



Etude pour la restauration
hydromorphologique du lit de la
Têt aval

Rapport de Misson 1 - Partie 2

Etat initial et diagnostic hydro-
sédimentaire.

44321 | Janvier 2021 | v.6





Agence de Vitrolles
5, chemin des Gorges de Cabriès
13127 Vitrolles
T : 04 86 15 62 50
F : 04 86 15 62 48

Directeur d'affaire : OVE
Responsable d'affaire : GFL
N° affaire : 016 44321
Fichier :
44321__TET_hydromorpho_aval_M1Partie2_V6.docx

Version	Date	Etabli par	Vérifié par	Nb pages (hors annexes)	Observations / Visa
0	06/06/2019	LUS/GFL	OVE	111	Création
1	20/09/2019	GFL	OVE		Intégration des remarques et Ajout sur la morphologie et l'hydrologie
2	23/12/2019	GFL	OVE		Scinder le rapport de la mission 1 en 2 parties : Partie 2 complétée (version provisoire)
3	12/06/2020	GFL	OVE	121	Partie 2 complétée par l'analyse du transport solide / synthèse écologique
5	17/12/2020	GFL	OVE		Corrections après envoi au COTECH
6	29/01/2020	GFL	OVE		Correction suite à l'échange téléphonique du 15 janvier

SOMMAIRE

1	Introduction.....	12
2	Etude du fonctionnement hydrologique	14
2.1	<i>Caractérisation des sous-bassins versants.....</i>	14
2.2	<i>Débits de pointe.....</i>	18
2.2.1	Débits hydrologiques en crue.....	18
2.2.2	Analyse de l'influence du barrage de Vinça sur les débits de la Têt.....	25
2.3	<i>Hydrogrammes de crue.....</i>	28
2.3.1	Hydrogrammes pour la crue de référence de 1940.....	28
2.3.2	Hydrogrammes pour la crue du 12-13 novembre 1999.....	28
2.3.3	Hydrogrammes pour les crues de projet.....	30
2.4	<i>Débits classés.....</i>	32
2.5	<i>Débits d'étiage.....</i>	35
3	Modélisation hydraulique et simulations en état actuel	36
3.1	<i>Objectif de la modélisation</i>	36
3.2	<i>Structure du modèle</i>	36
3.2.1	Emprise du modèle	36
3.2.2	Lits mineurs	38
3.2.3	Lits majeurs	39
3.2.4	Couplage 1D/2D.....	40
3.2.5	Modélisation des ouvrages	41
3.2.6	Conditions aux limites	42
3.3	<i>Données hydrologiques d'entrée du modèle.....</i>	43
3.3.1	Points d'injection des hydrogrammes	43
3.3.2	Hydrogrammes de la crue historique de 1940.....	43
3.3.3	Hydrogramme de la crue de 1999	45
3.3.4	Hydrogrammes des crues de projet.....	47
3.4	<i>Calage du modèle sur l'événement de 1940.....</i>	49
3.4.1	Paramètres de calage retenus.....	49
3.4.2	Résultats de calage.....	49
3.5	<i>Analyse du fonctionnement hydraulique en état actuel</i>	53
4	Etude du transport solide	57
4.1	<i>Sensibilité des sous-bassins versants à l'érosion et zone d'apports primaires</i>	57
4.1.1	Méthodologie.....	57
4.1.2	Sensibilité à l'érosion.....	58
4.1.3	Zones d'apports primaires.....	67
4.2	<i>Analyse granulométrique.....</i>	69
4.2.1	Méthodologie.....	69

4.2.2	Analyse des données existantes	72
4.2.3	Mesures in situ	72
4.2.4	Eléments de l'analyse	73
4.3	<i>Quantification du transit sédimentaire</i>	74
4.3.1	Méthodologie de calcul	74
4.3.2	Quantification du transit sédimentaire des affluents	75
4.3.3	Quantification du transit sédimentaire de la Têt	84
4.3.4	Bilan du transi sédimentaire et pente d'équilibre théorique.....	89
5	Les principes d'aménagements	92
5.1	<i>Grandes orientations par secteur</i>	92
5.1.1	Secteur 1 : du barrage de Vinça au lieu-dit « Fontaine de St Jules »	94
5.1.2	Secteur 2 : du lieu-dit « Fontaine de St Jules à la confluence avec la Ribérette	94
5.1.3	Secteur 3 de la confluence avec la Ribérette jusqu'au seuil en amont de Millas ...	95
5.1.4	Secteur 4 : du seuil en amont de Millas au seuil de St Féliu d'Amont.....	95
5.1.5	Secteur 5 : du seuil de St Féliu d'Amont au pont de l'autoroute A9	97
5.2	<i>Temporalité des aménagements</i>	104

ANNEXES

ANNEXES.....	105
Annexe 1 : Profils en long de la Têt pour différents débits modélisés.....	106
Annexe 2 : Enoncé de la formule de Lefort 2015 – Noté non publiée à ce jour	114
Annexe 3 : Caractéristiques morphologiques des sous-bassins versant de la Têt en aval du barrage de Vinça	115
Annexe 4 : Sensibilité à l'érosion des sous-bassins versant de la Têt en aval du barrage de Vinça : Croisement des notations	119
Annexe 5 : Zones inondables en fonction de la période de retour	124

FIGURES

Figure 1 : Les sous-bassins versants hydrologiques de la Têt en aval du barrage de Vinça jusqu'à Perpignan.....	15
Figure 2 : Découpage en sous bassin-versant hydrologique de Vinça à Perpignan et coefficient d'imperméabilisation	17
Figure 3 : Débits hydrologiques de la Têt en fonction de la superficie du bassin versant et de la période de retour.....	22
Figure 4 : Tronçons d'analyse hydrologique de la Têt entre le barrage de Vinça et Perpignan ...	23
Figure 5 : Analyse statistique des débits des stations hydrométriques	26
Figure 6 : Hydrogramme de la crue de 1940 (source PPR – 2012)	28
Figure 7 : Hyétogramme de la pluie de septembre 1999 (source PPRi Têt Moyenne).....	29
Figure 8 : Hydrogrammes de la crue de 1999 à Rodes et Perpignan	29
Figure 9 : Unités de la plaine alluviale fonctionnelle	35
Figure 10 : Structure du modèle.....	37
Figure 11 : Exemple de biefs filaires modélisé en 1D sous Hydra – secteur du Soler.....	38
Figure 12 : exemple de représentation des profils en travers 1D sous Hydra – secteur le Soler .	38
Figure 13 : Exemple de maillage 2D (Secteur amont A9 à Perpignan).....	40
Figure 14 : Maillage 2D appuyé sur les limites du domaine 1D (confluence Têt – Comelade) ...	41
Figure 15 : Exemples d'ouvrages singuliers sur le secteur d'étude	42
Figure 16 : Localisation des injections de débit dans le modèle hydraulique.....	44
Figure 17 : Hydrogrammes de la crue de 1940 injectés dans le modèle	45
Figure 18 : Hydrogrammes des affluents et apports de versants pour la crue de 1999	46
Figure 19 : Hydrogrammes crue 1999 mesurés et injectés dans le modèle	46
Figure 20 : Hydrogrammes projet à Perpignan déterminés sur la base de l'hydrogramme de la crue de 1999, injectés en amont du modèle	48
Figure 21 : Comparaison des hauteurs d'eau pour la crue de 1940 -1	50
Figure 22 : Comparaison des hauteurs d'eau pour la crue de 1940 -2	51
Figure 23 : Comparaison des hauteurs d'eau pour la crue de 1940 -3	52
Figure 24 : Fonctionnement hydraulique pour la crue de 1940 – Vinça à Néfiach	54
Figure 25 : Fonctionnement hydraulique pour la crue de 1940 – Néfiach à St Féliu d'Aval	54
Figure 26 : Fonctionnement hydraulique pour la crue de 1940 – Pézilla à A9.....	54
Figure 27 : Débordements à Pézilla la Rivière pour 530 m3/s	55
Figure 28 : Emprise des débordements à Corneilla et Pézilla pour 900 m3/s	55
Figure 29 : Emprise des débordements à Corneilla et Pézilla pour 1000 m3/s	56
Figure 30 : Les sous-bassins versants morphologiques entre Vinça et Perpignan	61
Figure 31 : Cartographie de l'érodabilité des sols, entre Vinça et Perpignan, en fonction du critère géologique	62
Figure 32 : Cartographie de l'occupation du sol sur le critère végétal, entre Vinça et Perpignan	63
Figure 33 : Classement par sensibilité globale des sous-bassins versant	64
Figure 34 : Sensibilité à l'érosion entre Vinça et Perpignan	66

Figure 35 : Localisation des apports primaires en aval du barrage de Vinça.....	68
Figure 36 : Localisation des sites de mesures granulométriques.....	71
Figure 37 : Evolution de la granulométrie des cours d'eau d'amont en aval (source : Recking 2017)	72
Figure 38 : indice de Tri (So).....	73
Figure 39 : fraction volumique de taille sur la Rigarda.....	75
Figure 40 : courbe granulométrique – Rigarda	76
Figure 41 : Décoloration des blocs en surface.....	76
Figure 42 : fraction volumique de taille sur la Ribérette.....	77
Figure 43 : courbe granulométrique – Ribérette	77
Figure 44 : fraction volumique de taille sur le Boules	79
Figure 45 : courbe granulométrique – le Boules	79
Figure 46 : fraction volumique de taille sur la Comelade.....	81
Figure 47 : courbe granulométrique – la Comelade	81
Figure 48 : bilan moyen des apports pour les affluents étudiés	82
Figure 49 : synthèse des données granulométriques sur les différents tronçons de la Têt.....	84
Figure 50 : bilan moyen des apports pour les différents secteurs sur le fleuve	88
Figure 51 : Synthèse du transit du sédimentaire	90
Figure 51 : connectivités du plancher alluvial (d'après Malmqvist 2002)	93
Figure 52 : propositions d'aménagement sur le secteur 4.....	96
Figure 53 : propositions d'aménagement sur le secteur 4.....	97
Figure 54 : propositions des aménagements sur le tronçon 5.1.....	99
Figure 55 : coupe type de reprofilage en relation avec les contraintes	99
Figure 56 : propositions des aménagements sur le tronçon 5.2.....	100
Figure 57 : coupe type de reprofilage en relation avec les contraintes	100
Figure 58 : propositions des aménagements sur le tronçon 5.3.....	101
Figure 59 : coupe type de reprofilage en relation avec les contraintes	101
Figure 60 : propositions des aménagements sur le tronçon 5.4.....	102
Figure 61 : propositions des aménagements sur le tronçon 5.5.....	102
Figure 62 : coupe type de reprofilage en relation avec les contraintes	103
Figure 63 : propositions des aménagements sur le tronçon 5.6.....	103
Figure 64 : Lignes d'eau crue 1940 entre Millas et A9	107
Figure 65 : lignes d'eau crue 1999 (872m ³ /s à Perpignan) entre Millas et A9	108
Figure 66 : lignes d'eau Q= 1000 m ³ /s (T50ans à Perpignan, T> 50ans à Millas) entre Millas et A9	109
Figure 67 : lignes d'eau Q= 900 m ³ /s (T=30ans à Perpignan) entre Millas et A9	110
Figure 68 : lignes d'eau Q= 680 m ³ /s (T=10 ans à Perpignan, T~ 30ans à Millas) entre Millas et A9	111
Figure 69 : lignes d'eau Q= 530 ³ /s (T=5 ans à Perpignan, T~15ans à Millas) entre Millas et A9	112

Figure 70 : lignes d'eau Q= 300 m³/s (T=2 ans à Perpignan T ~ 4ans à Millas) entre Millas et A9 113

TABLEAUX

Tableau 1 : table de correspondance entre occupation du sol et coefficient d'imperméabilisation	16
Tableau 2 : Caractéristiques des sous-bassins versant de la Têt en aval du Barrage de Vinça ..	18
Tableau 3 : Coefficient de Montana (source PPRi Têt moyenne)	19
Tableau 4 : temps de concentration des sous-bassins versant.....	20
Tableau 5 : Synthèse des débits hydrologiques en crue des affluents et des écoulements de versant (hors Têt)	21
Tableau 6 : Tableau récapitulatif des débits hydrologiques en crue de la Têt (source PPRi Têt moyenne)	22
Tableau 7 : Débits hydrologiques de la Têt	24
Tableau 8 : Synthèse des paramètres de comparaison	25
Tableau 9 : Stations de mesures (Source Banque Hydro)	25
Tableau 10 : Débits en crue de la Têt au station hydrométrique (source Banque hydro).....	26
Tableau 11 : Tableau des débits à la station de Rodès et de Perpignan avec prise en compte de l'écrêtement du barrage.....	27
Tableau 12 : Ajustements statistiques des débits de pointe de la Têt avec influence du barrage – Source DDAF 1998.....	27
Tableau 13 : Hydrogrammes analysés	30
Tableau 14 : Caractéristiques des hydrogrammes à la station de Rodès.....	30
Tableau 15 : Caractéristiques des hydrogrammes à la station de Perpignan.....	31
Tableau 16 : Débits de pointe à Perpignan avec influence du barrage – Source Banque hydro .	31
Tableau 17 : Débits classés des stations de mesures (source Banque Hydro).....	32
Tableau 18 : Débits classés des affluents et apport de versant de la Têt.....	33
Tableau 19 : Débits classés de la Têt en différents points	34
Tableau 20 : Modules interannuels aux stations de mesures (source banque hydro).....	35
Tableau 21 : Tableau des variables morphométriques.....	58
Tableau 22 : Catégorisation du critère végétal	59
Tableau 23 : Coefficient pondérateur en fonction de leur potentialité à produire des sédiments .	60
Tableau 24 : formule de quantification du transport solide	74
Tableau 25 : synthèse des données granulométriques sur la Rigarda	76
Tableau 26 : volumes charriés en crue à l'exutoire de la Rigarda.....	77
Tableau 27 : synthèse des données granulométriques sur la Ribérette	78
Tableau 28 : volumes charriés en crue à l'exutoire de la Ribérette.....	79
Tableau 29 : synthèse des données granulométriques sur le Boules	80
Tableau 30 : volumes charriés en crue à l'exutoire du Boulès	80
Tableau 31 : synthèse des données granulométriques sur la Comelade	81

Tableau 32 : volumes charriés en crue a l'exutoire de la Comelade.....	82
Tableau 33 : ratio entre les volumes sédimentaires annuels produits et la superficie du bassin versant	83
Tableau 34 : volumes charriés en crue à l'exutoire des secteurs de la Têt	86
Tableau 35 : comparaison des Dm entre les apports des affluent et les bancs de la Têt.....	88
Tableau 36 : bilan par secteur sur la Têt	89

1 INTRODUCTION

La réalisation de deux études importantes a permis de dresser un diagnostic hydromorphologique de la Têt en aval du barrage de Vinça :

- Etude globale du bassin versant de la Têt et du Bourdigou » en 2010
- Etude multifonctionnelle pour la définition d'un plan pluriannuel de restauration et d'entretien des cours d'eau en 2014.

