle des marnes.

Ainsi, on peut construire une échelle d'érodabilité des formations géologiques s'échelonnant de 1 à 10, 1 faisant référence à un sable non consolidé et 10 à un basalte massif (*cf.* Tableau 2). Les différentes formations constituant le substratum de l'Escoutay sont placées selon cette échelle en fonction de leur nature et de leur proportion marnes/calcaires (*cf.* Tableau 2Tableau 3).

ÉCHELLE DE RESISTANCE A L'ÉROSION DES PRINCIPALES ROCHES		
Résistance	Formation	Propriétés
1	Sable	Aucune cohésion
2		
3	Marnes	Faible cohésion et faible dureté des minéraux (1-2)
4		
5		
6		
7	Calcaire massif	Forte cohésion, faible dureté des minéraux (3) et faible résistance chimique
8		
9		
10	Basalte	Forte cohésion, moyenne à forte dureté des minéraux et forte résistance chimique

Tableau 2 : Échelle de résistance à l'érosion de différentes roches

DESCRIPTION DES FORMATIONS TRAVERSÉES PAR L'ESCOUTAY						
	Longueur (m)	Formation traversée	Nom commun	Épaisseur (m)	Description	Résistance
1	2 500	n2d (Valangien supérieur)	Marnes de Montgol	150	Formation marneuse à ammonites et quelques bancs de calcaire métriques. Présence de faisceaux de calcarénites rouges	4
			Alter-nances de Forcemâle	140	Alternance de marnes pélagiques et d'une cinquantaine de bancs calcaires métriques	4
2	2 500	n3c (Hauterivien inférieur)	Marnes	250	Marnes grises (6-11m) en alternance avec des faisceaux de calcarénites diffuses (5-8m) avec un débit en corps ovoïdes (micoïde)	3
3	700	Fβ (Quaternaire)	Sédiments	–	Alluvions anciennes à éléments de basalte prédominants pouvant être liés par une marne jaunâtre résultant de l'altération des marnes du Crétacé	1
4	7 000	n3d (Hauterivien inférieur)	Marnes supérieures de Valvignères	100	Formation sub-horizontale composée presque exclusivement de marnes grises à bleu-grises	3
5	300	n3e-f (Hauterivien inférieur)	Calcaires à miches de la Croix-Juliau	200	Formation de bancs calcaires silteux métriques intercalés de marnes silteuses plus minces	5
6	4 000	n4a (Barrémien inférieur)	Calcaires	85	Alternance d'épais bancs de calcaires argileux (60%) et de marnes (40%)	6
7	500	n4c-5a (Barrémien supérieur)	Calcaires	–	Calcaires indifférenciés	7
8	800	n5b (Bédoulien inférieur)	Marnes	40-50	Marnes à matière organique	3
9	600	n4c-5a (Barrémien supérieur)	Calcaires	–	Calcaires indifférenciés	7
10	1 000	n7 (Albien supérieur)	Grès non consolidé	80	Sables ocre à boules de grès	1
11	900	n6a (Albien)	Marnes	40	Marnes détritiques fortement bioturbées	2
12	300	n5b (Bédoulien inférieur)	Marnes	40-50	Marnes à matière organique	3

Tableau 3 : Description des formations traversées par l'Escoutay

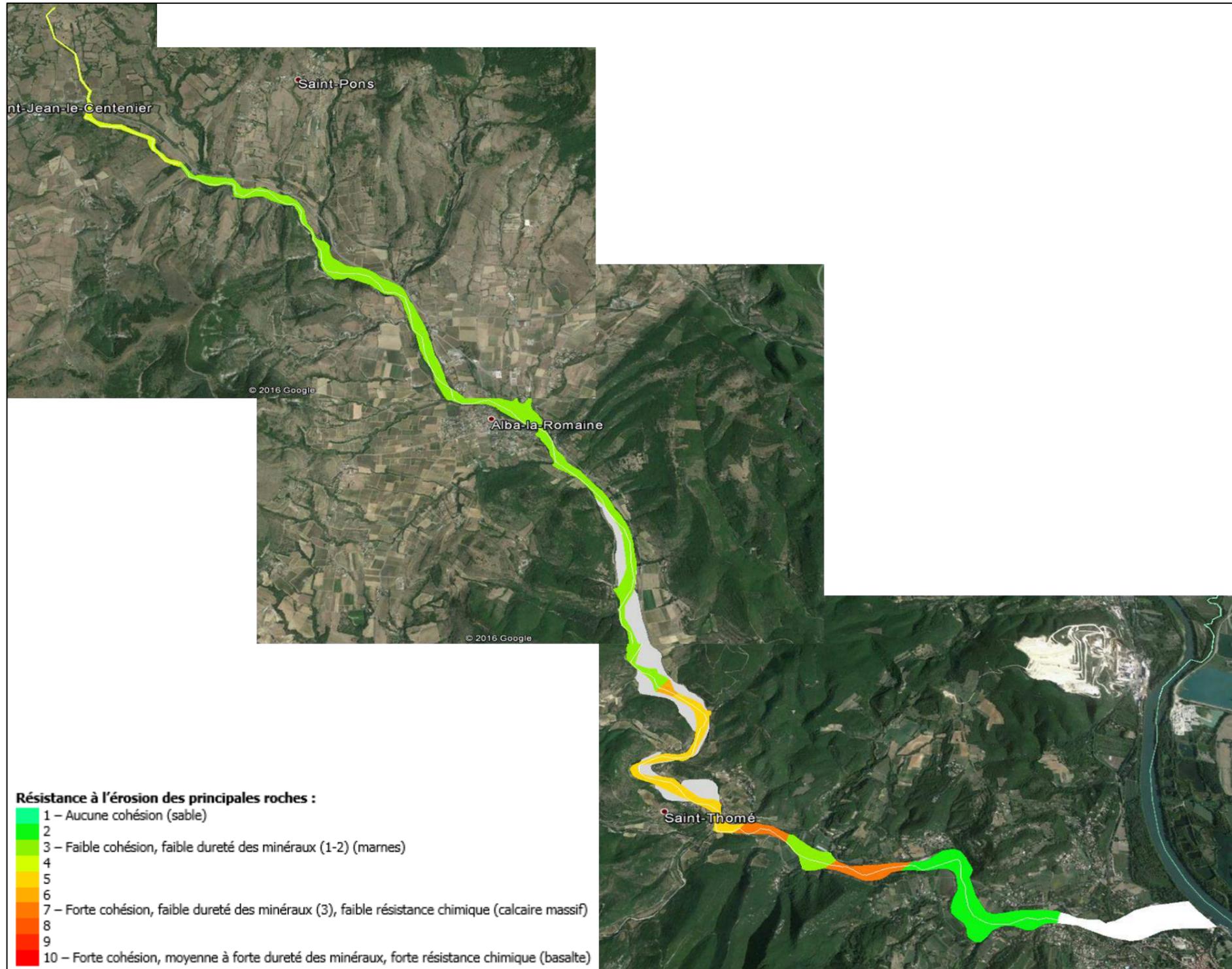
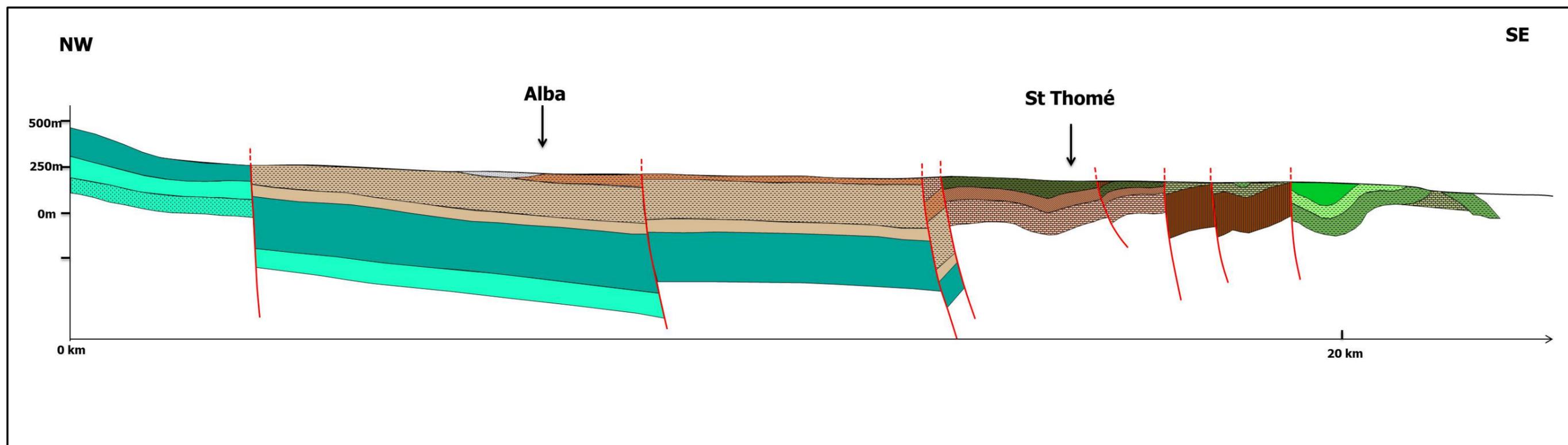


Figure 20 : Cartographie de la résistance à l'érosion des formations sur lesquelles s'écoule l'Escoutay



- | | | | |
|---|---|---|--|
|  | Marnes à intercalations de calcaires sporadiques – n3g |  | Alluvions anciennes à éléments de basalte prédominants - Fβ |
|  | Alternances marno-calcaires non différenciées – n3e-f |  | Sables ocres à boules de grès – n7 |
|  | Marnes grises – n3d |  | Marnes jaunes – n6a |
|  | Marnes et faisceaux de bancs à faciès micoïde – n3c |  | Marnes bleues – n5b |
|  | Marnes non différenciées - n3a-b |  | Calcaires indifférenciés – n4c-5a |
|  | Marnes et bancs calcaires en alternance - n2d |  | Calcaires indifférenciés– n4b |
|  | Marnes et faisceaux de fines calcarénites argileuses - n2c |  | Alternance marno-calcaire – n4a |
|  | Alternance de calcarénites et de marnes jaunâtres - n2b | | |

Figure 21 : Coupe géologique réalisée le long du lit de l'Escoutay (exagération vertical de 2,9)

4 Sectorisation morphodynamique de l'Escoutay

4.1 Méthodologie

La sectorisation morphodynamique consiste à découper l'Escoutay en tronçon morphologiquement homogène, entité spatiale la plus pertinente pour décrire et gérer un cours d'eau (Malavoi & Adam, 2007). Ce compartimentage est réalisé en tenant compte des caractéristiques morphométriques du lit et des discontinuités sédimentaires, c'est à dire le style fluvial, la pente, et les perturbateurs hydromorphologiques tels que des seuils naturels ou des ouvrages transversaux (barrages, seuils...).

Par cette méthodologie, on délimite ainsi quatre tronçons présentés sur la Figure 22. Chaque tronçon est désigné par un identifiant qui comprend les trois premières lettres du cours d'eau suivies du numéro de tronçon donné de l'amont vers l'aval.

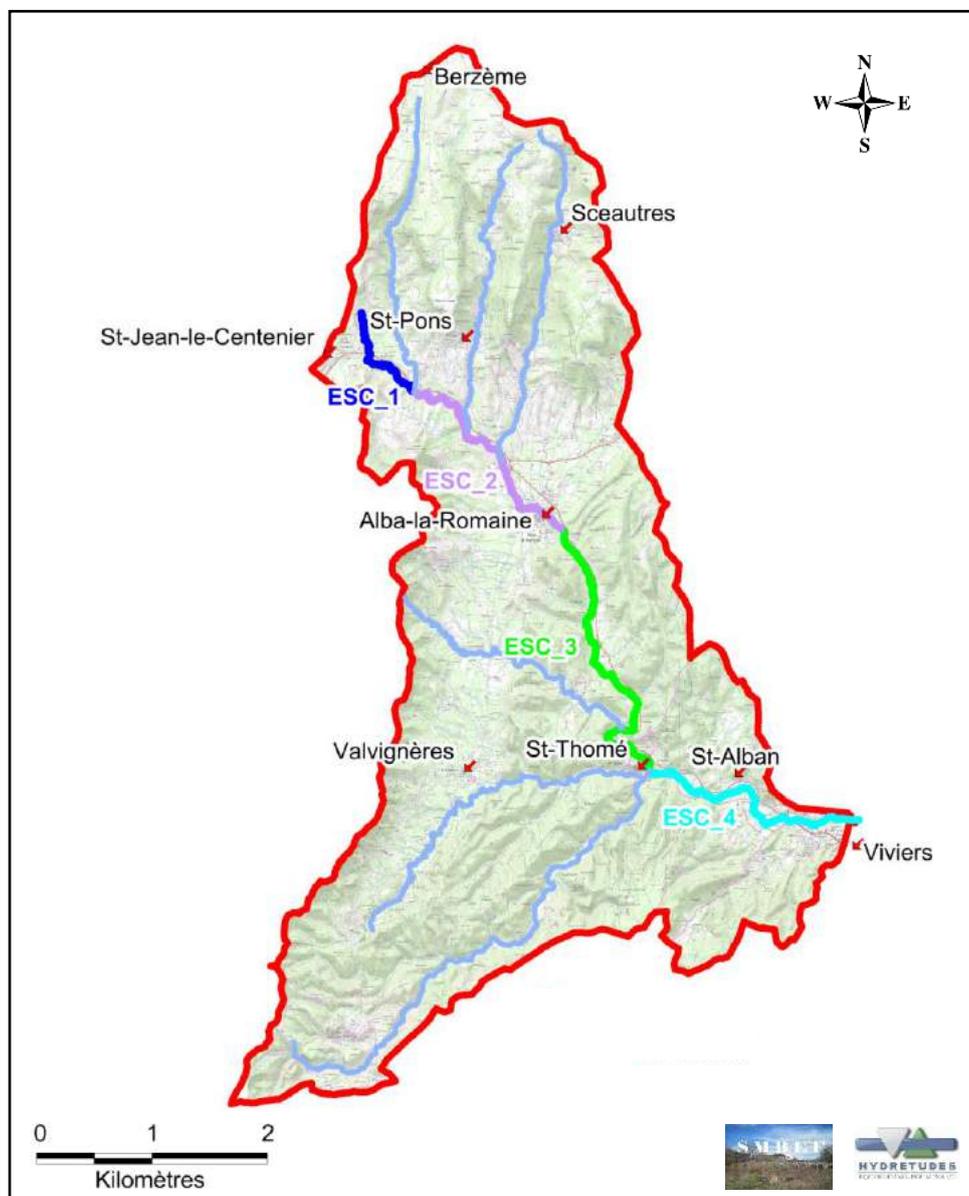


Figure 22 : Localisation des tronçons de l'Escoutay

4.2 Description des tronçons

Les principales caractéristiques de chacun des tronçons sont présentées dans le Tableau 4. À titre informatif, la pente moyenne des tronçons ESC_2 à ESC_4 est déterminée à partir du profil en long réalisé par HYDRETUDES en juin 2016 dans le cadre de la présente étude, alors que pour le tronçon ESC_1, le calcul s'appuie sur les lignes topographiques de la carte IGN.

CARACTÉRISTIQUES DES TRONÇONS MORPHODYNAMIQUES DE L'ESCOUTAY					
Identifiant	Localisation	Longueur [km]	Style fluvial	Pente [%]	Sinuosité*
ESC_1	Source → Confluence Ribeyras (amont)	2,9	Monochenalisé	5,0	1,11
ESC_2	Confluence Ribeyras → Pont la Roche	5,8	Monochenalisé	1,5	1,10
ESC_3	Pont la Roche → Confluence Nègue	8,1	Monochenalisé	0,9	1,13
ESC_4	Confluence Nègue → Confluence Rhône	6,3	Monochenalisé avec stockage-régulation	0,6	1,10

Tableau 4 : Principales caractéristiques des tronçons morphodynamiques de l'Escoutay

Chaque tronçon morphodynamique de l'Escoutay a fait l'objet d'une fiche descriptive mettant en relation les données suivantes :

- **Caractéristiques physiques et morphologiques** : longueur, pente moyenne, sinuosité, largeur moyenne de la bande active et style fluvial dominant ;
- **Caractéristiques hydrologiques à l'exutoire du tronçon** : régime hydrologique, superficie du bassin versant contrôlée et les débits caractéristiques (Q_5 , Q_{10} , Q_{30} et Q_{100}) ;
- **Caractéristiques granulométriques du lit** : diamètres caractéristiques (d_{30} , d_{50} , d_{90} , d_m) et étendue granulométrique ;
- **Pressions limitant le transit sédimentaire et la divagation du lit** : perturbateurs hydromorphologiques majeurs, corsetage du lit (pourcentages d'endiguement, de protections de berge et de falaise) ;
- **Bilan sédimentaire** : domaine sédimentaire, connexion versant-lit, contributeurs sédimentaires potentiels, stock alluvial, érosion latérale et capacité de transport annuelle potentielle ;
- **Mobilité du lit** : latérale et verticale ;
- **Tendances d'évolution.**

Les fiches-tronçon sont disponibles en [Annexe 1](#).

5 Analyse hydrologique

5.1 Objectifs

L'analyse hydrologique vise à construire les hydrogrammes de crue de projet pour diverses occurrences, et les courbes de débits classés en différents points du bassin versant de l'Escoutay, afin de mener à bien les analyses nécessaires à l'élaboration du plan de gestion des matériaux (calculs de transport solide, évolutions probables du fond du lit...).

Ces éléments sont déterminés par modélisation hydrologique à l'aide du **modèle pluie-débit MESRI** (**M**odélisation **É**vènementielle et **S**patialisée du **R**uissellement sur surface saturée pour l'**I**ngénieur), issu de la Recherche & Développement d'HYDRETUDES.

La principale difficulté rencontrée résulte du fait que le bassin versant de l'Escoutay n'est pas jaugé. La connaissance de son comportement hydrologique est donc difficilement appréhendable, si ce n'est que son régime hydrologique présente un caractère méditerranéen, voire cévenol, avec deux pics de précipitations, l'un à l'automne et l'autre au printemps, générant des crues violentes et dévastatrices, et des étiages très sévères pouvant créer des assècs.

5.2 Présentation du modèle pluie-débit MESRI

La modélisation hydrologique permet de calculer les débits à l'exutoire de bassins versants à partir de la pluviométrie d'événements donnés. L'hydrogramme ainsi calculé représente la réponse hydrologique du bassin versant.

Cette « conversion » de la hauteur de pluie mesurée (par Météo France) en débit à l'exutoire d'un bassin versant s'effectue à l'aide d'un module de calculs appelé modèle pluie/débit. Toute la difficulté réside donc dans les outils mis en œuvre au sein de ce modèle pluie/débit.

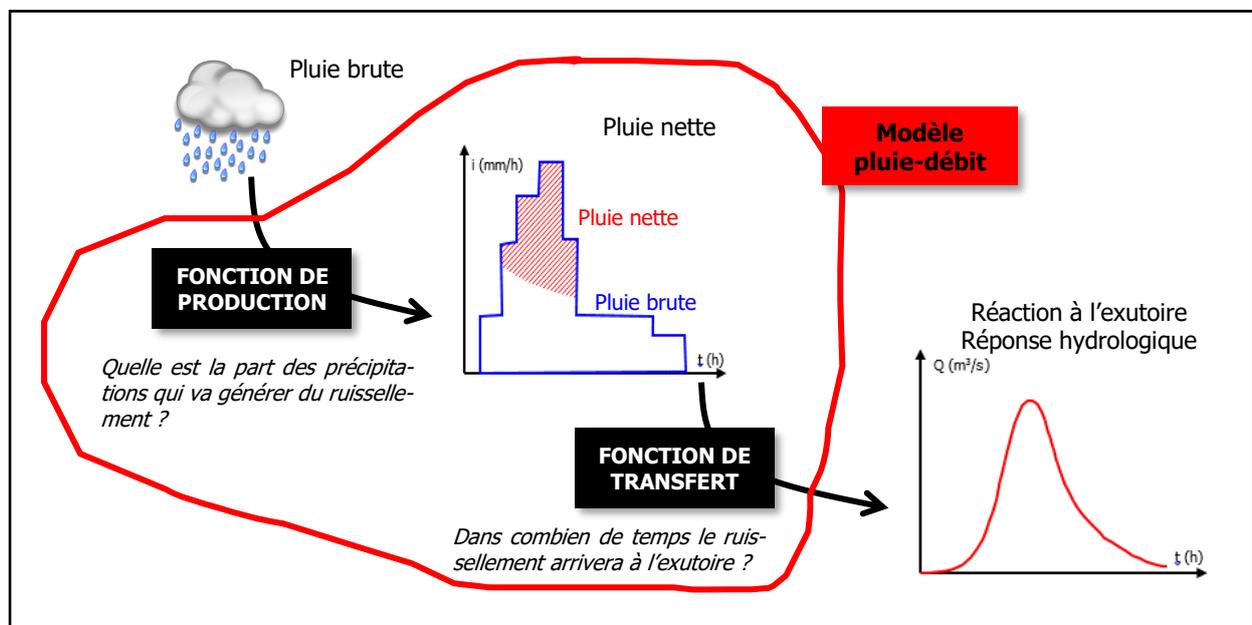


Figure 23 : Synthèse montrant le principe de la modélisation hydrologique

Le **modèle pluie/débit MESRI** développé à HYDRETUDES s'intéresse aux écoulements rapides que forment les crues. C'est un modèle **spatial conceptuel** qui repose sur les principaux éléments suivants :

- Prise en compte de la topographie complète du bassin versant ;
- Prise en compte des chroniques de pluie complètes ;
- Prise en compte de la structure en deux dimensions de l'événement pluvieux, et donc exploitation directe des données radar ;
- Modélisation d'une chronique de débit et non d'un simple débit de pointe.

Une présentation plus détaillée du modèle pluie/débit MESRI est disponible en [Annexe 2](#). La mise en œuvre du modèle pluie-débit MESRI nécessite plusieurs étapes qui font l'objet des chapitres suivants.

5.3 Données de base nécessaires

A Données pluviométriques

Il existe plusieurs postes pluviométriques du réseau Météo France proches du secteur d'étude, en particulier celui de Montélimar situé à 65 mètres d'altitude et dont les coefficients de Montana nécessaires aux calculs d'intensité de pluie pour diverses occurrences sont présentés dans le Tableau 5.

$$i(t) = a \cdot t^{-b}$$

Avec i l'intensité de la pluie en mm/h, t la durée en minute, a et b les coefficients de Montana pour une pluie d'une durée de 6 à 24 heures

COEFFICIENTS DE MONTANA		
Occurrence	a	b
5 ans	818	0,691
10 ans	1 011	0,693
20 ans	1 262	0,699
30 ans	1 437	0,703
50 ans	1 706	0,710
100 ans	2 169	0,721

Tableau 5 : Coefficients de Montana pour une durée de pluie de 6 à 24 heures au poste pluviométrique de Montélimar

B Données hydrométriques

Le bassin versant de l'Escoutay n'est pas jaugé. Aucune donnée hydrométrique observée n'est donc disponible.

Toutefois, la commune de Viviers a fait l'objet d'une étude pour l'élaboration de son Plan de Prévention du Risque Inondation, qui indique un **débit de pointe de 335 m³/s pour une crue décennale et de 1 140 m³/s pour une crue centennale**. Ces débits ont été estimés lors d'une étude hydrologique menée en 2005 par GEO+.

En l'absence de débits mesurés lors de crue historique de l'Escoutay, le calage du modèle pluie/débit sera effectué à partir des débits de pointe estimés par GEO+ pour les crues décennale et centennale.

5.4 Mise en œuvre du modèle pluie-débit MESRI

A Construction du bassin versant et du réseau hydrographique

Dans un premier temps, le Modèle Numérique de Terrain (MNT) de l'ensemble du bassin versant de l'Escoutay (BD Alti IGN) est analysé par la plateforme de modélisation MESRI, afin de reconstituer le réseau hydrographique et ainsi régionaliser les informations morphologiques propres à chaque sous bassin versant.

La Figure 24 présente le bassin versant de l'Escoutay et son réseau hydrographique résultant de l'analyse du Modèle Numérique de Terrain, ainsi que le découpage en sous bassins versants selon les quatre tronçons morphodynamiques et les principaux affluents. Les hydrogrammes de crue seront déterminés pour chacun de ses sous bassins versants.

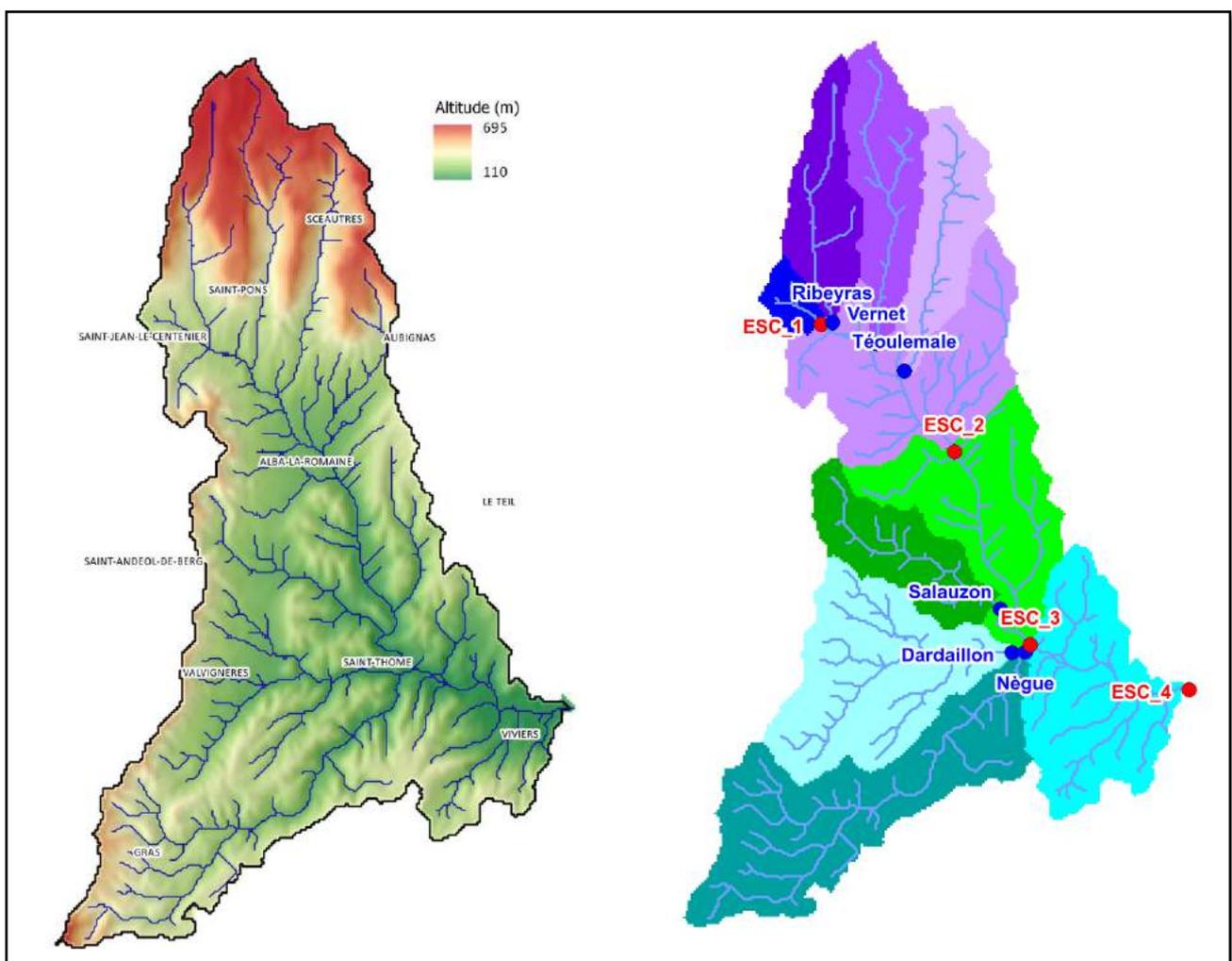


Figure 24 : Construction du bassin versant de l'Escoutay et de son réseau hydrographique à partir du Modèle Numérique de Terrain et découpage en sous bassins versants

B Détermination des distances de parcours

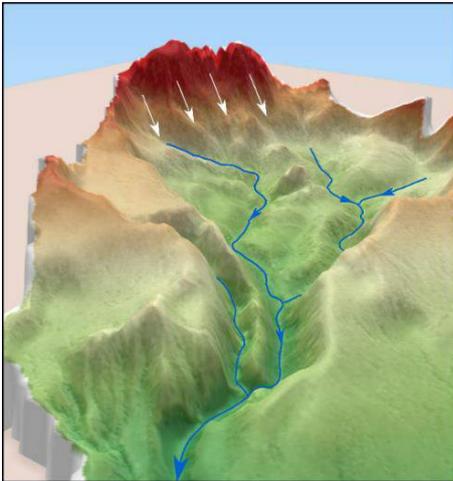


Figure 25 : Transfert de ruissellement décomposé en un parcours sur les versants (flèches blanches) puis dans le réseau hydrographique jusqu'à l'exutoire (flèches bleues)

À partir du Modèle Numérique de Terrain, la distance de parcours (cheminement jusqu'à l'exutoire) pour chaque point du bassin versant est évaluée en dissociant le transfert sur le versant et le transfert dans le réseau hydrographique lorsque la goutte d'eau atteint la rivière, le transfert du ruissellement s'effectuant par ces deux types de parcours.

En effet, en période de crue, le ruissellement de surface est le plus dommageable. Ce ruissellement suit d'abord les lignes de plus grande pente sur les versants pour rejoindre le cours d'eau, puis il s'écoule dans le réseau hydrographique afin d'atteindre l'exutoire.

Associés à des événements pluviométriques, les cartographies de distance permettront de déterminer les hydrogrammes de crue de projet.

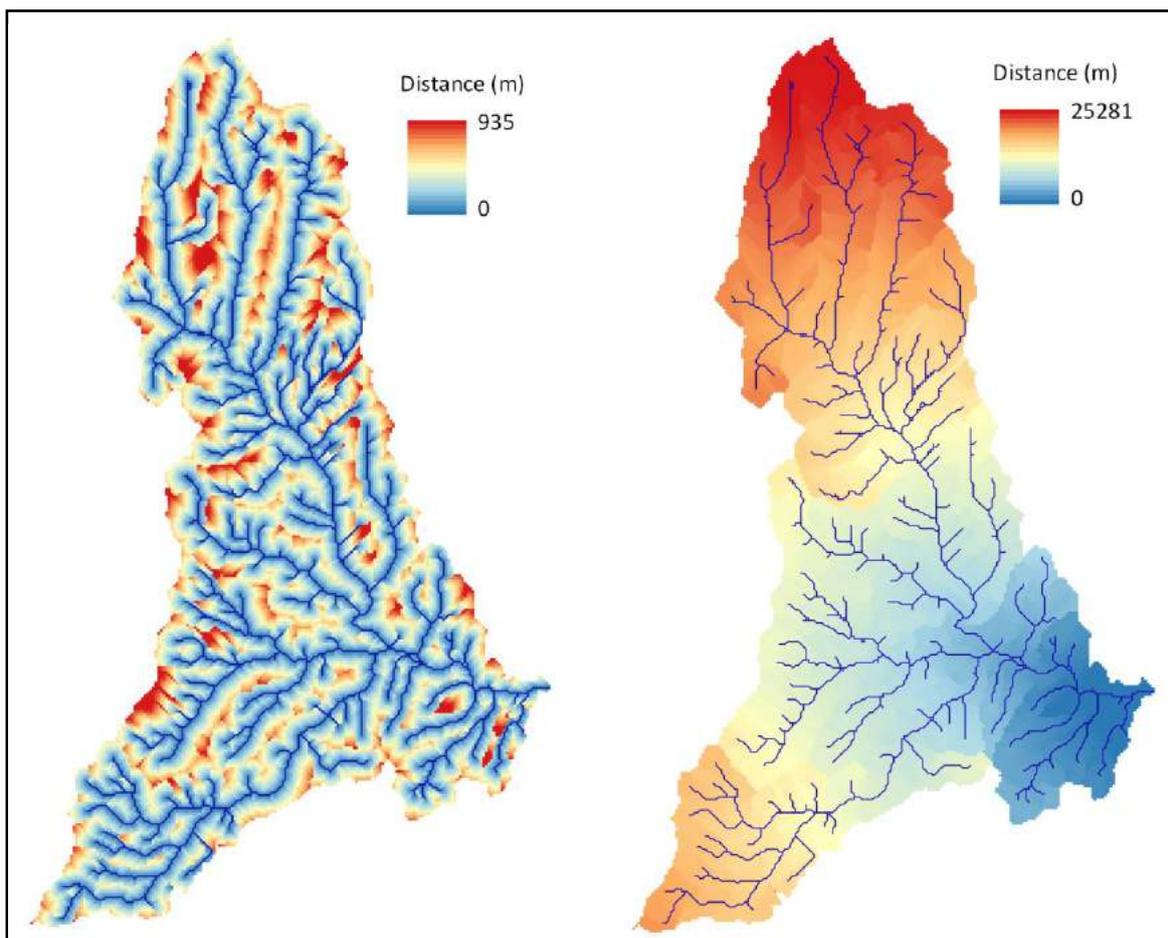


Figure 26 : Cartographie des distances de parcours sur versant (à gauche) et dans le réseau hydrographique (à droite) de l'Escoutay

C Détermination des vitesses de transfert

Les vitesses de transfert sur le versant et dans le réseau hydrographique sont des données nécessaires à la mise en œuvre du modèle pluie/débit MESRI, en particulier pour le calage de la fonction de transfert.

Généralement, la vitesse de transfert dans le réseau est évaluée à partir de la distance réseau qui sépare deux stations hydrométriques de référence du bassin versant et de l'analyse des chroniques de débit mesurées à ces deux stations permettant de définir le temps de transfert entre les deux stations pour plusieurs pics de crue. Puis, par hypothèse, on estime la vitesse de transfert sur le versant à $1/10^{\text{ème}}$ de la vitesse de transfert dans le réseau.

Le bassin versant de l'Escoutay n'étant pas jaugé, il apparaît difficile d'appliquer cette méthodologie. Toutefois, les analyses hydrologiques menées par HYDRETTUDES sur des cours d'eau voisins, en particulier le Lez et le Roubion, montrent que la vitesse de transfert dans le réseau est de l'ordre de 2 m/s. En l'absence de données mesurées, on fixe donc la vitesse de transfert dans le réseau hydrographique à 2 m/s et la vitesse de transfert sur le versant à 0,2 m/s.

D Calage du modèle pluie-débit

❖ *Principe et méthode de calage*

Le calage du modèle pluie/débit vise généralement à vérifier que le modèle reproduise le plus fidèlement possible les crues historiques, c'est-à-dire le débit maximum du ou des pics principaux, le débit de base, le temps de réponse, le volume ruisselé et l'allure générale des hydrogrammes. Or, comme indiqué précédemment, l'Escoutay est un cours d'eau non jaugé ne disposant pas de chroniques de débits mesurés.

Le calage du modèle pluie-débit est donc réalisé à partir de la crue décennale fournie dans le Plan de Prévention du Risque Inondation de la commune de Viviers, c'est-à-dire obtenir un débit de pointe de $335 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une période de retour de 10 ans à Viviers (exutoire du bassin versant de l'Escoutay).

Pour cela, le calage consiste à ajuster deux paramètres jusqu'à représenter au mieux le débit de pointe de la crue décennale à Viviers : le paramètre de production de ruissellement (paramètre 1 – P1) qui détermine la part de la pluie nette s'infiltrant et ruisselant sur le versant, et le paramètre de production sub-surface (paramètre 2 – P2) définissant le volume d'eau infiltré rejoignant le cours d'eau par exurgence.

Les paramètres de calage P1 et P2 sont dans un premier temps réglés sur le bassin versant de l'Escoutay pour le débit de pointe décennal. Le couple de paramètres ainsi retenus est ensuite appliqué pour le débit de pointe centennal à Viviers, afin de valider ce couple de paramètres.

❖ *Résultats du calage*

Calage sur le débit de pointe décennal à Viviers

Les données d'entrée nécessaires au calage du modèle pluie/débit sont les suivantes :

- Vitesse de transfert dans le réseau hydrographique : 2 m/s ;
- Vitesse de transfert sur les versants : 0,2 m/s ;
- Pluviométrie d'occurrence 10 ans : la pluie injectée en amont du modèle est une pluie journalière calculée avec les coefficients de Montana du poste pluviométrique de Montélimar pour une occurrence de 10 ans (cf. Tableau 5). La durée intense de la pluie correspond au temps de concentration du bassin versant qui est de 5,18 heures pour Viviers.

L'hydrogramme modélisé issu du calage sur le débit de pointe décennal à Viviers est présenté à la Figure 27. À titre informatif, le hétérogramme au pas de temps horaire est également représenté en bleu.

Le calage sur le débit de pointe décennal à Viviers montre un débit de pointe modélisé de 329 m³/s, soit une erreur de 2% par rapport à la valeur estimée par GEO+ en 2005 (335 m³/s). Les résultats de calage sont donc satisfaisants.

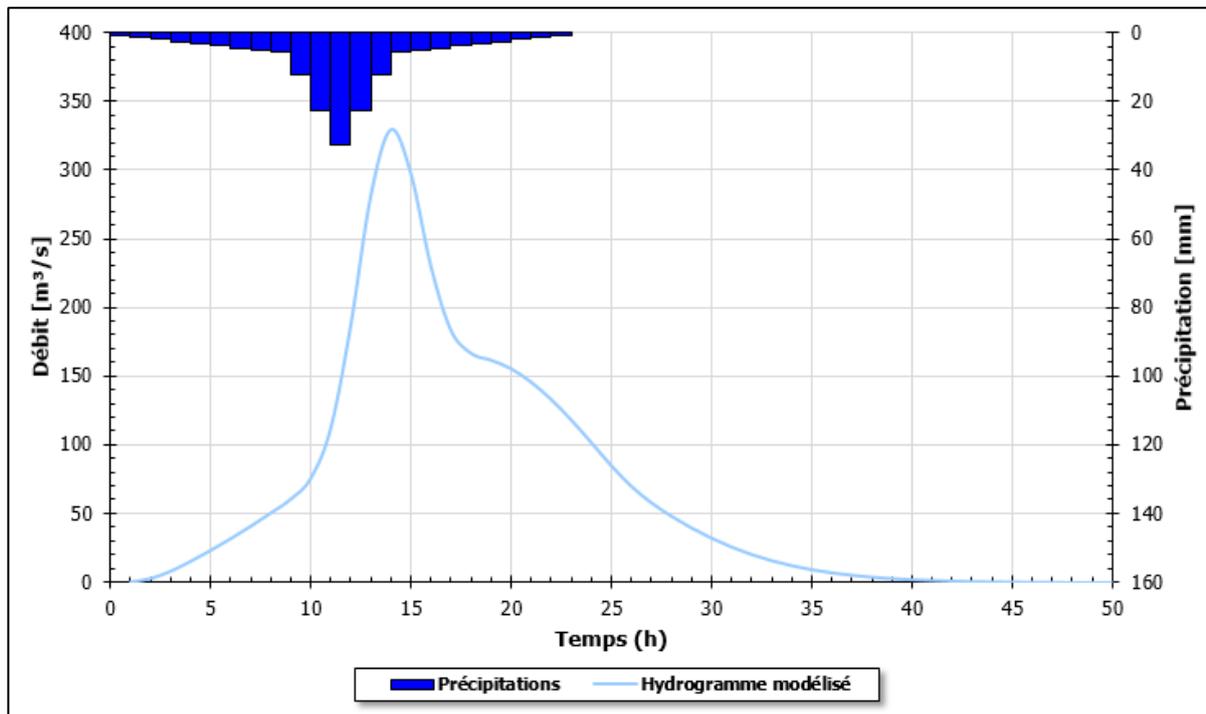


Figure 27 : Résultats du calage sur le débit de pointe décennal à Viviers

Vérification du calage pour le débit de pointe centennal à Viviers

Les paramètres de calage obtenus pour la crue décennale (P_{10} et P_{20}) à Viviers sont appliqués pour modéliser le débit de pointe centennal, afin de valider le calage hydrologique. Seul le paramètre de production de ruissellement qui dépend de l'occurrence de crue (P_{100}) est calculé à partir d'une méthode similaire à la méthode du Gradex (cf. § 5.5).