Il ressort de ces études que d'un point de vue du fonctionnement hydromorphologique, la Têt est fortement dégradée en aval du barrage de Vinça. En effet, le lit de la Têt s'est enfoncé sur plusieurs secteurs, entraînant même sur une portion du linéaire, la disparition complète du matelas alluvial. Le cours d'eau s'écoule sur environ une dizaine de kilomètres directement sur le substratum argilo-marneux du Pliocène.

Les objectifs de cette opération sont multiples :

- C'est une opération de restauration hydromorphologique,
- C'est une action emblématique du contrat de rivière Têt Bourdigou 2017-2022 (conforme PDM),
- Les actions / aménagements proposés doivent permettre de stopper le phénomène d'incision du lit de la Têt, voire de l'inverser en tenant compte du contexte local et des conditions de fonctionnement actuel,
- Les actions / aménagements proposés doivent permettre de recréer un matelas alluvial / écosystème,
- Les actions / aménagements proposés doivent permettre de rétablir des conditions favorables au bon fonctionnement de la Têt,
- L'aboutissement de la présente mission doit permettre de faire le choix d'agir sur un tronçon pilote pour expérimenter une méthodologie d'intervention, et tirer des enseignements de cette première démarche afin de reconduire l'opération sur d'autres secteurs problématiques.

La complexité de cette étude où l'imbrication de multiples paramètres tant sur le plan écologique, que celui des usages et du risque, se doit donc de passer par un diagnostic détaillé reprenant les études existantes et combinant les nouvelles expertises de terrains.

La mission se répartie donc de la façon suivante :

- Tranche ferme
 - Mission 1 : Etat initial et diagnostic hydro sédimentaire
 - Fonctionnement hydrologique
 - Transport solide et principes d'intervention pour la restauration
 - Modélisation hydraulique
 - Mission 2 : Etudes préliminaires à l'AVP visant à définir des scénarios d'aménagement
 - Mission 3 : Etude d'Avant-Projet (AVP)
 - Mission 4 : Etude de projet (PRO) sur un site pilote
 - Mission 5 : Réalisation d'un inventaire faune flore et habitats écologiques

- Tranches optionnelles
 - TO 1 : Procédures réglementaires
 - TO 2 : Pré-diagnostic des stocks sédimentaires amont

Le présent rapport concerne la seconde partie de la mission 1 avec :

- **L'expertise hydrologique et hydraulique**
- **L'expertise morphologique**
- **Les propositions d'aménagements**

Le secteur problématique, sur lequel sera défini des aménagements, se situe en amont de Perpignan au niveau du pont de franchissement de l'A9. La réflexion sur les apports hydriques et solides proviennent donc des bassins versants amont des affluents et de la Têt au barrage de Vinça. Les apports hydriques et solides en aval de l'A9, n'ont pas de conséquence sur le secteur d'étude.

L'objectif de la modélisation hydraulique est de vérifier le non-impact des aménagements sur les crues débordantes. Les aménagements vont être définis pour des crues morphogènes, non débordantes, dans le cas de la Têt. La définition des aménagements prendra donc en compte le fait de conserver au mieux la section hydraulique avant débordement. Il n'est donc pas nécessaire de modéliser trop en aval de la zone d'étude. La modélisation hydraulique sera donc réalisée jusqu'à l'aval de l'Autoroute.

La précision du modèle n'étant pas à l'échelle de précision d'un PPRI, il a été choisi, afin de ne pas apporter de confusion complémentaire sur les secteurs à enjeux (et notamment des cartes contradictoires, liées à une précision d'étude différente), de ne pas modéliser le secteur de Perpignan à la mer.

En outre l'analyse du fonctionnement hydraulique, dans le PPRI, montre que l'autoroute A9 fonctionne comme un verrou hydraulique avec le remblai en lit majeur rive gauche (malgré la présence d'ouvrages de transparence hydraulique). Ainsi l'impact attendu sera localisé préférentiellement en amont de ce verrou hydraulique.

2 ETUDE DU FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE

L'analyse hydrologique s'appuie d'une part sur la connaissance des événements historiques à travers une étude détaillée des mesures disponibles et d'autre part sur l'exploitation de ses données par des calculs hydrologiques afin de définir :

- Les débits hydrologiques en crue des affluents et de la Têt
- Les débits sur la Têt avec l'effet de laminage du barrage de Vinça
- Les hydrogrammes d'entrée pour la modélisation pour le calage mais également pour les crues de projet
- Les débits classés des affluents et de la Têt pour l'analyse du transport solide.

2.1 CARACTERISATION DES SOUS-BASSINS VERSANTS

Le découpage en sous bassin versant repose sur le MNT mais également sur les données d'entrée fournies par le syndicat.

La découpe en sous-bassin versant permet d'affiner la description de l'ensemble du bassin versant de la Têt en aval du barrage de Vinça. Ainsi le bassin versant est découpé en 15 sous-bassins versants, correspondant à des bassins versant d'affluents ou à des zones de ruissellement afin de définir l'origine des apports entre le barrage de Vinça et la Mer.

Les sous-bassins versant identifiés sont localisés dans la figure suivante :

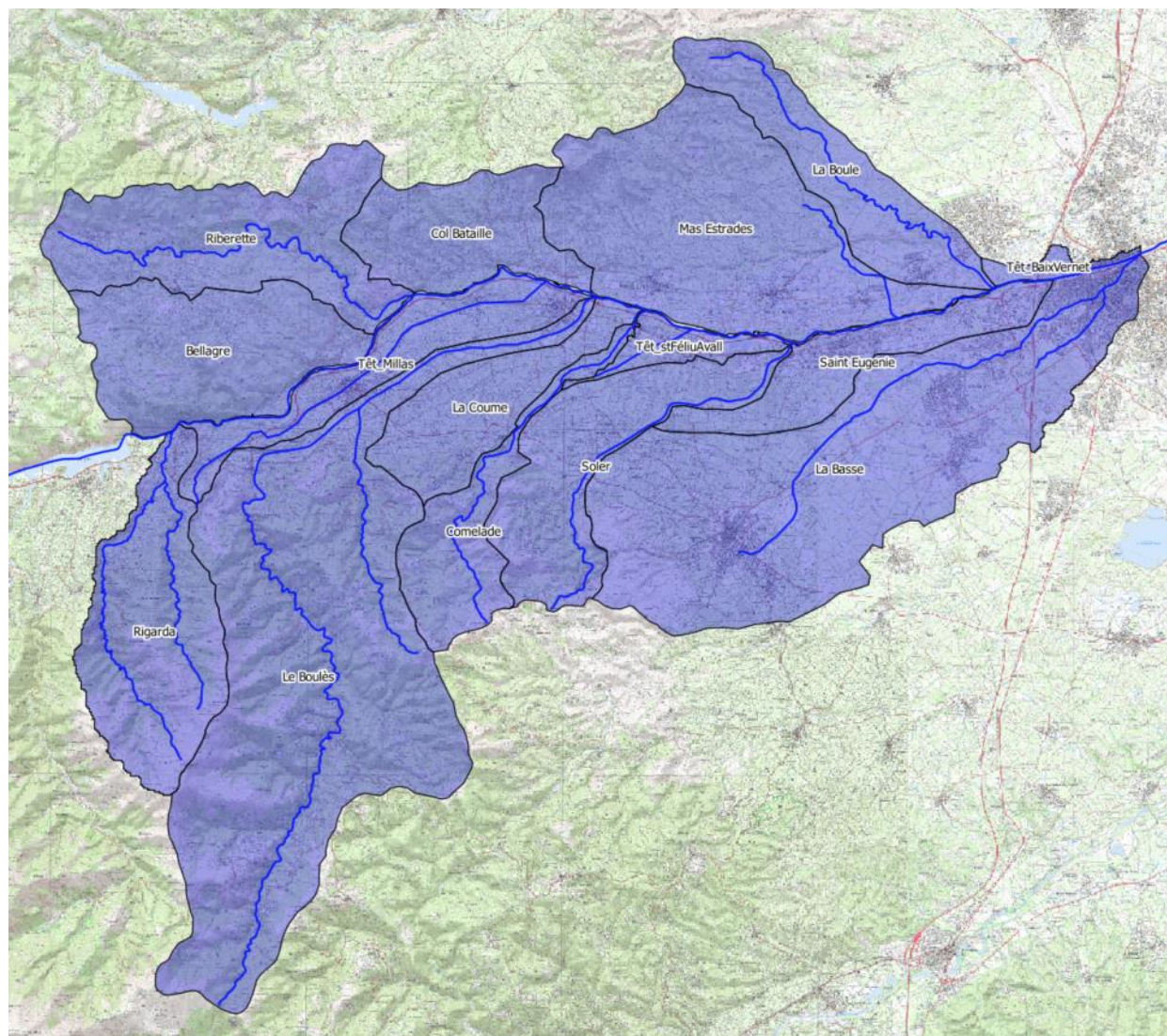


Figure 1 : Les sous-bassins versants hydrologiques de la Têt en aval du barrage de Vinça jusqu'à Perpignan

Chaque sous-bassin versant a été caractérisé par :

- Sa surface,
- Sa pente,
- Sa longueur,
- Son coefficient d'imperméabilisation.

Le coefficient d'imperméabilisation a été déterminé en zonant les surfaces dont l'occupation du sol est de même type (urbanisation très dense, dense, peu dense...) à partir de la base de données Corine Land COVER. Des ajustements localisés ont ensuite été réalisés sur la base des orthophotoplans.

Le coefficient d'imperméabilisation moyen par sous bassin versant correspond à la moyenne pondérée par la surface des coefficients d'imperméabilisation élémentaires.

Une table de correspondance, entre état de l'urbanisation et imperméabilisation, a ensuite été employée. Cette table a été déterminée à partir de valeurs classiques couramment utilisées dans des modélisations pluie-débit dans le Sud-Est de la France.

Occupation du sol	Coefficient d'imperméabilisation
Zone de bois ou forêt	0.05
Zone naturelle	0.2
Surface agricole et naturelle	0.25
Surface agricole	0.4
Zone mixte (naturel et urbain)	0.7
Zone industrielle / commerciale	0.85
Tissus urbain discontinu	0.85
Habitat très dense, centres-villes, parkings	0.90

Tableau 1 : table de correspondance entre occupation du sol et coefficient d'imperméabilisation

Le découpage en sous-bassins versant entre Vinça et Perpignan avec leur coefficient d'imperméabilisation correspondant à l'occupation des sols est présenté sur la figure ci-après.

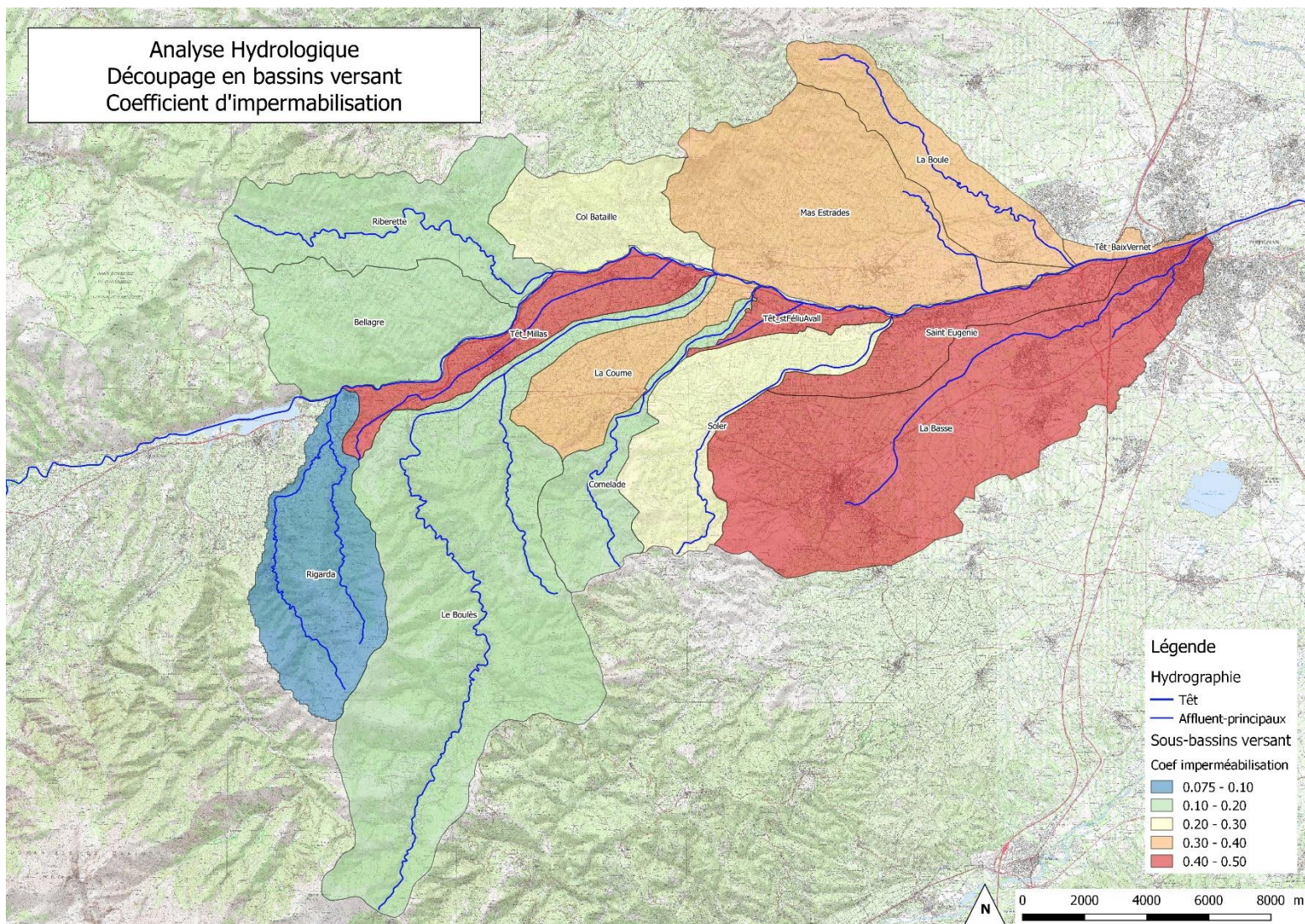


Figure 2 : Découpage en sous bassin-versant hydrologique de Vinça à Perpignan et coefficient d'imperméabilisation

Les caractéristiques de chaque sous-bassin versant sont synthétisées dans le tableau suivant :

Numero	nom	Superficie (km ²)	longueur hydraulique (m)	cote_amont (mNGF)	cote_aval (mNGF)	pente hydraulique (m/m)	Coef imp (%)
5	La Boule	19.35	14858	332	32	0.020	37%
11	Soler	23.96	13014	438	62	0.029	26%
7	Le Boulès	91.58	11617	1429	94	0.115	12%
12	Têt_stFéliuAvall	4.50	3092	110	75	0.011	43%
8	Têt_Millas	16.05	13047	348	101	0.019	44%
6	Rigarda	28.75	16945	1253	194	0.063	7%
1	Bellagre	26.75	7727	574	153	0.054	12%
3	Col Bataille	17.61	4000	362	105	0.064	24%
9	La Coume	15.26	8764	448	90	0.041	34%
4	Mas Estrades	48.65	12295	507	62	0.036	37%
2	Riberette	30.08	16130	624	120	0.031	12%
10	Comelade	14.07	13182	483	81	0.031	12%
14	La Basse	73.89	21000	443	26	0.020	44%
13	Saint Eugenie	14.02	8866	109	43	0.007	49%
15	Têt_BaixVernet	2.01	2054	40	28	0.006	32%

Tableau 2 : Caractéristiques des sous-bassins versant de la Têt en aval du Barrage de Vinça

2.2 DEBITS DE POINTE

2.2.1 Débits hydrologiques en crue

a) Débits hydrologiques des affluents et des apports de versant

Sur la base de l'analyse précédente des sous-bassins versants et de leur caractéristique et afin d'établir une base de données de débits, nous avons réalisé pour chaque sous-bassin versant une analyse hydrologique par **la méthode rationnelle**.