Les données d'entrée utilisées sont les suivantes :

- Paramètres de calage : P_{100} et P_{20} ;
- Vitesse de transfert dans le réseau hydrographique : 2 m/s ;
- Vitesse de transfert sur les versants : 0,2 m/s ;
- Pluviométrie d'occurrence 100 ans : la pluie injectée en amont du modèle est une pluie journalière (durée 24 h) calculée avec les coefficients de Montana du poste pluviométrique de Montélimar pour une occurrence de 100 ans (cf. Tableau 5).

Les résultats présentés à la Figure 28 montrent un débit de pointe centennal modélisé égal à 935 m³/s, soit une erreur de 17% par rapport à la valeur estimée par GEO+ en 2005 (1 140 m³/s). Le débit centennal modélisé est donc sous-estimé mais reste toutefois satisfaisant pour les calculs nécessaires à l'analyse de la trajectoire géomorphologique de l'Escoutay.

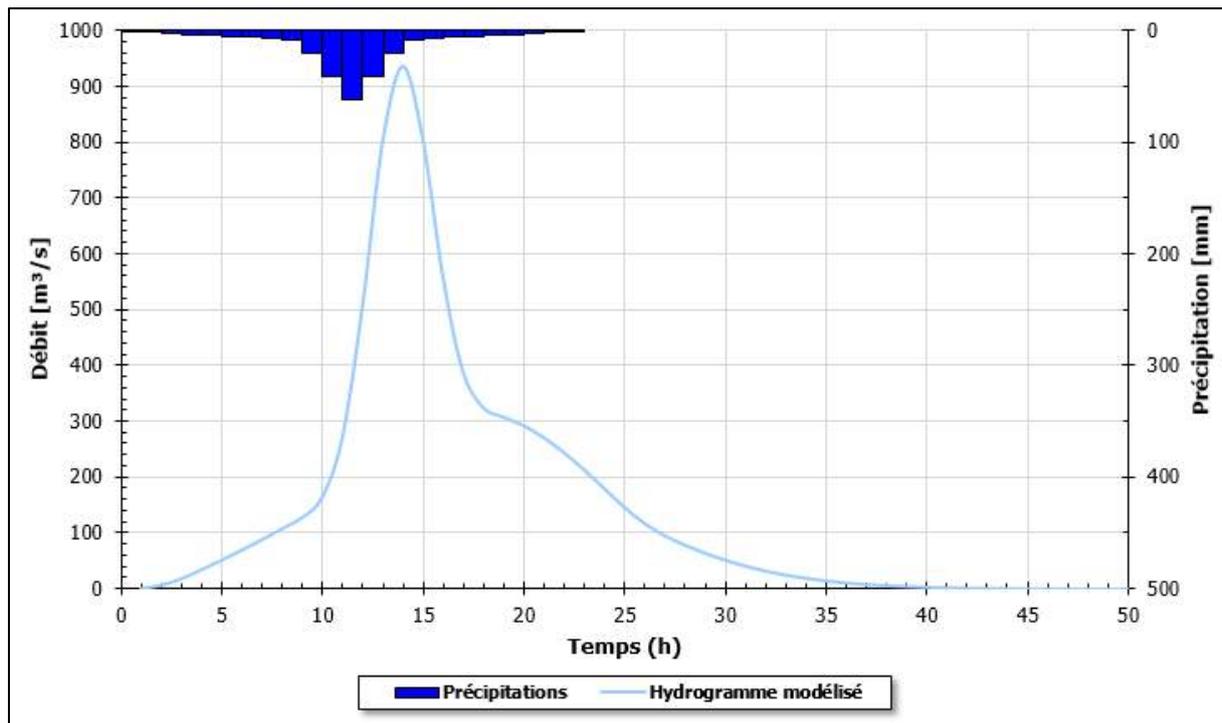


Figure 28 : Résultats du calage sur le débit de pointe centennal à Viviers

5.5 Détermination des hydrogrammes de crue de projet

À partir du modèle pluie-débit calé, il s'agit de déterminer les hydrogrammes de crue de projet de période de retour 5, 10, 30 et 100 ans pour les sous bassins versants ESC_1, ESC_2, ESC_3, ESC_4 et les principaux affluents de l'Escoutay.

❖ Paramétrage retenu pour les sous bassins versants

Le calage du modèle pluie-débit a permis de régler les paramètres hydrologiques P1 et P2. Ces paramètres sont appliqués aux sous bassins versants de l'Escoutay.

Il est à noter que le paramètre de production de ruissellement (P1) est fonction de l'occurrence de crue. Il est calculé par une méthode similaire à celle du Gradex selon l'équation suivante :

$$R_{TR} = \frac{L_{CALE} \cdot R_{CALE} + (L_{TR} - L_{CALE})}{L_{TR}}$$

Avec :

R_{TR} – Production de ruissellement pour la période de retour TR

L_{CALE} – Lamé d'eau de période de retour calée (10 ans)

R_{CALE} – Production de ruissellement estimée pour la pluie calée

L_{TR} – Lamé d'eau de période de retour TR

En revanche, le paramètre de production sub-surface (P2) est invariant quelle que soit la période de retour. Le Tableau 6 synthétise les paramètres hydrologiques appliqués aux sous bassins versants de l'Escoutay pour la détermination des hydrogrammes de crue de projet.

PARAMÈTRES HYDROLOGIQUES APPLIQUÉS		
Période de retour [ans]	Paramètre de production de ruissellement (P1)	Paramètre de production sub-surface (P2)
5	0,17	0,06
10	0,24	
30	0,32	
100	0,39	

Tableau 6 : Paramètres hydrologiques retenus pour les hydrogrammes de crue de projet

❖ Pluviométrie

Les simulations pour les différentes occurrences de crue sont menées pour un événement pluvieux journalier. Pour chaque période de retour, les hauteurs pluviométriques sont calculées à partir des coefficients de Montana du poste pluviométrique de Montélimar (*cf.* Tableau 5). Les pluies modélisées sont construites en double triangle (Desbordes, 1970) à partir des hauteurs pluviométriques, la durée de la période intense de la pluie étant égale au temps de concentration du bassin versant à Viviers (5,18 heures).

❖ Résultats

Les débits de pointe de période de retour 5, 10, 30 et 100 ans sont présentés dans le Tableau 7 pour chaque sous bassin versant de l'Escoutay (tronçon et principaux affluents). Les hydrogrammes de crue correspondants sont disponibles sur les figures ci-après.

SYNTHÈSE DES DÉBITS DE POINTE [m ³ /s]					
Sous bassin versant	Superficie [km ²]	Q ₅	Q ₁₀	Q ₃₀	Q ₁₀₀
ESC_1	2,4	3	5	10	16
ESC_2	60,5	78	131	228	378
ESC_3	92,5	111	180	310	511
ESC_4	168,2	202	329	570	935
Ribeyras	10,7	14	23	41	68
Vernet	13,2	17	28	50	84
Téoulemale	11,3	15	25	44	73
Salauzon	11,5	15	24	42	70
Dardaillon	24,5	31	51	89	146
Nègue	53,8	71	116	202	334

Tableau 7 : Synthèse des débits de pointe caractéristiques obtenus par modélisation hydrologique

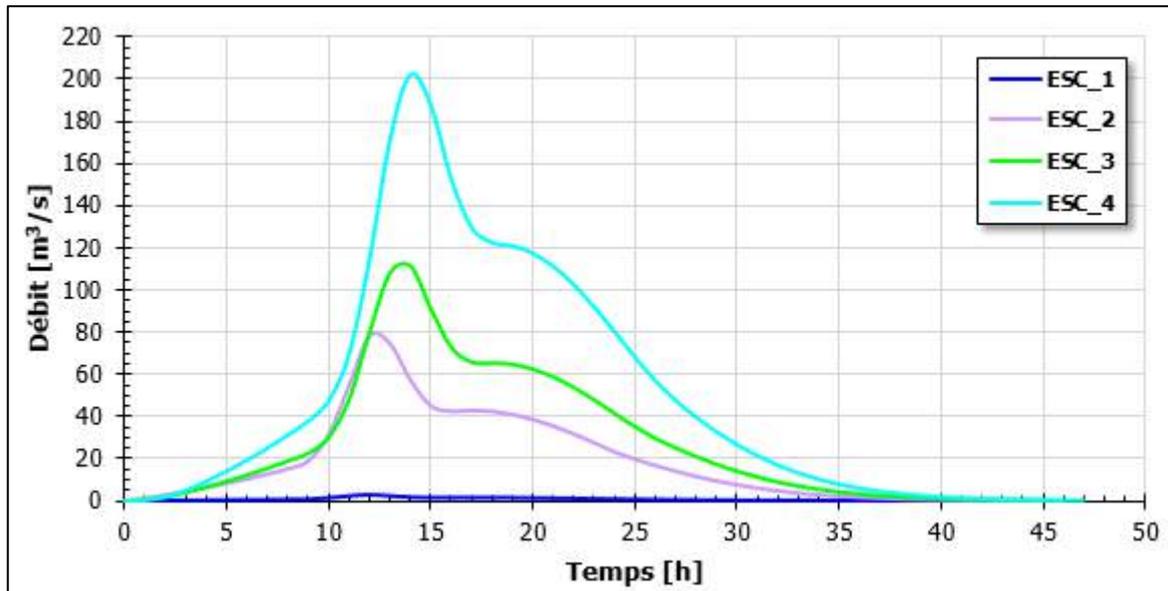


Figure 29 : Hydrogrammes de crue de projet d'occurrence 5 ans à l'exutoire des tronçons de l'Escoutay

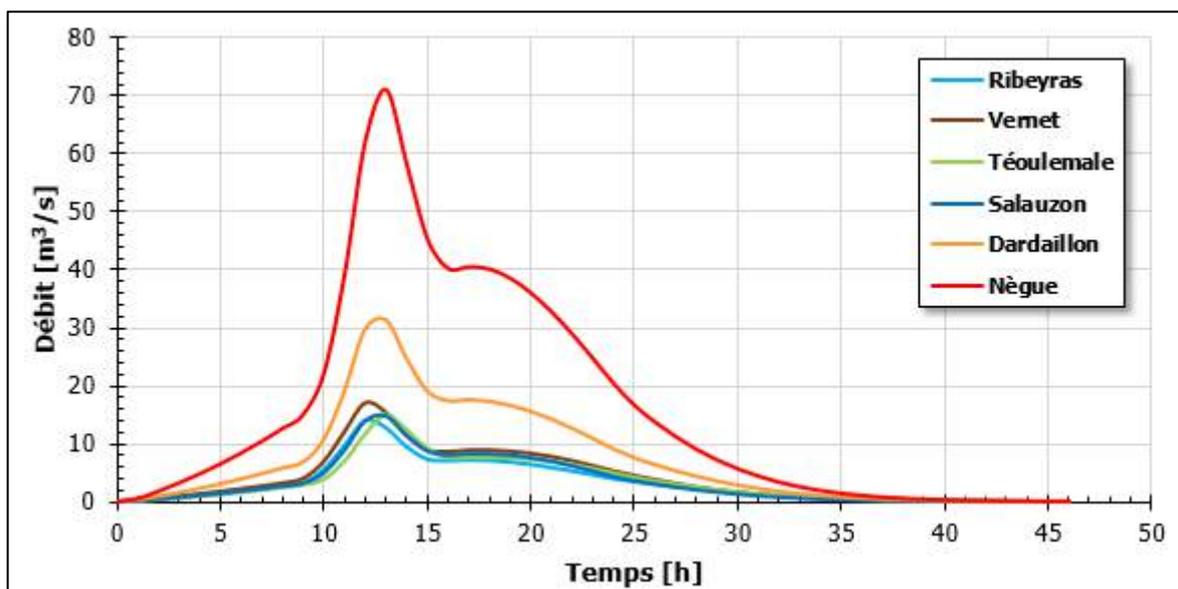


Figure 30 : Hydrogrammes de crue de projet d'occurrence 5 ans à l'exutoire des affluents

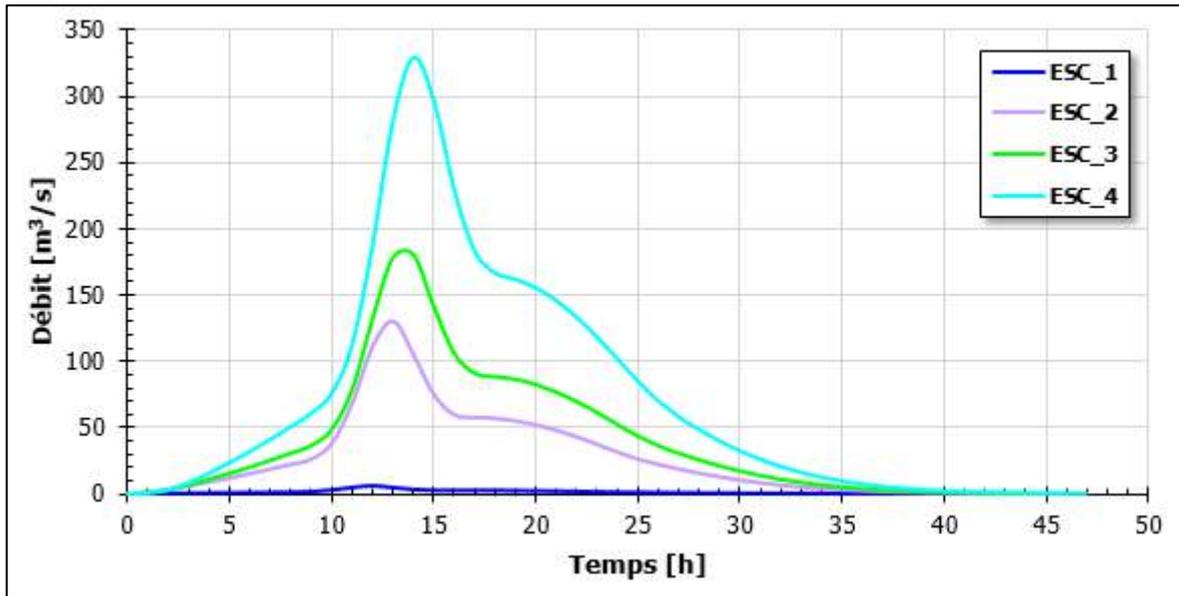


Figure 31 : Hydrogrammes de crue de projet d'occurrence 10 ans à l'exutoire des tronçons de l'Escoutay

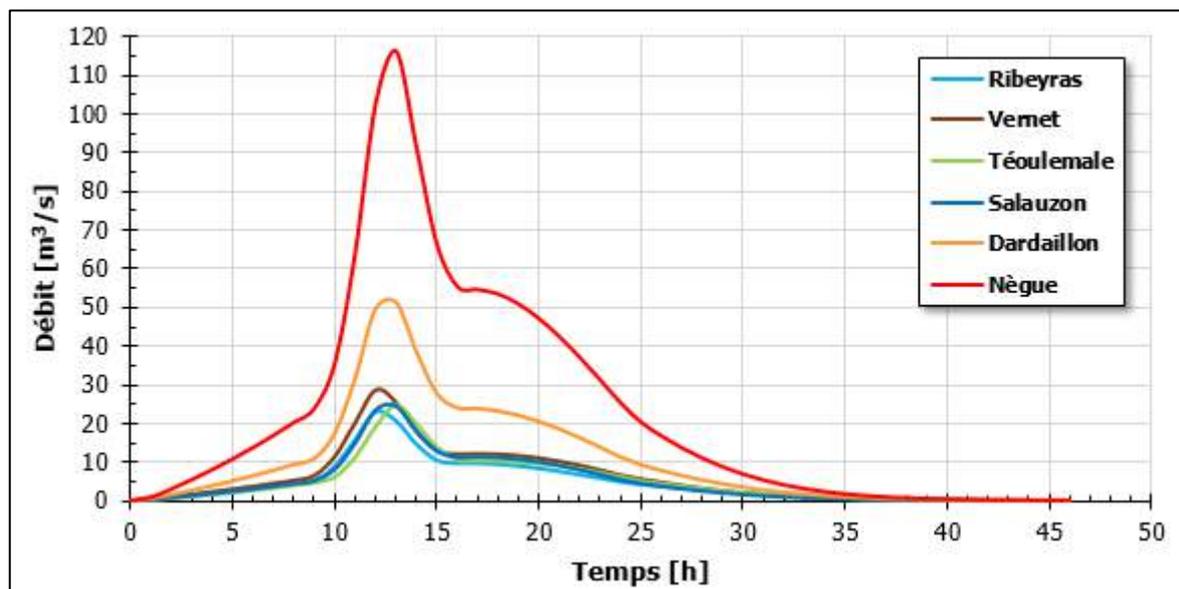


Figure 32 : Hydrogrammes de crue de projet d'occurrence 10 ans à l'exutoire des affluents

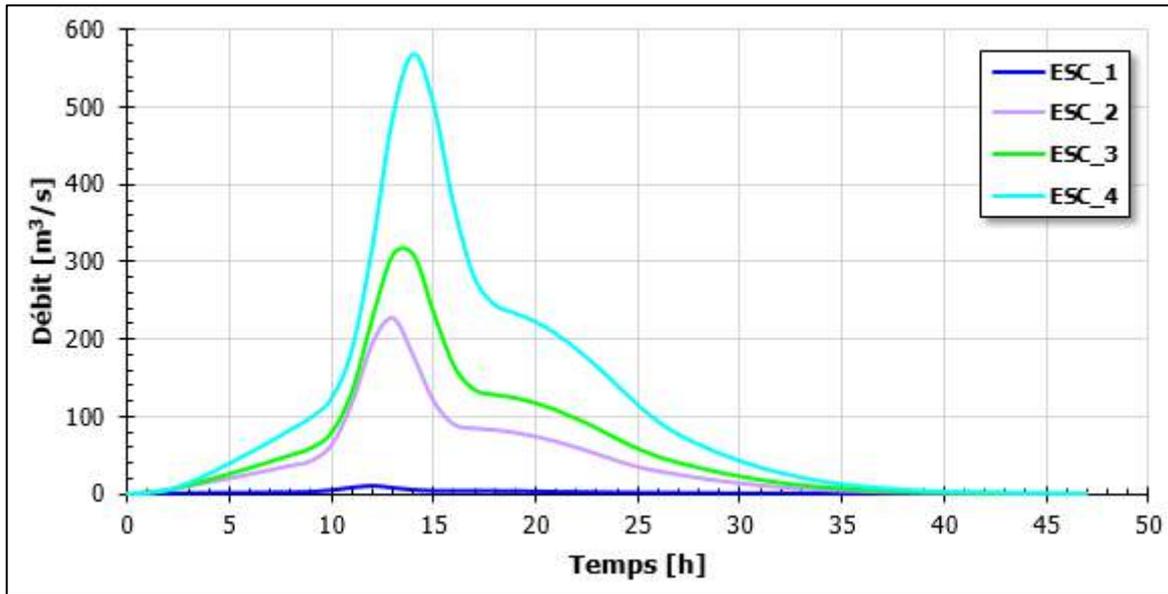


Figure 33 : Hydrogrammes de crue de projet d'occurrence 30 ans à l'exutoire des tronçons de l'Escoutay

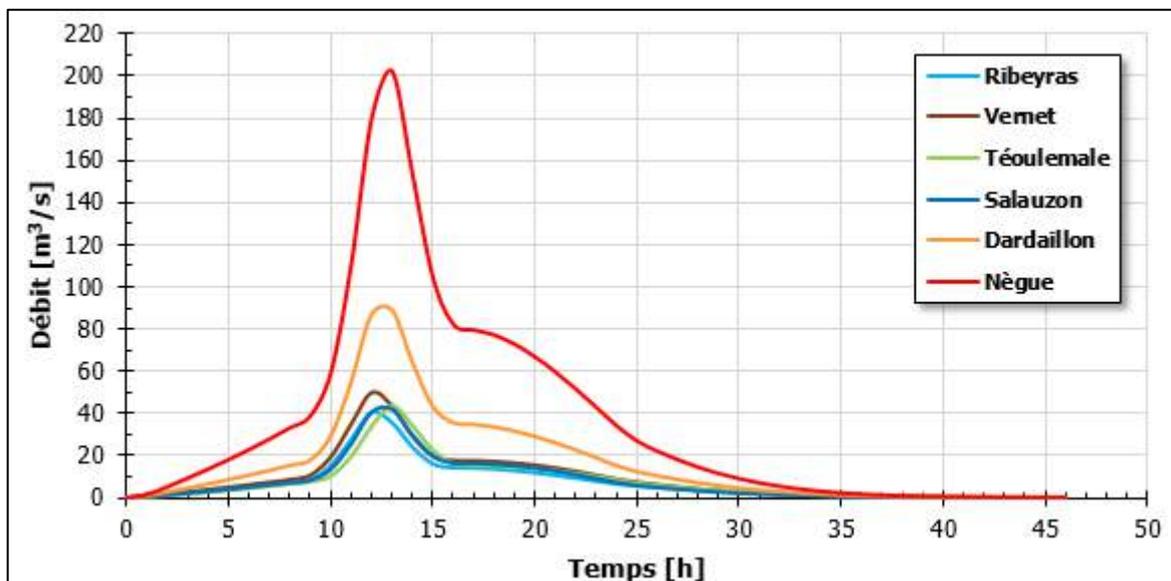


Figure 34 : Hydrogrammes de crue de projet d'occurrence 30 ans à l'exutoire des affluents

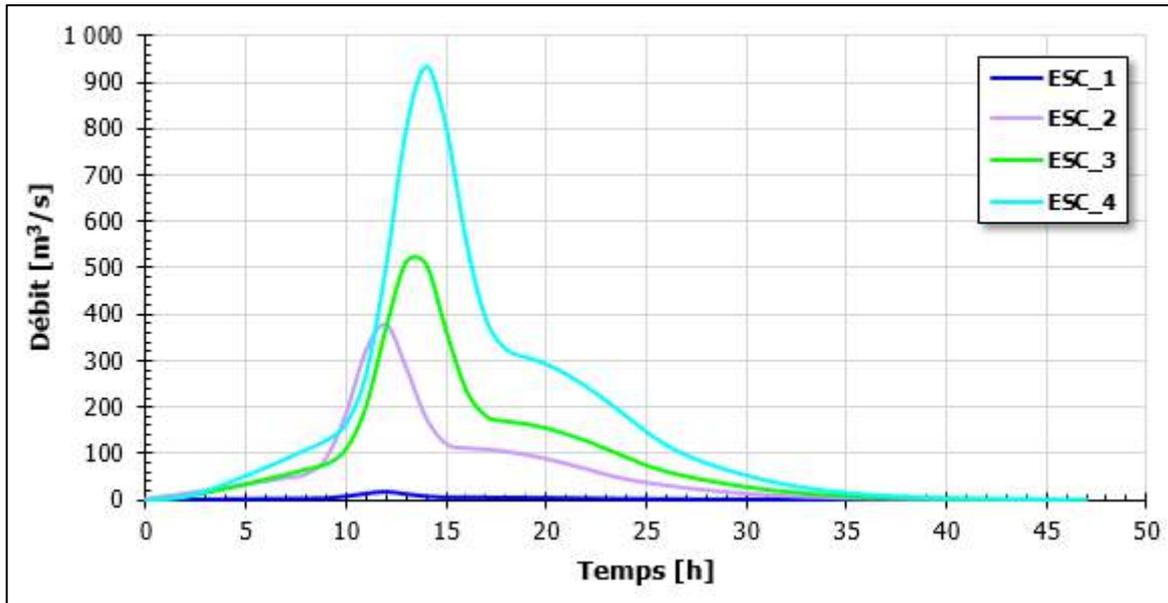


Figure 35 : Hydrogrammes de crue de projet d'occurrence 100 ans à l'exutoire des tronçons de l'Escoutay

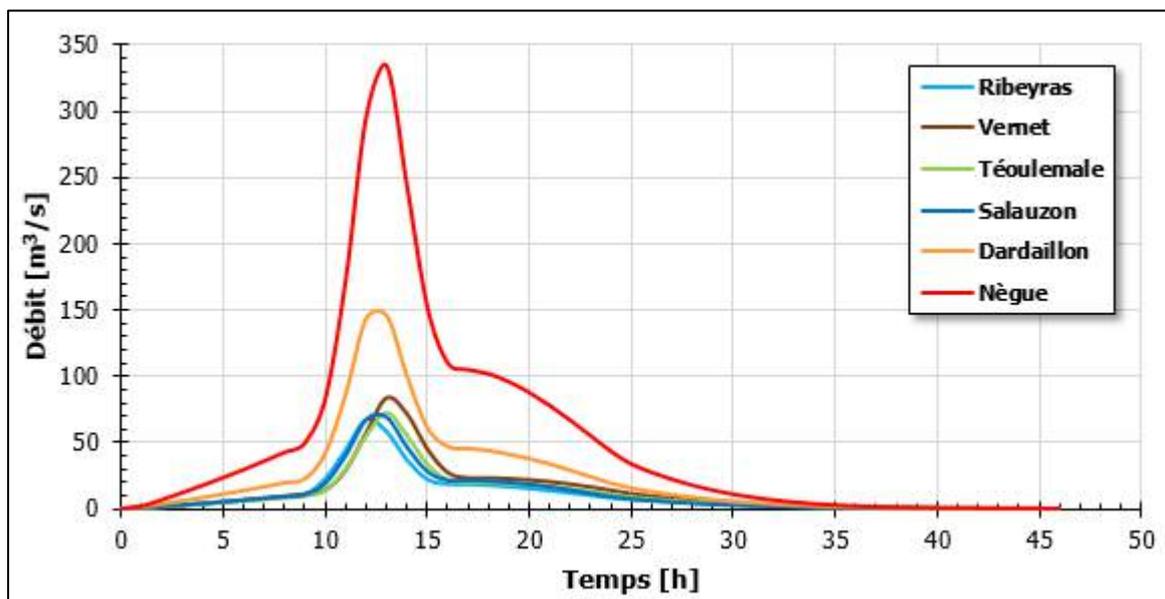


Figure 36 : Hydrogrammes de crue de projet d'occurrence 100 ans à l'exutoire des affluents

5.6 Détermination des courbes de débits classés

La courbe des débits classés représente le nombre de jours durant lesquels la valeur du débit moyen journalier a été atteinte ou dépassée. Cette courbe est essentielle pour mener à bien les calculs de transport solide. En effet, elle permet de définir la relation liant les débits solides aux débits liquides et d'obtenir ainsi la courbe des débits solides classés en différents nœuds du bassin versant, et donc le volume annuel de matériaux potentiellement charriés par le cours d'eau.

A Méthodologie

L'Escoutay n'étant pas jaugé, la courbe de débits classés pour chacun des nœuds de calculs du bassin versant de l'Escoutay (tronçons et principaux affluents) est déterminée à partir des données disponibles à une station hydrométrique de référence. La méthode employée consiste ainsi à :

- Exporter depuis la Banque Hydro les chroniques de débits journaliers mesurées à la station de référence ;
- Construire la courbe de débits classés pour la station de référence à partir de ces données (méthode globale sur une longue période) ;
- Extrapoler les courbes de débits classés de la station de référence aux nœuds de calculs par transposition des bassins versants.

B Choix de la station de référence

Il existe différents bassins versants jaugés à proximité du bassin versant de l'Escoutay, tels que la Cèze, l'Ardèche et l'Ouvèze. Toutefois, le bassin versant de la Cèze présente un comportement hydroclimatique et hydrologique similaire à celui de l'Escoutay : absence d'ouvrages hydrauliques influençant le régime hydrologique contrairement à l'Ardèche par exemple, présence d'assecs non observés sur l'Ouvèze... On retient donc le bassin versant jaugé de la Cèze, en particulier la station de la Cèze à Bessèges comme station de référence.

C Courbe de débits classés à la station de référence

L'analyse des chroniques de débits journaliers observés sur la Cèze à Bessèges montre qu'il s'agit d'une chronique suffisamment longue pour être exploitée et construire les courbes de débits classés, et ce malgré quelques années où des données sont indisponibles.

DONNÉES EXPLOITÉES À LA STATION DE RÉFÉRENCE				
Station de référence	Superficie [km ²]	Type de chronique	Période disponible	Années indisponibles
La Cèze à Bessèges	230	Q _{jm} *	[1980-2011]	1989 ; 1990 2001 ; 2002

(*) Q_{jm} : Débits journaliers moyens

Tableau 8 : Synthèse des données exploitées

La courbe des débits classés pour la station de référence est construite par analyse fréquentielle de l'ensemble des valeurs journalières.

Les débits journaliers observés sur les N jours traités sont classés par ordre décroissant et affectés d'un rang i allant de 1 à N. Pour un débit Q_i, la fréquence de dépassement (F_{qi}) exprimée en nombre de jour par an est alors calculée par la relation suivante :

$$F_{q_i} = \frac{i}{N} \cdot 365$$

DÉBITS CLASSÉS	
Fréquence de dépassement [jour/an]	Débit [m ³ /s]
365	0,00
361	0,11
358	0,21
347	0,39
329	0,60
292	0,92
256	1,30
219	1,87
183	2,97
146	4,55
110	7,42
73	14,60
37	36,10
18	68,60
7	153,00
4	206,00
2	276,00
0,365	407,00
0,037	539,00

Tableau 9 : Courbe des débits classés de la Cèze à Bessèges

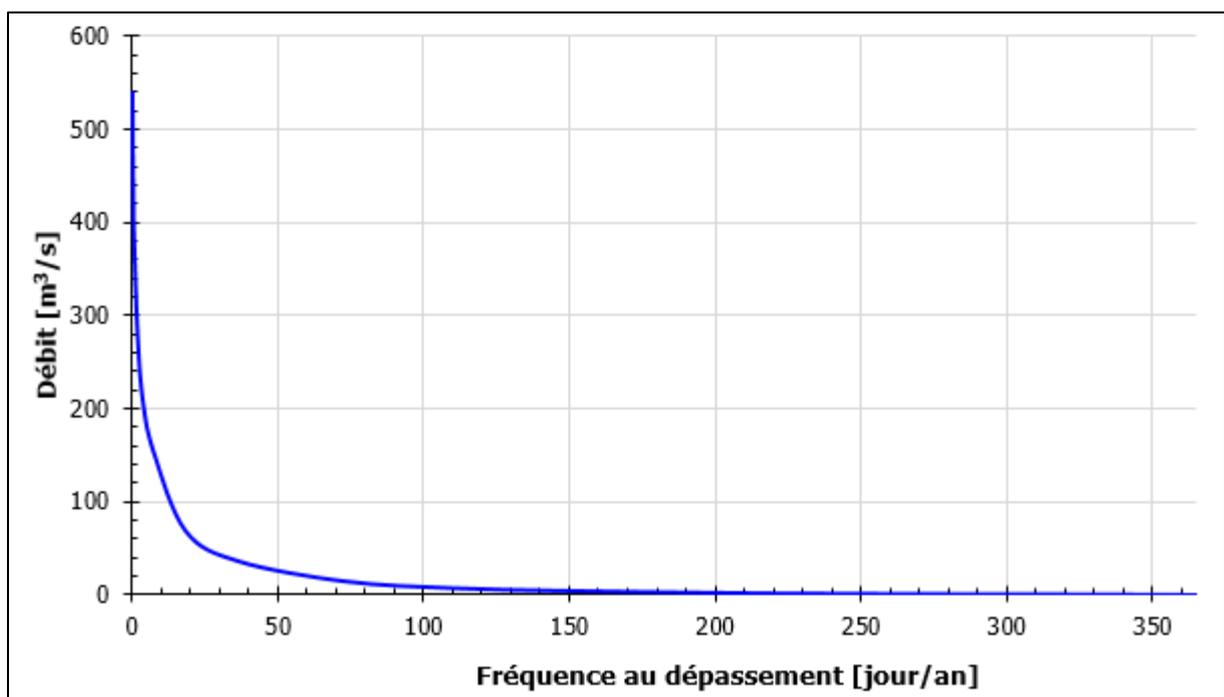


Figure 37 : Courbe de débits classés de la Cèze à Bessèges calculée sur 28 047 données

D Extrapolation aux sous bassins versants

Les courbes de débits classés des quatre tronçons de l'Escoutay et des principaux affluents sont déterminées en extrapolant celles obtenues aux stations de référence selon la relation de Meyer :

$$Q_{BV1} = \frac{S_{BV1}}{S_{BV0}} \cdot Q_{BV0}$$

Avec :

Q – Débit en m³/s

S – Superficie du bassin versant en km²

L'indice BV0 se rapporte au bassin versant de référence.

L'indice BV1 se rapporte au bassin versant dont on recherche le débit.

Les résultats sont présentés dans le Tableau 10 et les courbes de débits classés à l'exutoire des tronçons de l'Escoutay et des affluents à la Figure 38 et Figure 39.

DÉBITS CLASSÉS EXTRAPOLÉS À L'ESCOUTAY ET AUX AFFLUENTS										
Fréquence de dépassement [jour/an]	Débit [m ³ /s]									
	ESC_1	ESC_2	ESC_3	ESC_4	Ribeyras	Vernet	Téoule-male	Salauzon	Dardailon	Nègue
365	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
361	0,00	0,03	0,04	0,08	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03
358	0,00	0,06	0,08	0,15	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,05
347	0,00	0,10	0,16	0,29	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,09
329	0,01	0,16	0,24	0,44	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	0,14
292	0,01	0,24	0,37	0,67	0,04	0,05	0,05	0,05	0,10	0,22
256	0,01	0,34	0,52	0,95	0,06	0,07	0,06	0,06	0,14	0,30
219	0,02	0,49	0,75	1,37	0,09	0,11	0,09	0,09	0,20	0,44
183	0,03	0,78	1,19	2,17	0,14	0,17	0,15	0,15	0,31	0,70
146	0,05	1,20	1,83	3,33	0,21	0,26	0,22	0,23	0,48	1,07
110	0,08	1,95	2,99	5,43	0,34	0,43	0,36	0,37	0,78	1,74
73	0,15	3,84	5,87	10,68	0,68	0,84	0,72	0,73	1,54	3,42
37	0,38	9,50	14,52	26,40	1,67	2,07	1,77	1,80	3,81	8,45
18	0,71	18,06	27,60	50,16	3,18	3,94	3,36	3,43	7,25	16,06
7	1,59	40,27	61,56	111,87	7,10	8,79	7,50	7,64	16,16	35,82
4	2,14	54,22	82,88	150,62	9,56	11,83	10,09	10,29	21,76	48,22
2	2,87	72,65	111,05	201,80	12,80	15,85	13,52	13,79	29,16	64,61
0,365	4,23	107,13	163,76	297,59	18,88	23,38	19,94	20,33	43,00	95,27
0,037	5,60	141,87	216,87	394,10	25,00	30,96	26,41	26,93	56,95	126,17

Tableau 10 : Débits classés extrapolés à l'Escoutay et à ses principaux affluents

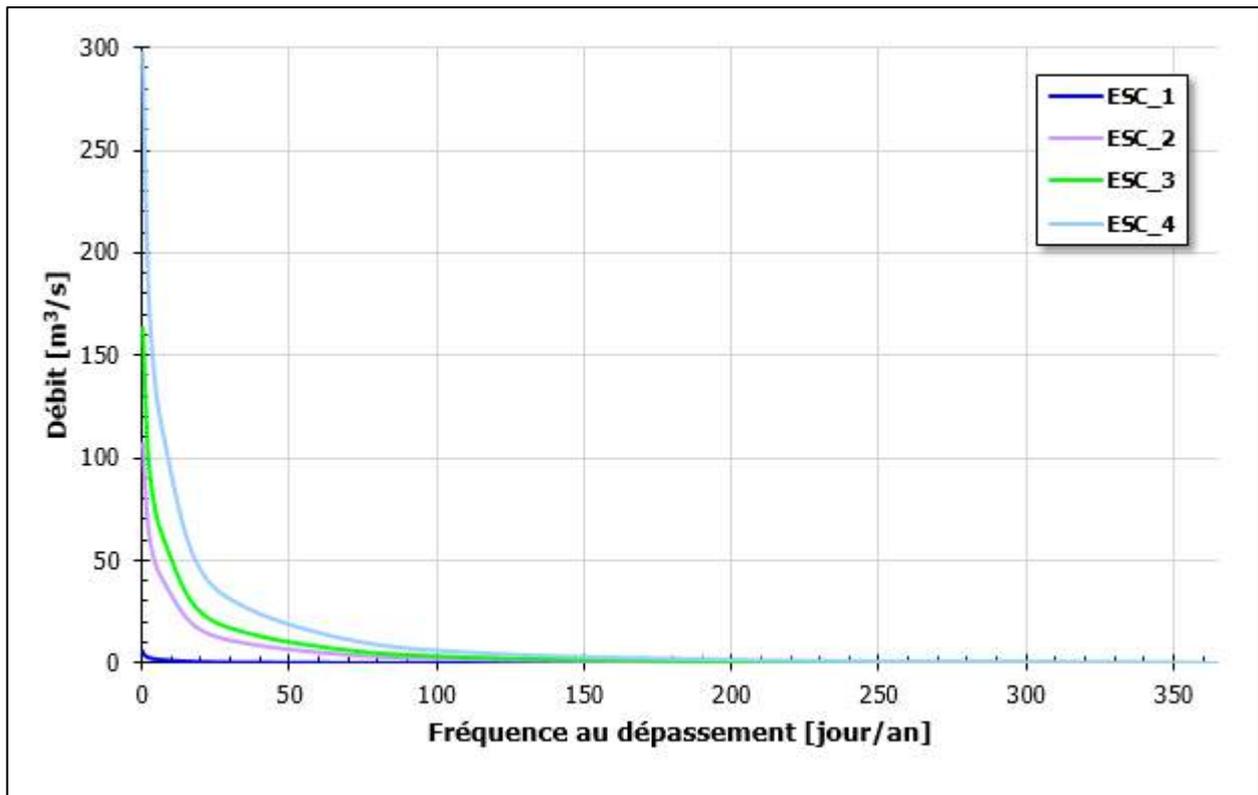


Figure 38 : Courbes de débits classés à l'exutoire des tronçons de l'Escoutay

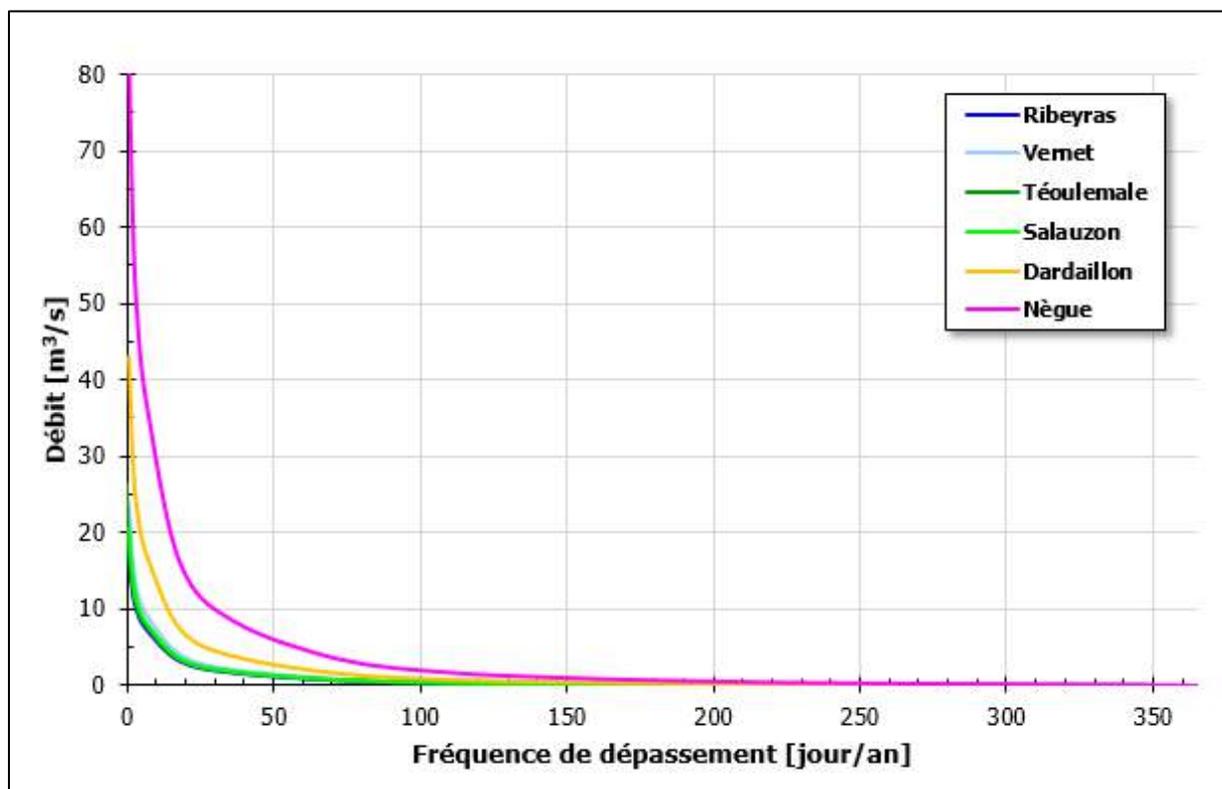


Figure 39 : Courbes de débits classés des principaux affluents de l'Escoutay

6 Analyse de la trajectoire géomorphologique de l'Escoutay

Comme expliqué au préambule, le diagnostic hydromorphologique, étape préalable essentielle à l'élaboration du plan de gestion, repose sur la **trajectoire géomorphologique de l'Escoutay**.