Cette méthode prend en compte plusieurs hypothèses de départ.

- L'intensité de l'averse est uniforme et dans le temps et sur tout le bassin de drainage.
- La durée de l'averse t_D est égale au temps de concentration t_c du bassin de drainage.
- La fréquence d'occurrence T du débit de pointe Q_p est la même que celle de la précipitation.
- Le débit de pointe Q_p est une fraction du débit précipité.

La formule de la méthode rationnelle est

$$Q_T = \frac{1}{3,6} \times C_T \times I_T \times S$$

Avec

Q_T : le débit rationnel de période de retour T en m³/s

C_T : le coefficient de ruissellement de période de retour T (fonction de l'occupation du sol, et de la pente)

I_T : intensité de la pluie de période de retour T en mm/h, calculé à partir des coefficients de Montana

S : Superficie du bassin versant en km²

Équation 1 : Equation de la méthode rationnelle

Toute la difficulté consiste à choisir la bonne durée de pluie, celle qui conduit au débit maximum. Trop courte, elle ne mobilise pas toute la surface d'étude. Trop longue, elle minimise l'effet de pointe. L'expérience a montré qu'une durée égale au temps de concentration du bassin versant considéré, est généralement un bon choix.

Afin de déterminer l'intensité de la pluie pour une période de retour donnée nous nous sommes basés sur la formule de montana dont la formulation est la suivante :

$$i = a.t_c^{-b}$$

Avec : i : intensité (mm/min)

A et b les coefficients de Montana

Tc : le temps de concentration retenu (min)

Les coefficients de montana utilisé sont issus de l'étude du PPRi Têt Moyenne qui sont issus des études TGV. Ces coefficients de Montana sont repris dans le tableau suivant :

Période de retour	d<30 min		d>30 min	
	a	b	a'	b'
10 ans	72.5	0.33	56.8	0.68
30 ans	108.6	0.23	79.4	0.68
50 ans	126.6	0.2	91	0.68
100 ans	152.6	0.15	105	0.68

Tableau 3 : Coefficient de Montana (source PPRi Têt moyenne)

Le temps de concentration a été déterminé par différente formule, le choix a été fait à dire d'expert mais également en cohérence avec les caractéristiques du bassin versant et en cohérence avec les données bibliographiques.

Les temps de concentration pour chaque sous-bassin versant sont synthétisés dans le tableau suivant :

Numero	nom	S_ km ²	Tc moyen (min)	Tc (heure)
5	La Boule	19.35	222.66	3h 42min
11	Soler	23.96	197.82	3h 17min
7	Le Boulès	91.58	165.88	2h 05min
12	Têt_stFéliuAvall	4.50	148.24	2h 28min
8	Têt_Millas	16.05	210.95	3h 30min
6	Rigarda	28.75	149.07	2h 29min
1	Bellagre	26.75	142.77	2h 02min
3	Col Bataille	17.61	107.92	1h 47min
9	La Coume	15.26	134.24	2h 14min
4	Mas Estrades	48.65	230.49	3h 50min
2	Riberette	30.08	212.94	3h 32min
10	Comelade	14.07	158.75	2h 38min
14	La Basse	73.89	388.51	6h 28min
13	Saint Eugenie	14.02	305.00	5h 05min
15	Têt_BaixVernet	2.01	149.40	2h 29min

Tableau 4 : temps de concentration des sous-bassins versant

Le temps de concentration est compris entre 6h30 pour les plus gros bassins versant et un peu moins de 2h pour les petits bassins versant présentant une urbanisation plus importante.

Sur la base des éléments précédent nous avons donc déterminé une bibliothèque des débits sur les affluents de la Têt et sur des apports de versant plus diffus (regroupé dans une même entité).

Le tableau page suivante synthétise les débits calculés par la méthode rationnelle pour les périodes de retour 10ans, 30ans, 50ans, et 100ans pour chaque sous-bassin versant.

Pour déterminer le débit de période de retour 1 an, 2 ans (Q2) et 5 ans (Q5), il a été utilisé le ratio usuel sur la base du débit décennal (Q10) :

$Q1 = 0.45 \times Q10$	$Q2 = 0.5 \times Q10$	$Q5 = 0.73 \times Q10$
------------------------	-----------------------	------------------------

Équation 2 : Equation du calcul du débit annuel, biennal et du débit quinquennal

	BV	La Boule	Soler	Le Boulès	Têt_stFéliu Avall	Têt_Millas	Rigarda	Bellagre	Col Bataille	La Coume	Mas Estrades	Riberette	Comelade	La Basse	Saint Eugenie	Têt_Baix Vernet
surface	S (ha)	1934.5	2395.6	9158.1	450.1	1605.2	2874.7	2674.9	1760.6	1526.4	4864.8	3008.2	1407.4	7388.8	1402.4	201
imper.	C	0.366	0.2562	0.122	0.427	0.4392	0.0732	0.122	0.244	0.3416	0.366	0.122	0.122	0.4392	0.488	0.3172
longueur	L (m)	14858	13014	11617	3092	13047	16945	7727	4000	8764	12295	16130	13182	21000	8866	2054
cote max	zm (mNGF)	332	438	1429	110	348	1253	574	362	448	507	624	483	443	109	40
cote min	zv (mNGF)	32	62	94	75	101	194	153	105	90	62	120	81	26	43	28
pente	l	2.02%	2.89%	11.49%	1.13%	1.89%	6.25%	5.45%	6.43%	4.08%	3.62%	3.12%	3.05%	1.99%	0.74%	0.58%
Temps de Concentration (min) :		222.7	197.8	165.9	148.2	211.0	149.1	142.8	107.9	134.2	230.5	212.9	158.7	388.5	305.0	149.4
Q1	Q1 = 0.45*Q10	76.4	71.8	147.3	27.3	78.9	29.8	47.6	75.8	79.4	187.7	40.8	23.3	239.8	59.6	9.0
Q2	Q2 = 0.5 x Q10	84.9	79.7	163.6	30.4	87.7	33.1	52.9	84.3	88.2	208.5	45.4	25.9	266.4	66.2	10.0
Q5	Q5 = 0.73 x Q10	123.9	116.4	238.9	44.4	128.0	48.4	77.3	123.0	128.7	304.4	66.2	37.8	389.0	96.7	14.6
Q10	Qp = 1/6.C.i.A	169.8	159.5	327.3	60.8	175.4	66.3	105.9	168.6	176.4	417.0	90.7	51.8	532.9	132.5	20.1
Q30	Qp = 1/6.C.i.A	237.3	222.9	457.5	84.9	245.1	92.7	148.0	235.6	246.5	582.9	126.8	72.4	744.9	185.2	28.0
Q50	Qp = 1/6.C.i.A	272.0	255.5	524.3	97.4	281.0	106.2	169.6	270.0	282.6	668.1	145.3	83.0	853.8	212.3	32.1
Q100	Qp = 1/6.C.i.A	313.8	294.8	605.0	112.3	324.2	122.5	195.7	311.6	326.0	770.9	167.7	95.8	985.1	244.9	37.1

Tableau 5 : Synthèse des débits hydrologiques en crue des affluents et des écoulements de versant (hors Têt)

b) Débits hydrologiques de la Têt

L'étude ayant abouti au PPRi de la Têt moyenne présente des débits hydrologiques de la Têt entre le barrage de Vinça et Perpignan. Ils sont repris dans le tableau suivant :

Lieu	S BV (km ²)	Q 1940	Q30	Q50	Q100
Aval vinça	943	1800	820	1060	1408
Bouleternère	991	2000	930	1180	1530
Ille sur Têt	1006	2100	970	1200	1570
Néfiach	1051	2300	1100	1320	1680
Millas	1172	2800	1350	1615	1990
Clot d'en Godail	1203	3000	1400	1690	2070
Manadeil	1266	3200	1600	1840	2230
Perpignan	1372	3600	1800	2100	2500

Tableau 6 : Tableau récapitulatif des débits hydrologiques en crue de la Têt (source PPRi Têt moyenne)

Sur la base de ces données, nous avons mené une analyse afin de déterminer une loi statistique entre la superficie du bassin versant et le débit en fonction de la période de retour. La figure suivante illustre cette loi.

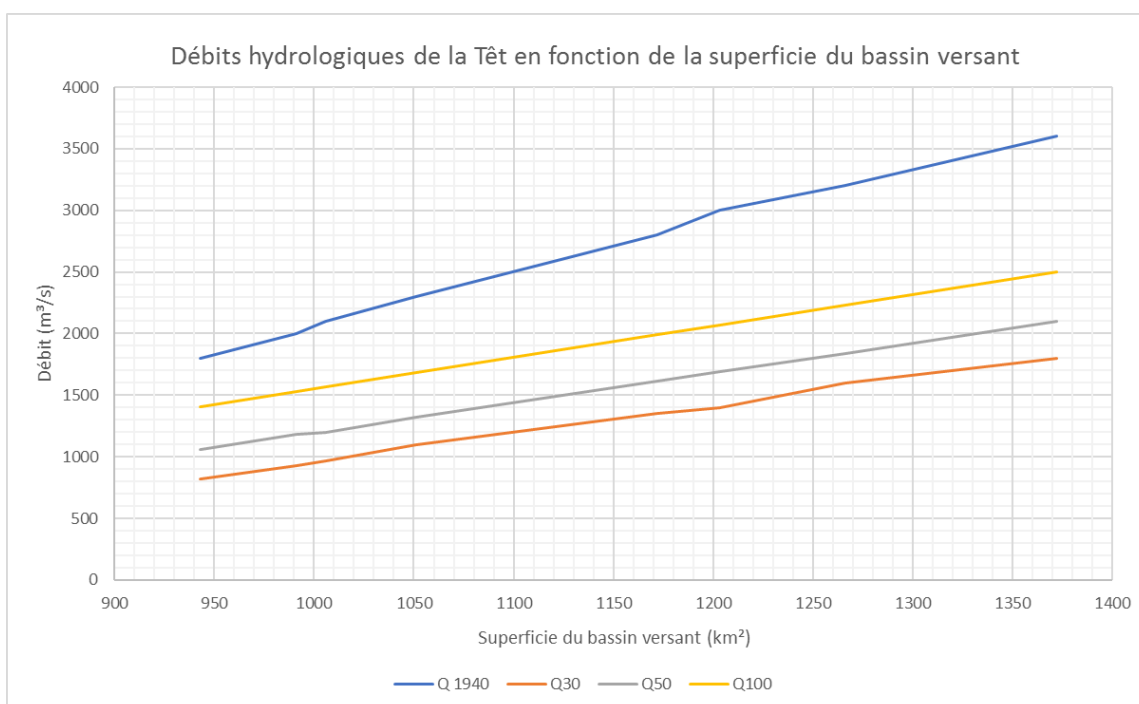


Figure 3 : Débits hydrologiques de la Têt en fonction de la superficie du bassin versant et de la période de retour

Afin d'affiner l'analyse des débits hydrologiques de la Têt, sur la base de l'analyse précédente, il est possible de déterminer pour une superficie de bassin versant donnée (en aval du barrage de Vinça) un débit hydrologique. Le cours d'eau a donc été découpé en tronçon. Ces tronçons ont été déterminés en fonction des homogénéités morphologiques (étude BRUGEAP), mais également hydrologique.

La figure suivante localise les tronçons considérés dans cette étape.