Les trois chapitres suivants présentent donc respectivement les analyses de chacune des trois composantes : héritage géomorphologique, fonctionnement dynamique et évolution dynamique. Ces analyses sont réalisées **à l'échelle des tronçons** issus de la sectorisation morphodynamique (cf. § 4).

Les différentes étapes d'analyse des trois composantes sont présentées sous la forme d'un synoptique à la Figure 40.

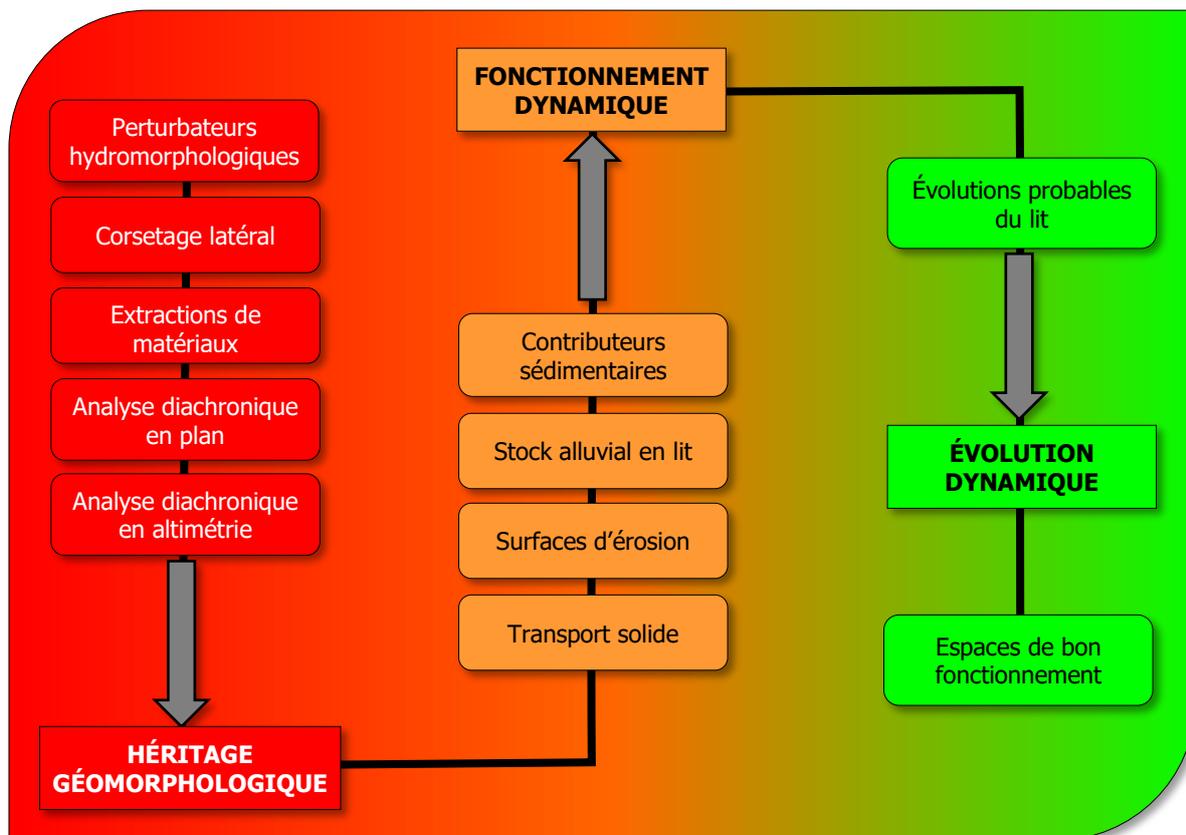


Figure 40 : Méthodologie générale utilisée pour construire la trajectoire géomorphologique de l'Escoutay

Par ailleurs, la méthodologie employée pour l'étude de chaque composante de la trajectoire géomorphologique repose sur le couplage de différents éléments mis à disposition dans le cadre de la présente étude :

- Données bibliographiques disponibles ;
- Entretiens des personnes ressource du territoire dont les comptes-rendus sont disponibles en Annexe 3 ;
- Investigations de terrain réalisées par HYDRETTUDES de juin à août 2016 : parcours pédestre de l'Escoutay depuis le pont de la N102 à St-Jean-le-Centenier et de ses affluents avec levé de divers indicateurs hydromorphologiques (cf. Tableau 11) ;

- Levés topographiques terrestres réalisés par HYDRETTUDES en juin-juillet 2016 : profil en long de l'Escoutay depuis la confluence avec le Ribeyras et profils en travers de l'Escoutay et de ses affluents (*cf. Annexe 4*) ;
- Levés topographiques par drone sur l'Escoutay réalisés en août 2016 : MNT et orthophotographie.

SYNTHÈSE DES INVESTIGATIONS DE TERRAIN				
Cours d'eau	Linéaire parcouru [km]		Date	Type de levés
Escoutay	Pont N102 → Rhône	22,0	07/2016	Surfaces d'érosion Structures alluvionnaires Traces d'incision Ouvrages transversaux Ouvrages longitudinaux Confortement de berge Prélèvements granulométriques
Ribeyras	Ruisseau des Blaches → Escoutay	2,0	12/2016	Ouvrages transversaux Prélèvements granulométriques
Vernet	Ruisseau de Potière → Escoutay	2,1	12/2016	Ouvrages transversaux Prélèvements granulométriques
Téoulemale	Gourgeon → Escoutay	8,2	11/2016	Ouvrages transversaux Prélèvements granulométriques
Dardaillon	Ruisseau de l'Olivier → Nègue	3,5	12/2016	Surfaces d'érosion Structures alluvionnaires Traces d'incision Ouvrages transversaux Ouvrages longitudinaux Confortement de berge Prélèvements granulométriques
Nègue	Les Vignous → Escoutay	8,2	11/2016	Surfaces d'érosion Structures alluvionnaires Traces d'incision Ouvrages transversaux Ouvrages longitudinaux Confortement de berge Prélèvements granulométriques

Tableau 11 : Synthèse des investigations de terrain réalisées par HYDRETTUDES

7 Héritage géomorphologique de l'Escoutay

La connaissance de l'héritage géomorphologique d'un cours d'eau résulte de la confrontation et de la compréhension de trois éléments en interrelation et interaction :

- La dynamique ancienne du cours d'eau (facteur interne) ou « trajectoire vécue » ;
- L'impact des modifications hydroclimatiques sur cette dynamique (facteur externe) ;
- L'impact des modifications anthropiques sur cette dynamique (facteur externe).

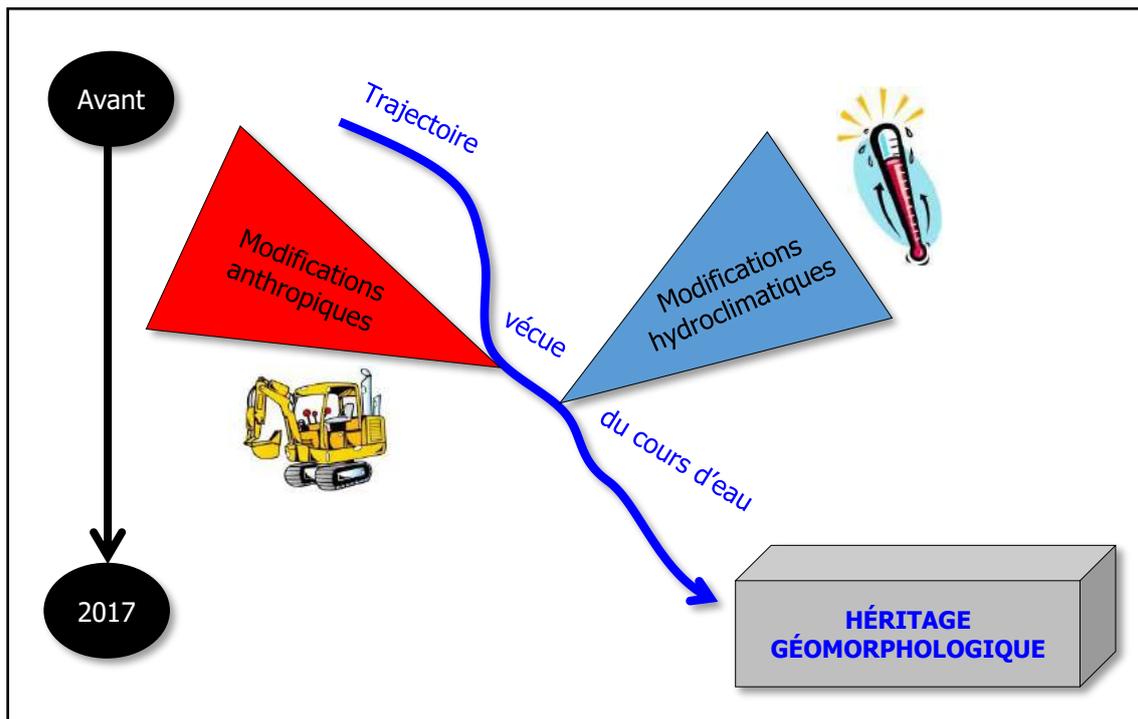


Figure 41 : L'héritage géomorphologique d'un cours d'eau

Ainsi, l'analyse de l'héritage géomorphologique de l'Escoutay consiste (pour les modifications hydroclimatiques et les modifications anthropiques dont les effets ont tendance à être cumulatifs) à rechercher des indices d'impact et en particulier des traces d'incision du lit.

Chaque cours d'eau a son héritage géomorphologique plus ou moins impacté par les modifications hydroclimatiques et anthropiques qu'il convient de préciser et d'adapter aux réalités locales.

7.1 Modifications hydroclimatiques

Les modifications hydroclimatiques sont des modifications tendancielle lourdes à échelle globale qui sont actuellement dans une phase ascendante (réchauffement). L'Escoutay est donc bien évidemment sous influence de ces modifications hydroclimatiques liées notamment à la sortie de la période froide du Petit Âge Glaciaire et donc au réchauffement actuel (cf. § 2.5A).

La métamorphose climatique a plusieurs influences et impacts sur les cours d'eau synthétisés dans le Tableau 12.

ÉVOLUTION HYDROCLIMATIQUES ET INCIDENCES SUR L'ESCOUTAY			
Modifications hydroclimatiques	Effets principaux induits ou chaîne des effets induits	Impacts sur les cours d'eau	Escoutay
Réchauffement	Remontée de la couverture végétale en montagne ⇒ Baisse de l'érosion et déconnexion versants/lit ⇒ Baisse de la fourniture sédimentaire	Incision des lits fluviaux	Peu impacté
Baisse de la pluviométrie	Raréfaction des crues BFHM* : (i) Végétalisation des structures alluvionnaires et des bandes actives ⇒ baisse de la mobilité des structures alluvionnaires (ii) Baisse de la morphogénie ⇒ baisse de la mobilité des structures alluvionnaires (iii) Baisse de l'érosion ⇒ baisse de la fourniture sédimentaire	Incision des lits fluviaux	Certainement impacté

Tableau 12 : Évolutions hydroclimatiques et incidences probables sur l'Escoutay

7.2 Modifications anthropiques

Il s'agit d'étudier les impacts des principales activités et modifications anthropiques influençant fortement et durablement la dynamique de l'Escoutay à travers les éléments suivants :

- Perturbateurs hydromorphologiques ;
- Corsetage du lit ;
- Extractions de matériaux.

A Les perturbateurs hydromorphologiques

Les perturbateurs hydromorphologiques regroupent l'ensemble des ouvrages transversaux présents dans le lit d'un cours d'eau. Ils affectent durablement le profil en long en compartimentant le lit fluvial, créant ainsi des tronçons à dynamique propre et altérant la continuité sédimentaire et/ou écologique. On distingue deux types de perturbateurs hydromorphologiques définis en fonction de leur origine :

- Les **perturbateurs géomorphologiques** concernent les seuils naturels généralement dégagés par l'incision des cours d'eau qui, après avoir affouillé leur plancher alluvial, s'écoulent directement sur la roche ;
- Les **perturbateurs anthropiques** concernent les ouvrages transversaux tels que les barrages, seuils, passages à gué, ponts... La plupart d'entre eux ont généralement un usage (hydroélectricité, stabilisation du profil en long, franchissement...).

L'altération du profil en long par la présence de perturbateurs hydromorphologiques peut conduire à une modification du style fluvial en aval (barrage, seuil altérant fortement le transit sédimentaire...) : on parle alors de perturbateur majeur. Dans le cas où l'impact n'est que local, on parle de perturbateur secondaire (radier, gué...).

L'ensemble des perturbateurs hydromorphologiques de l'Escoutay ont été recensés dans le cadre des investigations de terrain et analysés, afin de connaître leur impact sur la continuité sédimentaire. La Figure 42 montre la localisation des perturbateurs hydromorphologiques en fonction de leur type et de leur degré d'impact.

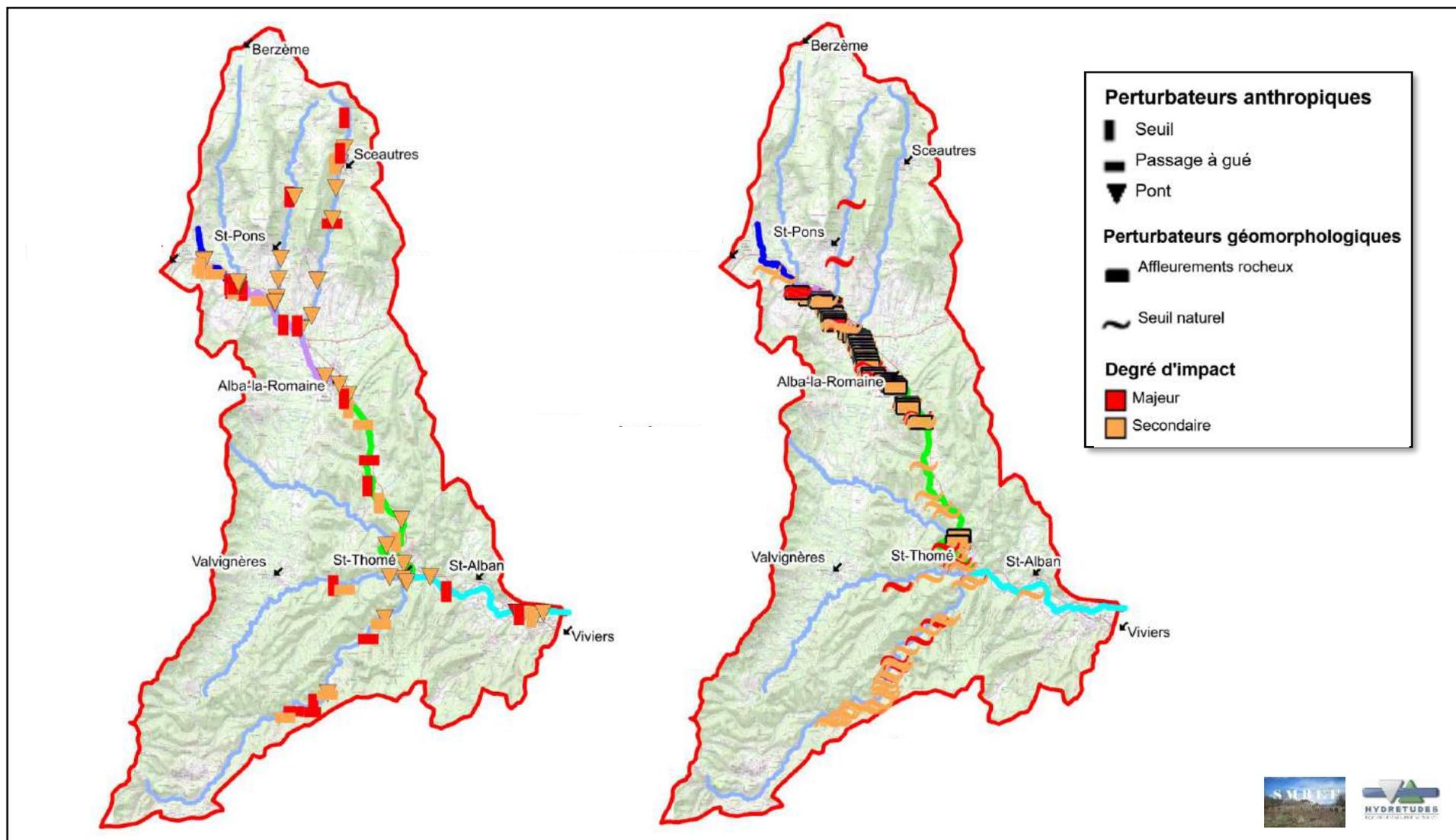


Figure 42 : Localisation des perturbateurs anthropiques (à gauche) et géomorphologiques (à droite) selon leur nature et leur degré d'impact

Le premier constat montre un nombre important de perturbateurs hydromorphologiques. On compte ainsi sur l'Escoutay 177 perturbateurs au total, dont 33 perturbateurs anthropiques et 144 perturbateurs géomorphologiques.



Figure 43 : Perturbateurs géomorphologiques secondaires : affleurements rocheux (a) et seuil naturel (b) et perturbateurs anthropiques majeurs : seuil Lestrade (c) et seuil parafeuille du pont de la D86 à Viviers (d)

Parmi les 33 perturbateurs anthropiques, on recense principalement des ponts et des seuils répartis sur l'ensemble des tronçons de l'Escoutay, seuls onze d'entre eux ont un degré d'impact majeur.

On note également que sur les 144 perturbateurs géomorphologiques, une cinquantaine concerne des affleurements rocheux, les écoulements s'effectuant directement sur les dalles marneuses ou marno-calcaires. Ces affleurements rocheux se concentrent majoritairement dans le tronçon ESC_2, c'est-à-dire là où les roches sont relativement résistantes et où les apports solides sont limités. Le plancher alluvial y est alors quasi inexistant, ce qui témoignerait d'une incision du lit.

PERTURBATEURS HYDROMORPHOLOGIQUES DE L'ESCOUTAY				
Tronçon	Géomorphologiques		Anthropiques	
	Majeur	Secondaire	Majeur	Secondaire
ESC_1	0	2	3	6
ESC_2	22	82	2	3
ESC_3	9	26	3	8
ESC_4	1	2	3	5

Tableau 13 : Synthèse des perturbateurs hydromorphologiques recensés sur l'Escoutay

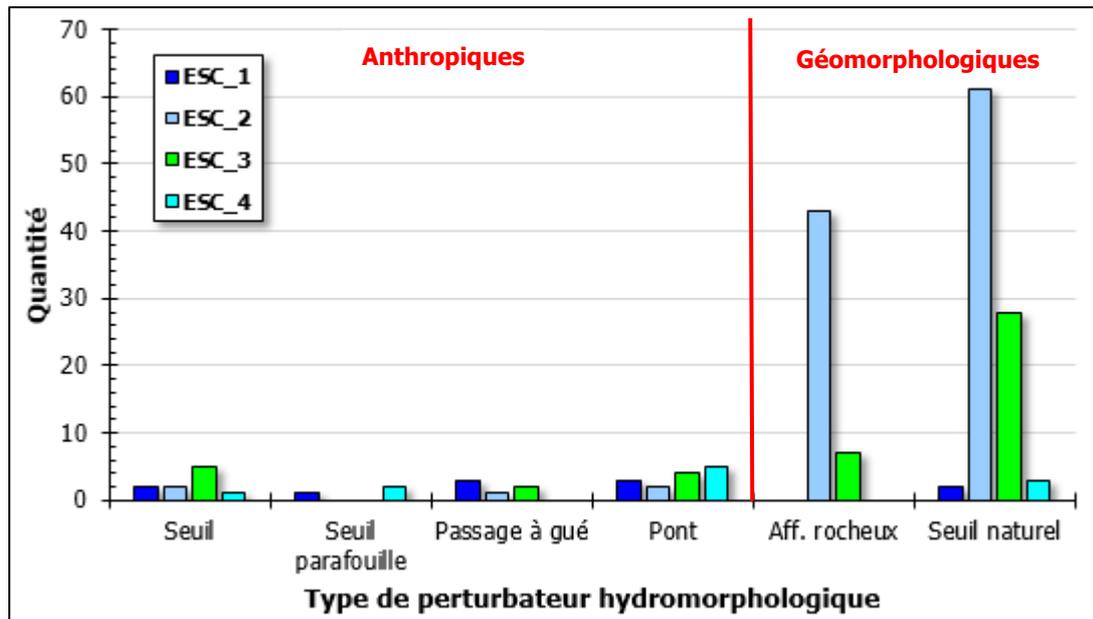


Figure 44 : Répartition des perturbateurs hydromorphologiques selon leur type et par tronçon

B Le corsetage* du lit

Le corsetage du lit d'un cours d'eau est constitué essentiellement des **ouvrages longitudinaux** (merlons, digues, mur-digue...) et des **confortements de berge** (enrochements libres ou liaisonnés, gabion, épis...)

Suivant leur positionnement, ces éléments empêchent :

- La respiration* latérale du lit, donc de la bande active ;
- La mobilité de certaines structures géomorphologiques comme les méandres en fixant leur extrados* ;
- La recharge sédimentaire par érosion latérale au profit de l'érosion verticale.

Ces éléments révèlent également d'anciennes zones érodées, dans la mesure où la motivation de leur mise en œuvre a été la protection d'un enjeu contre une érosion préexistante et menaçant directement cet enjeu ou risquant de le menacer à terme.

La connaissance du corsetage d'un lit d'un cours permet donc d'appréhender certaines zones de mobilité, ainsi que les protections obsolètes pouvant éventuellement être effacées (notamment pour augmenter la recharge latérale, si besoin). Ces protections obsolètes peuvent générer des points durs en aval impactant fortement la dynamique du cours d'eau (risque de contournement, voire d'avulsion*).

En complément, le corsetage naturel (géologique) constitué par les **falaises** est également intégré aux éléments de l'analyse.

Le Tableau 14 présente les linéaires corsetés de l'Escoutay en distinguant les confortements de berge, les ouvrages longitudinaux (merlon et mur-digue) et les contraintes naturelles (falaises) placés en rives gauche et droite.

Compte tenu de la longueur totale du linéaire d'étude (23,1 km), le lit de l'Escoutay est relativement corseté. En effet, 15% des berges de rive droite et gauche sont contraintes latéralement par des confortements de berge, des merlons et/ou des falaises, soit 30% du linéaire total d'étude.

NATURE DES ÉLÉMENTS DE CORSETAGE				
Type	Nature	Longueur [m]		
		Rive gauche	Rive droite	Total
Corsetage anthropique	Enrochement libre	503	303	806
	Enrochement liaisonné	227	170	398
	Gabion	27	34	62
	Épi	0	0	0
	Merlons	562	31	593
	Mur-digue	1 364	947	2 311
Corsetage naturel	Falaise	552	1 670	2 222

Tableau 14 : Synthèse du corsetage du lit de l'Escoutay par type

Parmi les **confortements de berge**, les enrochements (libres et liaisonnés) sont les protections majoritairement présentes avec 1 204 mètres répartis sur l'ensemble des tronçons de l'Escoutay (notamment ESC_4), soit 5% du linéaire. Les enrochements servent essentiellement à protéger un enjeu (pont, route, habitations...), et des éléments construits de canaux en aval de seuils de prise d'eau. Ces différents aménagements constituent des points durs limitant la divagation latérale et les possibilités de recharge sédimentaire.

Les **ouvrages longitudinaux** (merlons et mur-digue) constituent toutefois le type de corsetage anthropique le plus important. On compte ainsi un linéaire total de près de 3 km, soit 13% du linéaire total de l'Escoutay avec une prédominance de mur-digue (2,3 km). Les merlons que l'on rencontre principalement dans le tronçon ESC_1, sont d'anciens merlons de curage et de protection contre les débordements, pratique largement utilisée en milieu méditerranéen pour protéger les vignes. On note que ces merlons sont fortement végétalisés.

On note également que l'Escoutay est fortement contraint latéralement par des **falaises**, notamment lorsqu'il vient buter contre le plateau marno-calcaire du Laoul. Ces contraintes latérales géologiques concernent essentiellement les trois derniers tronçons et cumulent un linéaire de 2 222 mètres, soit 10% du linéaire total. La berge de rive droite comprend un linéaire contraint sur 1 670 mètres contre seulement 552 mètres pour la berge opposée. Ces falaises constituent des points de blocage, le tracé du cours d'eau étant ainsi totalement contraint par l'encaissant.

Le Tableau 15 synthétise les linéaires corsetés du lit de l'Escoutay par tronçon. Les tronçons les plus corsetés, et donc logiquement les plus mobiles, sont les tronçons ESC_3 et ESC_4. Le tronçon ESC_4 est néanmoins moins corseté que le tronçon ESC_3 alors qu'il semble plus mobile. Ceci s'explique vraisemblablement par la largeur de la bande active fluctuante qui impose de repousser les usages sous peine de dégâts sérieux et réguliers, complétée par le régime cévenol de l'Escoutay.

LINÉAIRES CORSETÉS DE L'ESCOUTAY [m]					
Tronçon	Longueur [km]	Confortement de berge	Ouvrage longitudinal	Falaise	Total
ESC_1	2,9	51	679	0	730
ESC_2	5,8	116	164	1 023	1 303
ESC_3	8,1	426	1 487	685	2 598
ESC_4	6,3	673	574	514	1 761

Tableau 15 : Synthèse du corsetage du lit de l'Escoutay par type et par tronçon



Figure 45 : Merlon végétalisé (à gauche) et l'Escoutay s'écoulant au pied du merlon (à droite)



Figure 46 : Falaise contraignant la divagation latérale de l'Escoutay

C Extractions de matériaux

❖ Les extractions anciennes

La consultation de documents anciens aux Archives départementales de l'Ardèche montre que des extractions anciennes de matériaux alluvionnaires ont eu lieu dans le lit de l'Escoutay depuis le début du XX^{ème} siècle. Les recherches n'ont pas permis de déterminer avec précision les volumes extraits, faute de documents suffisants, notamment ceux concernant les extractions. Toutefois, plusieurs documents attestant de curages autorisés à des particuliers ou indiquant l'Escoutay comme lieux d'extractions de matériaux pour la construction d'ouvrage d'art, de routes, de mur... ont été trouvés (cf. Figure 47 et Figure 48).

NATURE DES MATÉRIELLES	COMMUNE	NATURE DE LA PRODIGE	NOMS ET DÉTAILS		QUANTITÉS
			Des PROPRIETAIRES	Des LOCATAIRES	
Sable et Gravier	Viviers	Rivière de l'Escoutay			
Pierres cassées et moellons de toutes sortes	Carrières Locales				
Chaux et Ciments	Viviers sources				

Figure 47 : Extrait du devis pour un projet de construction entre la RN86 et le quartier l'Eymieux à Viviers datant de 1932 (Source : Archives départementales de l'Ardèche, n°30530) indiquant la rivière de l'Escoutay comme lieu d'extraction des sables et graviers

Matériaux employés.- Les matériaux à employer sont la pierre calcaire de bonne qualité, pour les maçonneries, provenant des carrières de Marquoyrol d'où ont été tirés les moellons nécessaires à la construction du viaduc du chemin de fer, ligne du Teil à Nîmes, construit sur le torrent de l'Escoutay.

La pierre calcaire dure pour la chaussée, à prendre dans le lit de l'Escoutay.

Figure 48 : Extrait du projet définitif de la construction d'un pont à trois arches sur la rivière de l'Escoutay à St-Thomé datant de 1902 (Source : Archives départementales de l'Ardèche, n°30470)

Les personnes ressources du territoire rencontrées dans le cadre de cette étude s'accordent également à dire que des extractions massives, voire « sauvages », de matériaux se sont produites dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle pour la construction privée et les travaux publics, le lit de l'Escoutay étant très accessible. Parmi les témoignages recueillis (cf. Annexe 3), les secteurs d'Alba-la-Romaine, Saint-Thomé (confluence Nègue-Escoutay) et Saint-Alban apparaissent comme les zones préférentielles d'extraction :

- « La confluence Nègue-Escoutay constituait une zone d'extraction importante jusqu'à la Loi sur l'Eau »
- « À Alba-la-Romaine, plusieurs opérations de curage de l'Escoutay ont été réalisées jusqu'à la dalle, même après la Loi sur l'Eau »
- « Extractions régulières sans autorisation sous le pont La Roche à Alba-la-Romaine »
- « Autrefois, il y a 30-40 ans, les particuliers chargeaient dans leur remorque/tracteur des matériaux extraits de l'Escoutay pour la construction des maisons, murs... à Alba-la-Romaine »
- « Dans les années 50, des matériaux ont été extraits majoritairement par des particuliers pour la construction à Saint-Thomé »

❖ Les extractions récentes (1995-2008)

D'après les documents d'autorisations récupérés auprès du Syndicat Mixte des Bassins de l'Escoutay et du Frayol, des extractions de matériaux ont été réalisées entre 1995 et 2008. Il s'agit d'extractions au sens strict du terme, c'est à dire qu'elles n'intègrent pas des travaux de déplacement de matériaux (*i.e.* transfert-réinjection).

La synthèse de ces documents est présentée à la Figure 49 et indique le volume annuel de matériaux extrait entre 1995 et 2008, soit une période de 14 ans. Le détail de l'analyse est disponible en [Annexe 5](#).

On constate que les prélèvements autorisés évoluent fortement entre 1995 et 2008 :

- Entre 1995 et 1999, les prélèvements sont extrêmement faibles, les volumes étant même inférieurs à 10 m³ pour certaines années (1997 et 1999). L'année 1995 fait toutefois exception. En effet, une autorisation a été faite à un particulier (par la DDAF) pour extraire 500 m³ de matériaux à Viviers. ;
- Entre 2000 et 2006, les prélèvements augmentent et concernent en moyenne 500 m³ de matériaux par an ;
- Entre 2007 et 2008, la tendance est très nettement à l'augmentation avec une moyenne de plus de 2 000 m³ prélevés par an. L'année 2008 est la dernière année où le Syndicat Intercommunal du Bassin de l'Escoutay a donné des autorisations d'extraction, la réglementation devenant ensuite plus contraignante.

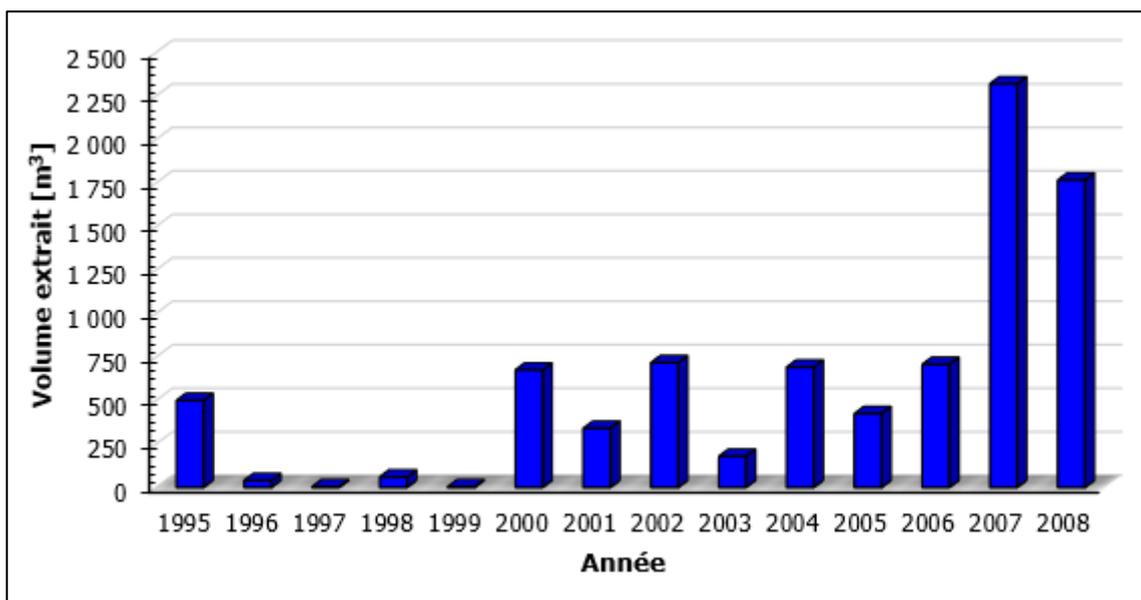


Figure 49 : Prélèvements de matériaux autorisés dans l'Escoutay entre 1995 et 2008
(Source : DDAF, SIBE, ONEMA)

L'analyse des autorisations de prélèvements montre également que les **demandeurs** sont essentiellement des particuliers (riverains ou non) de l'Escoutay, essentiellement pour de la construction (granulats pour construction, remblaiement...), y compris pour les demandes provenant des collectivités.

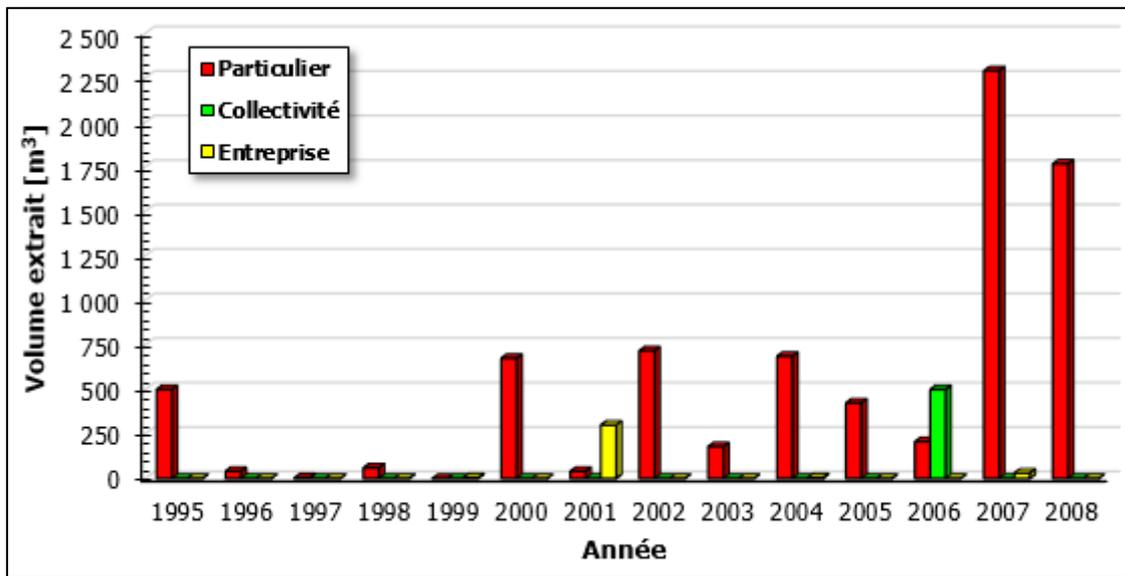


Figure 50 : Répartition des prélèvements autorisés dans l'Escoutay entre 1995 et 2008 par catégorie d'utilisateurs (Source : DDAF, SIBE, ONEMA)

Par ailleurs, les prélèvements se concentrent autour de quatre zones préférentielles localisées à Alba-la-Romaine avec une prédilection pour le pont La Roche, les prélèvements servant clairement à dégager les atterrissements liés au pont, Saint-Thomé, Saint-Alban et Viviers.

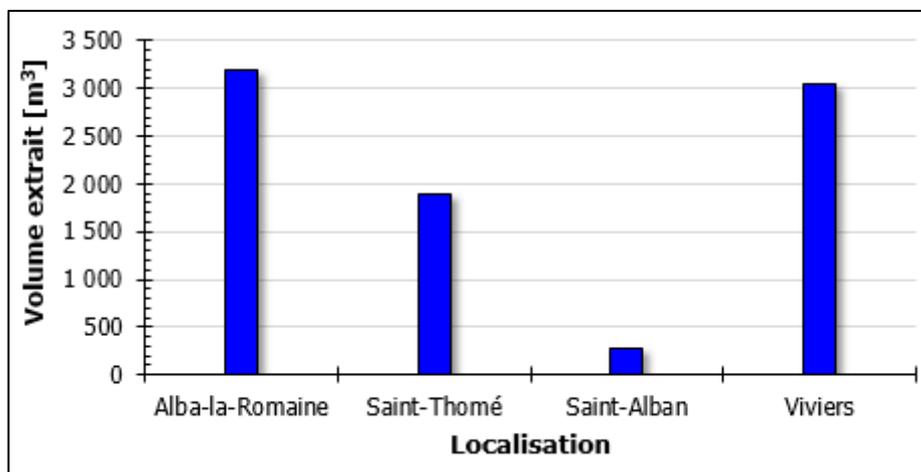


Figure 51 : Répartition des prélèvements autorisés dans l'Escoutay entre 1995 et 2008 par localisation (Source : DDAF, SIBE, ONEMA)

❖ Conclusion

De fait, il est certain que des matériaux alluvionnaires ont été prélevés dans le lit de l'Escoutay au siècle passé, mais aucun chiffre précis ne peut être donné. On peut toutefois estimer les quantités extraites à plusieurs centaines de milliers de mètres cubes, impactant ainsi fortement le bilan sédimentaire de l'Escoutay, et ce d'autant plus dans le contexte de déficit de fourniture sédimentaire (sortie Petit Âge Glaciaire – cf. § 2.5A et § 7.1).

7.3 Analyse diachronique

L'analyse diachronique consiste à étudier les **évolutions en plan et en altimétrie** du lit fluvial de l'Escoutay sur une période fonction des données disponibles à l'échelle du bassin versant :

- L'évolution en plan du lit est représentative de la mobilité latérale du lit (mobilité d'un méandre ou d'un train de méandres, respiration latérale de la bande active...);
- L'évolution en altitude ou évolution verticale est représentative de l'incision, la stabilité ou l'exhaussement du profil en long.

A L'évolution en plan de l'Escoutay

❖ *Principes et méthodologie*

L'évolution en plan de l'Escoutay est analysée à partir de la superposition de photographies aériennes prises à différentes époques et préalablement géoréférencées. Le pas de temps entre chaque photographie et la période totale de l'analyse dépendent de la disponibilité des photographies aériennes prises sur le secteur d'étude.

D'après les données référencées sur Géoportail, les missions aériennes réalisées sur l'Escoutay sont réparties entre 1947 et 2002 comme présenté dans le Tableau 16. À titre informatif, les années 2007, 2011 et 2013 correspondent aux BD Ortho fournies par le SMBEF dans le cadre de la présente étude.

PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES DISPONIBLES L'ESCOUTAY	
Années disponibles	Crues
1947 ; 1955	
1956 ; 1959	1960 ; 1983
1961 ; 1962	1988 ; 1993
1968 ; 1969	1994 ; 1998
1973 ; 1975	1999 ; 2001
1979 ; 1981	2002 ; 2003
1986 ; 1989	2006 ; 2008
1991 ; 1997	2009 ; 2014
2002 ; 2007	2015
2011 ; 2013	

Tableau 16 : Photographies aériennes disponibles sur l'Escoutay

Les années privilégiées pour l'analyse diachronique sont retenues en fonction des crues les plus morphogènes qui se sont produites et de telle sorte que l'ensemble du linéaire de l'Escoutay depuis la confluence avec le Téoulemale (ESC_2 à ESC_4) soit couvert. Le tronçon en amont de la confluence avec le Téoulemale (ESC_1) est un tronçon intermittent avec une bande active très limitée et une mobilité peu marquée, voire inexistante.

Ainsi, sont considérées les années 1947, 1961, 1981, 1986, 1991, 2007, 2011 et 2013, soit une période d'analyse de 67 ans.

La méthodologie employée pour l'analyse diachronique en plan de l'Escoutay est la suivante :

- Export des photographies aériennes depuis Géoportail pour les années 1947, 1961, 1981, 1986 et 1991 ;
- Géoréférencement des photographies aériennes pour ces cinq années ;

- Délimitation de la bande active pour chacune des huit années retenues ;
La bande active correspond à l’emprise des chenaux et des bancs de galets non végétalisés.
- Superposition des bandes actives, analyse de l’évolution et calcul des espaces perdus (*i.e.* les espaces de contraction de la bande active du cours d’eau) et des espaces construits (*i.e.* les espaces d’expansion de la bande active) par rapport à l’année de base 1947.

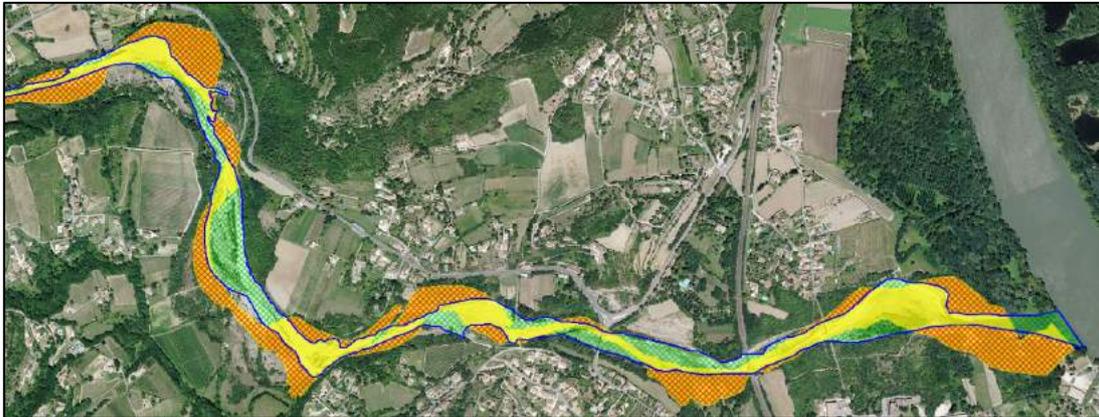


Figure 52 : Superposition des bandes actives 1947 (jaune) et 2013 (bleu) au niveau de Viviers montrant les espaces perdus (hachures en rouge) et les espaces construits (hachures en vert) par rapport à 1947

Il est à noter que le géoréférencement des photographies aériennes présente quelques difficultés pouvant induire des incertitudes liées à :

- La qualité des photographies du fait de leur ancienneté ;
- L’angle de prise de vue variable d’une année à l’autre ;
- La végétation qui génère des zones d’ombre ;
- Points de calage parfois difficiles à trouver et différents d’une année à l’autre.

L’ensemble de ces éléments introduit donc déjà un léger décalage de quelques mètres entre les différentes bandes actives. Toutefois, la tendance générale (contraction, expansion ou stabilité de la bande active) est respectée.

❖ Évolution de la bande active de l’Escoutay

Bande active et crue morphogène

La bande active large, qui a été activée pendant la crue morphogène, se contracte ensuite du fait de la végétalisation. En effet, après la crue, le cours d’eau n’utilise plus la totalité de la bande activée. Cette crue a toutefois apporté des sédiments, des nutriments et des diaspores permettant la dissémination des espèces végétales.

Ainsi, sur les parties non régulièrement remaniées, la végétation se développe, conduisant ainsi à la réduction de la bande activée pendant la crue morphogène. La bande active va ainsi s’auto-ajuster... jusqu’à la prochaine crue morphogène et l’activation d’une plus grande largeur de bande active.

Encart 4 : Évolution de la bande active et crue

Globalement, l’évolution de la bande active de l’Escoutay est fluctuante depuis 1947 sous l’effet des crues, mais présente une **tendance à la contraction** (*cf.* Figure 53). Ainsi, on constate :

- Entre 1947 et 1961, la bande active de l’Escoutay connaît une expansion importante, puisqu’elle occupe 15 ha de plus. Il est à noter que l’Escoutay a subi une crue très importante en septembre 1960 (900 m³/s estimés par la CNR à Viviers). Cette crue a donc activé une largeur de bande active conséquente se traduisant par une augmentation importante de la superficie de la bande active ;
- Entre 1961 et 1991, la bande active de l’Escoutay présente une rétraction importante et régulière avec une perte en superficie de 40 ha environ en

trente ans, soit une perte moyenne annuelle de 1,3 ha/an. Cette rétraction est liée à une longue période (20 ans) sans crue morphogène, favorisant le développement de la végétation et donc la contraction de la bande active. On note toutefois le passage de la crue de 1983 avec une légère augmentation de la superficie de la bande active entre 1981 et 1986 (+ 7,1 ha). Puis, entre 1986 et 1991, la bande active se rétracte à nouveau par végétalisation (-14,9 ha) ;

- Dans les années 2000, la bande active de l'Escoutay semble se stabiliser autour de 50 ha (2007-2011) certainement suite à l'influence des crues ayant eu lieu entre 1993 et 2006. La superficie de la bande active fluctue ensuite de quelques hectares seulement, avec une tendance à la rétraction (contraction de 6,5 ha en 2 ans).

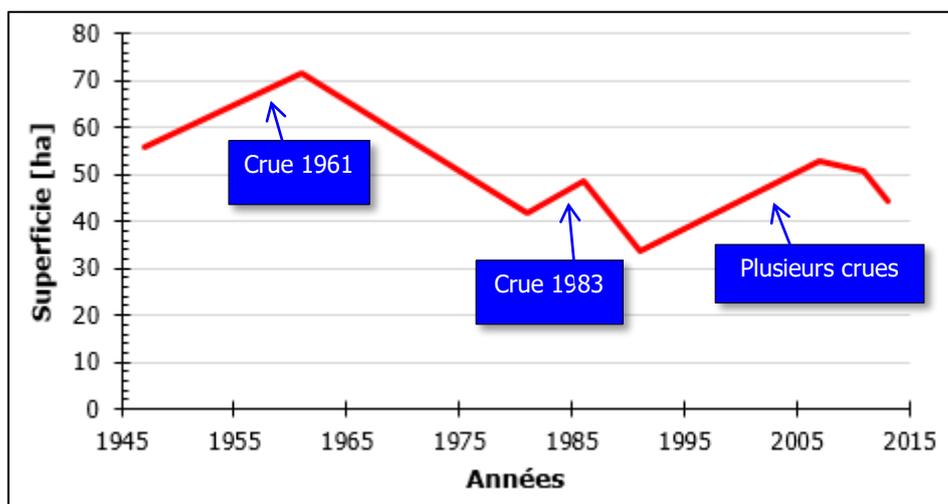


Figure 53 : Évolution de la superficie de la bande active de l'Escoutay

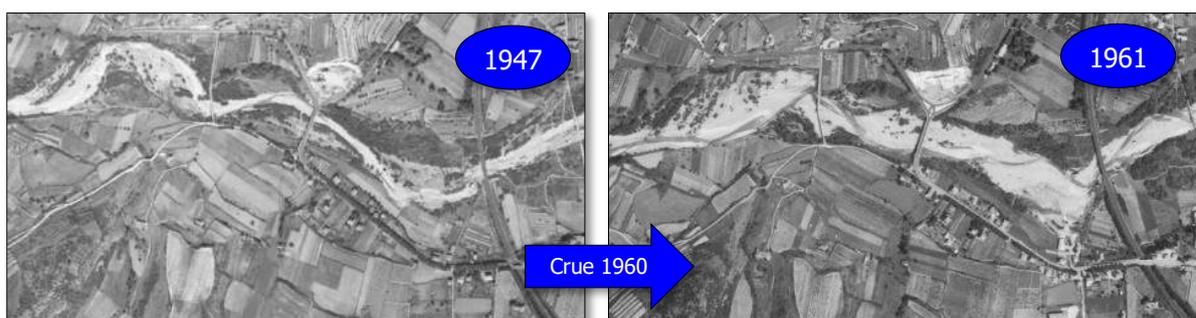


Figure 54 : Évolution de la bande active de l'Escoutay en amont de Viviers entre 1947 et 1961. La bande activée par la crue de 1960 est bien visible et témoigne de l'effet morphogène de cette crue.

La diachronie 2013-2016 n'est pas disponible sur l'ensemble du linéaire étudié. Néanmoins, on dispose de l'orthophotographie aérienne 2016 dans la traversée de Viviers réalisée lors des levés topographiques par drone dans le cadre de la présente étude.

La superposition des bandes actives 2013 et 2016 dans ce secteur (cf. Figure 54) montre une expansion de la bande active de l'Escoutay qui s'est activée récemment suite à la crue morphogène de 2015.

Toutefois, la comparaison à la bande active de 1947 montre une diminution, voire une stabilité, de la superficie de la bande active dans ce secteur (-3 ha pour 2013 et +2 ha pour 2016). On peut donc

considérer que la tendance générale est plutôt à la diminution (surtout à cause du contexte tendanciel hydroclimatique).

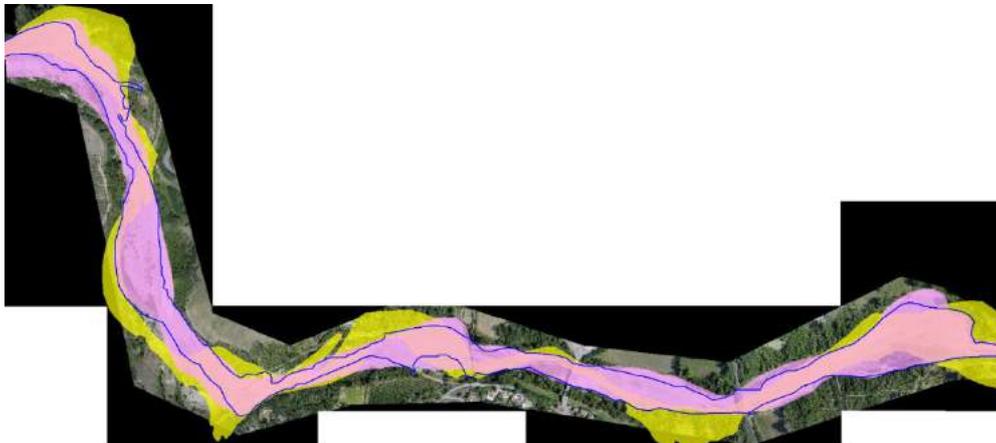


Figure 55 : Superposition des bandes actives de 1947 (jaune), 2013 (bleu) et 2016 (rose) dans la traversée de Viviers (Fond de plan : Orthophotographie août 2016)

❖ Les espaces construits et les espaces perdus

L'évolution de la bande active de l'Escoutay par rapport à l'année de base 1947 en termes d'espaces perdus (contraction de la bande active) et d'espaces construits (expansion de la bande active) montre également quelques disparités (cf. Figure 56) :

- Entre 1947 et 1961, la bande active apparaît en expansion avec pratiquement un gain de 30 ha. Sur cette période, on voit que la bande active est sous influence de la crue de 1960 ;
- Les pertes de superficies par rapport à 1947 sont ensuite relativement importantes pour les années 1981, 1986 et 1991. Ceci s'explique certainement par les crues de 1983 et 1988 ;
- Seule la période [2007-2013] semble relativement stable, avec des espaces perdus et construits relativement équivalents, de l'ordre de 25-30 ha.

Ces éléments traduisent donc une évolution importante et donc une mobilité latérale importante.

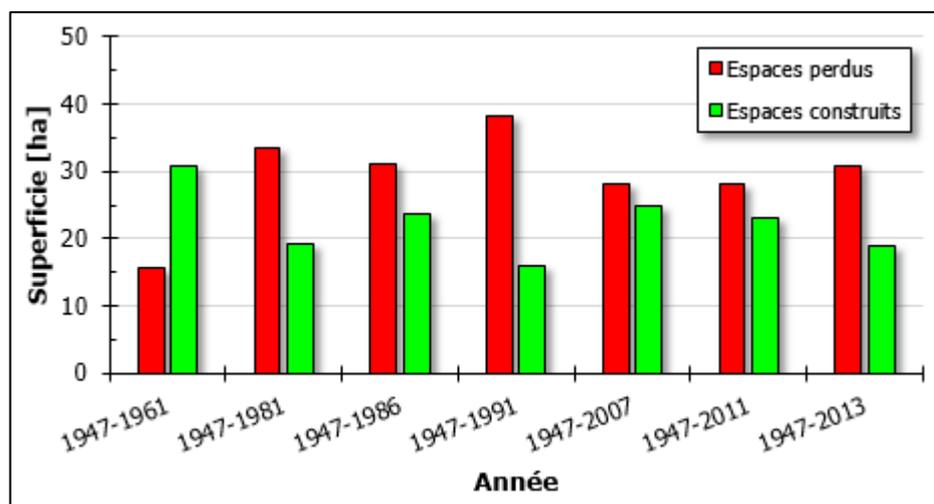


Figure 56 : Superficies des espaces perdus et construits par rapport à l'année 1947

❖ La mobilité latérale

La superposition des huit bandes actives délimitées sur la période [1947-2013] montre que la mobilité latérale du lit de l'Escoutay est plus importante sur certains tronçons que d'autres. Ainsi, on peut distinguer les secteurs suivants :

- Le tronçon ESC_2 présente une bande active plutôt étroite et peu mobile sur la période 1947-2013. L'axe d'écoulement reste similaire de 1981 à 2013. On peut donc considérer que la mobilité latérale du tronçon ESC_2 est faible ;
- Le tronçon ESC_3 est caractérisé par une alternance de secteurs à mobilité latérale moyenne et faible :
 - Les secteurs en amont des ponts La Roche à Alba-la-Romaine et La Vergne sont caractérisés par une bande active plus large et une mobilité latérale moyenne, le lit ayant subi un basculement en rive gauche (Alba-la-Romaine) et en rive droite (La Vergne) suite à la crue de 1961.
 - Hormis les deux secteurs précédents, le tronçon ESC_3 présente une bande active relativement stable sur la période 1947-2013 avec le même axe d'écoulement, le corsestage naturel (falaise) favorisant cette faible mobilité latérale.
- C'est au tronçon ESC_4 que se concentre la mobilité latérale la plus importante, notamment le secteur entre Saint-Alban et la confluence avec le Rhône. C'est d'ailleurs ce secteur qui est majoritairement mentionné par les personnes rencontrées lors des entretiens (*cf. Annexe 3*).

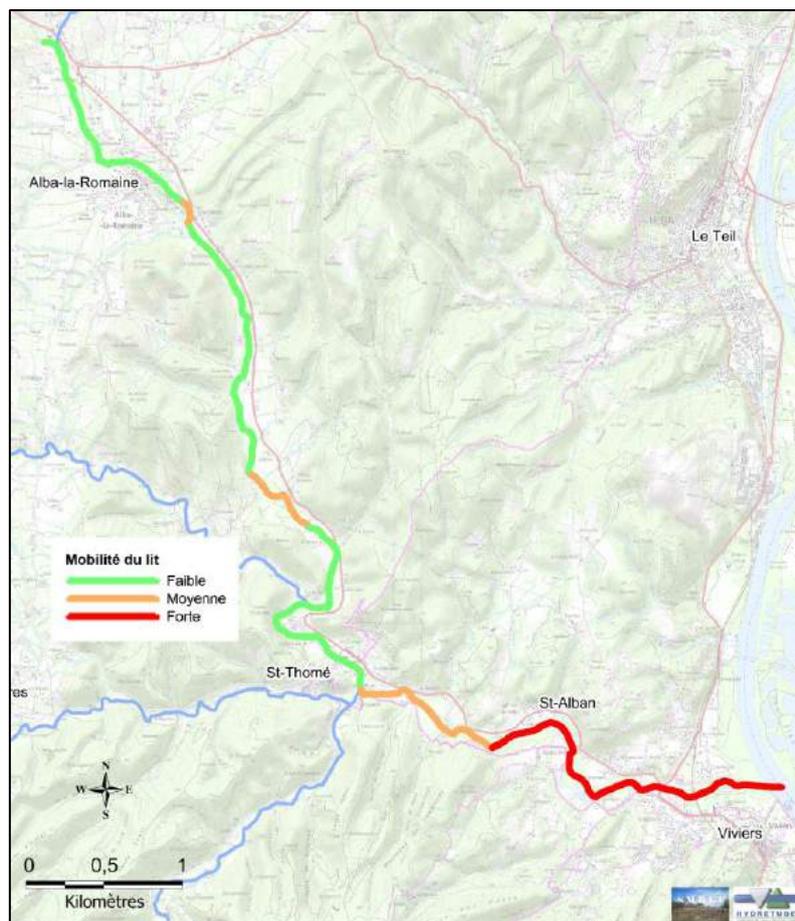


Figure 57 : Mobilité latérale de l'Escoutay depuis la confluence avec le Téoulemale

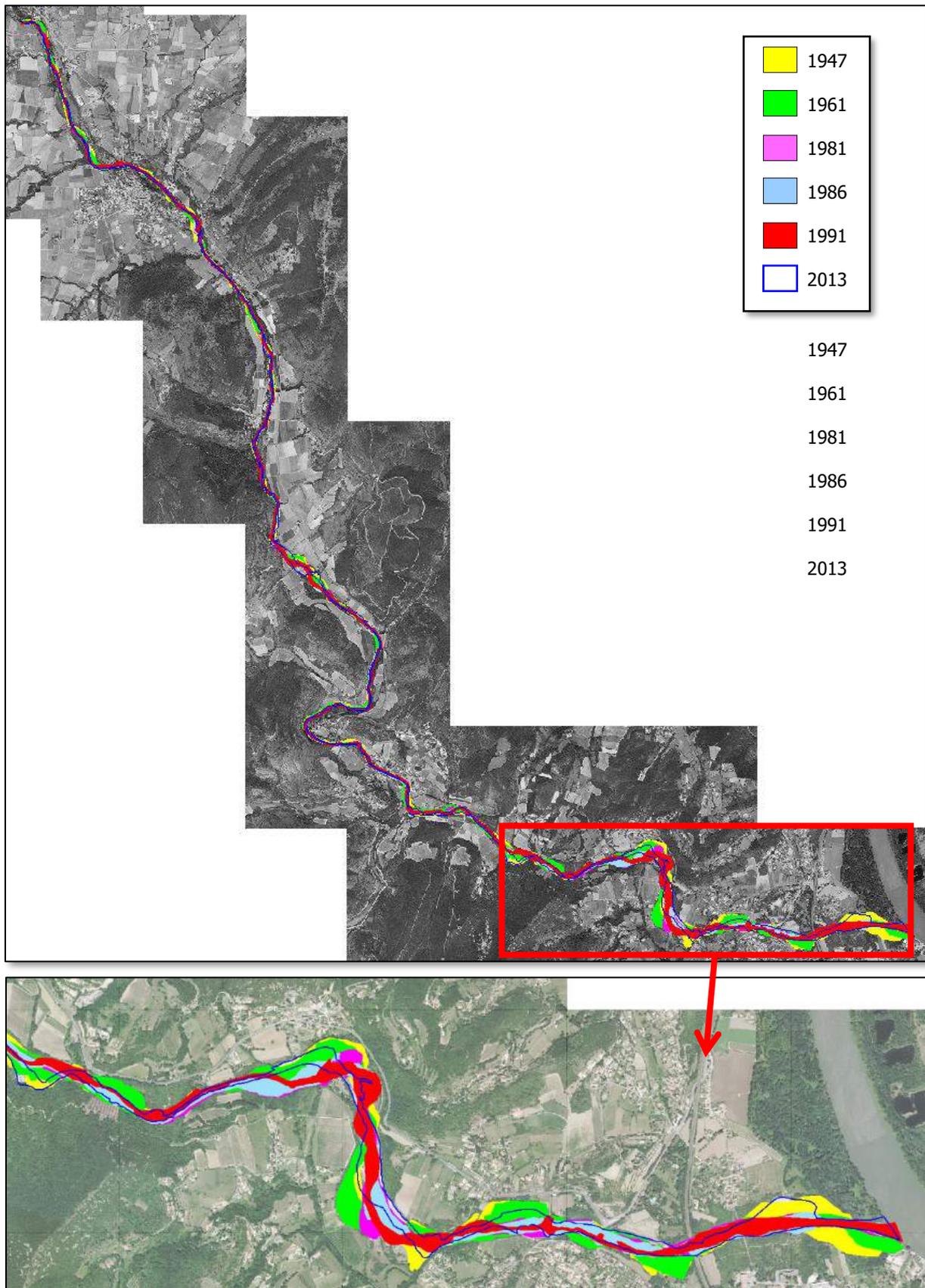


Figure 58 : Analyse diachronique en plan de l'Escoutay

B L'évolution altimétrique de l'Escoutay

❖ Principe et méthodologie

L'analyse diachronique en altimétrie consiste à comparer divers profils en long de l'Escoutay, afin d'évaluer l'évolution verticale du lit du cours d'eau et identifier ainsi les secteurs en incision, en stabilité et/ou en exhaussement.

Dans le cas de l'Escoutay, trois profils en long sont disponibles :

- Le profil en long du fond du lit depuis Alba-la-Romaine jusqu'à la confluence avec le Rhône levé en 1991 dans le cadre de « l'étude d'aménagement du bassin de l'Escoutay » réalisé par CNR-CEREC ;
- Le profil en long du fond du lit depuis Alba-la-Romaine jusqu'à la confluence avec le Rhône levé en octobre 2011 dans le cadre de l'étude réalisé par l'Université Joseph Fourier « *Diagnostic hydrogéomorphologique et écologique de la rivière Escoutay* » ;
- Le profil en long du fond du lit et de la ligne d'eau depuis la confluence avec le Ribeyras jusqu'à la confluence avec le Rhône levé en juin 2016 par HYDRETTUDES dans le cadre de la présente étude par HYDRETTUDES.

Il est à noter qu'il n'existe pas de profils en long du type Grandes Forces Hydrauliques (cf. Encart 5).

Les profils des Grandes Forces Hydrauliques

Ces profils ont été levés dans certains cours d'eau entre 1910 et 1970 par le service du Nivellement Général de la France (ancêtre de l'IGN), afin d'évaluer le potentiel hydroélectrique de ces cours d'eau.

Ces profils qui correspondent aux lignes d'eau ne sont pas mis en référence avec le débit s'écoulant lors des levés, mais seulement avec leur date de réalisation. Toutefois, les topographes parcouraient à pied les cours d'eau préférentiellement à l'étiage ou en basses eaux.

L'Escoutay n'a pas fait l'objet d'investigations par ce service. Le profil Grandes Forces Hydrauliques aurait permis d'avoir une vision de l'évolution altimétrique sur un pas de temps séculaire (1910-2016).

Toutefois, l'acquisition de données récentes (profil en long 2016) permet d'évaluer l'évolution du lit de l'Escoutay sur un pas de temps de plusieurs décennies (1991-2016, ≈ 30 ans), ce qui constitue une bonne échelle de temps.

Compte tenu du linéaire levé en 1991, la comparaison est effectuée depuis le pont La Roche à Alba-la-Romaine jusqu'à la confluence avec le Rhône (tronçon ESC_3 et ESC_4).

Encart 5 : Grandes Forces Hydrauliques

Par ailleurs, il convient d'indiquer que la comparaison des trois profils en long présente quelques difficultés liées au :

- **Recalage du profil en long 1991 sur le profil 2016** : le pas de temps entre les profils étant d'une trentaine d'années, la morphologie de l'Escoutay (le tracé) a pu évoluer fortement entre les deux levés, et ce d'autant plus pour un cours d'eau en milieu cévenol. Les ouvrages transversaux (ponts, seuils...) sont donc privilégiés comme point de calage ;
- **Recalage du profil en long 2011 sur le profil 2016** : le profil en long 2011 n'a pas pu être recalé sur celui de 2016. En effet, aucune donnée exploitable concernant le profil en long 2011 n'est disponible. La comparaison repose donc sur les résultats présentés dans le rapport d'étude réalisé par l'Université Joseph Fourier ;
- **Interprétation des différences altimétriques** : les différents levés du profil en long de l'Escoutay ne mentionnent aucun débit. Il est donc complexe de réaliser un levé actuel dans les mêmes conditions hydrologiques, si ce n'est en privilégiant la période de basses eaux du cours d'eau. C'est pourquoi la plupart des auteurs considèrent une différence d'altitude de 0,50 mètres comme représentative d'une incision ou d'un exhaussement (Landon 1996 ; Malavoi & Bravard, 2010), valeur que l'on retiendra également dans l'analyse.

❖ Résultats : comparaison 1991-2011

La comparaison des profils en long 1991-2011 s'appuie sur les résultats obtenus dans le cadre de l'étude réalisée par l'Université Joseph Fourier « *Diagnostic hydrogéomorphologique et écologique de la rivière Escoutay* ».

L'étude montre six zones en incision en 2011 par rapport au profil levé 20 ans auparavant (cf. Figure 59) réparties sur l'ensemble du linéaire de l'Escoutay depuis le pont La Roche à Alba-la-Romaine. Les crues entre ces deux périodes sont relativement fréquentes (1993, 1994, 1998, 1999, 2002, 2003 et 2006), mais leur magnitude reste toutefois faible.

Sur les six zones identifiées comme incisées, on note des évolutions altimétriques très importantes entre -0,9 et -5 mètres (cf. Tableau 17) et qui concernent environ 14 kilomètres de linéaire depuis l'aval d'Alba-la-Romaine.

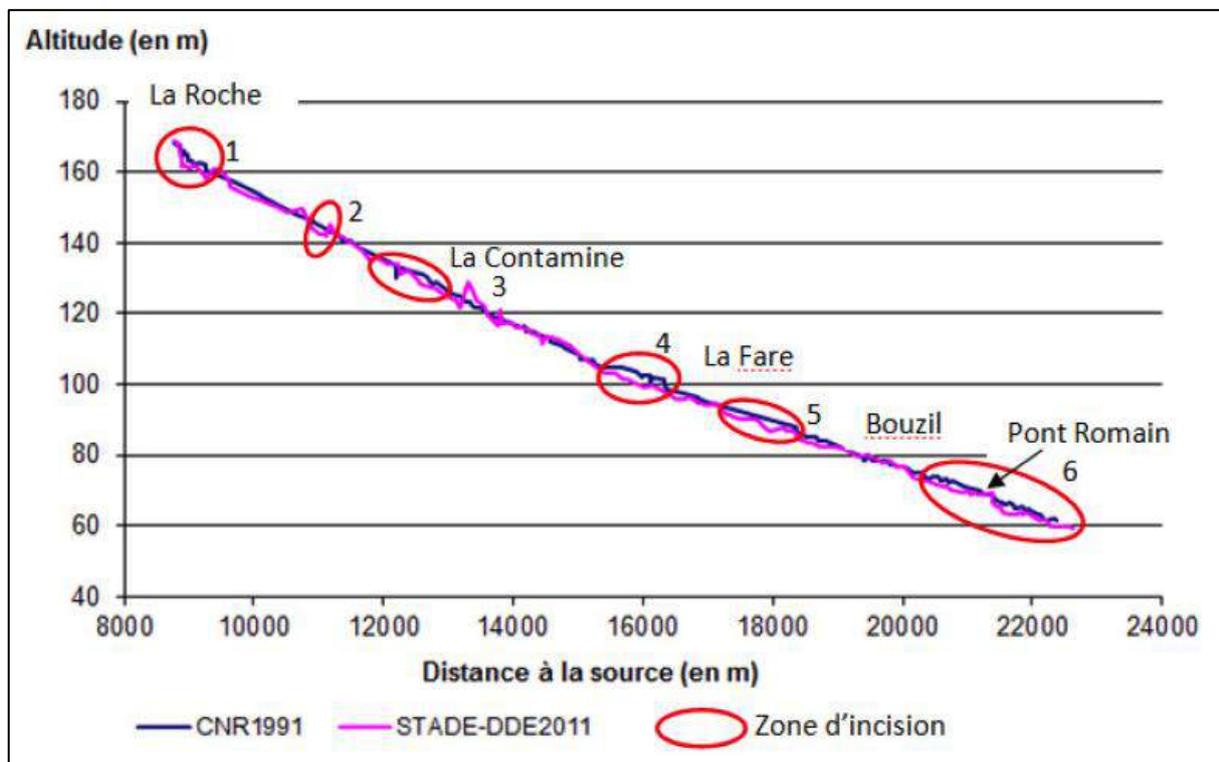


Figure 59 : Comparaison des profils en long 1991 (CNR) et 2011 de l'Escoutay
(Source : STADE-DDE, 2011)

SECTEURS INCISÉS ENTRE 1991 et 2011			
Localisation	Altitudes [m]		Différence [m]
	1991	2011	
1 – La Roche	167,0	164,0	-3,0
	164,0	162,0	-2,0
	157,0	152,0	-5,0
2 – Coste Chaude	145,0	142,0	-3,0
	144,0	141,0	-3,0
3 – La Condamine	130,9	128,0	-2,9
	128,0	126,0	-2,0
	125,0	124,0	-1,0
4 – La Fare (Confluence Nègue)	104,6	102,0	-2,6
	102,8	100,0	-2,8
	100,3	97,2	-3,2
5 – Marquet	92,0	90,9	-1,1
	90,0	87,1	-3,0
6 – Pont romain	73,4	72,5	-0,9
	72,4	71,0	-1,4
	70,8	69,0	-1,8
	65,5	63,3	-2,2

Tableau 17 : Comparaison des profils en long 1991-2011 pour les secteurs incisés (Source : STADE-DDE, 2011)

❖ Résultats : comparaison 1991-2016

L'évolution verticale du lit de l'Escoutay entre 1991 et 2016 est présentée à la Figure 60 en mettant en avant les secteurs en incision (rouge) et en exhaussement (vert) par tronçon morphodynamique. Ainsi, l'analyse diachronique en altimétrie par comparaison des profils en long du lit de l'Escoutay de 1991 et 2016 montre :

- **Pour le tronçon ESC_3**, la tendance est à l'incision avec des évolutions importantes de l'ordre du mètre (-0,8 m au seuil La Senouillette et -0,6 m au pont de St-Thomé) pouvant atteindre -1,5 mètres au pont la Roche à Alba-la-Romaine. Le linéaire en incision est réparti sur environ 5 km, soit 60% du linéaire du tronçon ESC_3. On retrouve par ailleurs les secteurs identifiés comme incisés en 2011 par rapport à 1991 (La Roche, Coste Chaude, La Condamine et La Fare).

Toutefois, on note localement des exhaussements supérieurs au mètre au niveau du seuil La Muna et à l'aval du pont de Champus, sur environ 2 km (30% du linéaire du tronçon ESC_3), ainsi qu'un tronçon plutôt stable sur 900 mètres en amont du pont la Vergne (10% du linéaire du tronçon ESC_3) ;

- **Pour le tronçon ESC_4**, la tendance 1991-2016 reste à l'incision, notamment au niveau du seuil en amont du moulin Nègre ainsi que le secteur en amont du pont romain. On note ainsi un enfoncement du lit de l'ordre du mètre (-0,9 m au pont romain) sur environ 3,6 km, soit 57% du linéaire du tronçon ESC_4, intégrant les secteurs 5 et 6 identifiés en incision en 2011.

À l'aval du pont romain, le profil semble plutôt stable, les différences d'altitude n'étant pas représentatives d'une incision ou d'un exhaussement significatif du lit de l'Escoutay, c'est-à-dire supérieure à 0,5 mètres (0,0 m au pont RN86 à Viviers, -0,1 m au pont SNCF).

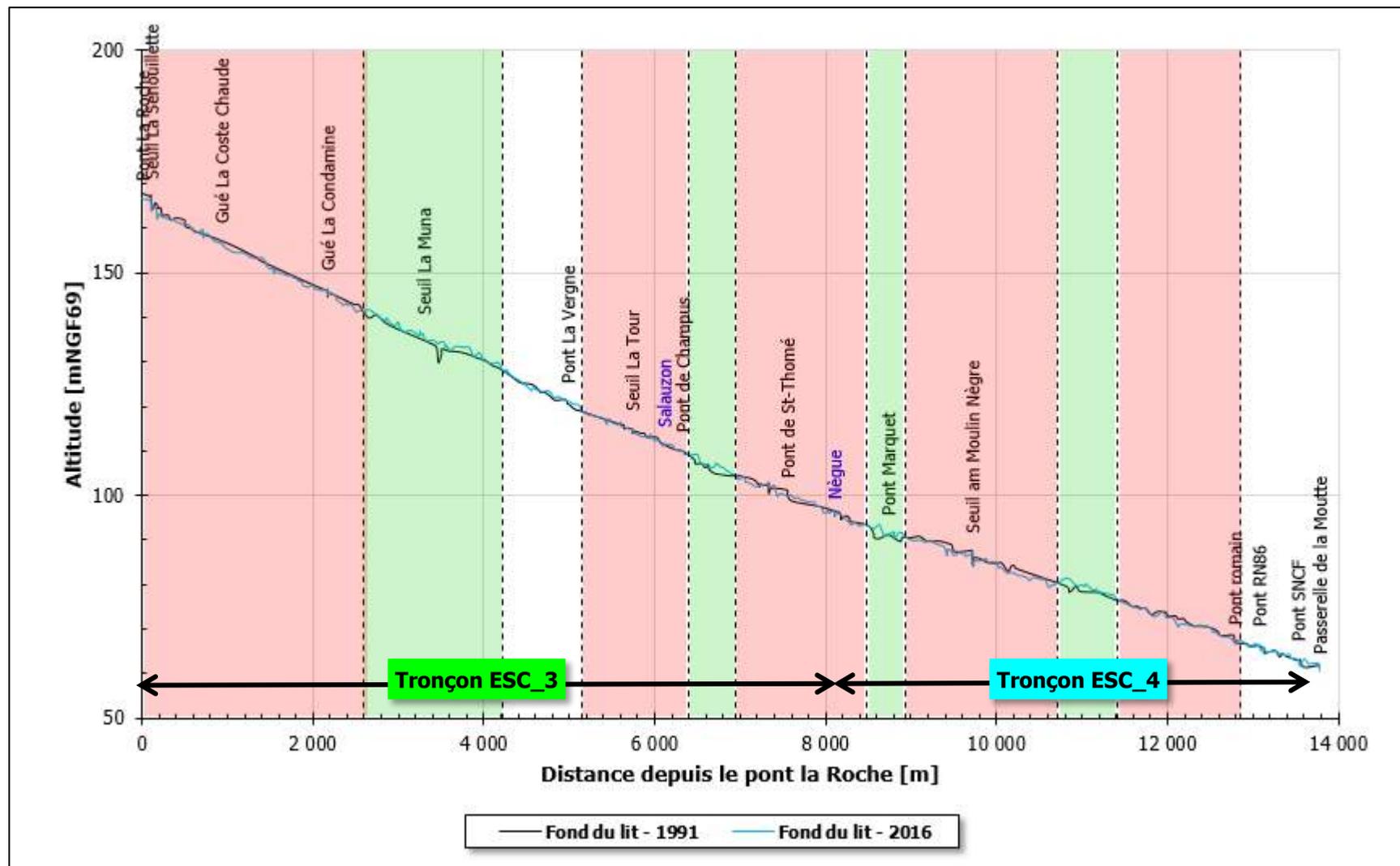


Figure 60 : Comparaison des profils en long 1991 et 2016 de l'Escoutay depuis le pont la Roche à Alba-la-Romaine

L'analyse diachronique en altimétrie montre que le profil en long de l'Escoutay est majoritairement en incision par rapport à 1991 sur les tronçons ESC_3 et ESC_4, soit un linéaire incisé de 8,6 km.

Pour les tronçons ESC_1 et ESC_2, il n'existe pas de profils en long anciens permettant une comparaison avec le levé 2016. Néanmoins, on peut suspecter une incision importante depuis la confluence avec le Ribeyras jusqu'au pont La Roche à Alba-la-Romaine (tronçon ESC_2), l'Escoutay s'écoulant sur le substratum sans plancher alluvial, soit un linéaire potentiellement incisé d'environ 5 km.

De plus, la consultation des personnes ressource du territoire indique la présence de vestiges d'un ancien bras situé en rive gauche au niveau de la cave coopérative d'Alba-la-Romaine et perché par rapport au lit de l'Escoutay, corroborant ainsi une tendance à l'incision du tronçon ESC_2.

Ainsi, l'Escoutay est globalement incisé sur environ 13,5 km, soit 60% du linéaire total. Cette incision serait encore active et il faudrait à l'Escoutay plusieurs siècles pour s'auto-ajuster si les conditions hydroclimatiques et anthropiques évoluaient radicalement.

L'origine de cette incision est multi-facteurs :

- Une **incision structurelle** liée aux modifications hydroclimatiques et à la raréfaction de la charge solide, ainsi qu'aux extractions de matériaux alluviaux (cf. § 7.2C), agissant donc sur le long terme ;
- Cette incision est certainement renforcée par un contexte propice aux crues ayant eu lieu entre 1993 et 2006, on pourrait parler alors d'un complément d'**incision conjoncturelle** liée au contexte hydrologique de la période. On ne peut pas parler de respiration du lit dans la mesure où, pour l'instant, les apports ne semblent pas avoir comblé l'incision. Ce serait donc l'aggravation conjoncturelle de l'incision structurelle.

8 Fonctionnement dynamique de l'Escoutay

8.1 État de la recharge sédimentaire

Le réseau hydrographique de l'Escoutay mobilise des volumes de matériaux importants. Il suffit pour s'en persuader d'examiner le nombre de structures alluvionnaires*. Les matériaux produits ainsi dans le bassin appartiennent au stock alluvial.