Analyse hydrologique - Découpage en tronçon

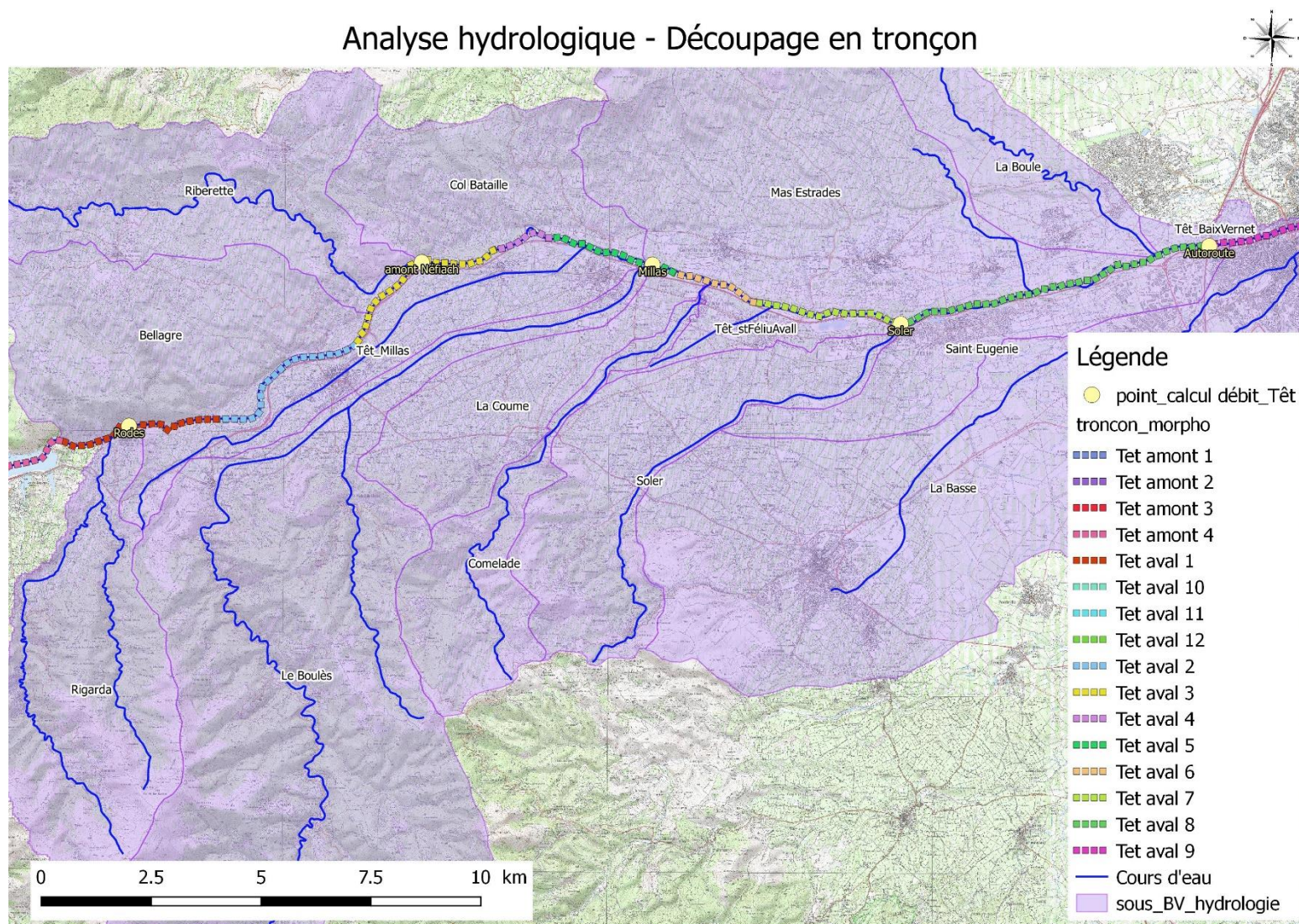


Figure 4 : Tronçons d'analyse hydrologique de la Têt entre le barrage de Vinça et Perpignan

Le tableau suivant synthétise les débits hydrologiques de la Têt au droit des points identifiés sur la cartographie précédente. Pour rappel, ces débits sont calculés sans prendre en compte l'effet de l'écrêtement du barrage de Vinça.

Nom BV	S BV (km ²)	Débit m ³ /s			
		Q30	Q50	Q100	Q1940
Rodes	974	898	1132	1487	1956
Amont Néfiac	1028	1022	1264	1624	2186
Millas	1153	1310	1568	1943	2718
Soler	1206	1431	1696	2077	2942
Autoroute A9	1345	1750	2034	2431	3534

Tableau 7 : Débits hydrologiques de la Têt

c) Analyse comparative des débits avec la bibliographie

Cette analyse permet de vérifier la cohérence des débits hydrologiques calculés avec les débits issus de la bibliographie ou les débits mesurés aux stations de mesures.

Il est important de noter que des différences sont attendus entre les débits mesurés et les débits hydrologiques liées à l'impact du barrage qui écrête les hydrogramme en crue.

Nous avons utilisé deux paramètres de comparaison :

- Les ratios entre les débits
- Le coefficient d'ajustement (formule de Meyer), déterminé pour chaque cours d'eau homogène par la formule suivante :

$$Q_T = A_T \times S^{0.75}$$

Avec Q_T : débit de période de retour T

A_T : coefficient d'ajustement

S : superficie du bassin versant

Équation 3 : Equation de comparaison des débits

Ces ratios et coefficient ont été déterminés pour chaque sous-bassin versant, puis nous avons déterminé une moyenne des paramètres.

Ces mêmes paramètres ont été calculés sur les données bibliographiques sur les débits de la Têt et sur les débits des affluents quand la donnée existe. Les données sources sont principalement issus des données du PPRi. Une moyenne a également été calculée pour chaque paramètre.

Le tableau suivant synthétise les moyennes des paramètres afin de comparer ceux issus des calculs des débits à ceux issus de la bibliographie.

	Moyenne calculée sur affluents	moyenne biblio affluents	moyenne biblio Têt aval barrage
a30	21.6	14.4	6.32
a50	24.8	18.06	7.64
a100	28.6	22.52	9.56
ratio Q100/Q30	1.3	1.57	1.53
ratio Q100/Q50	1.2	1.25	1.25

Tableau 8 : Synthèse des paramètres de comparaison

De part de l'analyse des paramètres, on peut conclure :

- Les coefficients d'ajustement issus du calcul des débits des affluents, par la méthode rationnelle, sont supérieurs aux coefficients issus de la bibliographie (affluents et Têt), toutefois, ils sont du même ordre de grandeur que les coefficients issus des affluents.
- Les coefficients issus du calcul avec les débits de la Têt, issus de la bibliographie, sont inférieurs aux coefficients des affluents, en effet les bassins versants concernés par le calcul sont plus importants et hétérogènes que ceux concernés par la partie en aval du barrage de Vinça.
- Les ratios sont du même ordre de grandeur que ce soit pour les affluents ou la Têt.

Ainsi les débits calculés semblent cohérents, de part l'analyse des paramètres de comparaison, avec les caractéristiques de bassins versants et avec les données bibliographiques.

2.2.2 Analyse de l'influence du barrage de Vinça sur les débits de la Têt

a) Sources

Dans la bibliographie, nous avons déjà identifié les débits hydrologiques et l'impact du barrage de Vinça sur les débits. Ici il s'agit d'analyser les débits en crue en aval du barrage de Vinça afin de déterminer les débits (et les hydrogrammes) en amont du secteur d'étude (point d'entrée de la modélisation).

La Têt comporte plusieurs stations de mesure tout au long de son parcours. Ces stations hydrométriques sont suivies par la Banque Hydro qui collecte et met en ligne les données de hauteurs d'eau mesurées et / ou de débit. Les stations, disposants du plus grand nombre de données, situées à proximité du secteur d'étude sont :

Code station	nom	Hauteur période de mesures	Débit période de mesures
Y0444010	La Têt à Marquixanes	1980 - 2019	1980 - 2019
Y0464030	La Têt [partielle] à Rodès	1973 - 2019	1973 - 2005 - 2019
Y0464050	La Têt [totale] à Rodès	non disponible	1968 - 2004
Y0474030	La Têt [partielle] à Perpignan	1971 - 2019	1970 - 2019

Tableau 9 : Stations de mesures (Source Banque Hydro)

b) Débits en crue

Les 4 stations donnent des estimations statistiques des débits pour chaque période de retour. La période de mesure n'étant pas suffisante pour réaliser une estimation du débit centennal, il n'est donc pas indiqué.

station		sbv	Qix (m³/s)					
			2ans	5ans	10ans	20ans	50ans	100ans
Marquixanes	1980-2019	834 km²	120 [100;150]	220 [190;270]	290 [250;360]	350 [300;440]	430 [370;540]	Non calculé
Rodès (partiel)	1973-2019	974 km²	130[120;150]	220 [190;250]	270 [240;320]	320 [280;390]	390 [340;470]	Non calculé
Rodès (total)	1968-2004	974 km²	140[130;160]	200 [180;230]	240 [210;280]	270 [240;330]	320 [280;390]	Non calculé
Perpignan	1970-2019	1300 km²	300 [250;350]	530 [460;620]	680 [600;810]	830 [720;1000]	1000 [880; 1200]	Non calculé

Tableau 10 : Débits en crue de la Têt au station hydrométrique (source Banque hydro)

La station de Rodès (partiel) possède des données sur une plus longue période et est encore active.

L'analyse statistique, présentée sur la figure suivante porte donc sur cette station et celle de Perpignan.

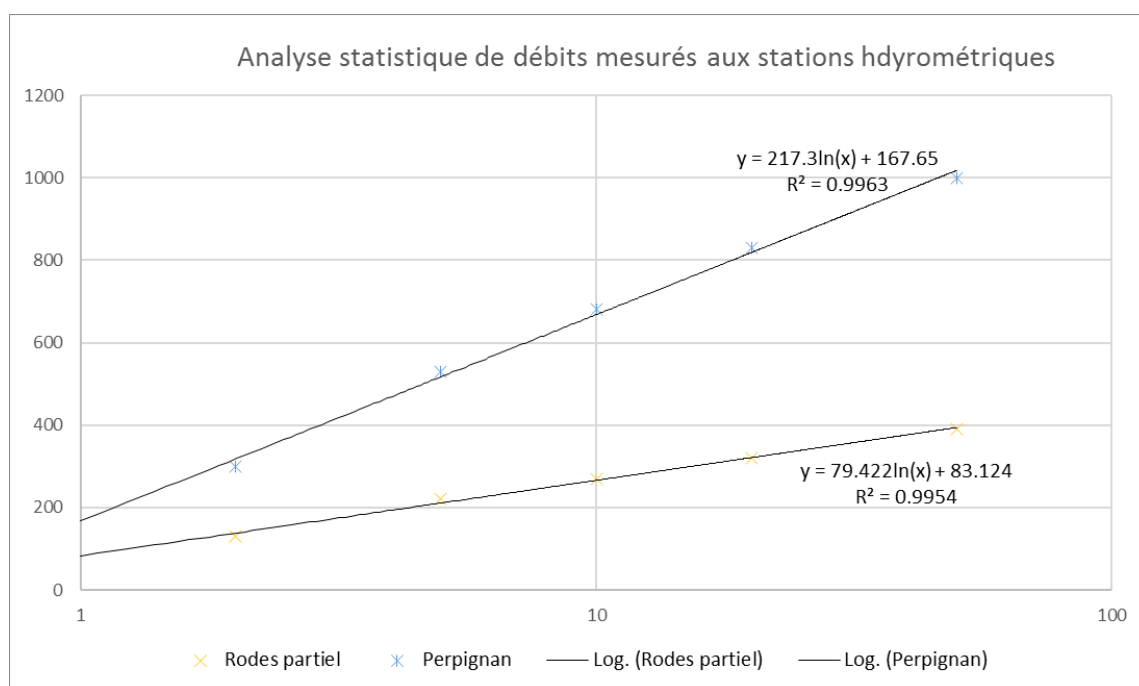


Figure 5 : Analyse statistique des débits des stations hydrométriques

Il est ainsi possible d'estimer les débits intermédiaires non disponible dans l'analyse de la banque hydro. Le tableau suivant reprend ces débits.

	Rodes partiel	Perpignan
S (km ²)	974	1300
T		
1 ans	83	168
2 ans	130	300
5 ans	220	530
10 ans	270	680
20 ans	320	830
30 ans	353	907
50 ans	390	1000

Tableau 11 : Tableau des débits à la station de Rodès et de Perpignan avec prise en compte de l'écrêtement du barrage

Le débit centennal est délicat à estimer car il est très influencé par le mode de gestion du barrage lors de ces événements rares et importants.

Des ajustements statistiques sur les débits de pointe de la Têt ont également été réalisés par la DDAF en 1980 et corrigés en 1998 dans le cadre du rapport de la deuxième visite décennale du barrage de Vinça.

Période de retour T (ans)	Débits de pointe (m ³ /s)			
	Vinça		Perpignan	
	Débits naturels	Débits influencés	Débits naturels	Débits influencés
10	800	320	1090	740
30	1300	800	1800	1330
50	1500	1200	2100	1740
100	1730	1730	2500	2500

Tableau 12 : Ajustements statistiques des débits de pointe de la Têt avec influence du barrage – Source DDAF 1998

Les débits influencés sont très supérieurs aux valeurs de la Banque Hydro, mais, les retours d'expérience depuis 1998 ont montré que les écrêtements réels étaient plus optimistes.

Pour cette raison, pour prendre en compte l'effet de l'écrêtement du barrage de Vinça, les valeurs des débits de pointe de la Têt à Rodès et Perpignan issus des données de la Banque Hydro seront retenues.

D'une manière générale, les débits de crue en aval de Vinça sont difficiles à estimer car ils dépendent fortement :

- Du mode de gestion du barrage
- Le taux de remplissage du barrage au moment de l'événement,
- Le volume de crue généré par l'événement pluvieux. La crue de 1992 en est un exemple : la brièveté de l'événement a engendré un volume de crue relativement modéré. L'effet de l'écrêtement du barrage a permis de ramener l'occurrence de crue de 45 ans à 10 ans à Perpignan.

2.3 HYDROGRAMMES DE CRUE

2.3.1 Hydrogrammes pour la crue de référence de 1940

La crue de 1940 constitue la crue de référence du PPRi en vigueur sur le secteur d'étude. Le calage du modèle a été réalisé sur cette crue.

Les hydrogrammes à Rodès, Millas et Perpignan sont issus de la reconstitution des données bibliographiques :

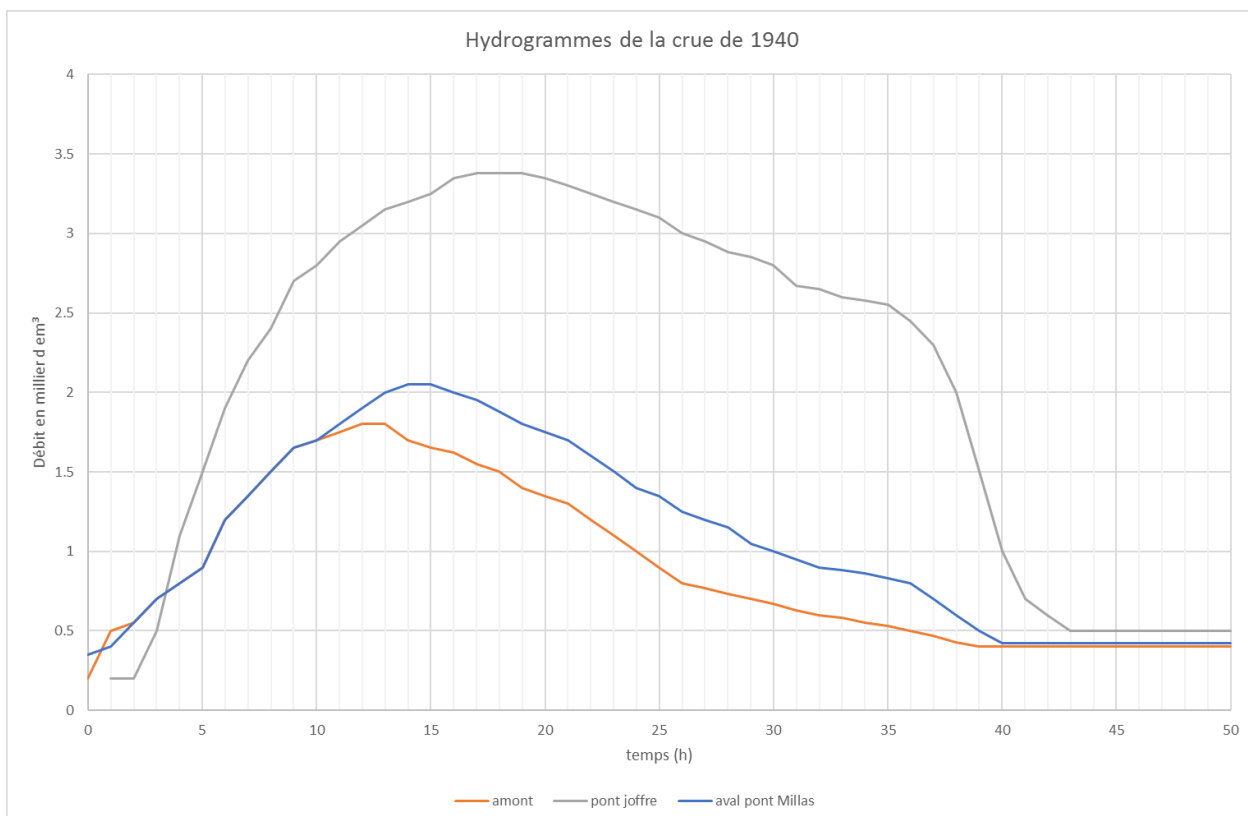


Figure 6 : Hydrogramme de la crue de 1940 (source PPR – 2012)

Les hydrogrammes de la crue de 1940 sur les affluents n'ont pas été reconstitués.

2.3.2 Hydrogrammes pour la crue du 12-13 novembre 1999

Cette crue a essentiellement touché les bassins versants en aval du barrage de Vinça.

La pluviométrie enregistrée pour cet événement (source PPR Tet moyenne) est reprise ci-dessous.

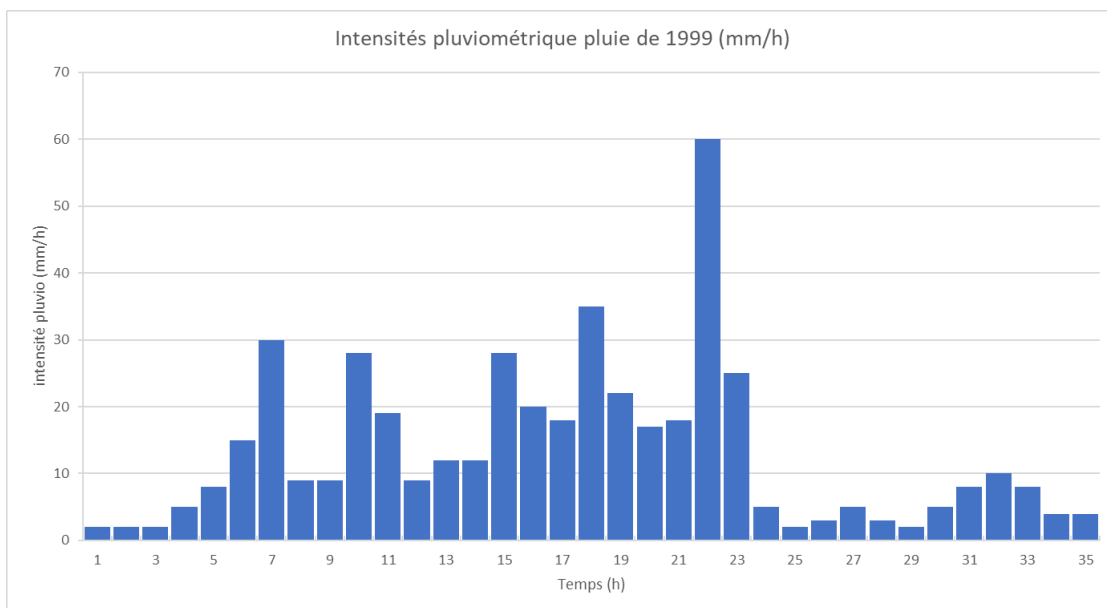


Figure 7 : Hyétogramme de la pluie de septembre 1999 (source PPRi Têt Moyenne)

Les hydrogrammes de crue sur la Têt à Rodes et Perpignan sont issus des données de la Banque Hydro.

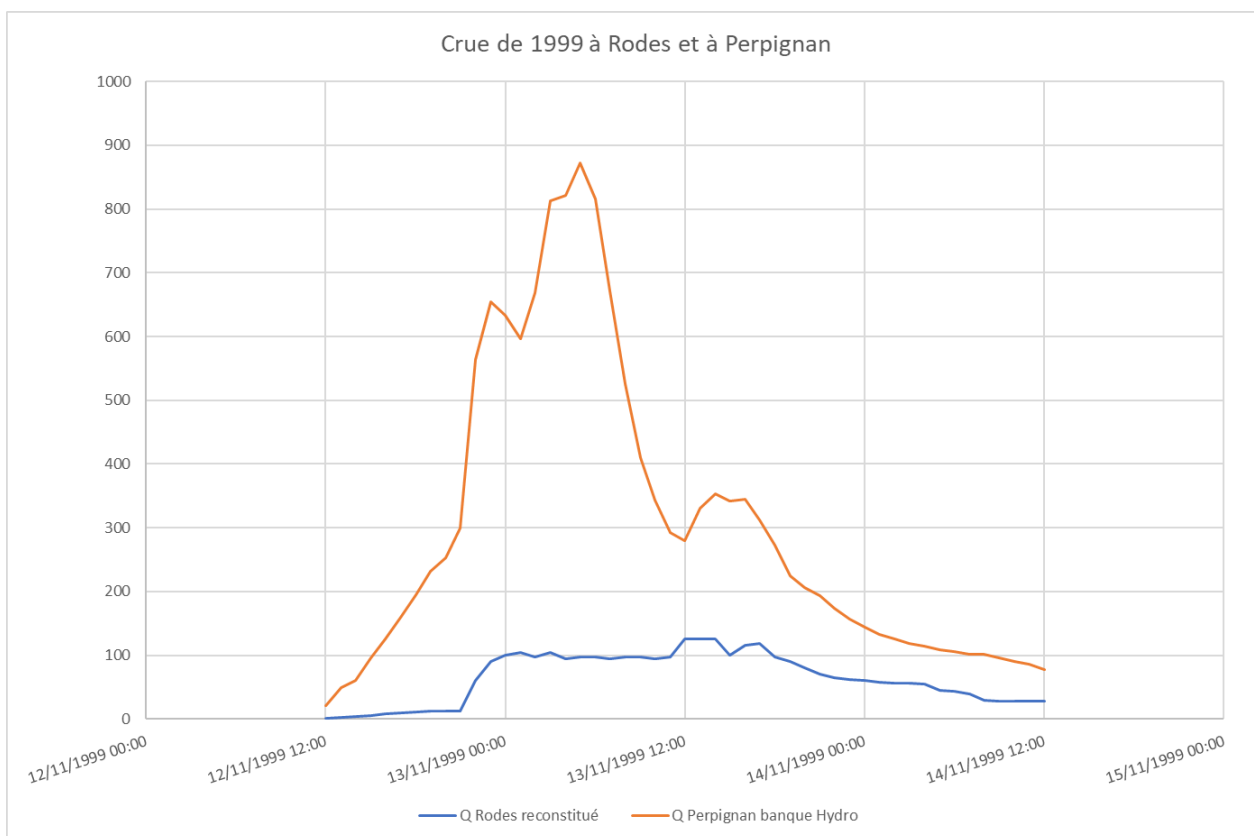


Figure 8 : Hydrogrammes de la crue de 1999 à Rodes et Perpignan

La période de retour évaluée pour le débit de la Têt à Rodes est de 2 ans environ et de 20 ans environ à Perpignan. Il n'y a pas d'hydrogramme disponible sur les affluents.

2.3.3 Hydrogrammes pour les crues de projet

a) Analyse des caractéristiques des hydrogrammes des crues historiques

Une analyse des hydrogrammes à la station de Rodès et à la station de Perpignan a été réalisée afin de déterminer une forme d'hydrogramme cohérente avec le bassin versant. Les hydrogrammes analysés correspondent aux crues suivantes :

date	Rodès		Perpignan		commentaires
	Période de retour	débit	Période de retour	débit	
26-sept-92	décennale humide	262	>50ans humide	1110	
13-nov-99	biennale	139	vintennal humide	876	
25-mars-17	triennale sec	181	biennale	226	
30-nov-14	triennale humide	192	quinquennale humide	641	
18-nov-13	bi - triennale humide	178	bi - triennale humide	242	
08-mai-02	vintennal humide	353	5 /10 humide	811	09-mai-02
11-avr-18	quadriennale sec	71.1	quadriennale sec	114	

Tableau 13 : Hydrogrammes analysés

L'analyse des hydrogrammes consiste à déterminer les caractéristiques des crues en aval du barrage de Vinça, qui sont :

- Le débit du pic de crue estimée par la banque hydro
- La durée caractéristique : déterminé sur l'hydrogramme, il permet de déterminer le débit moyen sur cette durée caractéristique
- Un coefficient de pointe calculé à partir du ratio entre le débit moyen et le débit en crue.

Les tableaux suivant synthétise les données caractéristiques relevées sur les hydrogrammes de crue :

RODES					
date crue	Perpignan / Rodès	Qp	D (h)	Qmoyen (sur la durée D)	coefficient Pointe
1940	Rodès	1800	39	1029	1.75
2013	Rodès	171	7	121	1.41
2014	Rodès	192	40	179	1.07
2017	Rodès	179	13	96	1.86
2018	Rodès pic1	61.7	12	46.3	1.33
2018	Rodès pic2	71.1	15	59	1.21
moy			21.00		1.44
max			40.00		1.86
min			7.00		1.07

Tableau 14 : Caractéristiques des hydrogrammes à la station de Rodès

La réflexion a été complété par l'analyse des hydrogrammes mesurés à la station de Perpignan sur les mêmes événements :

PERPIGNAN					
date crue	Perpignan / Rodes	Qp	D (h)	Qmoyen (sur la durée D)	coefficient Pointe
1940	Perpignan	3380	40	2491	1.36
1992	Perpignan	1050	10	585	1.79
1999	Perpignan	872	14	596	1.46
2002	Perpignan	789	29	488	1.62
2013	Perpignan	235	8	171	1.37
2014	Perpignan	614	7	458	1.34
2017	Perpignan	224	13	128	1.75
2018	Perpignan pic1	84	11	65.9	1.27
2018	Perpignan pic2	113	15	95.9	1.18
moy			16.33		1.46
max			40.00		1.79
min			7.00		1.18

Tableau 15 : Caractéristiques des hydrogrammes à la station de Perpignan

L'ordre de grandeur de la durée caractéristiques des crues calculé à partir des mesures est compris entre 7h et 40h (quelques soit la station) avec une moyenne de 21 h pour la station de Rodès et 16h pour la station de Perpignan (soit une moyenne sur l'ensemble des stations de 18h).

Le coefficient de pointe basé sur l'analyse des hydrogrammes réels est compris entre 1 et 1.9 avec une moyenne de 1.45.

Ces caractéristiques correspondent globalement à l'hydrogramme mesuré à la station de Perpignan lors de la crue du 13 novembre 1999.

b) Hydrogrammes de projet retenus à Perpignan

Nous proposons de construire les hydrogrammes des crues de projet par homothétie en se basant sur l'hydrogramme de cette crue qui semble correctement représenter la réponse du bassin versant.

Les débits de pointe retenus correspondent aux valeurs de la Banque Hydro pour la station de Perpignan.

	Rodes partiel	Perpignan
S (km ²)	974	1300
T		
1 ans	83	168
2 ans	130	300
5 ans	220	530
10 ans	270	680
20 ans	320	830
30 ans	353	907
50 ans	390	1000

Tableau 16 : Débits de pointe à Perpignan avec influence du barrage – Source Banque hydro

c) Hydrogrammes de projet sur les affluents

Les affluents du secteur d'étude ne disposent pas de station de jaugeage. Il n'est donc pas possible de récupérer des hydrogrammes de projet sur la base de crues réelles.

La bibliographie ne fournit pas non plus d'hydrogrammes toutefois pour les crues de calage il est indispensable d'intégrer les apports intermédiaires afin de représenter au mieux le fonctionnement hydraulique. Ainsi pour les crues de calage, il a été défini des hydrogrammes sur les affluents en fonction des données disponibles :

- Reconstitutions des hydrogrammes pour la crue de 1940,
- Calcul des hydrogrammes à partir de la pluie de 1999, par a transformation pluie débit réalisée par le biais de la méthode double réservoir linéaire. Les paramètres sont ajustés afin de retrouver les débits de points calculés.

La présentation des hydrogrammes est décrite plus précisément dans la phase de calage de la modélisation.

2.4 DEBITS CLASSES

Les stations de mesures disposent des débits classés (débits moyens journaliers) calculé sur l'ensemble de la période. Nous avons déterminé des débits spécifiques (Q_s en $m^3/s/km^2$) en fonction de la fréquence. Pour chaque fréquence ces valeurs sont semblables entre les stations.

Fréquence	Marquixanes	Qs Marquixanes	Rodès	Qs Rodès	Perpignan	Qs Perpignan	Moyenne
sbv (km^2)	834		974		1300		
0.99	36.900	0.044	51.500	0.053	78.800	0.061	0.053
0.98	30.600	0.037	38.600	0.040	52.600	0.040	0.039
0.95	23.100	0.028	28.100	0.029	34.200	0.026	0.028
0.9	16.900	0.020	19.200	0.020	21.000	0.016	0.019
0.8	11.500	0.014	11.700	0.012	11.700	0.009	0.012
0.7	8.760	0.011	8.830	0.009	7.950	0.006	0.009
0.6	7.070	0.008	6.960	0.007	5.630	0.004	0.007
0.5	5.900	0.007	5.720	0.006	4.310	0.003	0.005
0.4	5.020	0.006	4.880	0.005	3.210	0.002	0.004
0.3	4.230	0.005	4.130	0.004	2.310	0.002	0.004
0.2	3.460	0.004	3.400	0.003	1.600	0.001	0.003
0.1	2.700	0.003	2.430	0.002	0.868	0.001	0.002
0.05	2.330	0.003	1.880	0.002	0.543	0.000	0.002
0.02	1.950	0.002	1.520	0.002	0.407	0.000	0.001
0.01	1.770	0.002	1.250	0.001	0.309	0.000	0.001

Tableau 17 : Débits classés des stations de mesures (source Banque Hydro)

En première approche, la moyenne des débits spécifiques est prise pour déterminer, en fonction de la fréquence, les débits classés de chaque affluents et apports de versant. Toutefois ses résultats sont à prendre avec précaution dans la mesure où le fonctionnement hydrologique des affluents diffère de celui de la Têt en aval du barrage de Vinça. Seule des méthodes de jaugeage permettrait de réaliser une analyse juste des débits classés des affluents.