Ce stock alluvial est donc composé de l'ensemble des matériaux alluvionnaires disponibles en lits mineur et majeur et participant actuellement ou de manière différée (lors des épisodes de crues) à la dynamique de l'Escoutay et au transit sédimentaire.

L'objet de ce chapitre est donc d'évaluer l'état de la recharge sédimentaire de l'Escoutay en distinguant les apports solides externes (versants et affluents) et les apports solides internes constituant le stock alluvial.

A Les apports solides externes

❖ *Les apports externes primaires : la connexion-versant lit*

La connexion versant-lit constitue un élément important en termes de charge solide. L'érosion de surface des versants (ablation ou décapage) ou l'érosion profonde (mouvements rotationnels, solifluxion...), les écroulements et éboulements de falaises contribuent à la fourniture d'une charge solide principalement grossière.

Toutefois, la connexion versant-lit peut être altérée par une végétalisation qui limite ou empêche les apports de matériaux en lit en favorisant leur stockage dans les versants. Le reboisement a d'ailleurs largement été utilisé pour « tarir la fourniture sédimentaire des torrents » en montagne par les services de Restauration des Terrains en Montagne (RTM) dès la deuxième partie du XIX^{ème} siècle.

Dans le cas du bassin versant de l'Escoutay, la connexion versant-lit est assez **limitée** :

- Il ne s'agit pas d'un bassin versant en tête de bassin montagnard où la connexion versant-lit prend une importance toute particulière avec les phénomènes de cascade sédimentaire ;
- En second lieu, l'Escoutay est largement corseté principalement sur la rive droite par le rebord du plateau calcaire.

❖ *Les apports externes secondaires : les affluents*

Principe et méthodologie

Les apports externes de matériaux concernent également les matériaux provenant des affluents. On préférera parler de **contributeurs sédimentaires**, dans la mesure où ces cours d'eau fournissent une charge solide au cours d'eau principal (Escoutay). Ils contribuent ainsi à renforcer le budget sédimentaire de l'Escoutay grâce à leurs apports.

L'analyse des apports externes liés aux affluents vise à évaluer les affluents qui représenteraient des contributeurs sédimentaires potentiels importants en termes d'apports de matériaux à l'Escoutay. La méthodologie utilisée repose sur l'analyse des confluences (cônes de déjection et bande active de l'Escoutay en aval) à partir des investigations de terrain, des cartes géologiques et des photographies aériennes du bassin versant.

L'analyse concerne les principaux affluents de l'Escoutay, à savoir le Ribeyras, le Vernet, le Téoulemale, le Salauzon, le Dardaillon et la Nègue.

Les contributeurs sédimentaires : les torrents basaltiques

Le Ribeyras, le Vernet et le Téoulemale sont des affluents à forte pente (6%, 5,5% et 5,5%, respectivement), ce qui permet de les qualifier de torrents (Surell, 1841), drainant des matériaux d'origine basaltique résistants et de forte granulométrie.

En effet, ces matériaux particulièrement résistants (*cf.* Tableau 2) ont du mal à se casser lors des phases de transport solide et s'émoussent, donnant ainsi des grains grossiers au lit. Les trois affluents ont donc plutôt tendance à moins se charger que s'ils s'écoulaient dans des roches moins résistantes comme des calcaires ou des marnes. Les trois affluents sont donc des **contributeurs sédimentaires modérés**, malgré leur puissance spécifique liée à leur forte pente.

Toutefois, les apports de matériaux grossiers d'origine basaltique (donc à granulométrie importante) tendent, en se mixant avec la charge grossière déjà présente dans l'Escoutay, à augmenter la taille moyenne des grains en lit.

L'analyse des photographies aériennes de ces deux confluences (*cf.* Figure 61) montre que le cône de déjection du Vernet et du Téoulemale est inexistant ce qui s'explique par la conformation du site, mais également par le fait que les matériaux produits par les affluents ne viennent pas saturer l'Escoutay et donc se déposer en formant un cône. On note que le Téoulemale s'écoule directement sur la roche comme l'Escoutay, sans plancher alluvial.



Figure 61 : Confluences Vernet-Escoutay et Téoulemale-Escoutay (BD Ortho 2013)

Les contributeurs sédimentaires : les rivières torrentielles calcaires

Le Salauzon, le Dardaillon et la Nègue sont des affluents caractérisés par des pentes plus faibles, 2%, 2,6% et 3%, respectivement, ce qui les classe dans les rivières torrentielles (Surell, 1841). Leur puissance est toutefois importante.

Ces trois cours d'eau s'écoulent dans des roches marneuses, marno-calcaires et/ou calcaires, c'est à dire des roches beaucoup moins résistantes que les basaltes, apportant ainsi une charge solide certainement plus importante que les affluents précédents mais avec une granulométrie inférieure.

La confluence Nègue-Escoutay montre bien un cône de déjection important qui tend à conforter le rôle du **système Dardaillon-Nègue** comme un **pourvoyeur solide majeur**.

L'analyse de la confluence Nègue-Escoutay montre les apports de la Nègue en jaune et les dépôts de l'Escoutay ont une couleur grise. Bien que la confluence se fasse en position d'extrados de méandre de l'Escoutay (zone de grandes vitesses où le cours d'eau développe sa puissance et peut ainsi éroder la berge ce qui contribue avec les accrétions d'extrados à la migration du méandre), on voit que le lit subit l'influence de la Nègue et que le cône de déjection est bien matérialisé. L'influence de l'apport solide de la Nègue est encore visible en aval (flèche rouge).



Figure 62 : Vue aérienne de la confluence Nègue-Escoutay (BD Ortho 2013)

Les investigations de terrain mettent en avant un cône de déjection de la Nègue avec un amoncellement de matériaux, témoignant d'apports conséquents. Ces apports sont entaillés par l'Escoutay et laissent en bordure de cône un talus vif relativement élevé.



Figure 63 : Vue de la hauteur des matériaux accumulés sur le cône de déjection (à gauche) et vue des matériaux et du talus vif suite à la remobilisation des matériaux par l'Escoutay (à droite)



Figure 64 : Vue de la confluence, le mur constitue la rive gauche de la Nègue et on voit les accumulations de matériaux (à gauche) et vue aval du cône de déjection avec épis de protection en blocs de béton (à droite)

En résumé, on peut considérer que :

- Les affluents situés en rive gauche de l'Escoutay s'écoulant depuis le plateau volcanique du Coiron (**Ribeyras, Vernet et Téoulemale**) sont de **faibles contributeurs sédimentaires** au stock alluvial* de l'Escoutay ;
- *A contrario* les affluents s'écoulant sur les roches sédimentaires (**Salauzon, Dardaillon-Nègue**) sont de **bons contributeurs sédimentaires** au stock alluvial* de l'Escoutay. Le système Dardaillon-Nègue est un fort contributeur apportant ses matériaux en aval de Saint-Thomé dans une zone où la pente s'affaiblit. Cette zone permet le stockage-régulation des matériaux jusqu'à la confluence avec le Rhône.

B Les apports solides internes

L'évaluation de l'état de la recharge sédimentaire prend également en compte les apports solides internes, c'est-à-dire les matériaux qui sont produits « directement » par l'Escoutay. Il s'agit principalement des matériaux issus de l'érosion latérale des berges ainsi que des matériaux stockés dans les structures alluvionnaires du lit mineur.

L'analyse des apports solides internes consiste donc à estimer les surfaces d'érosion et les volumes de matériaux stockés dans le lit mineur, et ce à partir des mesures réalisées lors des investigations de terrain et du Modèle Numérique de Terrain généré à partir du levé topographique 2016 par drone.

❖ Les surfaces d'érosion

Les surfaces d'érosion traduisent l'activité morphogène et la mobilité latérale d'un cours d'eau. Elles se concentrent particulièrement dans les extradoss* de méandre et sont alors des signes de migration de ces derniers avec dépôts de matériaux dans l'intradoss*.

Les investigations de terrain ont permis de localiser et mesurer les surfaces d'érosion présentes sur l'Escoutay. La superficie érodée cumulée par tronçon est présentée à la Figure 65.

On observe un gradient amont → aval très net des surfaces d'érosion, c'est-à-dire une croissance des superficies érodées de l'amont vers l'aval. Les tronçons ESC_1 et ESC_2 présents en tête de bassin et s'écoulant majoritairement sur le substratum présentent logiquement peu de surfaces d'érosion. Les tronçons ESC_3 et ESC_4 plus mobiles que les tronçons précédents (*cf.* § 7.3A) sont sujets à l'érosion latérale. Le tronçon ESC_4 est le plus affecté par le phénomène d'érosion latérale, du fait principalement de la présence d'une bande active large, à forte respiration latérale.

Par ailleurs, on note également des surfaces d'érosion sur la Nègue mais de plus petite taille que sur l'Escoutay. Ainsi, sur les 8,2 km parcourus, on compte 421 m² de surface érodée par kilomètre.

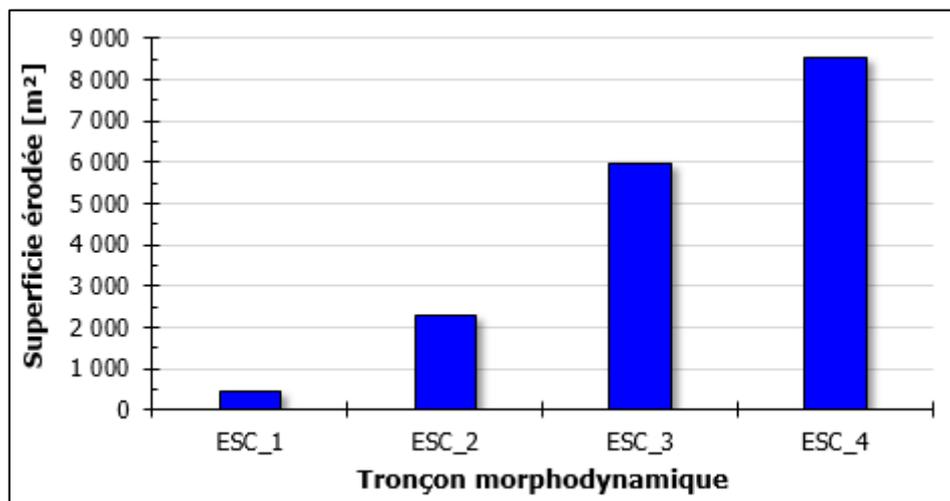


Figure 65 : Superficies érodées de l'Escoutay par tronçon



Figure 66 : Surfaces d'érosion présentes sur l'Escoutay

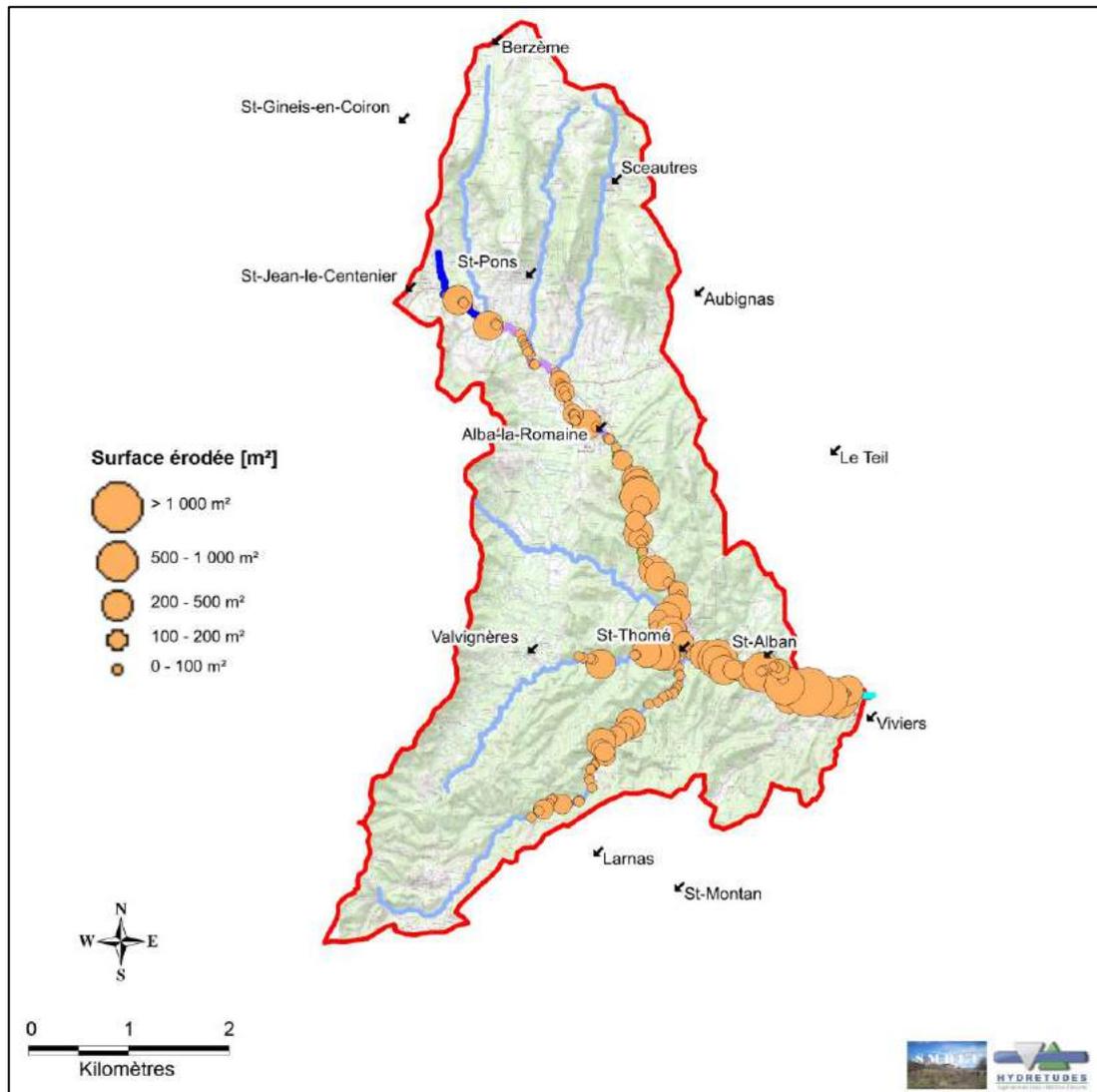


Figure 67 : Localisation des surfaces d'érosion en fonction de leur superficie

❖ *Les structures alluvionnaires***Principes et méthodologie****Structures alluvionnaires et stock alluvial**

Les **bancs ou atterrissements** correspondent à des exhaussements locaux liés à des réajustements géométriques du lit lors des crues morphogènes. Ils présentent une surface et une subsurface et sont remobilisables tant qu'ils ne sont pas végétalisés.

Les **terrasses alluviales** témoignent de la contraction de la bande active et de l'enfoncement du lit. Elles sont liées à une diminution des apports solides (Malavoi *et al.*, 2011). Elles sont principalement végétalisées, c'est-à-dire quasi fixées, quelques structures dans les zones les plus incisées sont perchées. Leur remobilisation est éventuellement possible par érosion latérale. On distingue les basses terrasses liées à l'incision du lit, des terrasses plus hautes et plus anciennes généralement liées à des apports sédimentaires hérités (terrasses fluvio-glaciaires).

Les structures alluvionnaires concernent les bancs ou atterrissements de galet, ainsi que les terrasses alluviales (*cf.* Encart 6).

Elles évoluent dans le temps en fonction de leur niveau de végétalisation. Ainsi, du dépôt originel jusqu'à leur évolution en île (pour les structures centrales) ou en terrasse (pour les structures latérales), leur végétation grandit et se densifie.

Cette évolution du niveau de végétalisation limite puis rend quasiment impossible la remobilisation des matériaux déposés initialement. Suivant leur stade d'évolution, elles participent donc plus ou moins au transit sédimentaire lors des crues morphogènes, et à terme ne représentent qu'un volume dans le stock alluvial, mobilisable éventuellement sous des conditions très spécifiques (crue Basse Fréquence Haute Magnitude* de très faible occurrence).

Encart 6 : Les structures alluvionnaires

HYDRETTUDES a codifié une **typologie des stades**

d'évolution des structures alluvionnaires en distinguant les structures latérales des structures centrales. Cette typologie définit des stades d'évolution allant de la naissance à la sénescence, intégrant la végétalisation et donc leur capacité de mobilisation lors des crues morphogènes (*cf.* Annexe 6).

Ainsi, la connaissance des structures alluvionnaires permet d'avoir une vision complète du stock alluvial et de sa dynamique à travers :

- Le volume global de matériaux stockés en lit ;
- Le « volume utile » stocké en lit, c'est-à-dire le volume de matériaux potentiellement remobilisables lors d'une crue morphogène (matériaux situés dans des structures non ou faiblement végétalisées).

Ainsi, l'analyse des structures alluvionnaires de l'Escoutay consiste à localiser et quantifier les volumes de matériaux stockés dans le lit mineur, et identifier leur degré de mobilité. La méthodologie utilisée s'appuie sur deux méthodes, afin de disposer d'éléments précis sur chacune des structures alluvionnaires (position, surface, volume, degré de végétalisation et stade d'évolution) :

- **Pour les tronçons ESC_1, ESC_2 et ESC_3** : les volumes sont calculés à partir des mesures réalisées lors des investigations de terrain. Le protocole de mesure consiste à mesurer à l'aide d'un quintuple-décamètre la longueur de la structure, plusieurs largeurs de la structure et la hauteur moyenne de la structure par rapport au fil d'eau. En complément, on détermine sur place le stade d'évolution de la structure alluvionnaire selon la typologie développée par HYDRETTUDES (*cf.* Annexe 6) ;
- **Pour le tronçon ESC_4** : les calculs de volumes reposent sur le traitement du Modèle Numérique de Terrain et de l'orthophotographie 2016 levés par drone dans le cadre de la présente étude.

Il convient de noter que l'ensemble de ces éléments permettra d'initier le suivi dynamique du stock alluvial proposé dans le cadre de l'élaboration du plan de gestion. En effet, les résultats (position, surface, volume...) constitueront le « **point zéro** » de ce suivi dynamique et permettront de suivre dans le temps et l'espace l'évolution des structures alluvionnaires et donc du stock alluvial.

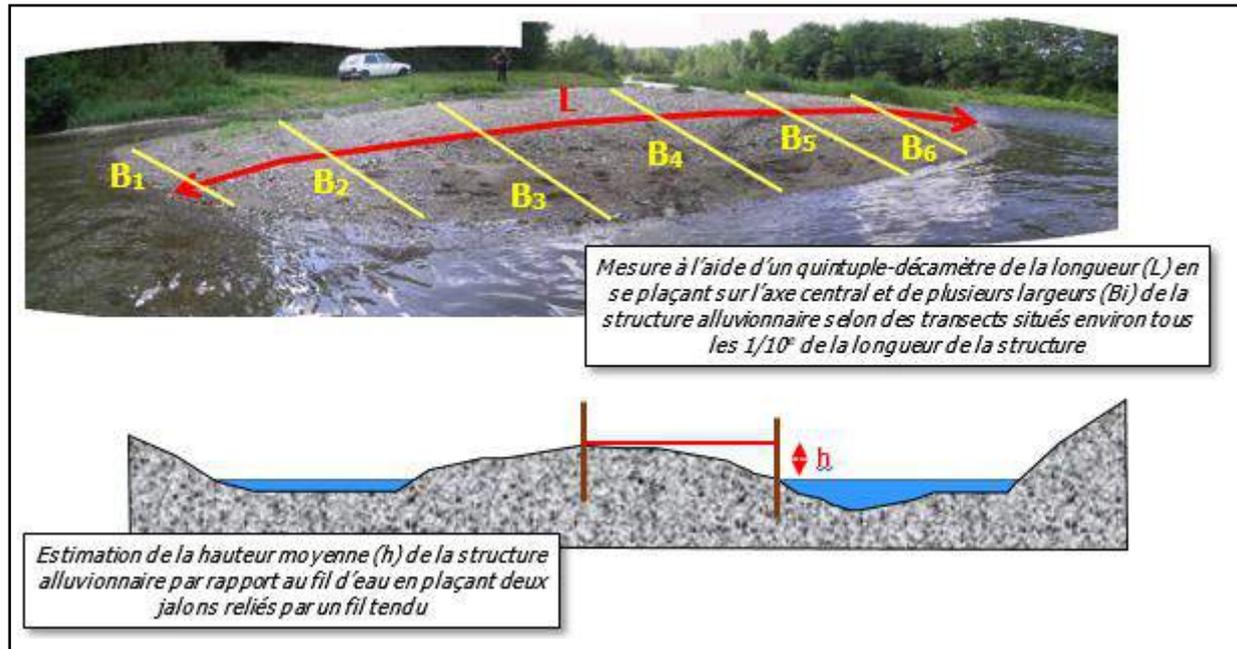


Figure 68 : Analyse des structures alluvionnaires présentes sur les tronçons ESC_1 à ESC_3

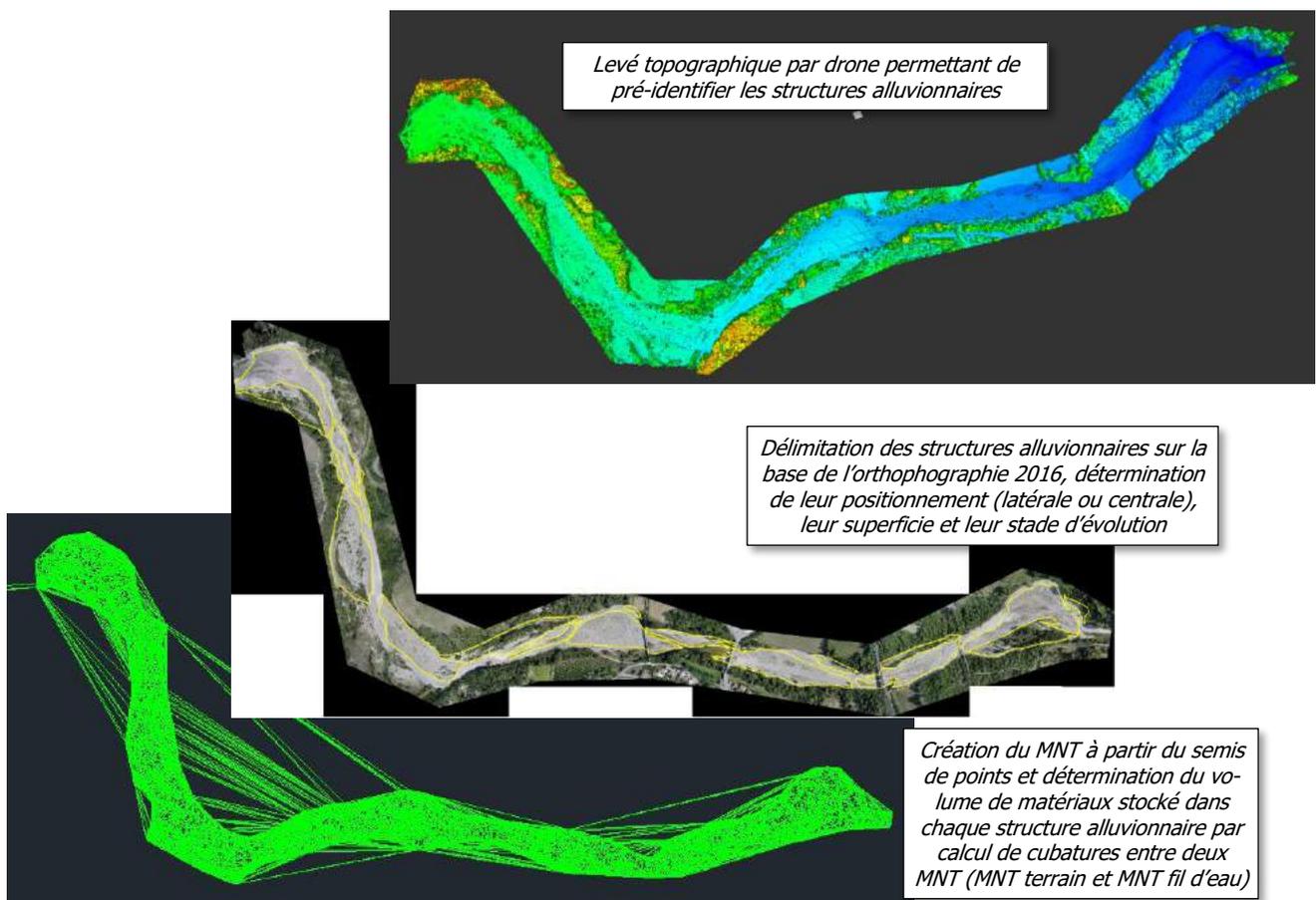


Figure 69 : Extrait de l'analyse des structures des structures alluvionnaires présentes sur le tronçon ESC_4

La Figure 70 présente l'ensemble des structures alluvionnaires identifiées sur l'Escoutay et certains affluents selon leur volume et leur degré de mobilité.

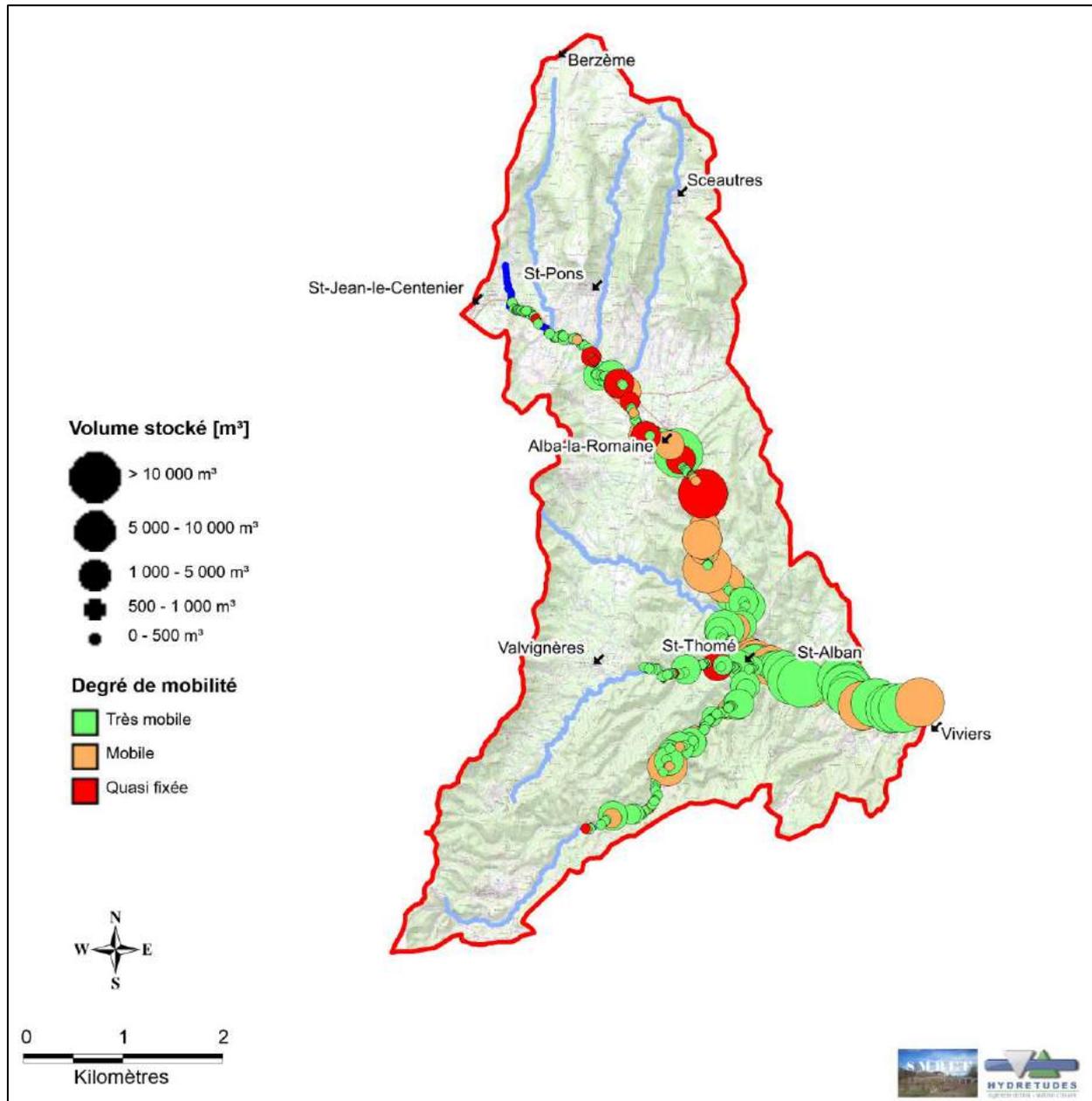


Figure 70 : Localisation des structures alluvionnaires de l'Escoutay selon le volume stocké et leur degré de mobilité

Résultats : Les volumes stockés

L'analyse des structures alluvionnaires montre un volume de matériaux stocké dans l'Escoutay très important de l'ordre de **615 000 m³** (cf. Tableau 18). On compte 313 structures alluvionnaires réparties sur l'ensemble du linéaire avec notamment un **gradient amont** → **aval**, c'est-à-dire une croissance du volume stocké depuis le tronçon ESC_1 vers le tronçon ESC_4, mettant en avant le fonctionnement de chaque tronçon :

- Le tronçon amont **ESC_1** présente des structures alluvionnaires de faible volume et stocke peu de matériaux (382 m³/km). Il s'agit de la tête de bassin versant et la zone de production est réduite ;
- Le tronçon **ESC_2** reçoit les apports des trois contributeurs sédimentaires de rive gauche (Ribeyras, Vernet et Téoulemale). Même si ce ne sont pas des contributeurs majeurs (taille du bassin, présence de roche résistante, compartimentage du lit...), le ratio kilométrique (V/L) montre tout de même des structures alluvionnaires de volume relativement important ;
- Le tronçon **ESC_3** est une zone de transfert entre les zones de contribution (ou de production) et le tronçon d'accumulation ESC_4. Le nombre de structures alluvionnaires y est donc élevé (128) comme le ratio kilométrique (27 269 m³/km). Le tronçon ESC_3 stocke ainsi 36% du volume total ;
- Le tronçon **ESC_4** marqué par une rupture de pente (0,6% vs. 1,5% pour les tronçons en amont) et par un linéaire de seulement 6 km, concentre 59% du stock alluvial de l'Escoutay et présente un ratio kilométrique élevé (environ 57 220 m³/km). Le tronçon ESC_4 constitue une zone d'accumulation avec stockage-régulation des matériaux.

De plus, le linéaire investigué de la Nègue de 8,2 km depuis la confluence avec l'Escoutay (57% du linéaire total) stocke un volume de matériaux relativement important de 40 125 m³, soit un ratio kilométrique de 4 893 m³/km, comparable à celui du tronçon ESC_2. Quant au Dardaillon, on compte un stock alluvial de 12 830 m³ de matériaux sur un linéaire de 3,5 km depuis la confluence avec la Nègue (32% du linéaire total), soit un ratio kilométrique 3 665 m³/km.

STRUCTURES ALLUVIONNAIRES DE L'ESCOUTAY						
Tronçon	Longueur [km]	Linéaire analysé [km]	Quantité	Volume cumulé		V/L [m ³ /km]
				[m ³]	[%]	
ESC_1	2,9	1,8	32	669	0,1%	382
ESC_2	5,8	5,8	113	32 139	5%	5 559
ESC_3	8,1	8,1	128	221 901	36%	27 269
ESC_4	6,3	6,3	40	360 379	59%	57 223
Total	23,1	22,0	313	615 087		

Tableau 18 : Répartition des volumes de matériaux stockés dans l'Escoutay par tronçon

Le stock alluvial de l'Escoutay est donc conséquent et est principalement lié à :

- La fourniture sédimentaire : la Nègue est un contributeur sédimentaire important situé en amont immédiat du tronçon ESC_4 ;
- La pente qui évacue plus ou moins bien les matériaux. En effet, la largeur de la bande active faible sur les parties hautes du bassin, la pente et la puissance du cours d'eau favorisent le transit sédimentaire vers l'aval. La rupture de pente marquée du tronçon ESC_4 (variation de 1,5% (ESC_2) à 0,6%) et l'absence de corsetage géologique (falaise) favorisent l'accumulation des matériaux en créant une vaste zone d'accumulation.

Résultats : La mobilité des volumes stockés

Connaitre les volumes de matériaux stockés dans les structures alluvionnaires est un élément essentiel, mais n'est pas suffisant à lui seul pour appréhender la qualité du stock alluvial d'un cours d'eau. Cet élément doit ainsi être couplé à la mobilité des structures alluvionnaires représentative de l'activité sédimentaire, ce qui permettra de bâtir une stratégie de gestion des structures alluvionnaires adaptée au fonctionnement et à l'évolution dynamiques du cours d'eau.

La caractérisation des 313 structures alluvionnaires selon la typologie des stades d'évolution développée par HYDRETTUDES montre une **végétalisation relativement limitée**, tant pour les structures centrales que latérales, et donc une **bonne capacité de remobilisation des structures alluvionnaires**. Ainsi, 61% du volume de matériaux stockés est très mobile et 32% du volume total de matériaux est mobile.

Il convient toutefois de rappeler que ce niveau de végétalisation évolue avec le temps et en particulier en fonction des crues morphogènes qui rajeunissent les bandes actives. Lors des périodes inter-crues, la bande active a donc tendance à se végétaliser et à limiter la mobilité des structures.

Il est donc important que cette mobilité soit conservée pour éviter de fixer les bancs alluvionnaires, ce qui aurait une incidence forte sur la morphologie du lit et le transit sédimentaire. Il est particulièrement important d'éviter de trop fortes rétractions de bande active dans la zone d'accumulation que constitue le tronçon ESC_4, en gérant la végétation.

STADES D'ÉVOLUTION DES STRUCTURES ALLUVIONNAIRES				
Localisation	Stade d'évolution	Volume cumulé		Quantité
		[m ³]	[%]	
Structures latérales	SL1	272 879	44%	165
	SL2	17 656	3%	14
	SL3	88 808	14%	34
	SL4	12 268	2%	13
Structures centrales	SC1	72 739	12%	61
	SC2	17 843	3%	6
	SC3	108 685	18%	10
	SC4	24 209	4%	10
Total		615 087		313

Figure 71 : Répartition du stock alluvial de l'Escoutay par stade d'évolution et par degré de mobilité. En vert : très mobile ; en orange : mobile et en rouge : quasi fixée

DEGRÉ DE MOBILITÉ DU STOCK ALLUVIAL			
Degré de mobilité	Volume cumulé		Quantité
	[m ³]	[%]	
Très mobile	376 879	61%	242
Mobile	197 493	32%	44
Quasi fixée	40 715	7%	27
Total		615 087	313

L'analyse du degré de mobilité du stock alluvial par tronçon (cf. Figure 72) montre également que pour chaque tronçon de l'Escoutay, ce sont les structures alluvionnaires très mobiles qui dominent, les structures quasi fixées étant pratiquement inexistantes. Ainsi, 82% du stock alluvial du tronçon ESC_4 est très mobile et 2% est quasi fixé.

Toutefois, il convient de noter que seul le tronçon ESC_3 présente une mobilité de son stock alluvial plus limitée que les autres tronçons. En effet, 58% de son stock alluvial est mobile, 30% très mobile et 12% quasi fixé. Bien que l'on soit actuellement dans le temps de relaxation de la crue de 2015, le

tronçon ESC_3 se singularise donc par un stock alluvial à mobilité réduite dont certaines structures alluvionnaires sont en cours de déconnexion, corroborant ainsi la tendance à l'incision du tronçon ESC_3 (cf. § 7.3B).

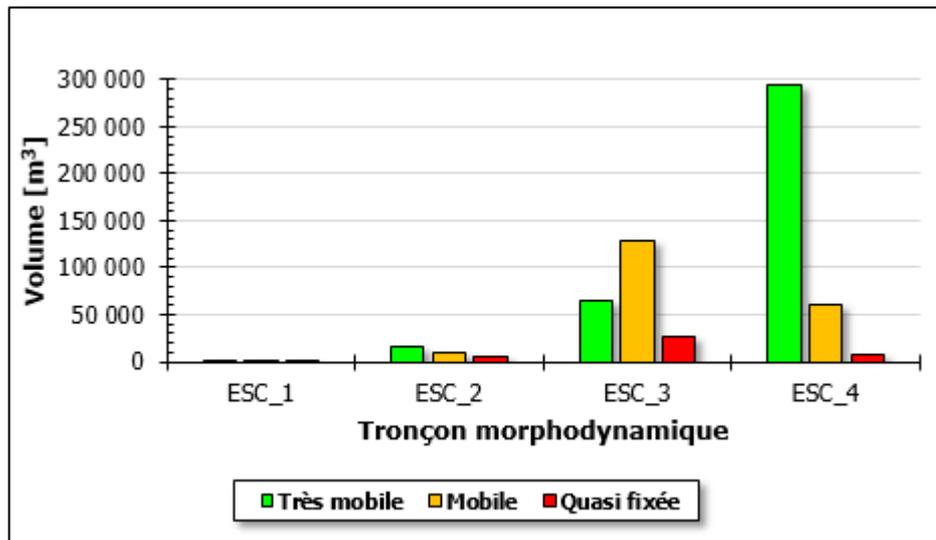


Figure 72 : Répartition du stock alluvial par tronçon et par degré de mobilité



Figure 73 : Structures alluvionnaires très mobile (encadré en vert), mobile (orange) en cours de végétalisation et quasi fixée (rouge) présentes sur l'Escoutay

❖ *La bande active de stockage de l'Escoutay (ESC_4)*

Il convient de s'intéresser plus particulièrement à la zone d'accumulation que constitue le tronçon ESC_4 de l'Escoutay, en particulier son style fluvial*. Le tronçon ESC_4 de l'Escoutay pourrait être propice au développement d'un style fluvial en tresses, c'est-à-dire un style présentant « *un nombre important de chenaux, séparés par des barres ou des îlots s'intersectant de telle sorte que l'ensemble du lit présente la forme d'une tresse* » (Lane, 1957), notamment dans la traversée de Viviers, où la bande active est la plus large.



Figure 74 : Tressage sur le Vénéon (38)

En effet, les zones en tresses se développent principalement dans des zones de rupture de pente marquée, en aval de secteurs où la charge de fond est importante. Il s'agit de zones de stockage et donc de régulation du transport solide et sont ainsi essentielles pour rythmer la migration de la charge grossière vers l'aval. La largeur de la bande active généralement conséquente permet le stockage des eaux en crue et minimise l'accélération des vitesses d'écoulement. Enfin, ces zones peu végétalisées limitent le risque d'embâclage en aval en constituant des peignes à embâcles.

D'après Léopold & Wolman (1957), Schumm (1977) et Knighton (1984), les principales conditions d'apparition d'un tressage sont :

- La surabondance de la charge alluviale ;
- La forte érodabilité des berges ;
- La forte variabilité des débits ;
- Une puissance spécifique importante.

Compte tenu des éléments exposés ci-dessus et synthétisés dans le Tableau 19, il semble que l'Escoutay regroupe *a priori* dans sa partie aval (ESC_4) les principales caractéristiques nécessaires à la formation d'un style en tresses, pourtant ce n'est pas le cas.

PRINCIPALES CONDITIONS DE TRESSAGE ET ÉTAT DU TRONÇON ESC_4			
Paramètres	Degré d'importance		État du tronçon ESC_4
	Apparition	Disparition	
Surabondance de la charge solide	Fort	-	Charge importante en place
Forte érodabilité des berges	Moyen	-	
Forte variabilité des débits	Moyen	-	Cours d'eau présentant un régime type cévenol
Puissance spécifique importante	Moyen	-	
Tracé subrectiligne	Fort	-	Faible coefficient de sinuosité (1,10)
Granulométrie plutôt faible	Moyen	-	
Chenal dominant très marqué	-	Témoin	
Chenal dominant sinueux	-	Témoin	

Tableau 19 : Comparaison entre les conditions de tressage et l'état du tronçon ESC_4 de l'Escoutay

La présence d'un chenal dominant quasi-unique pourrait éventuellement témoigner d'une ancienne zone de tressage en cours de disparition ou de métamorphose vers un style divaguant ou à méandre. Or, l'analyse des cartes de Cassini (XVIII^{ème} siècle) et de l'État-major (XIX^{ème} siècle) antérieures aux métamorphoses hydroclimatiques et anthropiques ne montrent aucun tressage de l'Escoutay sur sa partie aval, à l'exception du Rhône. Même constat lorsque l'on compare les photographies aériennes anciennes de ce secteur (cf. Figure 75).

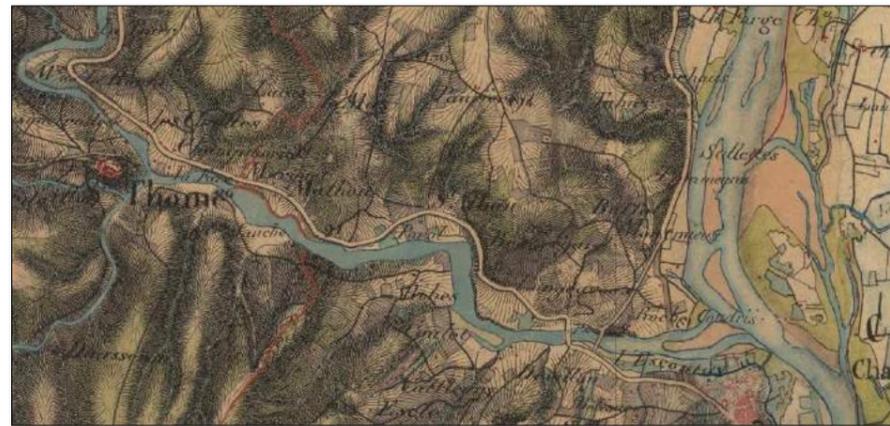


Figure 75 : Cartes de Cassini, de l'État-major et diachronie de l'Escoutay entre Saint-Alban et la confluence avec le Rhône

La partie aval de l'Escoutay fonctionne donc comme une vaste zone de stockage-régulation du transport solide, alimentée principalement par les contributeurs sédimentaires que sont le Salauzon et le système Dardaillon-Nègue.

On pourrait expliquer l'absence de tressage par le régime cévenol que subit le bassin versant de l'Escoutay. En effet, l'Escoutay fonctionne en oued en été, c'est-à-dire peu ou pas d'eau lors de l'étiage. Ce fonctionnement sporadique ne permet pas le développement d'un tressage, les principales zones de tressages étant en eau toute l'année.

Ainsi, la baisse des eaux en proximité d'étiage pourrait favoriser une monochenalisation totalement

Dépôt-obstruction-défluviation

Lorsque le cours d'eau ne peut plus transporter sa charge grossière (lorsqu'il y a par exemple une rupture de pente) et qu'il la dépose en lit, ou lorsque des embâcles bloquent partiellement (voire totalement) son lit, le cours d'eau va se désaxer et changer de cours en se créant un nouveau tracé par érosion pour contourner l'obstacle qu'il s'est créé.

On appelle ce changement de lit une défluviation (ou une avulsion). Il peut alors se créer un bras de décharge, voire un nouveau tracé du chenal principal.

contradictoire avec le style fluvial du tressage. Cette monochenalisation semble se faire dans un chenal principal bien dimensionné, d'autant plus que les bouffées sédimentaires liées aux crues cévenoles ne favorisent pas le développement de chenaux diachrones, donc de tresses, en saturant le lit en matériaux.

On qualifiera donc cette zone de stockage-régulation de **bande active de stockage**. Une attention particulière devra être portée sur cette bande active de stockage lors de l'élaboration du plan de gestion, en particulier les apports liés aux contributeurs sédimentaires majeurs (Salauzon et système Nègue), afin de limiter l'engorgement de la zone et éviter ainsi des débordements consécutifs et/ou des ajustements pouvant conduire à des avulsions* par dépôt-obstruction-défluviation (cf. Encart 7), des érosions importantes dans les zones à enjeux ou encore le contournement d'un ouvrage d'art...

Encart 7 : Dépôt-obstruction-défluviation

tements pouvant conduire à des avulsions* par dépôt-obstruction-défluviation (cf. Encart 7), des érosions importantes dans les zones à enjeux ou encore le contournement d'un ouvrage d'art...

8.2 Capacité de charriage de l'Escoutay

A Objectifs et méthodologie

Il s'agit ici de déterminer la capacité théorique annuelle de charriage de l'Escoutay et de ses principaux affluents, c'est-à-dire le volume de matériaux potentiellement transportés par an.

Les calculs sont effectués en appliquant la formule de transport solide de **Recking (2010)** en raison de sa plage de validité étendue aux pentes (0,01%-7%) et à la granulométrie (0,5-600 mm) adaptée au bassin versant de l'Escoutay et permettant l'utilisation d'une seule et même formule sur l'ensemble du linéaire d'étude.

Par ailleurs, cette formule permet de prendre en compte l'étendue granulométrique du substrat du lit et donc l'existence d'un transport partiel. En effet, la plupart des formules ne considèrent le transport qu'en relation avec la mobilité d'un diamètre caractéristique unique lié à une valeur unique de débit de mise en mouvement (Q_0) (e.g. diamètre moyen pour la formule de Lefort). Autrement dit, lorsque le débit liquide est inférieur à Q_0 , le transport est nul et Q_0 est donc un seuil pour tout le mélange sédimentaire réduit à un diamètre médian unique (donc une granulométrie uniforme).

Or, sur des granulométries étendues, même les plus faibles débits peuvent être associés à un transport de sédiments. La formule de Recking (2010) intègre ce phénomène en considérant les deux phases du transport solide : (1) la mobilité partielle représentant un seuil à la fraction grossière uniquement, une partie des granulométries en présence est tout de même transportée, (2) et la mobilité totale, tous les sédiments composant le lit sont transportés.

Ainsi, la formule de Recking (2010) semble pertinente et plus adaptée à la réalité des cours d'eau présentant généralement une granulométrie étendue, comme c'est le cas sur l'Escoutay.

Toutefois, il convient de noter que la principale difficulté réside dans les **paramètres d'entrée** nécessaires à l'application de la formule, notamment la pente, la granulométrie (d_{50} , d_{84}), la largeur active du transport solide et le débit. Les calculs sont donc menés **à l'échelle des tronçons**, pour lesquels les paramètres d'entrée sont considérés constants.

De plus, compte tenu de la vitesse de propagation de la charge alluviale (qui est mal connue mais qui reste somme toute faible, les données couramment admises sont sous nos latitudes au mieux de quelques centaines de mètres par an) et de la faible connexion entre les versants et les lits fluviaux, l'exportation des matériaux vers l'Escoutay est lente et limitée. En conséquence, on considère que les apports des contributeurs sédimentaires à un tronçon donné de l'Escoutay sont ceux provenant du tronçon situé en amont proche de la confluence avec l'Escoutay (quelques centaines de mètres). Les paramètres d'entrée des affluents sont donc représentatifs de ce tronçon à l'amont proche de la confluence.

B Les données granulométriques

Les données granulométriques sont issues des prélèvements granulométriques réalisés directement sur le substrat du lit à l'exutoire des quatre tronçons de l'Escoutay ainsi que sur les principaux affluents (amont immédiat de la confluence et hors cône de déjection) selon le protocole développé à HYDRETTUDES disponible en [Annexe 7](#). Le Tableau 20 présente les diamètres caractéristiques issus des analyses granulométriques et dont certains (d_{50} et d_{84}) sont nécessaires à l'application de la formule de Recking (2010).

DIAMÈTRES CARACTÉRISTIQUES							
Sous bassin versant	d_{30}	d_{50}	d_{84}	d_{90}	d_m^1	Étendue granulométrique	
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	d_{90}/d_{30}	d_{84}/d_{50}
ESC_1	59,30	80,02	130,13	152,05	84,46	2,56 > 1	1,63 > 1
ESC_2	52,63	78,01	104,51	123,17	74,71	2,34 > 1	1,34 > 1
ESC_3	41,71	55,59	83,52	95,79	59,61	2,30 > 1	1,50 > 1
ESC_4	49,72	68,62	129,55	174,16	79,86	3,50 > 1	1,89 > 1
Ribeyras	63,48	91,48	125,07	155,63	86,31	2,45 > 1	1,37 > 1
Vernet	25,36	32,62	45,40	55,31	34,43	2,18 > 1	1,39 > 1
Téoulemale	50,25	62,48	83,05	96,62	62,98	1,92 > 1	1,33 > 1
Salauzon	40,19	50,41	79,26	92,39	56,40	2,30 > 1	1,57 > 1
Nègue amont Dardaillon	79,53	107,89	137,28	160,39	101,90	2,02 > 1	1,27 > 1
Dardaillon	41,74	59,05	104,82	140,82	65,10	3,37 > 1	1,78 > 1
Nègue aval Dardaillon	65,79	89,35	118,19	137,07	88,69	2,08 > 1	1,32 > 1

Tableau 20 : Diamètres caractéristiques de l'Escoutay et de ses principaux affluents

L'évolution du diamètre caractéristique d_{50} sur l'Escoutay est présentée à la Figure 76. Globalement, on peut considérer qu'il existe un **gradient granulométrique**, c'est-à-dire une décroissance du diamètre de l'amont vers l'aval. Ce gradient reste toutefois sous l'influence des contributeurs sédimentaires (affluents) qui apportent des granulométries différentes, impactant ainsi par mixage la granulométrie de l'Escoutay. On remarque toutefois que seule la granulométrie à l'exutoire du tronçon ESC_4 n'est pas

¹ d_m correspond au diamètre moyen arithmétique.

dans le contexte d'un gradient granulométrique, c'est-à-dire une décroissance régulière de la taille des grains en lit.

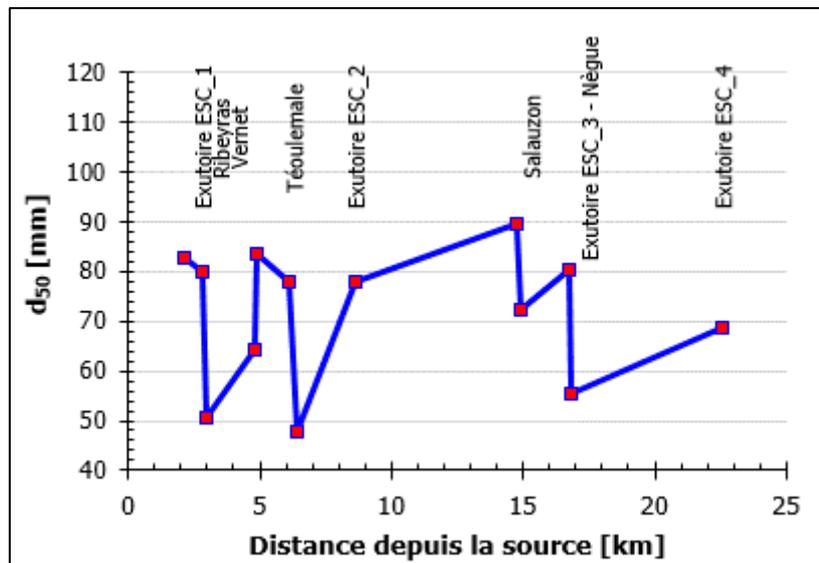


Figure 76 : Évolution du diamètre caractéristique d_{50} sur l'Escoutay

Par ailleurs, on remarque quelques éléments significatifs de la granulométrie du lit pour chacun des affluents de l'Escoutay :

- Le **Ribeyras** présente un diamètre médian élevé, témoignant d'apports de matériaux grossiers d'origine basaltique (provenant de la coulée du Coiron) ;



Figure 77 : Granulométrie du lit du Ribeyras avec quelques éléments grossiers basaltiques notés Ba. Le biofilm épilithique empêche de bien voir la couleur des grains en lit.

- Le **Vernet** a un diamètre médian « étonnamment bas » (33 mm) pour un contributeur sédimentaire roulant des matériaux basaltiques de forte résistance tant à l'attrition qu'aux cassures en phase de charriage ;
- Le **Téoulemale** a une granulométrie plus importante que le Vernet mais qui est plutôt moyenne (62,48 mm). Il convient de noter que ce cours d'eau est compartimenté par des seuils plus ou moins atterrés qui ont certainement arrêtés une partie de la charge solide, et en particulier la partie la plus grossière concernant les éléments basaltiques.



Figure 78 : Granulométrie du Vernet montrant quelques éléments basaltiques de faible taille (à gauche) et granulométrie du Téoulemale (à droite)

- Le **Salauzon** est un contributeur de rive droite fournissant exclusivement des matériaux marno-calcaires. Son diamètre médian est moyen (50 mm).
- La **Nègue** en amont de la confluence avec le Dardaillon présente une granulométrie étendue avec un diamètre médian important (108 mm), du fait de la présence de matériaux grossiers et anguleux. L'apport du Dardaillon présente une granulométrie moins grossière et un peu moins étendue avec un d_{50} bien moins élevé (59 mm) impactant la granulométrie de la Nègue à l'aval de la confluence. En effet, le mélange qui en résulte génère une baisse de la granulométrie de la Nègue de 17% environ, passant ainsi à un diamètre médian de 89 mm.



Figure 79 : Granulométrie de la Nègue en amont (à gauche) et en aval (à droite) de la confluence avec le Dardaillon. On note la présence de matériaux anguleux et de taille grossière.



Figure 80 : Substrat du lit du Dardaillon (à gauche) et vue générale du lit (à droite)

C Les données hydrauliques

Les données hydrauliques concernent quatre paramètres :

- La **pen**te est calculée pour chaque tronçon à partir du profil en long 2016 levé par HYDRETTUES dans le cadre de la présente étude, à l'exception du tronçon ESC_1 qui n'a pas fait l'objet d'un tel levé et pour lequel on détermine la pente à partir de la carte IGN.

La pente représentative des contributeurs sédimentaires correspond au linéaire en amont proche de la confluence avec l'Escoutay, l'exportation des matériaux étant lente et limitée (faible vitesse de propagation de la charge alluviale et faible connectivité des sources sédimentaires). Ainsi, la pente des contributeurs sédimentaires est déterminée à partir des profils en travers 2016 levés par HYDRETTUES pour cette étude.

- La **largeur** d'écoulement est déterminée à partir des profils en travers 2016 et correspond à la largeur moyenne du fond du lit, supposant que la totalité du fond du lit participe au transport solide et ce, quel que soit le débit ;
- Le **coefficient de Strickler** (K_s), traduisant la rugosité du lit mineur, est pris égal à 25 ;
- La **masse volumétrique des matériaux** varie entre 2 200 et 3 000 kg/m³ selon les cours d'eau, afin de prendre en compte le type de roche (calcaire, basalte...) les rechargeant.

PARAMÈTRES HYDRAULIQUES RETENUS			
Sous bassin versant	Pente [%]	Largeur moyenne [m]	Masse vol. [kg/m ³]
ESC_1	5,0%	4,5	2 650
ESC_2	1,5%	15,0	2 650
ESC_3	0,9%	17,0	2 650
ESC_4	0,6%	43,0	2 650
Ribeyras	1,8%	5,3	3 000
Vernet	2,6%	7,0	3 000
Téoulemale	1,6%	8,0	3 000
Salauzon	1,8%	5,0	2 200
Dardaillon	1,0%	7,4	2 200
Nègue	1,1%	9,0	2 200

Tableau 21 : Paramètres d'entrée hydrauliques retenus

D Les données hydrologiques

Les données hydrologiques utilisées sont les courbes de débits classés résultant de l'analyse hydrologique (cf. § 5.6). Les courbes de débits classés, représentant le nombre de jours par an durant lesquels la valeur du débit moyen journalier a été atteinte ou dépassée, permettent d'obtenir le **volume de matériaux potentiellement charriés par an**.

E Résultats : capacité de charriage annuelle

L'analyse des résultats obtenus par l'application de la formule de Recking (2010) montre que la partie amont du bassin versant (ESC_1) présente une capacité annuelle de charriage relativement faible de l'ordre 1 500 m³/an, du fait de la petite taille du bassin (2,4 km²) qui génère une hydrologie peu marquée malgré la forte pente.

La capacité de transport diminue ensuite régulièrement du tronçon ESC_2 à ESC_4, la diminution de la pente favorisant le dépôt au détriment du transit sédimentaire. Ainsi, le volume de matériaux potentiellement transportés par les tronçons ESC_2, ESC_3 et ESC_4 est de l'ordre de 25 000, 20 000 et 15 000 m³/an.

Les affluents de rive gauche provenant du massif volcanique du Coiron transportent, et donc apportent à l'Escoutay, moins de matériaux que les affluents de rive droite. Ces résultats semblent en accord avec l'approche hydromorphologique (*cf.* § 8.1A) qui a montré que le Ribeyras, le Vernet et le Téoulemale sont des contributeurs sédimentaires plutôt modérés, tandis que le Salauzon, le Dardaillon et la Nègue sont des contributeurs sédimentaires importants.

Ainsi, la capacité annuelle de charriage du Ribeyras et du Téoulemale est de l'ordre de 2 000 et 2 800 m³/an, respectivement. Le Salauzon et le Dardaillon transportent potentiellement 4 000 et 3 500 m³ de matériaux par an, respectivement. Quant à la Nègue, elle présente une capacité de transport de l'ordre de 8 000 m³/an.

On remarque néanmoins une disparité concernant le Vernet dont la capacité de transport est conséquente, de l'ordre de 22 500 m³/an. Cette forte différence peut s'expliquer par la pente qui est plus importante ($\approx 3\%$) que celle des autres affluents ($\approx 1-1,5\%$). De plus, comme indiqué précédemment, le Vernet possède la granulométrie la moins grossière, ce qui est surprenant pour un affluent drainant des matériaux basaltiques. Cette granulométrie « fine » est donc plus facilement et rapidement mise en mouvement.

Au vu de la configuration similaire des bassins versants du Ribeyras, du Vernet et du Téoulemale (superficie et géologie similaires), l'approche hydromorphologique tendrait plutôt vers une capacité de transport légèrement plus importante que celle du Ribeyras et du Téoulemale du fait d'une plus forte pente, de l'ordre du volume charrié par la Nègue.

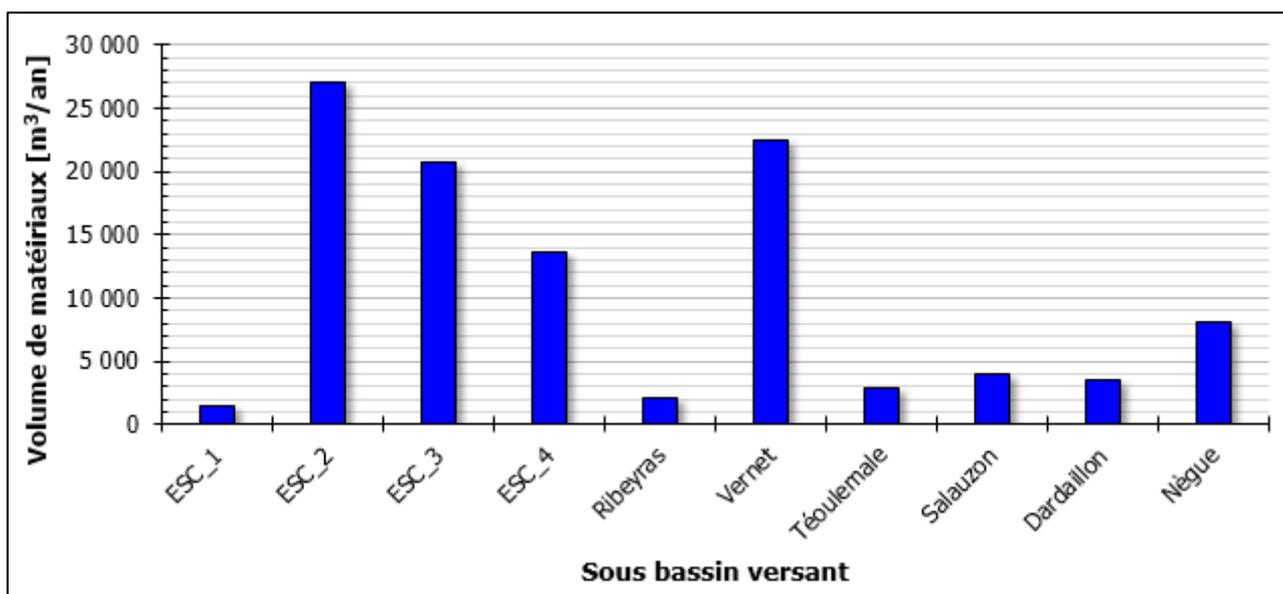


Figure 81 : Capacité annuelle de charriage de l'Escoutay et de ses principaux affluents

Il convient toutefois d'interpréter les valeurs théoriques obtenues avec circonspection, en faisant notamment le lien avec les investigations de terrain et l'approche hydromorphologique.

En effet, comme vu précédemment, la trajectoire géomorphologique de l'Escoutay est sous influence directe des modifications hydroclimatiques (sortie du Petit Âge Glaciaire – cf. § 2.5A) et des forçages anthropiques (extractions de matériaux... – cf. § 2.5B), conduisant à une baisse de la fourniture sédimentaire. Dans le contexte de déficit de fourniture sédimentaire que l'on connaît donc actuellement, la formule tend à **surestimer le transport solide**, et ce d'autant plus que les cours d'eau, notamment les affluents de rive gauche, sont compartimentés par des perturbateurs anthropiques majeurs (seuils) plus ou moins atterris, bloquant partiellement, voire totalement, la charge grossière.

De plus, quelle que soit la pertinence de la formule utilisée, la qualité des résultats reste liée à la **qualité des données d'entrée**, en particulier :

- **L'hydrologie** : les calculs s'appuient sur les courbes de débits liquides classés extrapolées à partir de celle de la Cèze à Bessègue. Il est bien évident que des débits mesurés sur l'Escoutay à une station de jaugeage serait moins sujet à erreurs ;
- **La largeur d'écoulement** : les calculs reposent sur la largeur moyenne du fond du lit, et ce quel que soit le débit. Or, cette largeur d'écoulement peut être différente de la largeur active, c'est-à-dire la portion du lit qui participe réellement au transport solide, même si l'on considère que les deux largeurs sont similaires en crue.

Un test de sensibilité au regard de ce paramètre a été effectué pour chaque tronçon de l'Escoutay, en faisant varier la largeur d'écoulement dans un intervalle cohérent avec les largeurs de fond identifiées à partir des profils en travers levés sur chaque tronçon (cf. Tableau 22). On constate que les volumes potentiellement charriés annuellement varient dans un rapport de 1,1 à 1,3, voire 2 pour le tronçon ESC_4 qui présente la bande active de stockage avec une forte variabilité de largeur.

Ces résultats semblent en cohérence avec la littérature scientifique. En effet, ce paramètre reste la source d'erreur la plus impactante. On estime que, dans le meilleur des cas, les valeurs seront toujours au minimum entachée d'une erreur dans un rapport de 1 à 2 (Mathys *et al.*, 2013).

TEST DE SENSIBILITÉ		
Sous bassin versant	Largeur [m]	Volume charrié [m ³ /an]
ESC_1	2 – 5	1 350 – 1 550
ESC_2	8 – 22	22 525 – 28 315
ESC_3	7 – 28	16 630 – 20 790
ESC_4	20 – 90	7 980 – 16 000

Tableau 22 : Test de sensibilité de la formule par rapport à la largeur

Ainsi, pour préciser et affermir la connaissance sur la capacité de charriage de l'Escoutay et de ses principaux affluents, il est essentiel de coupler les approches calculatoire et hydromorphologique avec des mesures de terrain (approche métrologique).

C'est l'objectif du suivi dynamique qui sera proposé dans le cadre du plan de gestion (cf. § 10).

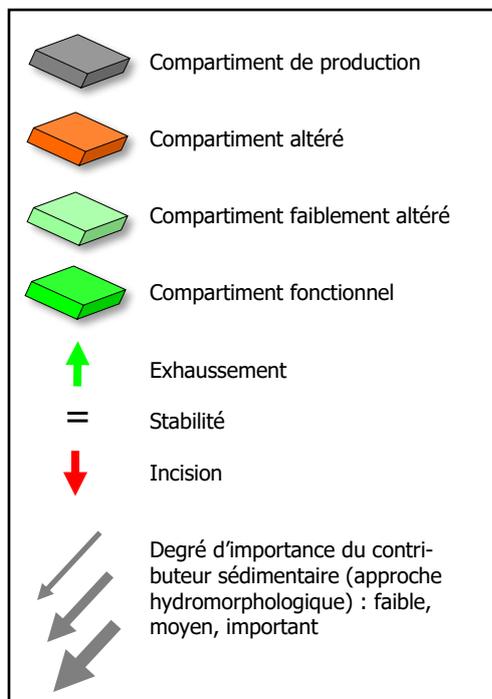
8.3 Bilan sédimentaire semi-quantitatif de l'Escoutay

À partir de l'ensemble des éléments analysés et exposés ci-avant, il est possible d'établir le bilan sédimentaire semi quantitatif de l'Escoutay, qui détaille les principaux éléments permettant de comprendre le fonctionnement dynamique du cours d'eau (cf. Figure 82).

Chaque tronçon hydromorphologique issu de la sectorisation est présenté sous la forme d'un parallélépipède, c'est-à-dire un **compartiment sédimentaire** à fonctionnement propre (*i.e.* à bilan sédimentaire propre) caractérisé par :

- Son positionnement en termes de « grands domaines » du transit sédimentaire, basé sur la description de Sear & Newson (1993) : production, transfert ou accumulation ;
- Ses caractéristiques morphométriques : longueur (L), pente (I), sinuosité (S), importance de l'épaisseur du plancher alluvial ;
- Son style fluvial ;
- Son état hydrosédimentaire : incision, stabilité, exhaussement ;
- L'état de sa recharge sédimentaire : connexion versant-lit, contributeurs sédimentaires potentiels, érosion latérale, stock alluvial... (approche hydromorphologique) ;
- Sa capacité de charriage annuelle et les apports annuels potentiels des contributeurs sédimentaires (approche calculatoire) ;
- Les freins à sa compétence au transport solide et à sa divagation latérale : perturbateurs hydromorphologiques compartimentant le lit, corsetage du lit limitant l'érosion latérale...

La légende des symboles utilisés est la suivante :



ESC_1	ESC_2	ESC_3	ESC_4
L = 2,9 km	L = 5,8 km	L = 8,1 km	L = 6,3 km
I = 5,0 %	I = 1,5 %	I = 0,9 %	I = 0,6 %
S = 1,11	S = 1,10	S = 1,13	S = 1,10
Style : Monochenalisé	Style : Monochenalisé avec écoulement sur la roche-mère	Style : Monochenalisé	Style : Monochenalisé avec bande active de stockage
Plancher alluvial : Néant	Plancher alluvial : Néant	Plancher alluvial : Néant	Plancher alluvial : Néant
Incision : Néant	Incision : Importante	Incision : ≈ -1 m	Incision : ≈ -1 m
Connexion versant-lit : Limitée	Connexion versant-lit : Limitée	Connexion versant-lit : Limitée	Connexion versant-lit : Limitée
Perturbateurs majeurs : 3	Perturbateurs majeurs : 24	Perturbateurs majeurs : 12	Perturbateurs majeurs : 4
Corsetage : 26%	Corsetage : 23%	Corsetage : 32%	Corsetage : 28%
Contributeurs séd. : Néant	Contributeurs séd. : Faibles	Contributeurs séd. : Moyens	Contributeurs séd. : Importants
Érosion latérale : 270 m ² /km	Érosion latérale : 400 m ² /km	Érosion latérale : 730 m ² /km	Érosion latérale : 1 350 m ² /km
Stock alluvial : 670 m ³	Stock alluvial : 32 140 m ³	Stock alluvial : 221 900 m ³	Stock alluvial : 360 380 m ³
Volume potentiel : 1 500 m ³ /an	Volume potentiel : 25 000 m ³ /an	Volume potentiel : 20 000 m ³ /an	Volume potentiel : 15 000 m ³ /an

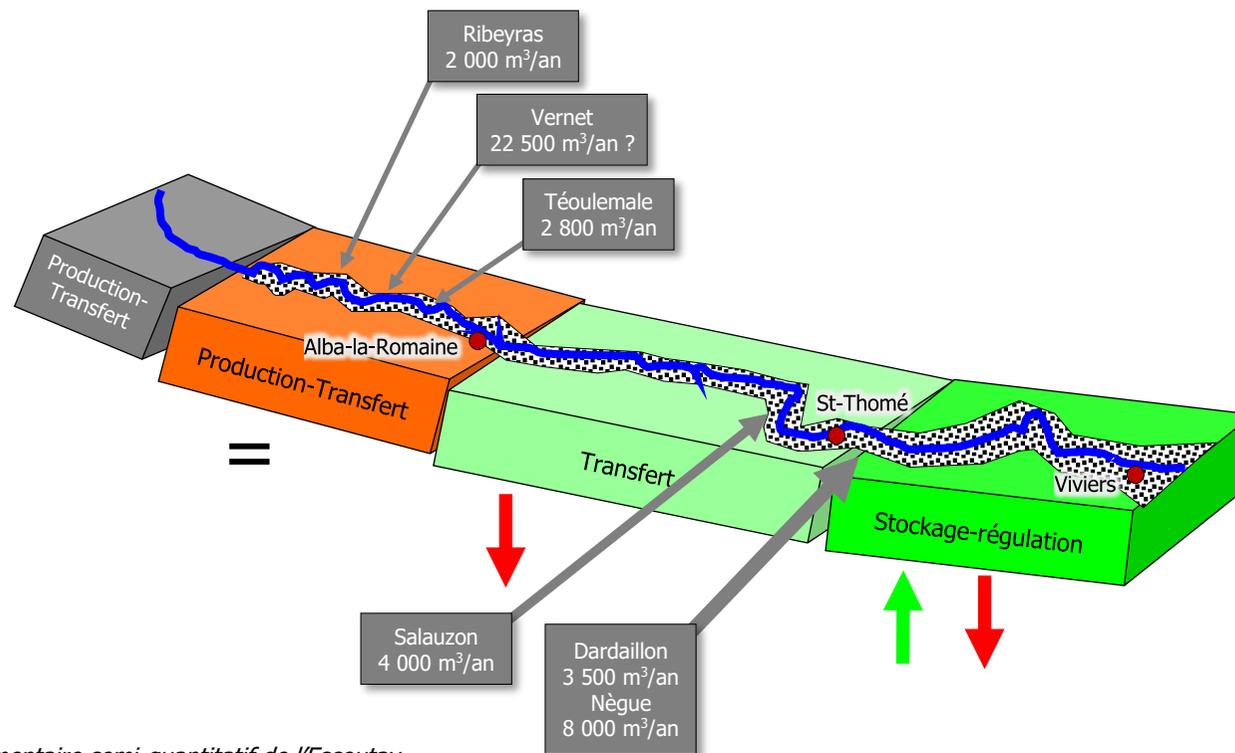


Figure 82 : Bilan sédimentaire semi-quantitatif de l'Escoutay

9 Évolution dynamique de l'Escoutay

9.1 Objectifs et méthodologie

L'évolution dynamique consiste à évaluer l'évolution probable du lit de l'Escoutay, afin de mettre en évidence les tronçons qui évolueraient vers une position d'équilibre ou de déséquilibre (incision ou exhaussement), et ainsi construire un plan de gestion en cohérence avec ces tendances d'évolution.

Cette analyse est réalisée à l'aide du logiciel **MorphEAUsystème** issu de la Recherche & Développement d'HYDRETTUES, et dont une présentation est disponible en [Annexe 8](#).

Ce logiciel permet de choisir la loi de transport solide la plus adaptée au cas d'étude (Meunier, Smart & Jaeggi, Lefort, Rickenmann...). Il prend également en compte les différents phénomènes physiques ayant une incidence sur le transport sédimentaire (présence de la roche mère bloquant les évolutions du fond, déformations du lit...) ainsi que les apports provenant d'affluents.

9.2 Conditions de modélisation

Le modèle d'évolutions du lit de l'Escoutay sous MorphEAUsystème repose sur les données et étapes suivantes :

- Une représentation géométrique de l'Escoutay depuis la confluence avec le Ribeyras (ESC_2) jusqu'à son exutoire dans le Rhône (ESC_4) ;
- Une prise en compte des paramètres hydrauliques et sédimentaires : le coefficient de Strickler traduisant la rugosité du lit est pris égal à 25, par souci de cohérence avec les calculs de transport solide, et la granulométrie des sédiments transportés est issue des prélèvements granulométriques réalisées dans le cadre de la présente étude (*cf.* § 8.2B) ;
- Un sous-découpage des tronçons ESC_2, ESC_3 et ESC_4 prenant en compte les seuils et intégrant les apports des principaux contributeurs sédimentaires ;
- Prise en compte des perturbateurs géomorphologiques, notamment les nombreux affleurements rocheux sur lesquels s'écoule l'Escoutay notamment dans le tronçon ESC_2, bloquant ainsi l'enfoncement du lit sur ce tronçon ;
- Le calcul des capacités de transport de la rivière découpée en tronçons à partir de la formule de Recking, et la modification de la géométrie du lit de chacun des tronçons pour chaque débit liquide de l'hydrogramme, tout ceci étant couplé à un lissage de la géométrie inter-tronçon.

Les simulations sont réalisées pour deux *scenarii* hydrologiques : une crue décennale et une crue centennale sur l'ensemble des cours d'eau. Il s'agit ainsi de simuler un ensemble de crues d'occurrences faible (Q_{10}) et forte (Q_{100}), afin de déterminer une tendance probable d'évolution par tronçon.

9.3 Résultats

La Figure 83 présente les variations altitudinales du lit de l'Escoutay après le passage des hydrogrammes, c'est-à-dire la différence entre la cote modélisée et la cote 2016 pour chaque point du profil en long de l'Escoutay.

Les résultats de modélisation mettent en avant les tendances suivantes :

- Le profil en long du tronçon ESC_2 semble relativement stable, l'écoulement sur la roche-mère sur la majorité du linéaire du tronçon ESC_2 limitant, voire bloquant l'enfoncement du lit. On note toutefois localement quelques exhaussements liés notamment aux apports des trois affluents de rive gauche, ainsi qu'une tendance au dépôt en amont des ouvrages d'art (pont

D263b et pont La Roche à Alba-la-Romaine) sous la forme probable de zones de sédimentation et/ou d'atterrissements ;

- Pour le tronçon ESC_3, la tendance est globalement à l'incision, avec une tendance au dépôt en amont du pont La Vergne et au niveau de la confluence avec le Salauzon ;
- Pour le tronçon ESC_4, la tendance est partagée entre incision et exhaussement selon les secteurs du profil en long. Jusqu'au pont Marquet, le profil en long tend à s'exhausser sous l'effet des apports solides de la Nègue. Puis, la contribution sédimentaire de la Nègue s'estompe et la tendance s'inverse et est à l'incision dans le secteur en amont du Moulin Nègre, ainsi qu'en amont du pont romain. On constate également une tendance à l'exhaussement dans le secteur de Saint-Alban, le lit s'élargissant très nettement. À l'aval du tronçon ESC_4, le profil en long semble s'exhausser, les seuils parafouilles du pont neuf et du pont SNCF limitant l'enfoncement du lit.

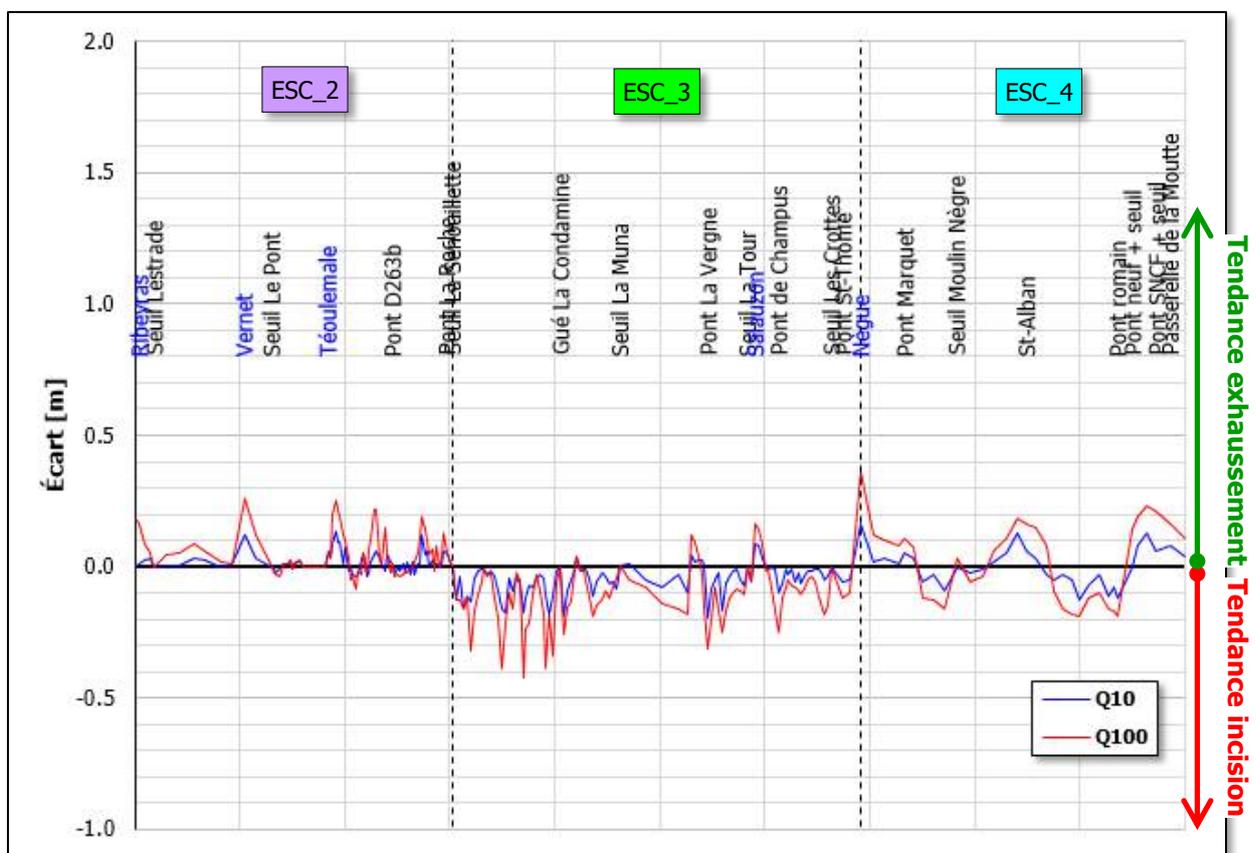


Figure 83 : Évolution probable du profil en long de l'Escoutay (variations altitudinales probables par rapport au levé de 2016) pour des crues d'occurrences faible et forte

10 Synthèse du diagnostic hydromorphologique

L'analyse de la trajectoire géomorphologique de l'Escoutay met en évidence les éléments de diagnostic suivants :

- **Le profil en long de l'Escoutay est globalement incisé** sur environ 13,5 km, soit 60% de son linéaire total, notamment entre la confluence avec le Ribeyras et le pont La Roche où le cours d'eau s'écoule à de nombreuses reprises sur le substratum sans plancher alluvial. Cette situation est vraisemblablement la convergence de trois facteurs : la faiblesse des apports solides des contributeurs sédimentaires, l'évolution hydroclimatique générale et les forçages anthropiques (extractions de matériaux alluvionnaires).
- **Le potentiel de recharge sédimentaire** de l'Escoutay est relativement limité :
 - La **contribution sédimentaire des affluents** semble plutôt modérée. Certains contributeurs sédimentaires donnent des signes de faiblesse (absence de cône de déjection...) tandis que d'autres semblent encore être des contributeurs importants. Ainsi, le Ribeyras, le Vernet et le Téoulemale drainent des matériaux d'origine basaltique résistants et de forte granulométrie, leur transport étant donc plus limité, et ce d'autant plus que les cours d'eau sont compartimentés par des seuils impactant, voire bloquant, le transit sédimentaire vers l'Escoutay. *A contrario* le Salauzon et la Nègue s'écoulant sur des roches sédimentaires (marnes et calcaires) sont de bons contributeurs au stock alluvial de l'Escoutay. En particulier, le système Dardaillon-Nègue est un fort contributeur apportant ses matériaux en aval de Saint-Thomé dans une zone où la pente s'affaiblit. Cette zone permet le stockage-régulation des matériaux jusqu'à la confluence avec la Rhône.
 - Les **érosions latérales** sont relativement importantes, en particulier dans la partie aval du bassin versant de l'Escoutay, où la respiration latérale du lit est très marquée.
 - C'est généralement la **connexion versant-lit** qui est le fournisseur le plus important en matériaux et non l'érosion latérale. Dans le cas de l'Escoutay, cette connexion est limitée et ne constitue par une source de recharge sédimentaire suffisante.
 - Le **stock alluvial** est particulièrement conséquent avec **615 000 m³** de matériaux stockés en lit sous la forme de structures alluvionnaires. De plus, le **degré de mobilité** est important, 90% du stock alluvial restent mobile car quasiment non végétalisés. Cette situation est notamment due à la zone de stockage-régulation constituée par la bande active de stockage à l'aval du bassin recevant les apports importants du système Dardaillon-Nègue et qui stocke à elle seule 320 000 m³ de matériaux, soit 52% du stock alluvial total.
- La **respiration latérale** du lit de l'Escoutay est limitée à certains secteurs et se concentre particulièrement en aval de Saint-Thomé dans la zone de stockage-régulation. Ainsi, le tronçon ESC_4 se caractérise par une bande active large fortement pourvue en matériaux qui se contracte et se dilate sous l'action contraire des crues morphogènes et de la végétalisation. Cette bande active de stockage est un élément essentiel du fonctionnement dynamique de l'Escoutay.