	BV	La Boule	Soler	Le Boulès	Têt_stFéliuAvr	Têt_Millas	Rigarda	Bellagre	Col Bataille	La Coume	Mas Estrades	Riberette	Comelade	La Basse	Saint Eugenie	Têt_BaixVern	Perpignan_av
S BV ha		1934.5	2395.6	9158.1	450.1	1605.2	2874.7	2674.9	1760.6	1526.4	4864.8	3008.2	1407.4	7388.8	1402.4	201	1318.5
S BV km²		19.345	23.956	91.581	4.501	16.052	28.747	26.749	17.606	15.264	48.648	30.082	14.074	73.888	14.024	2.01	13.185
Fréquence	moyenne Qs (Q m³/s															
0.99	0.0526	1.0171	1.2596	4.8152	0.2367	0.8440	1.5115	1.4064	0.9257	0.8026	2.5578	1.5817	0.7400	3.8849	0.7374	0.1057	0.6932
0.98	0.0389	0.7531	0.9325	3.5650	0.1752	0.6249	1.1190	1.0413	0.6854	0.5942	1.8937	1.1710	0.5479	2.8763	0.5459	0.0782	0.5133
0.95	0.0276	0.5343	0.6616	2.5293	0.1243	0.4433	0.7940	0.7388	0.4863	0.4216	1.3436	0.8308	0.3887	2.0407	0.3873	0.0555	0.3642
0.9	0.0187	0.3619	0.4482	1.7135	0.0842	0.3003	0.5379	0.5005	0.3294	0.2856	0.9102	0.5628	0.2633	1.3824	0.2624	0.0376	0.2467
0.8	0.0116	0.2244	0.2779	1.0624	0.0522	0.1862	0.3335	0.3103	0.2042	0.1771	0.5643	0.3490	0.1633	0.8571	0.1627	0.0233	0.1530
0.7	0.0086	0.1656	0.2051	0.7841	0.0385	0.1374	0.2461	0.2290	0.1507	0.1307	0.4165	0.2575	0.1205	0.6326	0.1201	0.0172	0.1129
0.6	0.0067	0.1287	0.1593	0.6091	0.0299	0.1068	0.1912	0.1779	0.1171	0.1015	0.3236	0.2001	0.0936	0.4914	0.0933	0.0134	0.0877
0.5	0.0054	0.1049	0.1299	0.4964	0.0244	0.0870	0.1558	0.1450	0.0954	0.0827	0.2637	0.1631	0.0763	0.4005	0.0760	0.0109	0.0715
0.4	0.0045	0.0870	0.1078	0.4121	0.0203	0.0722	0.1293	0.1204	0.0792	0.0687	0.2189	0.1354	0.0633	0.3325	0.0631	0.0090	0.0593
0.3	0.0037	0.0715	0.0886	0.3385	0.0166	0.0593	0.1063	0.0989	0.0651	0.0564	0.1798	0.1112	0.0520	0.2731	0.0518	0.0074	0.0487
0.2	0.0030	0.0572	0.0708	0.2708	0.0133	0.0475	0.0850	0.0791	0.0521	0.0451	0.1438	0.0889	0.0416	0.2185	0.0415	0.0059	0.0390
0.1	0.0021	0.0413	0.0511	0.1954	0.0096	0.0342	0.0613	0.0571	0.0376	0.0326	0.1038	0.0642	0.0300	0.1576	0.0299	0.0043	0.0281
0.05	0.0017	0.0332	0.0411	0.1570	0.0077	0.0275	0.0493	0.0458	0.0302	0.0262	0.0834	0.0516	0.0241	0.1266	0.0240	0.0034	0.0226
0.02	0.0014	0.0272	0.0336	0.1286	0.0063	0.0225	0.0404	0.0376	0.0247	0.0214	0.0683	0.0422	0.0198	0.1037	0.0197	0.0028	0.0185
0.01	0.0012	0.0235	0.0291	0.1112	0.0055	0.0195	0.0349	0.0325	0.0214	0.0185	0.0591	0.0365	0.0171	0.0897	0.0170	0.0024	0.0160

Tableau 18 : Débits classés des affluents et apport de versant de la Têt

Le tableau suivant indique en différents points de la Têt les débits classés pour différents tronçons. Ses débits ont été calculés sur la base des ratios des superficies des débits classés issus de la banque Hydro.

Fréquence sbv (km ²)	Qs moyen	Rodès	amont Néfiac	Millas	Soler	Autoroute
		974	1028.16	1153.4	1206.06	1345.15
0.99	0.053	51.2	54.1	60.6	63.4	70.7
0.98	0.039	37.9	40.0	44.9	46.9	52.4
0.95	0.028	26.9	28.4	31.9	33.3	37.2
0.9	0.019	18.2	19.2	21.6	22.6	25.2
0.8	0.012	11.3	11.9	13.4	14.0	15.6
0.7	0.009	8.3	8.8	9.9	10.3	11.5
0.6	0.007	6.5	6.8	7.7	8.0	8.9
0.5	0.005	5.3	5.6	6.3	6.5	7.3
0.4	0.004	4.4	4.6	5.2	5.4	6.1
0.3	0.004	3.6	3.8	4.3	4.5	5.0
0.2	0.003	2.9	3.0	3.4	3.6	4.0
0.1	0.002	2.1	2.2	2.5	2.6	2.9
0.05	0.002	1.7	1.8	2.0	2.1	2.3
0.02	0.001	1.4	1.4	1.6	1.7	1.9
0.01	0.001	1.2	1.2	1.4	1.5	1.6

Tableau 19 : Débits classés de la Têt en différents points

2.5 DEBITS D'ETIAGE

La banque hydro fournit également les débits caractéristiques d'étiage, ils sont repris dans le tableau ci-dessous.

Module interannuels (naturels)						
	données calculées	svb	Module moyen	Quinquennale sèche	Médiane	Quinquennale humide
Marquixanes	39 ans	834 km ²	8.45	6.1	8.5	11
Rodès	46 ans	974 km ²	9.06	5.8	9.1	12
Perpignan	49 ans	1300 km ²	9.42	4.8	9.4	14

Tableau 20 : Modules interannuels aux stations de mesures (source banque hydro)

Le débit d'étiage sera utilisé pour la définition dans les aménagements du gabarit du lit d'étiage, afin de redonner un profil en travers étagé avec un lit d'étiage et un lit mineur / moyen (figure ci-dessous). Cette structure étagée permet d'apporter une diversification des habitats tout en redonnant un caractère morphologique au cours d'eau.

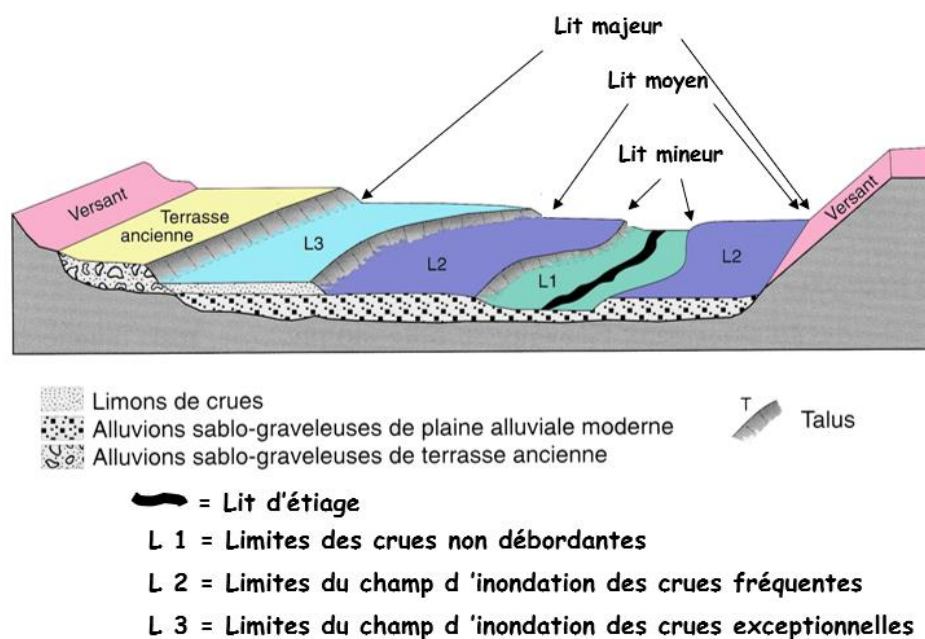


Figure 9 : Unités de la plaine alluviale fonctionnelle

L'objectif de la modélisation est de s'assurer de la non-aggravation de l'inondation sur les zones à enjeux pour des crues débordantes. Le modèle sera donc calé sur les données de crue existante et notamment le PPRi.

Les données d'entrée n'ont pas permis de caler le modèle hydraulique sur les faibles débits et notamment le débit d'étiage. Ce dernier n'apportera pas à lui seul la réponse aux aménagements possibles sur le lit d'étiage, il sera donc nécessaire de compléter l'analyse par des calculs de gabarit et de profil en long du fond du lit.

3 MODELISATION HYDRAULIQUE ET SIMULATIONS EN ETAT ACTUEL

3.1 OBJECTIF DE LA MODELISATION

La modélisation hydraulique a été mise en œuvre pour :

- comprendre le fonctionnement hydraulique à l'état actuel en crue pour des crues fréquentes à rares, en se calant sur les cartographies du PPRi
- définir les impacts sur les hauteurs et les vitesses du projet et s'assurer que les aménagements, définis pour des crues morphogènes (crue projet), n'entraînent pas d'aggravation du risque inondation sur les enjeux (zone inondable en lit majeur).

La modélisation ne permet pas de représenter finement le fonctionnement hydraulique pour des débits courants ou les débits d'étiage (inférieurs aux débits des crues dites morphogènes). D'autres outils seront mis en place pour s'assurer de la continuité du profil en long notamment.

3.2 STRUCTURE DU MODELE

3.2.1 Emprise du modèle

Le modèle a été construit sur le logiciel Hydra, développé par Hydratec et libre de droit.

La figure suivante montre une vue d'ensemble du modèle. Il s'étend du barrage de Vinça à l'aval de l'A9 à Perpignan.

Les affluents principaux sont modélisés sur un linéaire de l'ordre de 1km en amont de la confluence avec la Têt.

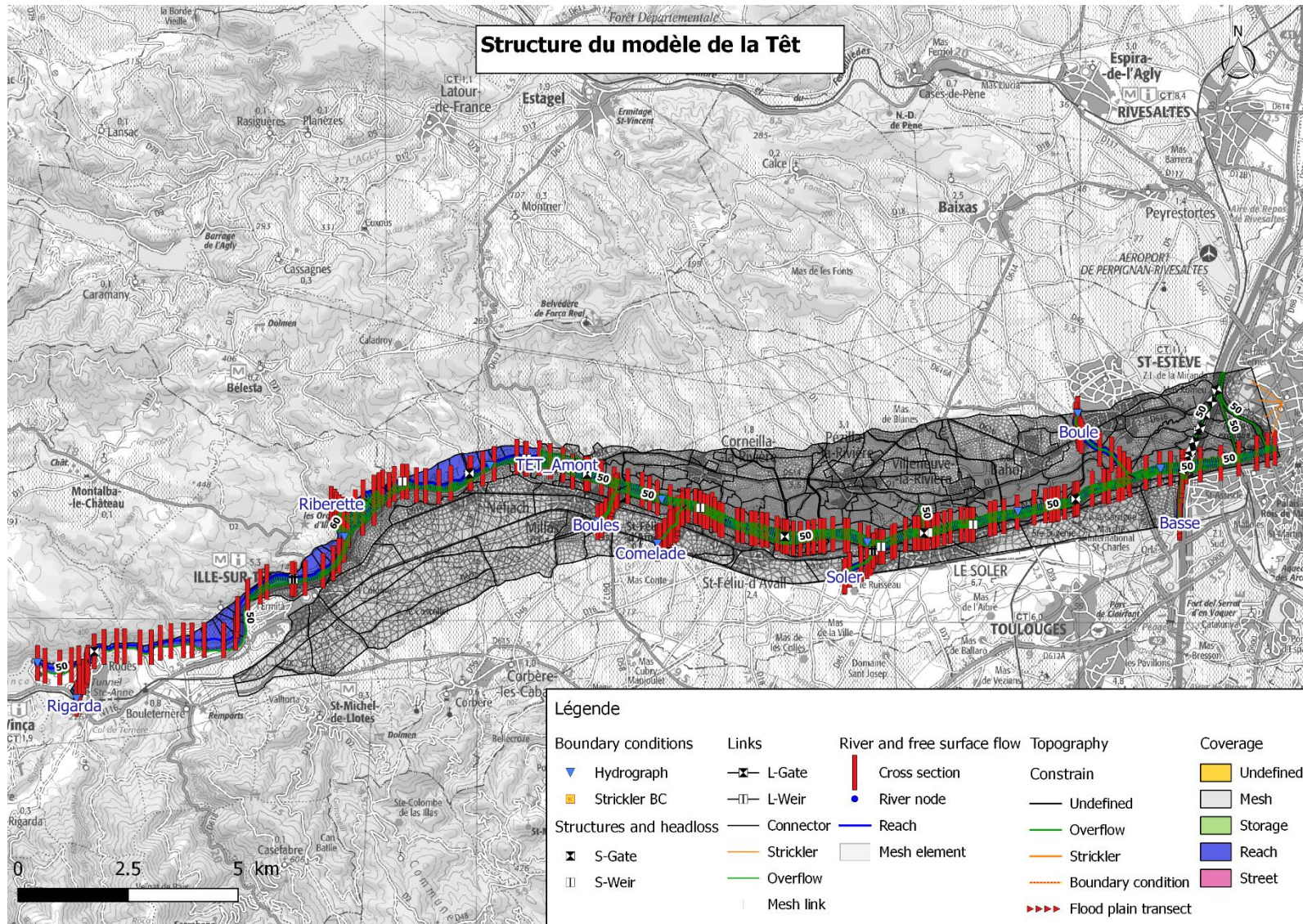


Figure 10 : Structure du modèle

3.2.2 Lits mineurs

Les lits mineurs des cours d'eau sont représentés en 1D (domaine filaire), ils sont constitués de biefs ouverts.