En fait, l'Escoutay a déstocké son plancher alluvial par manque de renouvellement de matériaux (insuffisance de crues morphogènes de type Basse Fréquence Haute Magnitude pour produire des alluvions stockables). Les matériaux migrent donc vers la bande active de stockage à l'aval du bassin versant, où la vallée s'ouvre et la pente s'affaiblit.

Toutefois, ce stockage conséquent ($\approx 320\,000\text{ m}^3$) ne pourra perdurer qu'à la condition qu'il soit régulièrement renouvelé, autrement déstockage et incision vont se développer.

11 Le suivi dynamique de l'Escoutay

11.1 Le suivi métrologique

L'ensemble des éléments présentés dans le présent rapport pour établir le diagnostic hydromorphologique de l'Escoutay résulte de la confrontation entre une approche hydromorphologique et une approche calculatoire.

L'**approche hydromorphologique** est une approche par la recherche et l'analyse d'indices de terrain permettant la compréhension des phénomènes spatio-temporels (*e.g.* la photographie aérienne croisée avec la carte géologique permet de qualifier la production sédimentaire d'un contributeur, la végétalisation des marges de la bande active permet de connaître son évolution...).

L'**approche calculatoire** est une approche basée sur des formules et/ou des codes numériques (*e.g.* volume de matériaux potentiellement charriés durant une année...), dont les paramètres d'entrée ne sont pas toujours évidents à choisir et les domaines de validité pas toujours adaptés au cours d'eau.

La confrontation de ces éléments permet de mieux appréhender l'héritage géomorphologique et le fonctionnement dynamique du cours d'eau et de pouvoir prédire les principales tendances évolutives (évolution dynamique).

Cette démarche reste toutefois au niveau de tendances. Le niveau de précision est inhérent au degré de précision des données collectables et collectées. Il est également difficile de trouver des formules et/ou des données adaptables strictement au cours d'eau étudié.

Ainsi, le **suivi métrologique**, c'est-à-dire le suivi dynamique « par la mesure », est un élément complémentaire à ces deux types d'approches. À titre d'exemple, la vitesse de propagation de la charge alluviale est très mal connue et est pourtant un élément très important pour la connaissance du transport solide (déplacement des matériaux, tri granulométrique...), et ce d'autant plus dans le contexte de déficit de fourniture sédimentaire que l'on connaît actuellement.

L'approche métrologique est donc pertinente et primordiale pour affiner la compréhension de l'évolution dynamique, et ainsi engager un suivi dynamique du cours d'eau, afin d'évaluer l'impact des actions proposées dans le cadre du plan de gestion sur l'évolution dynamique, et éventuellement de préciser et ajuster dans le temps ces opérations.

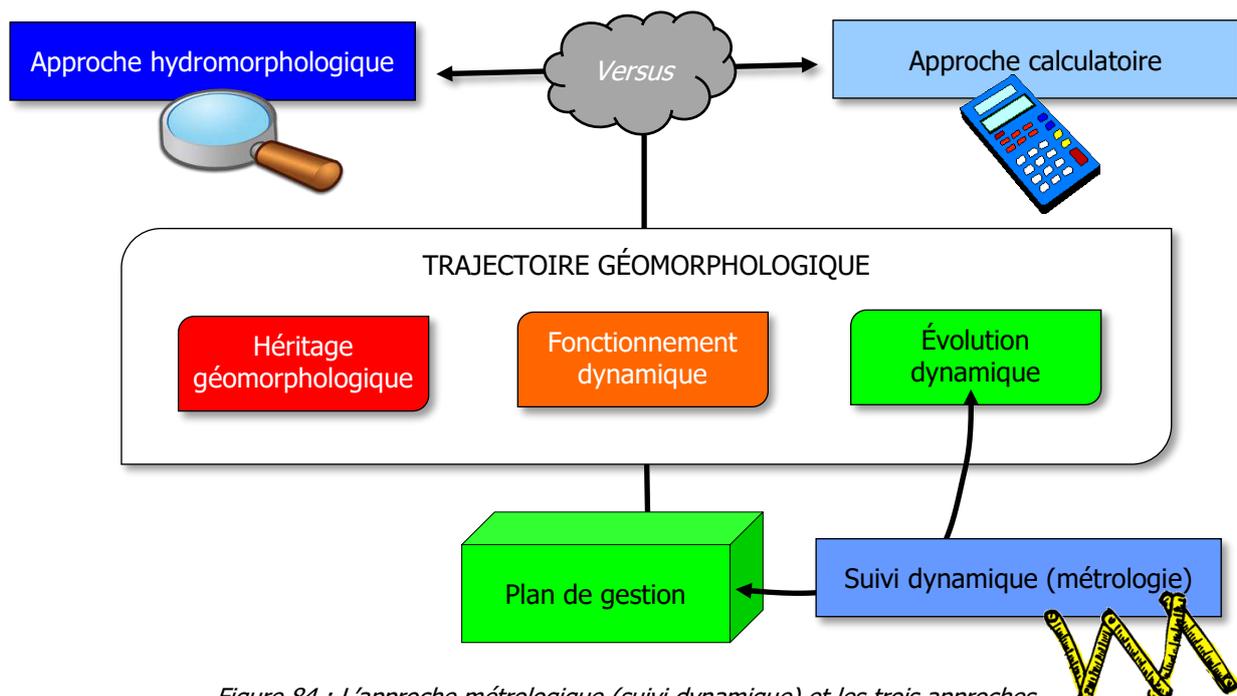


Figure 84 : L'approche métrologique (suivi dynamique) et les trois approches

11.2 Éléments du suivi dynamique de l'Escoutay

Le suivi dynamique constitue donc un moyen de valider, voire d'affiner, dans le temps les tendances mises en avant dans l'étude par une approche représentant véritablement l'Escoutay.

Ce suivi dynamique doit être **rustique**, c'est-à-dire simple à mettre en œuvre et à interpréter, et **robuste**, c'est-à-dire être fiable sur les données obtenues.

Ainsi, le Syndicat Mixte du Bassin versant de l'Escoutay et du Frayol pourra réaliser une partie des suivis proposés, moyennant une formation du personnel (interventions de terrain et exploitation des données collectées). Pour certain type de suivi, celui-ci devra être externalisé, dans la mesure où la technique de collecte des données ou l'exploitation nécessitent des appareils spécifiques coûteux (y compris en location) et/ou complexes à mettre en œuvre.

Compte tenu de la trajectoire géomorphologique de l'Escoutay, on peut dès à présent préconiser un suivi dynamique du transport solide, de l'incision, de la bande active de stockage et de la recharge sédimentaire (cf. Tableau 23). L'ensemble du programme de suivi dynamique sera précisé dans les fiches-action réalisées dans le cadre de l'élaboration du plan de gestion.

11.3 Une vision globale grâce au suivi dynamique

L'ensemble des éléments fournis par cette approche métrologique permettra :

- **Affermir le point zéro** que constitue la présente étude en le complétant par des données mesurées précises, et pouvoir engager un suivi dynamique permettant d'acquérir et de bancariser de la donnée qui est pour l'heure indisponible et méconnue (nature et vitesse de la charge solide...) ;
- **Affiner la stratégie et le plan de gestion** en fonction des données collectées témoignant de l'évolution temporelle de l'Escoutay. Ces éléments sont particulièrement importants à deux niveaux :
 - o La plupart des données bancarisées permettront de mieux connaître les phénomènes hydromorphologiques (*e.g.* évolution des tressages, vitesse de propagation du transport solide, évolution du fond du lit aux endroits critiques...) ;
 - o Ces données et d'autres (*e.g.* colmatage du lit) permettront de suivre les actions et d'en mesurer l'impact.

Ainsi, on pourra **faire évoluer le plan de gestion** en fonction du suivi dynamique, c'est-à-dire l'adapter en fonction de données mesurées et suivies. Ce suivi dynamique constitue une interaction favorisant à la fois la connaissance du fonctionnement et de l'évolution dynamiques, et ouvrant ainsi des perspectives d'adaptation fines du plan de gestion (affinement – amélioration, voire correction).

Mené par les gestionnaires du bassin versant de l'Escoutay, il constitue une véritable action-connaissance permanente et permettra ainsi de suivre efficacement un milieu particulièrement dynamique dans un contexte défavorable (forçages hydroclimatiques et anthropiques), tout en y réalisant les nécessaires travaux d'accompagnement dynamique.

ÉLÉMENTS DE SUIVI DYNAMIQUE PRÉCONISÉS POUR L'ESCOUTAY					
Éléments suivis	Type de suivi	Technique	Localisation	SMBEF	Objectifs – Intérêt – Méthodologie
Transport solide	Volume matériaux	Helley-Smith	À préciser		Mesurer la fraction charriée pour affiner la connaissance de la capacité de charriage de l'Escoutay, et comparer les données avec l'approche calculatoire (cf. § 8.2)
	Granulométrie	Granulométrie en lit	Exutoire tronçons et affluents	x	Analyser l'évolution du substrat du lit après chaque crue
	Bilans de masse	Levé bathymétrique (profils en travers)	ESC_2 à ESC_4		Suivi d'une série de profils en travers espacés régulièrement. Après chaque crue, réalisation d'un bilan dépôt/incision/érosion pour chaque profil en travers pour affiner la compréhension du transport solide sur l'Escoutay. Le point zéro : profils en travers 2016
	Vitesse de propagation de la charge	Traçage RFID (pit-tags)		x	Donnée à obtenir en référence avec des occurrences de crue pour bien comprendre le fonctionnement dynamique. À compléter par une approche calculatoire de la charge solide effectivement produite lors d'une crue pour voir l'intérêt en termes d'apport des affluents.
	Stock alluvial	LIDAR	ESC_2 à ESC_4		Évaluer l'évolution du volume de matériaux stockés dans les structures alluvionnaires et leur degré de végétalisation pour suivre l'évolution du stock alluvial. Le point zéro : Analyse de 2016
Incision	Évolution verticale du lit	Levé bathymétrique (profil en long)	ESC_2 à ESC_4		Réaliser un profil en long post crue pour suivre l'évolution verticale du lit (comparaison avec 1991 et 2016), notamment dans les zones incisées (ESC_3 et ESC_4)
Bande active de stockage	Morphométrie	LIDAR et orthophoto	ESC_4		Comparaison des LIDAR suite à une crue permettant d'évaluer l'évolution de la bande active de stockage (expansion, stabilité, rétraction). Le point zéro : Levé drone 2016
	Stock alluvial	LIDAR et orthophoto			
Recharge sédimentaire	Granulométrie	Granulométrie en lit	Aval des points d'injection	x	Évaluer l'impact des opérations de transferts-réinjection de matériaux sur le substrat du lit
	Colmatage	Sticks hypoxiques et/ou conductivité hydraulique		x	
	Vitesse de propagation de la charge	Traçage RFID (pit-tags)		x	

Tableau 23 : Suivi dynamique préconisé pour l'Escoutay

12 Espaces de bon fonctionnement

12.1 Principe et méthodologie

La délimitation des espaces de bon fonctionnement s'inscrit directement dans la suite logique de l'analyse de la trajectoire géomorphologique de l'Escoutay. En effet, cette analyse a permis d'appréhender finement le fonctionnement et l'évolution dynamiques de l'Escoutay (historique des évolutions, zones d'incision et d'exhaussement, contributeurs sédimentaires potentiels...).

Ainsi, on peut donc définir un espace de bon fonctionnement adapté à la dynamique de l'Escoutay, c'est-à-dire un **espace multifonctionnel** nécessaire à l'Escoutay pour assurer ses diverses fonctions (morphologique, hydraulique, hydrogéologique, biogéochimique et biologiques).

L'espace de bon fonctionnement est un zonage qui n'a pas de portée réglementaire (comme le PPRI), mais dont l'objectif est de :

- Sensibiliser les acteurs sur les exigences spécifiques au bon fonctionnement du cours d'eau ;
- Informer sur ce qu'il est souhaitable ou non au sein de cet espace en termes d'occupation du sol et de pratiques ;
- Orienter la gestion du cours d'eau : guider le développement de nouveaux projets d'aménagement pour qu'ils soient compatibles avec les objectifs de préservation et de restauration.

La détermination de l'espace de bon fonctionnement se base sur la méthodologie du Guide technique du SDAGE de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse élaboré en octobre 2016. La méthode vise à délimiter et cartographier deux enveloppes – espaces de bon fonctionnement optimal et nécessaire – résultant pour chacune d'entre elles du croisement d'un périmètre morphologique et d'un périmètre hydraulique, afin d'obtenir un espace permettant un transfert équilibré des écoulements liquides et solides.

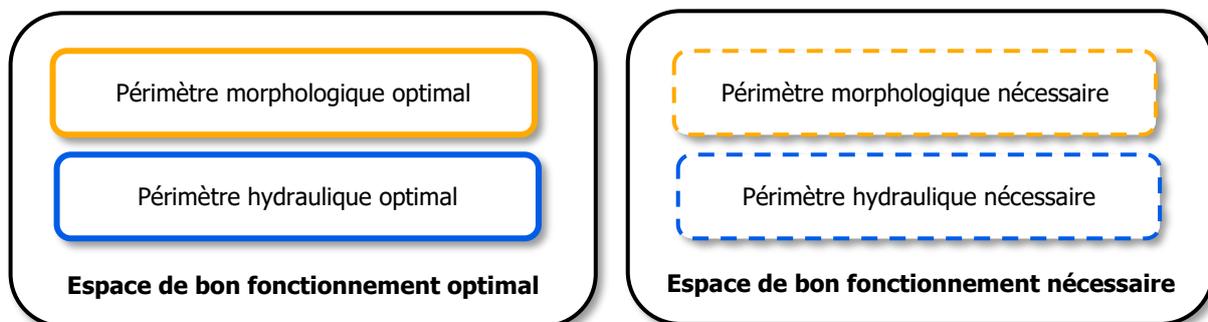


Figure 85 : Schéma synthétisant les différentes enveloppes à délimiter

Les principales données disponibles sur le bassin versant de l'Escoutay et utilisées sont les suivantes :

- Diagnostic hydromorphologique résultant de l'analyse de la trajectoire géomorphologique de l'Escoutay (cf. § 7, 8 et 9) ;
- Atlas des Zones Inondables récupéré auprès de la DDT07 disponible depuis Alba-la-Romaine jusqu'à la confluence avec le Rhône ;
- Plan de Prévention des Risques d'Inondation disponible sur la commune de Viviers ;
- Inventaire départemental des Zones Humides.

Compte tenu des données relativement restreintes sur l'ensemble du bassin versant, les espaces de bon fonctionnement sont déterminés à partir de la confluence avec le Téoulemale en amont d'Alba-la-Romaine. Les analyses conduisant à la délimitation de chacune des enveloppes nécessaires à la définition des espaces de bon fonctionnement de l'Escoutay font l'objet des chapitres suivants.

Il est à noter que les cartographies des enveloppes restituées à l'échelle 1/10 000^e sont disponibles dans l'atlas cartographique qui complète le présent rapport.

12.2 Style fluvial de référence

La méthode de détermination des différentes enveloppes dépend du style fluvial de référence de l'Escoutay, c'est-à-dire le « *style que prendrait à plus ou moins long terme le cours d'eau, si l'on restaurait les processus géomorphologiques du cours en enlevant les contraintes latérales et verticales présentes actuellement, quels que soient les enjeux présents à proximité* » (Guide SDAGE AERMC, 2016, p. 44).

L'analyse de la trajectoire géomorphologique de l'Escoutay (analyse diachronique et approche hydro-morphologique par la recherche d'indice – cf. § 7.3 et 8) montre qu'il s'agit d'un cours d'eau peu anthropisé (perturbateurs et corsetage anthropiques limités par rapport aux perturbateurs géomorphologiques et au corsetage naturel du lit – cf. § 7.2) dont le style fluvial de référence correspond à un **style monochenalisé à bancs**.

Ainsi, les périmètres morphologique et hydraulique sont délimités pour ce style fluvial qui correspond au style « **rectiligne à bancs et tresses** » dans le guide méthodologique de l'Agence de l'Eau.

12.3 Espace de bon fonctionnement optimal

A Périmètre morphologique optimal

Le périmètre morphologique optimal représente l'espace permettant à long terme la continuité sédimentaire, c'est-à-dire prenant en compte la respiration du lit ainsi que les zones de régulation du transport solide.

Ce périmètre est construit à partir de l'analyse diachronique réalisée dans le cadre de l'analyse de la trajectoire géomorphologique de l'Escoutay, en concaténant les huit bandes actives délimitées sur la période [1947-2013] qui intègre l'évènement majeur de 1960, représentant ainsi l'**enveloppe de divagation historique** de l'Escoutay.

Par ailleurs, l'analyse du fonctionnement dynamique de l'Escoutay a montré que seule la confluence Nègue-Escoutay présente un cône de déjection bien matérialisé témoignant de l'influence des apports de cet affluent. Le système Dardaillon-Nègue est un pourvoyeur solide majeur assurant la recharge sédimentaire du tronçon aval de l'Escoutay. Ainsi, le **cône de déjection de la Nègue** est intégré au périmètre morphologique optimal.

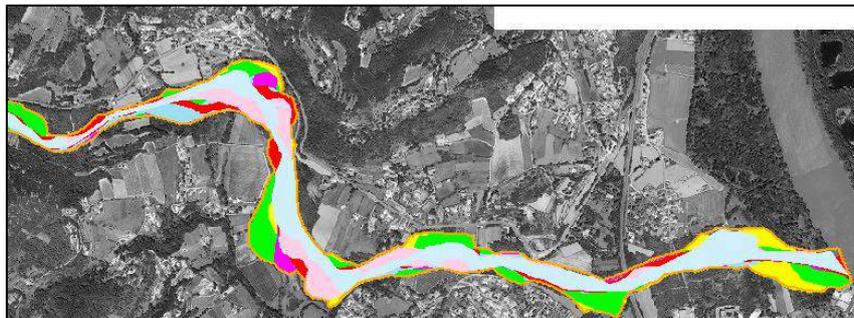


Figure 86 : Concaténation des bandes actives sur la période 1947-2013. L'enveloppe extérieure correspond au périmètre morphologique optimal (Fond de plan : BD Ortho 2013)

B Périimètre hydraulique optimal

Le périmètre hydraulique optimal représente la zone inondable par les plus fortes crues comprenant les zones d'expansion de crue, hors effets des aménagements anthropiques.

Compte tenu des données disponibles sur le bassin versant de l'Escoutay, le périmètre hydraulique optimal est construit à partir de l'**Atlas des Zones Inondables**.

En effet, celui-ci cartographie l'enveloppe de la plus grande crue par la méthode dite « hydrogéomorphologique », qui donne une description de la plaine alluviale du cours d'eau basée sur la délimitation de différentes unités hydrogéomorphologiques. Ces unités correspondent aux différents lits topographiques que la rivière a façonnés dans le fond de vallée au fil des siècles, au fur et à mesure des crues successives (*cf.* Figure 87).

Ainsi, l'Atlas des Zones Inondables apporte un premier niveau de connaissance des zones inondables en décrivant les zones potentiellement inondables en l'**état naturel des cours d'eau**. Il ne prend donc pas en compte l'impact que peuvent avoir les modifications anthropiques sur la zone inondable. Les principaux ouvrages et remblais anthropiques pouvant jouer un rôle sur les écoulements sont identifiés dans l'Atlas des Zones Inondables, mais leur impact sur le fonctionnement hydraulique naturel de la plaine n'est pas quantifié.

Ainsi, l'Atlas des Zones Inondables est une base de données pertinente et en cohérence avec la définition du périmètre hydraulique optimal.

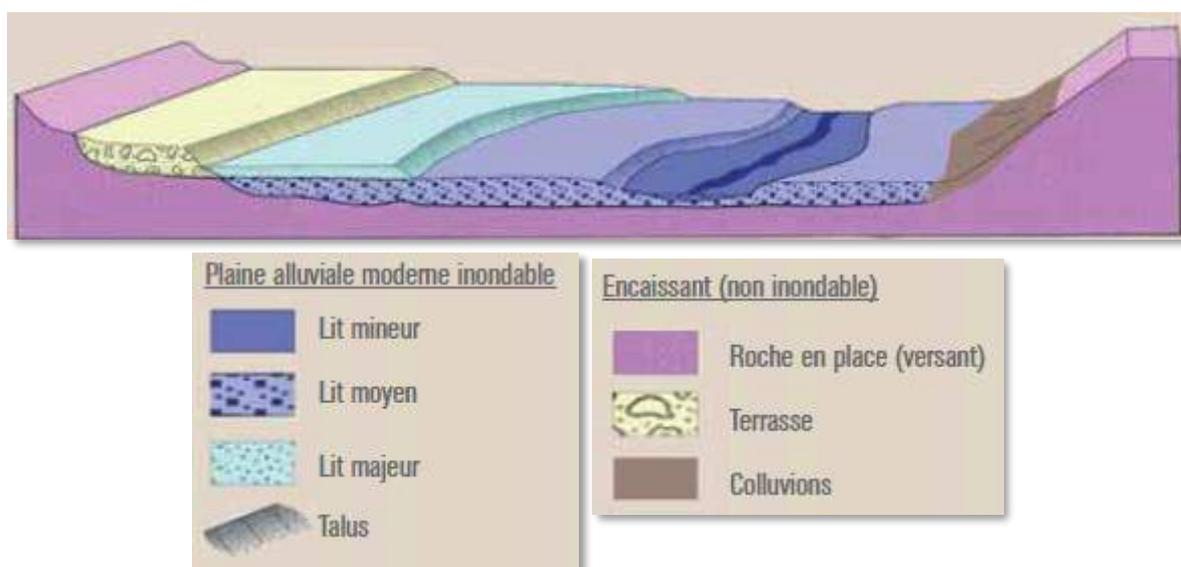


Figure 87 : Schéma d'une plaine alluviale type avec ses différentes unités géomorphologiques. Le lit mineur correspond à l'emprise des crues non débordantes, le lit moyen au champ d'inondation des crues fréquentes et le lit majeur au champ d'inondation des crues rares à exceptionnelles.

La Figure 88 présente les zones inondables du secteur d'étude selon les trois unités géomorphologiques (lits mineur, moyen et majeur). Le périmètre hydraulique optimal coïncide avec l'entité « lit majeur » qui correspond au champ d'inondation des crues rares à exceptionnelles.

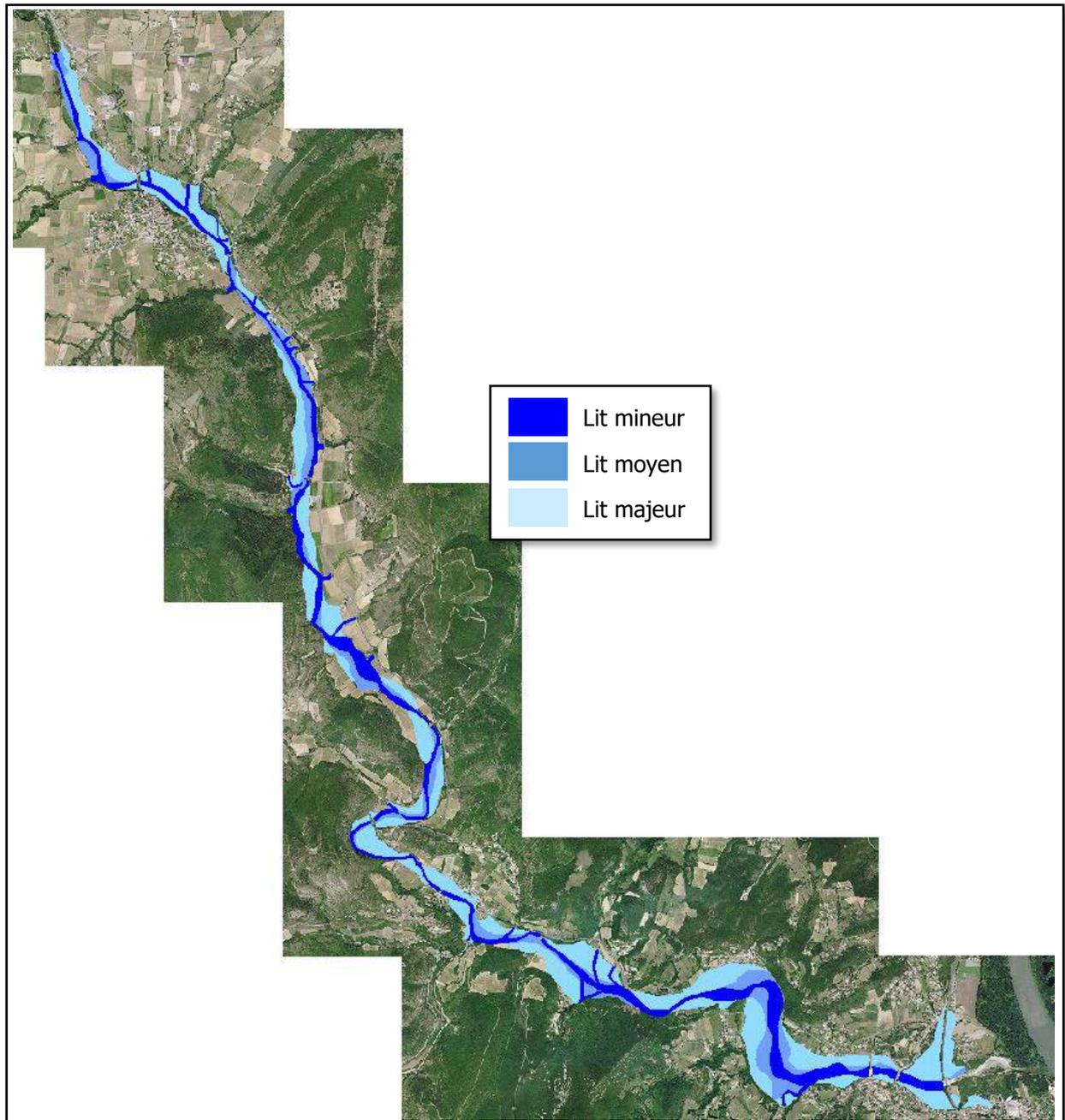


Figure 88 : Atlas des Zones Inondables de l'Escoutay distinguant les trois unités géomorphologiques (Fond de plan : BD Ortho 2013)

Les périmètres morphologique et hydraulique optimal de l'Escoutay résultant de la méthodologie exposée ci-avant sont présentés sur la Figure 89. L'espace de mobilité maximale (EMAX) est également cartographié. Cet espace correspond au fond de vallée balayé par le cours d'eau au cours des dix derniers milliers d'années et est identifiable à partir de la carte géologique (couche Fz). Cette enveloppe permet de relativiser l'emprise actuelle de l'Escoutay par rapport à l'ampleur des processus érosifs passé.

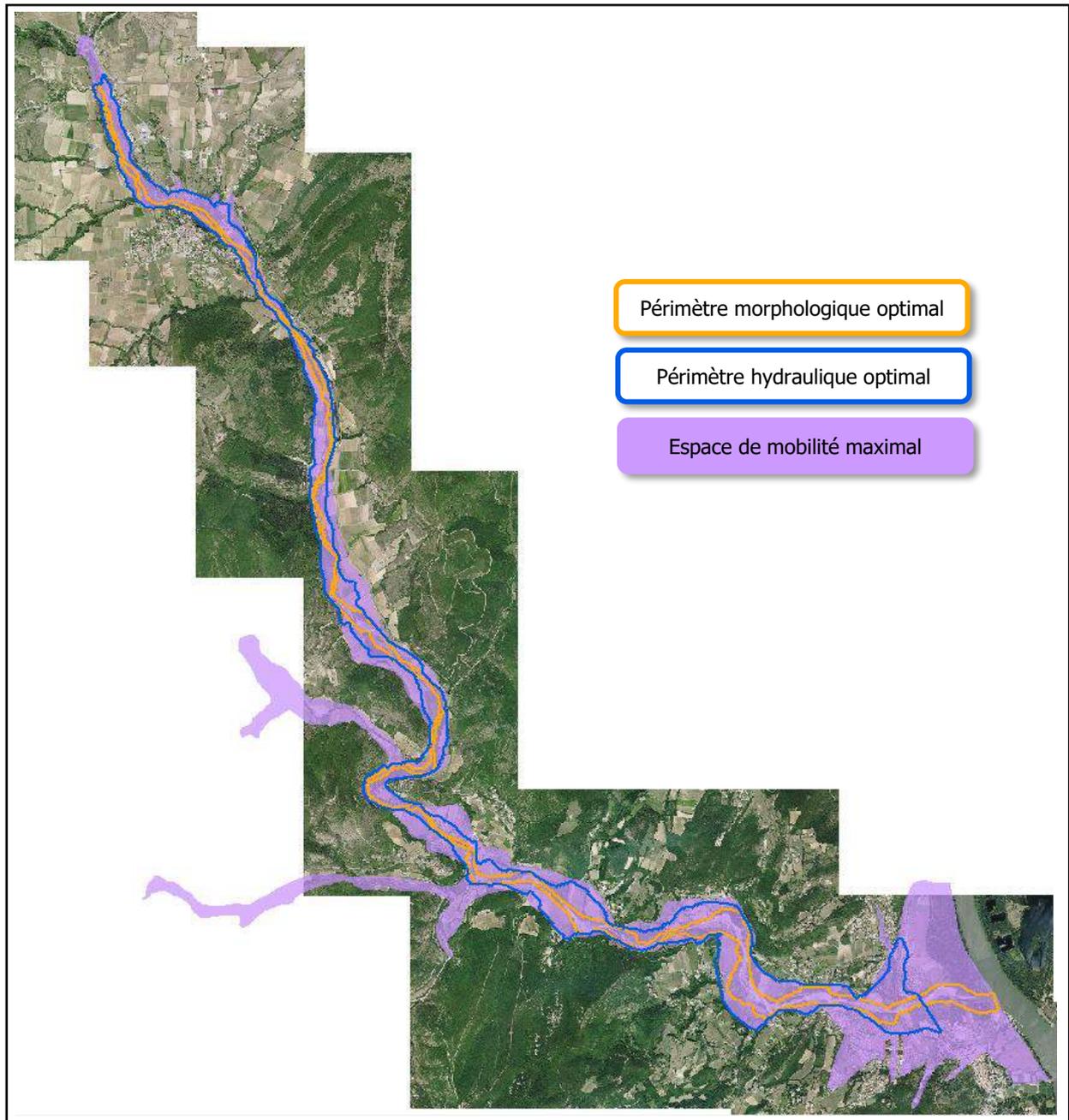


Figure 89 : Périmètre morphologique et hydraulique optimal de l'Escoutay
(Fond de plan : BD Ortho 2013)

12.4 Espace de bon fonctionnement nécessaire

A Périumètre morphologique nécessaire

Le périmètre morphologique nécessaire est défini comme étant la « *bande active du cours d'eau augmentée d'une marge permettant une certaine diversité des habitats et une meilleure continuité latérale* » (Guide SDAGE AERMC, octobre 2016, p. 62).

Ce périmètre est construit en analysant la largeur de mobilité de la bande active sur la dernière décennie (2007-2013), afin de déterminer la **largeur de la bande active « à geler »** qui définira le périmètre morphologique nécessaire.

À titre de rappel, la bande active d'un cours d'eau évolue en fonction des crues morphogènes. En effet, la bande active s'élargit après les crues morphogènes et a tendance à se rétracter lors des périodes de calme hydrologique entre deux crues morphogènes, notamment par le développement de la végétation.

Il convient donc d'analyser une période durant laquelle l'influence des crues est limitée. Ainsi, la période 2007-2013 semble pertinente, l'analyse diachronique ayant montré une stabilisation de la bande active de l'Escoutay suite aux crues modérées de 1993 et 2006 (*cf.* § 7.3A). Par ailleurs, cette période est hors influence d'une crue majeure, la crue de 2015 se produisant postérieurement.

Ainsi, selon le degré de mobilité latérale des tronçons identifiés lors de l'analyse diachronique (*cf.* § 7.3A), la largeur morphologique nécessaire est comprise entre 20 et 150 mètres, comme indiqué sur la Figure 90.

Il convient de noter que dans la partie aval du bassin versant de l'Escoutay, à partir de l'amont proche du pont romain, le périmètre morphologique nécessaire coïncide avec la largeur moyenne du périmètre morphologique optimal, afin de prendre en compte la bande active de stockage qui constitue une zone de stockage-régulation du transport solide (*cf.* fonctionnement dynamique de l'Escoutay).

Par ailleurs, le cône de déjection de la Nègue est également intégré au périmètre morphologique nécessaire, l'analyse du fonctionnement dynamique de l'Escoutay ayant montré l'importance de ce contributeur sédimentaire pour le tronçon aval de l'Escoutay.

L'axe d'écoulement de l'espace nécessaire est déterminé par rapport à une moyenne des axes d'écoulement identifiés sur la période 2007-2013. Cet axe d'écoulement théorique est utilisé pour délimiter l'emprise de 20 à 150 mètres de large et s'appuie par endroit sur la contrainte latérale que constitue les falaises.

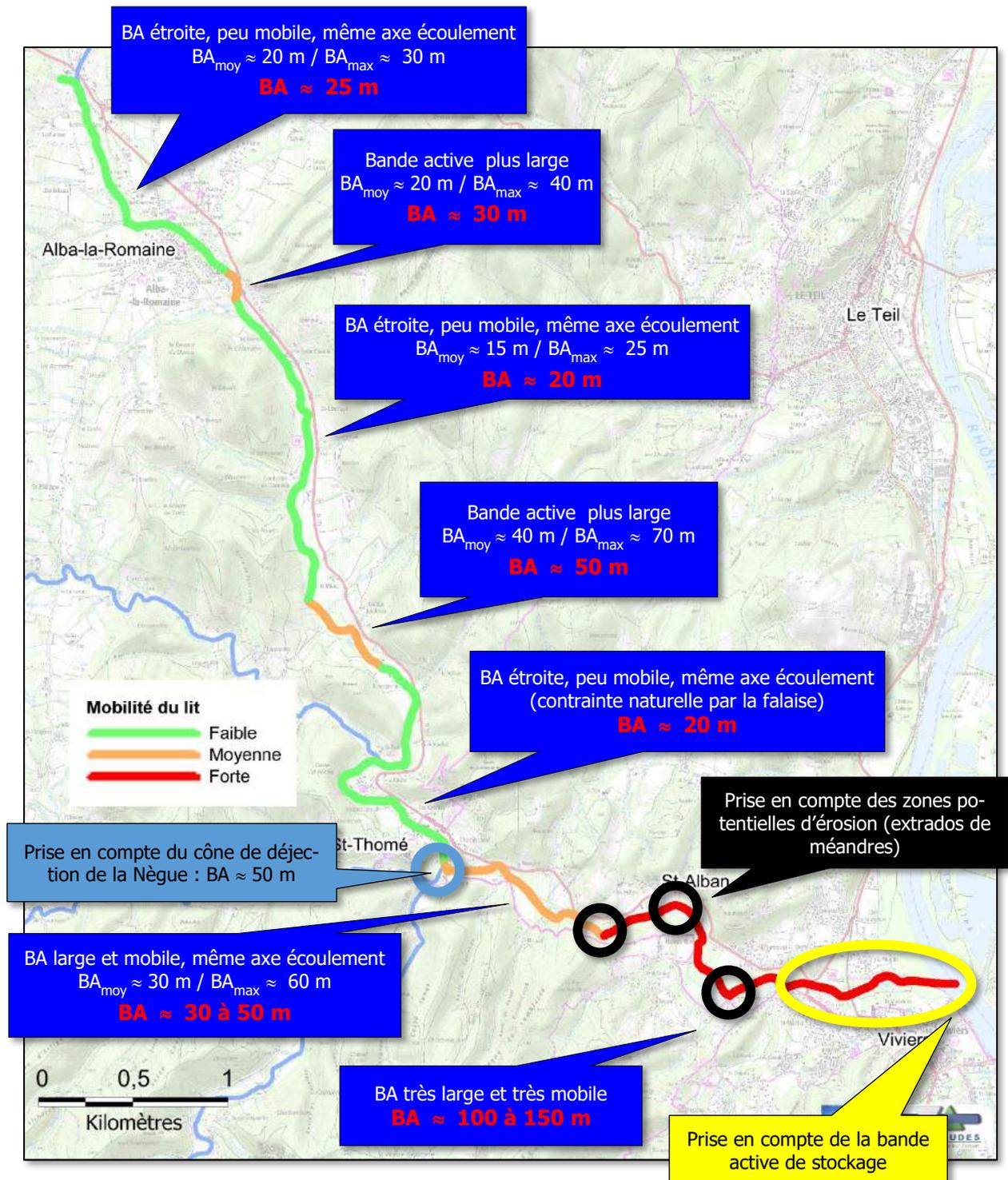


Figure 90 : Analyse de la largeur de mobilité de la bande active sur la période 2007-2013 pour la définition du périmètre morphologique nécessaire, BA signifiant bande active.

B Périètre hydraulique nécessaire

Le périmètre hydraulique nécessaire est l'espace des zones de grand écoulement. Compte tenu de l'absence de données topographiques sur la plaine d'inondation de l'Escoutay (MNT, LIDAR...), il apparaît difficile d'effectuer une analyse morphologique du lit majeur (identification de chenaux anciens, bras préférentiels d'écoulement...), comme préconisée dans le guide méthodologique de l'Agence de l'Eau.