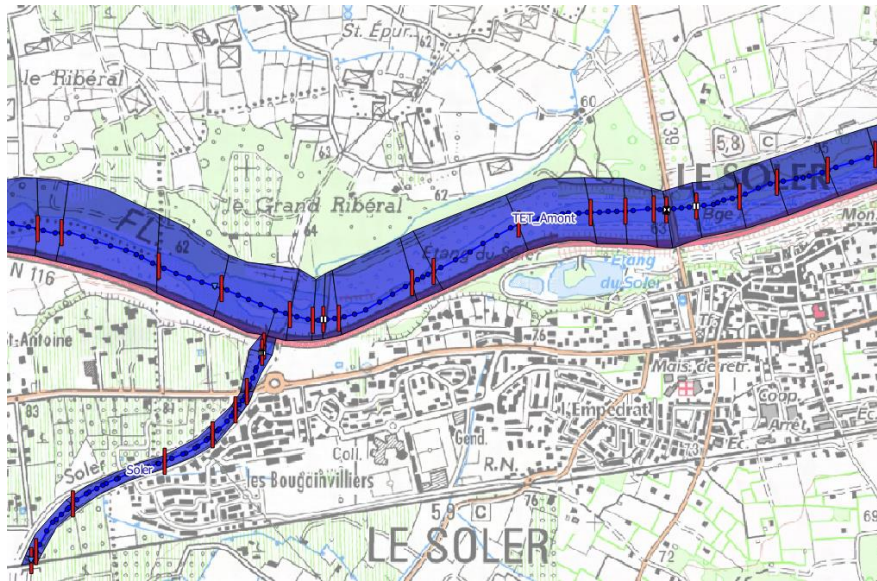


Figure 11 : Exemple de biefs filaires modélisé en 1D sous Hydra – secteur du Soler

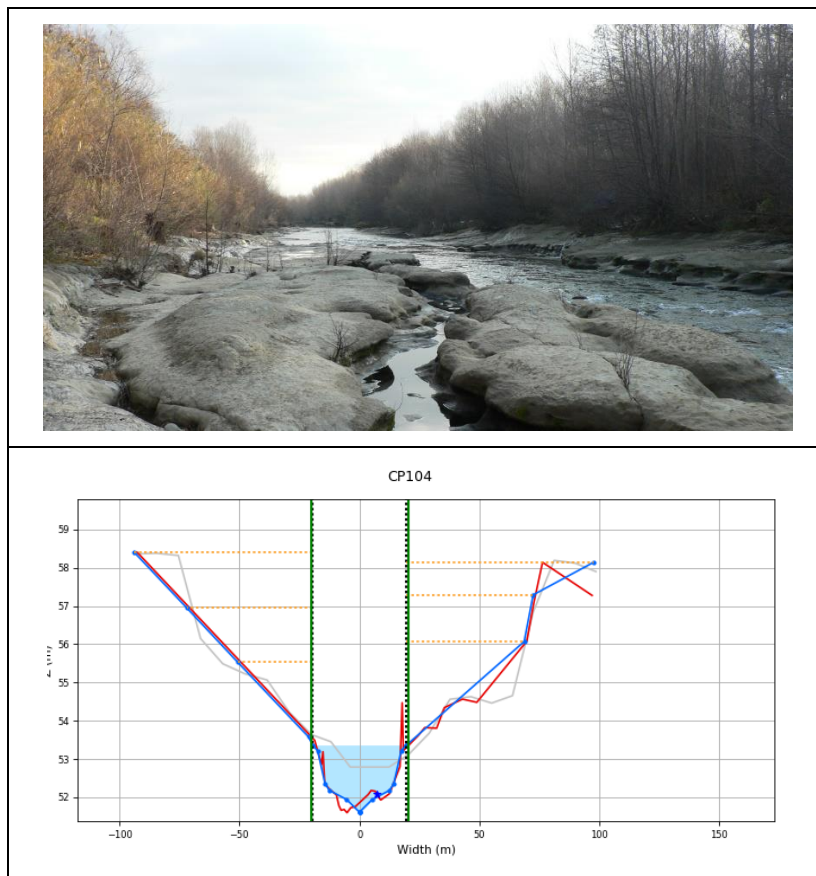


Figure 12 : exemple de représentation des profils en travers 1D sous Hydra – secteur le Soler

Les profils en travers sont basés sur les données topographiques suivantes :

- Pour la Têt : Les levés topographiques réalisés dans le cadre du PPRi de la Têt moyenne de 2012
- Pour les affluents les données issues du modèle numérique de terrain utilisé dans le cadre du PPRi de la Têt moyenne.

Le choix de la topographie des profils en travers basée sur les éléments du PPRi permettent de prendre les mêmes hypothèses que dans l'étude hydraulique qui a servi à la réalisation du PPRi. En prenant les mêmes éléments topographiques, on s'assure ainsi de correctement caler le modèle sur le PPRi.

3.2.3 Lits majeurs

Pour le lit majeur, 2 modes de représentation sont mis en œuvre :

- Maillage 2D,
- Filaire 1D.

Le modèle filaire 1D est privilégié lorsque l'écoulement est plutôt mono directionnel dans l'axe du lit mineur. Le modèle 2D est privilégié lorsque l'écoulement est diffus et/ou lorsque le bâti est plutôt dense et fait obstacle à l'écoulement en lit majeur.

Ainsi la modélisation filaire 1D a été limitée à la partie amont du secteur d'étude, du barrage de Vinça jusqu'à l'île sur Têt.

En aval de l'île sur Têt, le lit majeur, rive droite et rive gauche, est intégralement représenté par un maillage 2D afin de représenter correctement les écoulements diffus et / ou les changements de direction des écoulements liés à des obstacles du terrain.

Le maillage 2D s'appuie sur les données LIDAR de l'IGN au pas d'espace 1m (2019) couvrant l'ensemble de la zone d'étude.

Le domaine 2D comprend une collection de mailles quadrangulaires ou triangulaires, chaque maille étant convertie en interne en un nœud de calcul caractérisé par :

- une cote d'eau Z ,
- les composantes u_x et u_y de la vitesse d'écoulement,
- une capacité de stockage décrite par une cote moyenne de fond Z_f et une surface S .

Le maillage s'appuie notamment sur des limites physiques contraignant les écoulements appelées lignes de contraintes (digues, remblais, routes...), la taille des mailles étant définie par le modélisateur en fonction de la précision attendue et de la morphologie de la vallée.

Dans notre cas, nous avons choisi de représenter plus précisément par des **mailles fines (50m de côté) les bordures immédiates du lit majeur rive gauche entre Millas et Perpignan sur lesquelles pourraient être réalisés les aménagements, afin de caractériser précisément les impacts éventuels**. Les secteurs amont, présentent un maillage moins précis afin de trouver un compromis entre le temps de calcul et la bonne représentation de la répartition des écoulements amont.

Les liaisons entre les mailles sur les lignes de contraintes sont généralement des lois de seuil, lorsqu'il n'y a pas de ligne de contrainte les liaisons sont caractérisées par un coefficient de frottement.

Les singularités ponctuelles au droit des franchissements routiers ou ferrés sont schématisées par des liaisons spécifiques reliant les mailles amont et aval :

- des lois d'orifice pour les buses et les ponceaux de décharge,
- des lois de seuil pour les routes, chemins, digues, murets, ... submersibles.

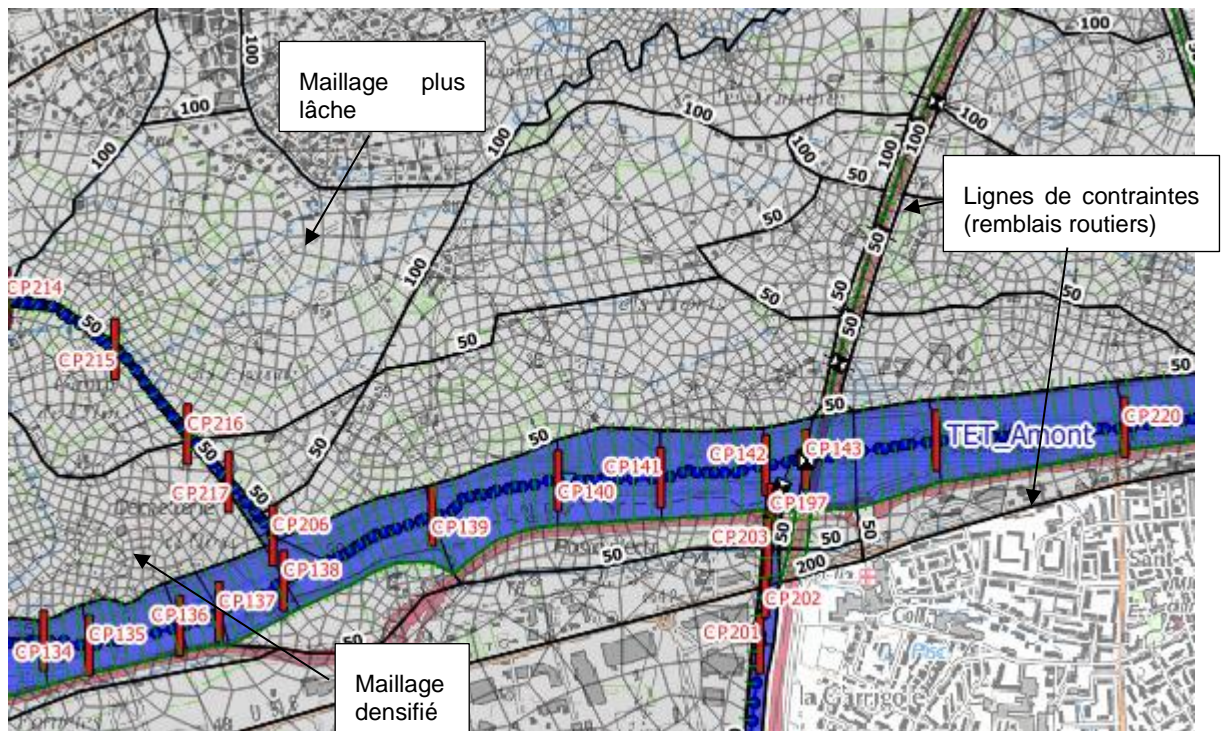


Figure 13 : Exemple de maillage 2D (Secteur amont A9 à Perpignan)

Au regard des objectifs de la modélisation, le bâti n'a pas été pris en compte, il est considéré comme ne faisant pas obstacles aux écoulements.

3.2.4 Couplage 1D/2D

Lorsque le cours d'eau est à surface libre, les berges de chaque lit de cours d'eau sont connectées au domaine bidimensionnel par l'intermédiaire de liaisons spécifiques apparentées à des déversoirs, la cote et la largeur de chacune étant fonction du profil de la berge. Le maillage 2D est appuyé sur les limites du domaine 1D.

Les liaisons latérales schématisent les capacités de débordement du bief 1D vers le maillage 2D à partir des caractéristiques géométriques de la berge considérée (altimétrie), de la géométrie de chacune des mailles (largeur de contact avec la berge) et de l'occupation du sol (frottement et éventuelle obstruction créée par le bâti).

Dans la modélisation une attention particulière a été apportée à ces liaisons afin de représenter au mieux les digues de protection constituant les berges de chaque cours d'eau.

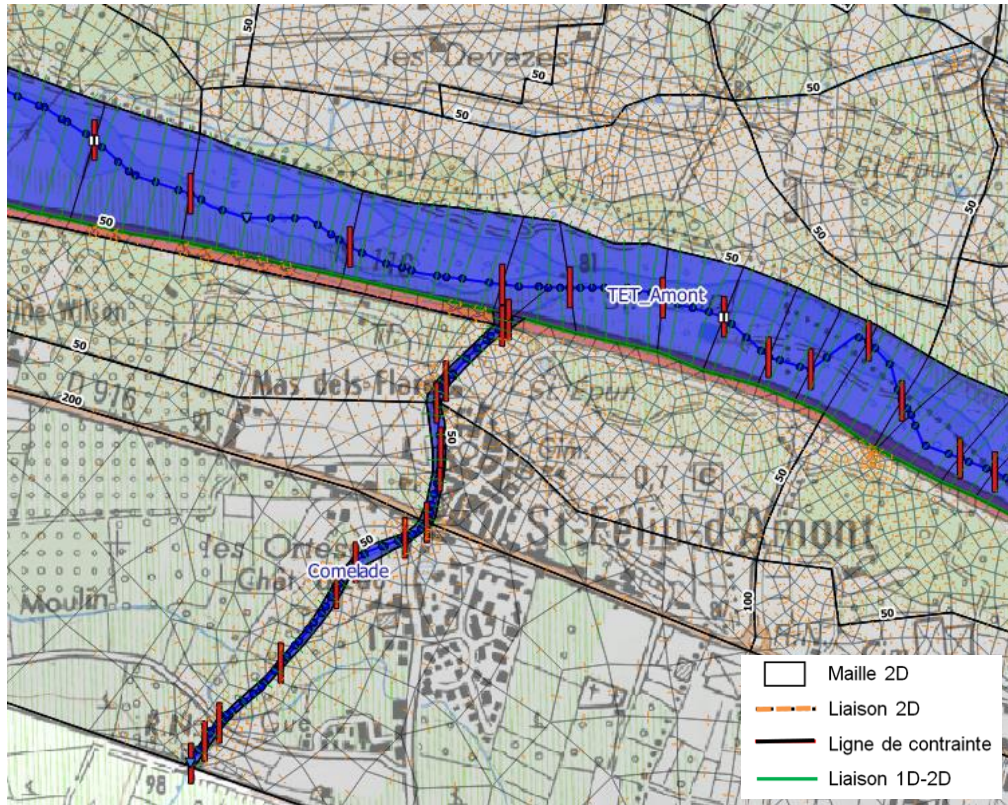


Figure 14 : Maillage 2D appuyé sur les limites du domaine 1D (confluence Têt – Comelade)

3.2.5 Modélisation des ouvrages

Le modèle intègre les différents ouvrages traversants des cours d'eau :

- Les ouvrages de franchissement : ils sont définis par les cotes de radier et de sous-poutre et la section totale. Les pertes de charge sont calculées par une loi de seuil tant que l'ouvrage n'est pas en charge, et par une loi d'orifice dans le cas contraire. Lorsque l'ouvrage de franchissement est submersible, l'orifice est complété en parallèle par un élément seuil correspondant à la possibilité d'écoulement sur le tablier défini par une largeur, une cote et un coefficient de seuil.
- Les ouvrages souterrains : Les collecteurs souterrains sont modélisés par des sections paramétriques fermées ; HYDRA utilise la méthode de la fente de Preissmann pour résoudre les équations de Barré de Saint Venant. Une perte de charge à l'entonnement est ajoutée, sous la même forme que les ouvrages de franchissement. Sur le secteur d'étude on note quelques passages à gué avec des buses pour la continuité d'écoulement, des ouvrages sous la RN116 ainsi que les buses de l'A9 en lit majeur ;
- Les seuils : Les seuils frontaux et latéraux sont modélisés par des lois de seuil. La zone d'étude comporte 7 seuils ou passages à gué.