En conséquence, le périmètre hydraulique nécessaire correspond au périmètre morphologique nécessaire qui est ajusté à certains endroits pour intégrer le lit moyen identifié dans l'Atlas des Zones Inondables. En effet, le lit moyen est défini dans l'approche hydrogéomorphologique comme le champ d'inondation des crues fréquentes. Il semble donc cohérent de l'intégrer au périmètre hydraulique nécessaire lorsque le périmètre morphologique nécessaire ne le recouvre pas. Par ailleurs, dans la commune de Viviers, la couche des aléas du PPRI est utilisée.

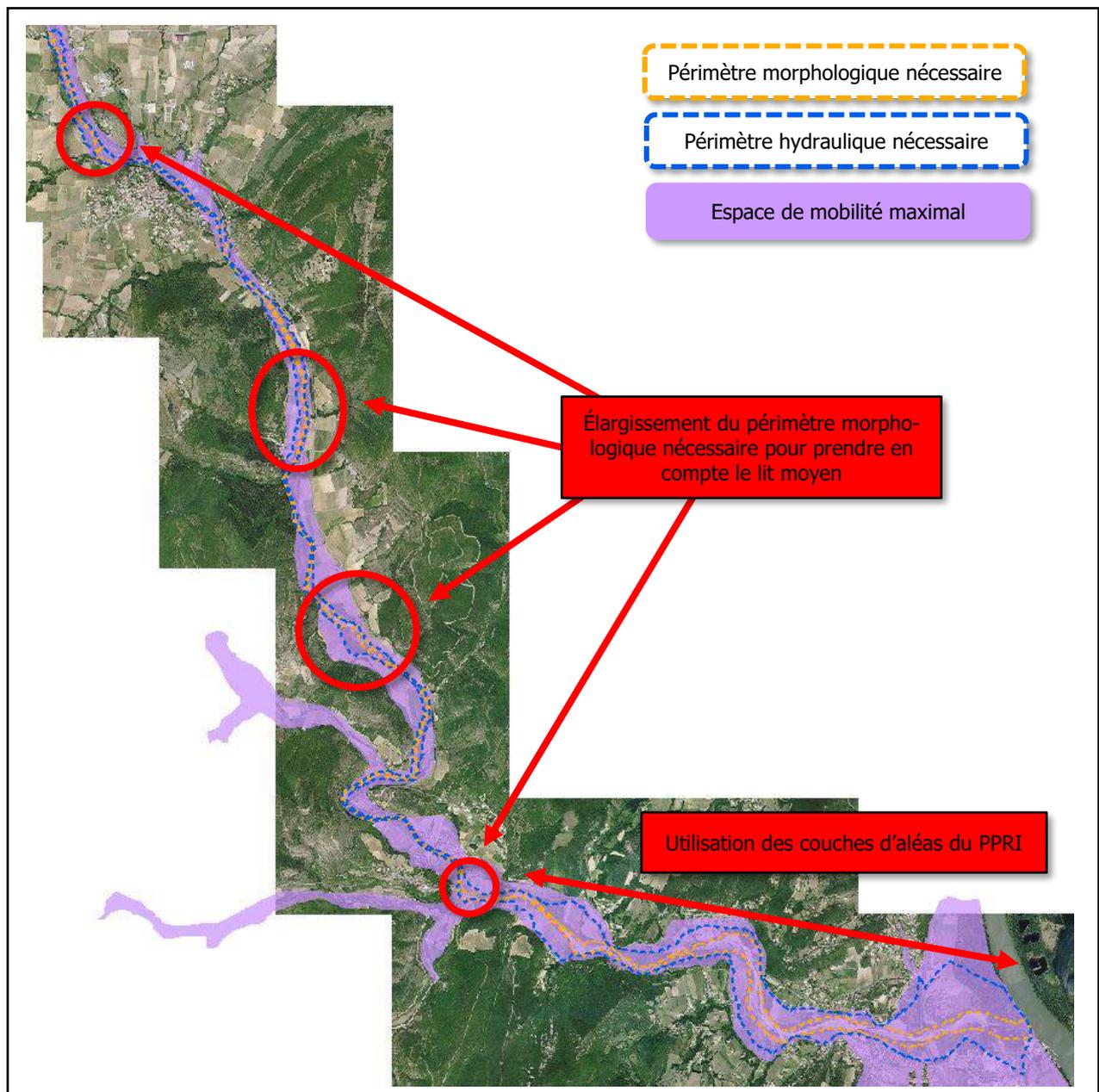


Figure 91 : Périmètres morphologique et hydraulique nécessaire de l'Escoutay

C Prise en compte du contexte biologique

Les périmètres morphologique et hydraulique nécessaires constituent la base de la construction de l'espace de bon fonctionnement nécessaire. En effet, celui-ci est cartographié en concaténant les deux périmètres (enveloppe externe).

Toutefois, il convient d'ajuster l'espace de bon fonctionnement nécessaire obtenu afin de prendre en compte le contexte biologique. D'après les données disponibles, le bassin versant de l'Escoutay est concerné par l'espace protégé de la Lône de la Roussette au niveau de la confluence avec le Rhône, qui après vérification est bien intégré à l'espace de bon fonctionnement nécessaire (cf. Figure 92).

Par ailleurs, l'inventaire départemental des Zones Humides montrent deux secteurs (entourés en rouge sur la Figure 92) où l'espace de bon fonctionnement nécessaire doit être ajusté pour prendre en compte ces annexes fluviales.

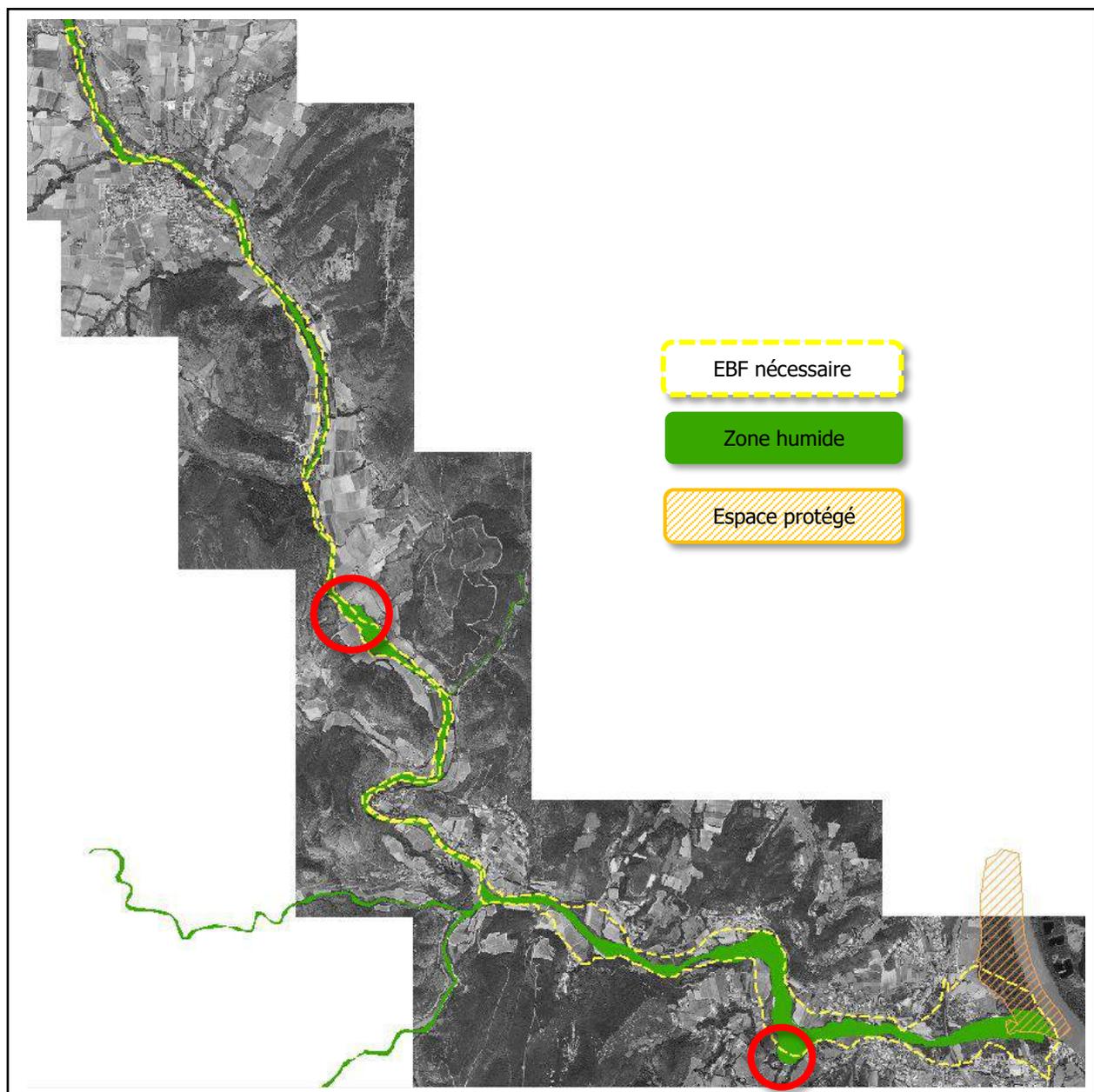


Figure 92 : Espace de bon fonctionnement nécessaire à ajuster pour intégrer les annexes fluviales

13 Glossaire

ACCRETION

L'accrétion pour un banc de galets (structure alluvionnaire) est l'action de croître par juxtaposition de matériaux alluvionnaires à la structure préexistante. Ce terme est synonyme plus généralement de dépôt en lit.

AFFOUILLEMENT

Creusement produit lors des crues morphogènes, dans le lit d'un cours d'eau, par opposition à l'érosion qui concerne les berges.

ALLUVIONS

Dépôts meubles d'un cours d'eau (tant en lit mineur que majeur) formés de matériaux ayant été transportés par le transit sédimentaire.

AMORTISSEUR ALLUVIAL

Ce terme présente de manière plus pédagogique les systèmes de stockage-régulation du stock alluvial, *i.e.* les zones de dépôt permettant la régulation du transit sédimentaire.

APPORTS EXTERNES

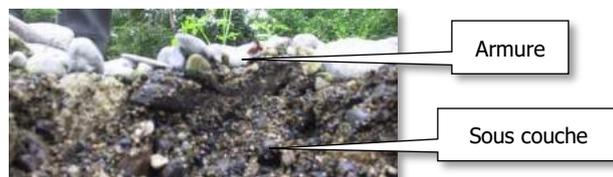
Matériaux provenant du bassin versant mais qui ne viennent pas directement du cours d'eau. Ce sont donc les matériaux issus essentiellement des versants (talus, cônes ou tabliers d'éboulis) ou d'autres cours d'eau (affluents)

APPORTS INTERNES

Matériaux produits directement par le cours d'eau. Ce sont des matériaux stockés en lit tels que les structures alluvionnaires. Les apports internes concernent également les matériaux stockés dans le lit majeur éventuellement sous la forme de terrasses anciennes, la remobilisation de ces matériaux se produisant alors par érosion latérale.

ARMURE

Matériaux alluvionnaires déposés en lit constituant la partie supérieure d'un lit fluvial (rivières à graviers à lit mobile), dont l'épaisseur est celle des plus grosses particules la constituant (Simon, 1986). L'armure masque la sous-couche constituée de matériaux plus fins.



AVULSION

Changement brutal et radical du tracé d'un lit sur plusieurs centaines de mètres, voire kilomètres, lors d'une crue morphogène. Cette situation peut être due à un embâclage généralisé du lit par des bois flottés, une charge alluviale obstruant le lit et favorisant son basculement dans un ancien chenal ou une

gouttière topographique. C'est généralement un phénomène relativement courant dans les styles en tresses où les secteurs s'exhausent (cône torrentiel, delta...).

BANDE ACTIVE

Espace dans lequel s'écoule un cours d'eau et où se concentre l'activité morphogène, notamment les chenaux et dépôts sédimentaires. C'est pour les systèmes en tresses qu'on parle préférentiellement de bande active. En effet, la bande active des cours d'eau en tresses se caractérise par des chenaux et des structures alluvionnaires* non végétalisées qui sont très mobiles. Elle est donc très facilement identifiable.

BASSE FREQUENCE HAUTE MAGNITUDE

Crues globalement supérieures ou égales à la décennale, fortement morphogènes. Il s'agit donc de crues plutôt rares présentant une forte morphogénie.

CASCADE SEDIMENTAIRE

Ensemble d'éléments interconnectés (sources sédimentaires, connecteurs, réservoirs sédimentaires, exutoires) qui produisent et exportent des sédiments. Ces sont de véritables machines à produire, transporter et exporter des sédiments. Spécifique au domaine torrentiel.

CHUTE ALLUVIALE

Chenal de décharge naturel situé entre une structure alluvionnaire latérale et la berge contre laquelle la structure s'est développée. Généralement, cette chute n'est fonctionnelle qu'en crue.

CONTEXTE DYNAMIQUE

Le contexte dynamique se caractérise par deux éléments : le fonctionnement dynamique* et son évolution dynamique*. Ces deux éléments sont intrinsèquement liés et évoluent essentiellement au gré des aléas climatiques et hydrologiques. On pourrait également parler de système dynamique.

CONTRIBUTEUR SEDIMENTAIRE

Affluent du cours d'eau principal contribuant par des apports d'alluvions à son bilan sédimentaire

CORRIDOR ALLUVIAL

Zone de transition entre le milieu aquatique *stricto sensu* (bande active du cours d'eau) et le milieu terrestre *stricto sensu*

CORSETAGE DU LIT

Actions répétitives sur une portion significative de cours d'eau consistant à tenter de se protéger contre l'érosion et/ou les inondations par des travaux lourds (enrochements, épis, endiguements...). L'attendu de ce corsetage est de fixer le tracé en plan du lit. Les aménagements ainsi réalisés constituent alors un véritable corset.

L'effet induit de ce corset est d'enlever au cours d'eau toute possibilité d'évolution latérale (multichenalisation, méandrage...) et donc d'impacter fortement et durablement sa dynamique en limitant sa bande active* et son espace de mobilité*. Cette solution génère souvent lors des crues morphogènes* des risques importants de changement de lit.

DEFLUVIATION

Changement de lit temporaire lors d'une crue, le cours d'eau revenant après la crue dans son lit.

DIASPORE

Élément permettant la dissémination d'une espèce végétale (*e.g.* graines, boutures...)

ECOTONE

Transition entre la bande active *stricto sensu* et le boisement latéral

ERODABILITE

Capacité d'une roche à être érodée

ESPECE LITHOPHILE

Espèce se reproduisant sur un substrat grossier en construisant des frayères (comme la truite commune ou le saumon atlantique) ou en collant ses eaux directement sur les matériaux constituant le substrat du lit (comme le chabot). Également appelée « pondeur sous graviers ».

ÉVAPORITIQUE

Roche formée dans un plan d'eau lors de son évaporation

ÉVOLUTION DYNAMIQUE

Évolution du fonctionnement dynamique* liée à des modifications anthropiques et/ou des crues morphogènes*. Cette évolution crée de nouvelles conditions de fonctionnement dynamique*.

EXTRADOS

Berge de rive concave d'un méandre

FONCTIONNEMENT DYNAMIQUE

Dynamique fluviale actuelle d'un cours d'eau. Ce fonctionnement évolue forcément (impact des activités humaines, succession de crues morphogènes* qui le modifie substantiellement). La dynamique d'un cours d'eau est évolutive et est constituée d'une succession de fonctionnements dynamiques différents.

GESTION DYNAMIQUE

Méthode consistant à gérer un cours d'eau en connaissant son fonctionnement dynamique* et en intervenant par des techniques de génie dynamique pour favoriser des réponses dynamiques* acceptables tendant à impacter l'évolution dynamique*.

INCISION

Enfoncement vertical du lit, généralement lié à un déficit sédimentaire (modifications hydroclimatiques et anthropiques) ou à une érosion régressive.

INRADOS

Berge de rive convexe dans un méandre

METAMORPHOSE FLUVIALE

Évolution dynamique* marquée par une rupture définitive (sans possibilité de restauration à l'identique) dans le fonctionnement dynamique* qui a été initiée par l'anthropisation du cours d'eau.

Les usages ont dans un premier temps pesé sur le fonctionnement dynamique* (extraction de matériaux alluvionnaires, destruction de la végétation – ripisylve et végétation alluvionnaire*, seuils et barrages pour exploiter l'énergie hydraulique...).

Puis, au fil des réajustements géométriques* du lit et à l'effet amplifié de certains phénomènes (débordements, érosion...), les cours d'eau ont été corsetés avec des techniques contraignantes et déconnectées de son fonctionnement (enrochements, seuils, digues...). La métamorphose conduit inéluctablement à une évolution dynamique* irréversible.

MORPHOGENE

Action ou agent susceptible de modifier les formes fluviales. Une crue morphogène engendre des modifications des formes du cours d'eau (lit, berges...).

OSSATURE

Partie du lit formée par les éléments de rugosité, éléments les plus grossiers et les moins mobiles qui peuvent prendre plusieurs formes.

Ces éléments de rugosité peuvent se déposer sur le tapis ou être ancrés en lit (c'est-à-dire imbriqués dans le tapis), c'est en ce sens qu'ils forment l'ossature du lit, leur ancrage et leur masse les rendant peu mobiles.

PENEPLANATION

Érosion généralisée conduisant çà une surface tabulaire portant le nom de pénéplaine

PERTURBATEUR HYDROMORPHOLOGIQUE

Élément transversal présent en lit mineur ayant un impact sur le fonctionnement dynamique* d'un cours d'eau. Il peut ainsi altérer la continuité sédimentaire et/ou écologique.

Cette altération peut conduire à une modification du style fluvial en aval (*e.g.* barrage, seuil altérant fortement la continuité sédimentaire...) : on parle alors de perturbateur majeur. Dans le cas où l'impact n'est que local, on parle de perturbateur secondaire (*e.g.* radier, gué...).

Les perturbateurs peuvent avoir une origine naturelle (seuil naturel), ce sont les perturbateurs géomorphologiques, ou une origine anthropique (barrage, seuil, pont, radier, gué...), il s'agit alors de perturbateurs anthropiques.

PROCESSUS ALLOGENIQUES

Processus externe d'évolution et de régénération. Dans notre domaine, il s'agit des crues débordantes qui viennent régénérer les boisements alluviaux. Ces crues purgent les arbres vieillissants et créent ainsi des taches (au sens biologique du terme) qui sont rapidement exploitées par des espèces pionnières, et ce d'autant plus que la crue aura amené des diaspores*. Cette régénération permet aux boisements alluviaux d'évoluer en présentant des successions végétales adaptées.

PUISSANCE SPECIFIQUE

Energie nécessaire au cours d'eau pour évacuer la charge solide qui lui est imposé. Elle se calcule à partir du poids volumique de l'eau, du débit, de la pente et de la largeur à plein bord.

REAJUSTEMENTS GEOMETRIQUES

Ensemble des réponses physiques (érosion, incision*, sédimentation...) ayant des effets sur la géométrie (latérale et longitudinale) du lit d'un cours d'eau. Ces réponses peuvent être initiées par des à-coups hydrauliques (liés aux crues, inondations, étiages...), mais aussi par des modifications anthropiques.

RECHARGE SEDIMENTAIRE

Technique de génie dynamique consistant à intégrer des matériaux exogènes de forme et de granulométrie compatibles avec le cours d'eau, dans des tronçons à apports insuffisants. L'objectif de cette technique étant de compenser un apport naturel déficitaire.

REMOUS REGRESSIF SOLIDE

Dépôt de matériaux dans la retenue d'un ouvrage transversal (seuil, barrage). Ce remous se dépose d'abord au niveau de l'ouvrage, puis la retenue se remplit en remontant vers l'amont petit à petit au gré des crues.

Les matériaux manquant (piégés dans la retenue) vont générer à l'aval de l'ouvrage une incision* du lit par déficit sédimentaire.

RESILIENCE DYNAMIQUE

Capacité d'un cours d'eau à répondre à un stimulus extérieur (e.g. une crue) et à retrouver ainsi un fonctionnement dynamique* équilibré proche du fonctionnement ante-stimulus.

C'est donc la capacité de cicatrisation d'un cours d'eau après une perturbation de sa trajectoire géomorphologique*. Elle est fonction de la réactivité géodynamique (Malavoi & Bravard, 2010).

On considère que les cours d'eau ayant une puissance spécifique supérieure à 35 W/m² ont des capacités de réajustements propres (Brookes, 1988) donc de résilience dynamique.

RESPIRATION

Variations altitudinales du niveau du lit autour d'un niveau moyen. Ces variations sont liées aux crues et au transit sédimentaire. La respiration d'un lit est ainsi caractérisée par le charriage des matériaux le constituant pendant les crues et leur remplacement en fin de crue par d'autres, de telle sorte que le niveau du lit reste quasiment constant.

On parle de respiration latérale pour caractériser l'évolution en plan de la bande active* d'un cours d'eau.

RETROGRADATION

Phénomène d'aggradation (dépôt en lit) d'alluvions formant généralement une structure alluvionnaire se développant de l'aval vers l'amont par appui sur un élément (pile de pont, embâcle...).

RIFT OU RIFTING

Amincissement de la croûte terrestre formant une dorsale sous-marine

SINUOSITE

Rapport entre la longueur développée du cours d'eau entre deux points en suivant l'axe du lit mineur et la longueur entre les deux mêmes points en suivant l'axe de la vallée.

STOCK ALLUVIAL

Ensemble des matériaux alluvionnaires (alluvions) disponibles en lits mineur et majeur (fond du lit, berges, terrasses alluviales...) et participant actuellement ou de manière différée (lors des épisodes de crues) à la dynamique alluviale d'un cours d'eau.

STRUCTURES ALLUVIONNAIRES

Bancs ou atterrissements correspondant à des exhaussements locaux liés à des réajustements géométriques du lit lors des crues morphogènes. Ils présentent une surface et une subsurface et sont remobilisables tant qu'ils ne sont pas végétalisés.

STYLE FLUVIAL

Morphologie du lit représentative d'un tronçon de cours d'eau. Cette morphologie dépend de divers paramètres (pente, fourniture sédimentaire...) et est variable en fonction de la position du tronçon dans le profil en long du cours d'eau

SUBSIDENCE

Diminution de la hauteur des fonds marins

SUBSTRAT

Éléments grossiers tapissant le fond d'un lit fluvial. Ce tapis* exclut les éléments de rugosité* et les patches de colmatage* (matériaux fins – argiles, limons et sables – masquant généralement le substrat).

Ainsi, l'armure* et le pavage* (au sens de Bray & Church, 1980) sont des types de substrat liés notamment à la fourniture sédimentaire (plutôt abondante pour l'armure et déficitaire pour le pavage qui est un substrat associé à l'incision du lit).

SUSPENSION

Mode de transport solide concernant les matériaux fins (diamètre > 2 mm) s'effectuant dans la colonne d'eau.

TAPIS

Partie pavée tapissant le fond du lit qui se développe le plus souvent sur des surfaces importantes et qui constitue la partie la plus mobile du lit. Le tapis se développe en surface et son épaisseur est généralement faible (centimétrique à décimétrique). C'est donc le pavage* stricto sensu.

TRANSFERT-REINJECTION DE MATERIAUX

Technique de gestion du stock alluvial* qui consiste à accompagner la dynamique fluviale en transférant des matériaux bloqués (soustrait au stock alluvial*) ou impactant trop fortement le fonctionnement dynamique* et/ou certains usages, et à les transférer mécaniquement dans des zones repérées préalablement où ils pourront être réinjectés dans le stock alluvial* (zone déficitaire) soit par injection-retard* ou directe*, suivant l'effet recherché.

WENTWORTH

Classification granulométrique établie par Wentworth (1922) et adaptée au format Sandre (2002)

CLASSIFICATION DE WENTWORTH SANDRISEE (2002)					
Diamètres		Classification			
mm	ϕ	Code	Classes	Code	Fractions
> 1024	< -10	R^W	Rochers	GRO^W	Grossière <i>Fraction charriée lors du transit</i>
256 à 1024	-8 à -10	B^W	Blocs		
128 à 256	-7 à -8	PG^W	Pierres Grossières		
64 à 128	-6 à -7	PF^W	Pierres Fines		
32 à 64	-5 à -6	CG^W	Cailloux Grossiers		
16 à 32	-4 à -5	CF^W	Cailloux Fins		
8 à 16	-3 à -4	GG^W	Graviers Grossiers		
2 à 8	-1 à -3	GF^W	Graviers Fins	INT^W	Intermédiaire (gravelo-sablonneuse) <i>Fraction en suspension et charriée</i>
0,5 à 2	1 à -1	SG^W	Sables Grossiers		
0,0625 à 0,5	4 à 1	SF^W	Sables Fins	FIN^W	Fine <i>Fraction en suspension et colmatante</i>
0,0039 à 0,0625	8 à 4	L^W	Limons		
<0,0039	> 8	A^W	Argiles		

14 Références bibliographiques

- AMEZAL, A., CACAS, J., DUTARTRE, M., DEMEYER, P., 1987. L'architecture naturelle des rivières, un atout pour l'aménageur. Casette VHS, Production Agence de l'Eau Seine-Normandie, CEMAGREF.
- ANTOINE, J.M., 2010. Géohistoire des catastrophes et des risques torrentiels. Une histoire de l'environnement pyrénéen (Doctoral dissertation, Université Toulouse le Mirail-Toulouse II).
- ARCHAMBAUD, G., GIORDANO, L., DUMONT, B., 2005. Description du substrat minéral et du colmatage. Note technique provisoire - CEMAGREF Aix-en-Provence, UR hydrobiologie, 7.
- ARNAUD-FASSETA, G., FORT, M., 2004. La part respective des facteurs hydroclimatiques et anthropiques dans l'évolution récente (1956 - 2000) de la bande active du haut Guil, Queyras. Méditerranée, Géosystèmes montagnards et méditerranéens - mélange offert à Maurice Jorda, 102, pp. 143-156.
- ARNAUD-FASSETTA, G., COSSART, E., FORT, M., 2005. Hydro-geomorphic hazards and impact of man-made structures during the catastrophic flood of June 2000 in the upper Guil catchment (Queyras, French Alps). *Geomorphology*, 66, pp. 41-67.
- BALON, E.K., 1975. Reproductive guilds of fishes: a proposal and definition. *J. Res. Bd. Can.*, 32, pp. 827-864.
- BARTSCH, A., GUDE, M., GURNEY, S. D., 2009. Quantifying sediment transport process in periglacial mountain environments at a catchment scale using geomorphic process units. *Geogr. Ann.*, 91A(1), pp. 1-9.
- BORLAND, W.M., 1960. Stream channel stability. United States Bureau of Reclamation. Denver.
- BRAVARD, J.P., 1989. La métamorphose des rivières des Alpes françaises à la fin du Moyen-Âge et à l'époque moderne. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*. 25, pp. 145-157.
- BRAVARD, J.P., PEIRY, J.L., 1993. La disparition du tressage fluvial dans les Alpes françaises sous l'effet de l'aménagement des cours d'eau. *Zeitschrift. Geomorph. Suppl. Bd.*, 88, pp. 67-79.
- BRAVARD, J.P., 1994. L'incision des lits fluviaux : du phénomène morphodynamique naturel et réversible aux impacts irréversibles. *Revue de Géographie de Lyon*, 69(1), pp. 5-10.
- BRAVARD, J.P., 2001. Les réponses des systèmes fluviaux à une réduction des flux d'eau et des sédiments sous l'effet du reboisement en montagne. 168ème session du Comité technique de la Société Hydrotechnique de France, colloque forêts et eau, 26 au 28 septembre 2001. Nancy.
- BRAY, D.I., CHURCH, M., 1980. Armored versus paved gravel beds. *Jour. Hydraul. Div.*, 106, pp. 1937-1940.
- BROOKES, A., 1988. Channelized rivers: perspectives for environmental management. John Wiley & Sons, Chichester.
- BROUSSE, G., ARNAUD-FASSETTA, G., CORDIER, S., 2011. Evolution hydrogéomorphologique de la bande active de l'Ubaye (Alpes française) de 1956 à 2004 : contribution à la gestion des crues. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 3/2011, pp. 307-318.
- CHIN, C., MELVILLE, B., RAUDKIVI, A., 1994. Streambed armoring. *Jour. Hydraul. Eng.*, 120, pp. 899-918.
- CHURCH, M., JONES, D., 1982. Gravel-bed rivers. *Sediment Cascades : an Integrated Approach*, pp. 241-269.
- CHURCH, M., MC LEAN, D., WOLCOTT, J., 1987. River bed gravels : sampling and analysis. Thorne C.R., Barthust J.C., Hey R.D. (éds), *Sediment transport in gravel-bed rivers*, Wiley, Chichester, pp. 43-88.

- CHURCH, M., ZIMMERMAN, A., 2007. Form and stability of step-pool channels. *Research Progress. Water Resources Research*, 43W03415, pp. 1-21.
- CIOFLI, C., 1999. Historique de la rivière Escoutay dans une perspective de géomorphologie dynamique, Institut de Géographie Alpine, Université Joseph Fourier, mémoire de maîtrise, 151 p.
- COUVERT, B., LEFORT, P., PEIRY, J.L., BELLEUDY, P., 1999. La gestion des rivières. Transport solide et atterrissements. Etude des agences de l'eau n°65, 94 p.
- ELMI, S., BUSNARDO, R., CLAVEL, G., KIEFFER, G., BERARD, P., MICHAËLY, B., 1996. Notice explicative de la feuille Aubenas à 1/50.000ème, carte géologique de la France à 1/50.000ème, BRGM éditions, feuille 865, 170 p.
- EVRARD, M., MICHA, J.C., 1995. Relation entre la diversité du substrat et la diversité biologique dans un bief belge de la rivière Meuse. *Annis Limnol.* (31), pp. 93-103.
- FLEZ, C., GARITTE, G., 2005. Contribution à la connaissance des facteurs responsables de la rétraction des bandes actives torrentielles. Tentative de régionalisation à travers l'exemple de quatre bassins-versants élémentaires (Ubaye et haute Durance). *L'érosion entre société, climat et paléo-environnement*, pp. 291-296.
- GASOWSKI, Z., 1994. L'enfoncement du lit de la Loire. *Revue de géographie de Lyon*. 69(1). pp. 41-45.
- GAZELLE, F., 2003. Les embâcles perturbateurs hydrologiques. Morceaux choisis de littérature hydrologique sur la vie des cours d'eau en hommage au Professeur Roger Lambert. CNRS, « GEODE », Univ. Toulouse-Mirail, pp. 107-114.
- GILBERT, C.K., 1914. The transportation of debris by running water. *US Geological Survey Professional Paper 86*, p. 221.
- GILVEAR, D., BRAVARD, J., 1993. Dynamique fluviale. Amoros C. & Petts G.E., *Hydrosystèmes fluviaux*, Masson, pp. 61-82.
- GRAF, W.L., 1977. The rate law in fluvial geomorphology, *American Journal of Science*, 277, pp. 178-191.
- HEY, R.D., THORNE, C.R., 1983. Accuracy of surface samples from gravel bed material. *Journal of Hyd. Eng.*, 109, pp. 842-851.
- HJULSTROM, F., 1935. Studies of the Morphological Activity of Rivers as Illustrated by the River Fyris. *Geografiska Annaler*, Vol. 18, pp. 121-123.
- JOHNSON, R., WARBUTON, J., 2006. Variability in sediment supplies, transfer and deposition in an upland torrent system: Irvine Crag, northern England. *Earth, Surface, Processes and Landform*, 31, pp. 844-861.
- JOWETT, I.G., RICHARDSON, J., BIGGS, B.J., HICKLY, C.W., QUINN, J.M., 1991. Microhabitat preferences of benthic invertebrates and the development of generalized Deleatidium spp. Habitat suitability curves, applied to four New Zealand Rivers. *New Zealand Journal of Marine and freshwater research*, 25, pp. 187-199.
- KELLERHALS, R., 1967. Stable channels with gravel-paved bed. *Journal of Waterways and Harbors Division, American Society of Civil Engineers*, pp. 63-84.
- KLINGEMAN, P., EMMETT, W., 1982. Gravel bed load transport processes. Hey R.D., Barthust J.C., Thorne C.R. (éds), *Gravel bed rivers*, Wiley, Chichester, 875 p.
- KONDOLF, G., 1997. Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. *Environmental Management*, 21(4), pp. 533-551.
- LANE, E., 1955. The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Journal of the Hydraulics Division*, 81, pp. 745-761.

- LEDUC, P., 2013. Étude expérimentale de la dynamique des rivières en tresses. Thèse, Université de Grenoble, 234 p.
- LE ROY LADURIE, E., 1967. Histoire du climat depuis l'An Mil. Paris : Flammarion.
- MACKIN, J.F., 1948. Concept of the graded river. Geological Society of America Bulletin, 59, pp. 463-512.
- MALAVOI, J.R., SOUCHON, Y., 2002. Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. Bull. Fr. Pêche Piscic., 365/366, pp. 357-372.
- MALAVOI, J.R., BRAVARD, J.P., 2010. Éléments d'hydromorphologie fluviale. ONEMA, Comprendre pour agir, 223 p.
- MATHYS, N., LANG, M., SAUQUET, E., CIPRIANI, T., PETEUIL, C., 2013. Torrents et Rivières de Montagne : dynamique et aménagement. GD D. Richard A. Recking, editor. QUAE, Antony, 81-138.
- MIDDLETON, G.V., 1978. Hydraulic interpretation of sand size distributions. Jour. Geology, 84, pp. 405-426.
- MIRAMONT, C., GUILBERT, X., 1997. Variations historiques de la fréquence des crues et évolution de la morphogenèse fluviale en moyenne Durance. Géomorphologie : relief, processus, environnement, 4, pp. 325-338.
- MONTGOMERY, D.R., BUFFINGTON, J.M., 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. Geological Society of America Bulletin, 1095, pp. 596-611.
- MOSS, A.J., 1972. Bed-load sediments. Sedimentology, 18, pp. 159-219.
- OTTO, J. C., 2006. Paraglacial sediment storage quantification in the Trutmann Valley, Swiss Alps. Thèse de doctorat non publiée, cité par Kummert M. (2012) Cartographie géomorphologique de la dynamique sédimentaire et torrentielle de haute montagne. Le CSA du bassin-versant des aiguilles rouges d'Arolla, val d'Hérens (V.S.). Univ. Lausanne.
- PACCAUD, G., ROULIER, C., 2010. Espace nécessaire aux cours d'eau à méandres. Rapport final pour l'Office Fédéral de l'Environnement (Suisse), Division Préventions des Dangers., p. 101.
- PEIRY, J.L., SALVADOR, P.G., NOUGUIER, F., 1994. L'incision des rivières dans les Alpes du Nord : état de la question. Revue de Géographie de Lyon, 69(1), pp. 47-56.
- PELLEGRINI, M., PEREGO, S., TAGLIAVINI, S., TONI, G., 1979. La situazione morfologica degli alvei dei corsi d'acqua emiliano-romagnoli : stato di fatto, cause et effetti. La programmazione per la difesa attiva del suolo e la tutela delle sue risorse. Modena, 28/29 juin 1979.
- PIEGAY, H., PAUTOU, G., RUFFINONI, C., 2003. Les forêts riveraines des cours d'eau: écologie, fonctions et gestion. Forêt privée française.
- PIEGAY, H., BELETTI, B., LIEBAULT, F., 2009. Typologie des rivières en tresses du bassin RMC. ZABR, rapport de l'année 1, 99 p.
- ROLLET, A.J., MAC VICAR, B., PIÉGAY, H., ROY, A., 2007. L'utilisation des transpondeurs passifs pour l'estimation du transport sédimentaire : premiers retours d'expérience. La Houille Blanche, 4. N.p.
- SCHUMM, S.A., 1977. The fluvial system. John Wiley & Sons, Chichester, 338 p.
- SEAR, D., NEWSON, M., 1993. Sediment and gravel transportation in rivers, including the use of gravel traps. Final report n° C5/384/2 - National River Authority.
- SIMON, L., 1986. Transports solides de sédiments de granulométrie non uniforme. Mémoire de DEA - Laboratoire National d'Hydraulique - EDF - Chatou.
- SURREL, A., 1841. Etude sur les torrents des Hautes-Alpes. Tome 1, Dunod, Paris, 23 p.

- TAGLAVINI, S., 1978. Le modificazioni geomorfologiche e idrogeologiche conseguenti all'attività estrattiva nella conoide del torrente Enza. Attività estrattiva dei materiali inerti da costruzioni : effetti sugli ambienti e risorse alternative. 17 mars 1978.
- TOCKNER, K., PAETZOLD, A., KARAU, U., CLARET C., ZETTEL, J., 2006. Ecology of braided rivers. In: Sambrook, K., Smith, G.H., Best, J.L., Bristow, C.S. & Petts, G.E., (eds.). Braided rivers: process, deposits, ecology and management. International Association of Sedimentologists, special publication, Kinston university, pp. 339-359.
- TRICART, J., 1977. Types de lits fluviaux en Amazonie brésilienne. Annales de Géographie, 473, pp. 1-54.
- VANNOTE, R., MINSHALL, G., CUMMINS, K., SEDELL, J., CUSHING, C., 1980. The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 37, pp. 130-137.
- WENTWORTH, C., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journal of Geology, 30, pp. 311-327.
- WIEDERKEHR, E., DUFOUR, S., PIÉGAY, H., 2008. Suivi physique et biologique des rivières en tresses. Zone Atelier Bassin du Rhône, 41 p.
- WILLIAMS, G.P., MUNDIE, J.H., 1978. Substrate size selection by stream invertebrates and the influence of sand. Limnol. Oceanogr. 23, pp. 1030-1033.
- WILLIAMS, G., WOLMAN, M., 1984. Downstream effects of dams on alluvial rivers. USGS Professional Paper, 1286.



HYDRETUDES

Ingénierie de l'eau - Maîtrise d'œuvre

Conseil - Etudes - Maîtrise d'œuvre - Assistance technique - Formation

Eau et infrastructures hydrauliques

- Eau potable/Traitement
- Irrigation
- Eau usée/Épuration
- Eau pluviale
- Risques naturels
- Aménagements fluviaux et portuaires
- Digues, ouvrages de protection

Environnement aquatique

- Gestion des ressources
- Préservation, restauration, valorisation
- Développement durable
- Réglementation



Siège social Centre technique principal

855 Route de Champ Fayon
74 370 ARGONAY

Tél : 04 50 27 27 26
Fax : 04 50 27 25 64
contact@hydretudes.com

Agence Dauphiné-Provence

9, rue Profey
26 300 ROMANS SUR ISERE

Tél : 04 75 45 30 57
Fax : 04 75 31 04 37
contact-romans@hydretudes.com

SARL Océan Indien

« Les Kréolis »
8-10, rue Assel Doreuil
97 400 SAINT PIERRE

Tél : 02 62 96 82 45
Fax : 02 62 32 89 05
Contact.reunion@hydretudes.com

SARL Alpes du Sud

Bât 2 - IMA Forest d'Entrals
29, rue du Forest d'Entrals
73 000 GAP

Tél : 04 92 22 33 26
Fax : 04 92 22 87 83
contact-gap@hydretudes.com

SARL Grand Sud-Pyrénées

58 bis, Chemin du Chapitre
31 200 TOULOUSE

Tél : 04 62 34 09 44
Fax : 04 62 24 08 95
contact-toulouse@hydretudes.com

Agence Sud-Ouest

47, Rue des Fontaines
64 300 LÈZE

Tél : 04 59 27 02 76
contact-toulouse@hydretudes.com

SARL Alpes du Nord

Alpicoor
50, Voie Albert Einstein
73 800 FRANCAIS

Tél : 04 79 95 44 77
Fax : 04 79 33 02 59
contact-savoie@hydretudes.com