	<p>Passage à gué Néliach avec passe à poissons</p>
	<p>Ouvrage de franchissement de la D39 au Soler</p>
	<p>Seuil à Millas</p>

Figure 15 : Exemples d'ouvrages singuliers sur le secteur d'étude

3.2.6 Conditions aux limites

La condition limite aval correspond à une loi d'écoulement uniforme (formule de Manning Strickler). La limite aval du modèle a été placée suffisamment en aval des aménagements projetés afin de ne pas être sous l'influence de cette condition. De plus l'A9 fait office de coupure hydraulique.

En amont du modèle, il a été injecté des hydrogrammes dans chaque cours d'eau en fonction de la période de retour de l'événement. Les points d'injection du modèle et les hydrogrammes sont détaillés dans le paragraphe suivant.

3.3 DONNEES HYDROLOGIQUES D'ENTREE DU MODELE

3.3.1 Points d'injection des hydrogrammes

Les hydrogrammes amont, des affluents et des apports de versants sont injectés en différents points du modèle, localisés sur la carte ci-après (Figure 16).

Les apports de versant sont injectés directement dans le lit mineur de la Têt. Les hydrogrammes des affluents sont injectés aux extrémités amont modélisées, soit 1 km en amont de la confluence avec la Têt.

3.3.2 Hydrogrammes de la crue historique de 1940

Le calage du modèle est réalisé sur la crue de 1940. Les hydrogrammes à Rodes, Millas et Perpignan sont issus de la reconstitution des données bibliographiques (Quesnel et PPRI Têt moyenne – 2012). La pluviométrie de l'événement et les hydrogrammes des affluents ne sont pas disponibles.

Les hydrogrammes injectés dans le modèle hydraulique ont été déterminés de la manière suivante :

- Injection en amont du modèle de l'hydrogramme reconstitué de Rodes (source PPRI)
- Calcul des débits de pointe des sous bassins versants par la formule de Meyer depuis le débit de pointe à Rodes
- Détermination des hydrogrammes des sous bassins versants (affluents et apports de versant) par homothétie depuis l'hydrogramme de Rodes
- Somme des différents hydrogrammes pour retrouver le débit de pointe reconstitué à Perpignan.

Le graphe suivant (Figure 17) présente les hydrogrammes reconstitués (PPRI Têt moyenne) et les hydrogrammes injectés dans le modèle. On note que :

- La forme de l'hydrogramme injecté à Millas correspond bien à celle de l'hydrogramme reconstitué.
- Le débit de pointe retrouvé à Perpignan correspond bien à celui de la bibliographie, néanmoins, le volume de crue est sous-estimé, surtout à la décrue.

Ces différences restent toutefois acceptables dans la mesure où l'objectif de l'étude n'est pas de réaliser une cartographie précise de la crue de référence mais de retrouver le fonctionnement hydraulique général afin d'évaluer par la suite les impacts des aménagements envisagés.

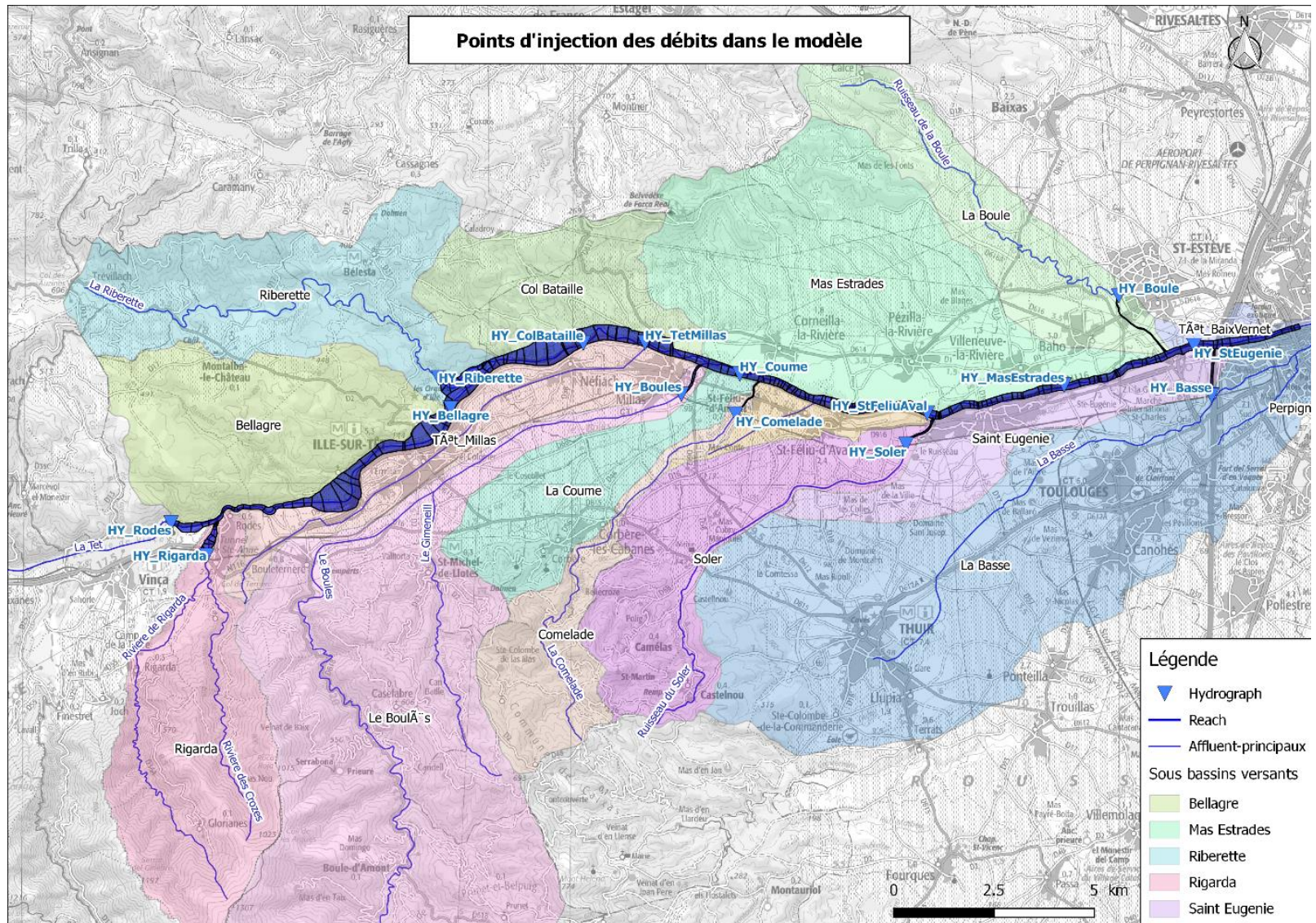


Figure 16 : Localisation des injections de débit dans le modèle hydraulique

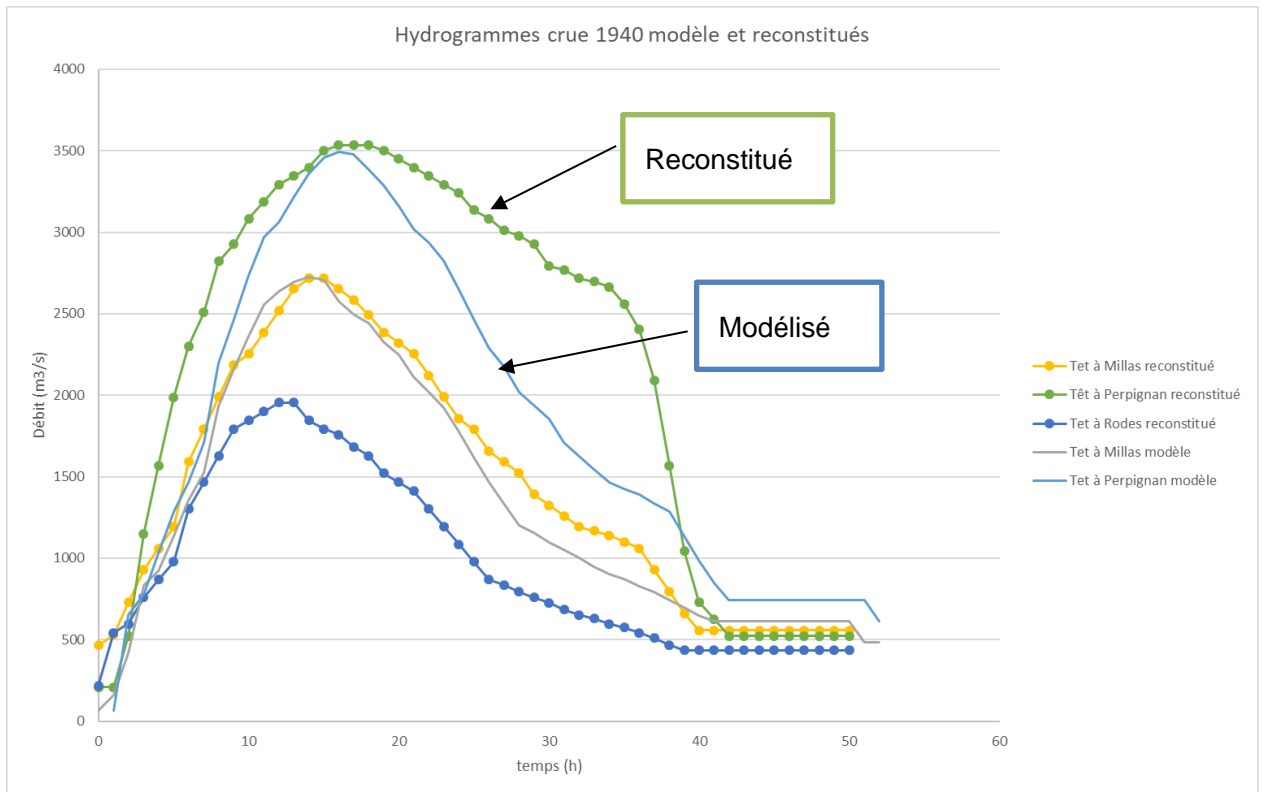


Figure 17 : Hydrogrammes de la crue de 1940 injectés dans le modèle

Il est d'autant plus difficile de reconstituer les hydrogrammes pour cet événement dans la mesure où :

- la pluviométrie de l'événement n'est pas disponible,
- la concomitance des pointes de crue des différents affluents est difficile à évaluer,
- les débits hydrologiques ne prennent pas en compte l'effet d'écrêtement et de ralentissement en lit majeur (notamment sur les affluents)

3.3.3 Hydrogramme de la crue de 1999

Pour rappel, la période de retour de cette crue est de l'ordre de 2 ans à Rodés et 20 ans à Perpignan. Cette crue a été retenue dans la mesure où elle peut correspondre à une crue de plein bord sur les secteurs aval. Les hydrogrammes à Rodés et à Perpignan sont disponibles ainsi que la pluviométrie de l'événement (Figure 18).

Les hydrogrammes injectés dans le modèle hydraulique ont été déterminés de la manière suivante :

- Injection de l'hydrogramme mesuré à Rodés en entrée de modélisation de la Têt (source PPRI)
- Application de la pluviométrie de 1999 sur les affluents et les apports de versants et utilisation de la méthode du double réservoir linéaire pour la transformation pluie débit.

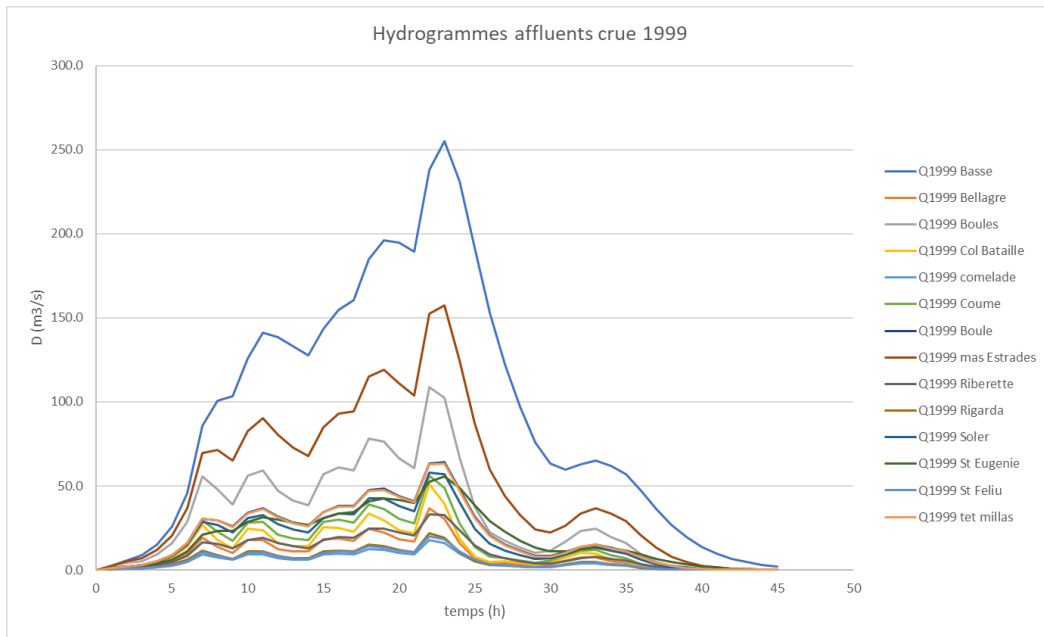


Figure 18 : Hydrogrammes des affluents et apports de versants pour la crue de 1999

- Somme des hydrogrammes afin de retrouver l'hydrogramme mesuré à Perpignan.

Le graphe suivant présente les hydrogrammes mesurés et les hydrogrammes injectés dans le modèle. On note que le débit de pointe retrouvé à Perpignan correspond bien à celui de la bibliographie, avec un petit décalage de la pointe. La forme de montée de l'hydrogramme diffère mais la forme du pic et de la décrue restent similaires (Figure 19).

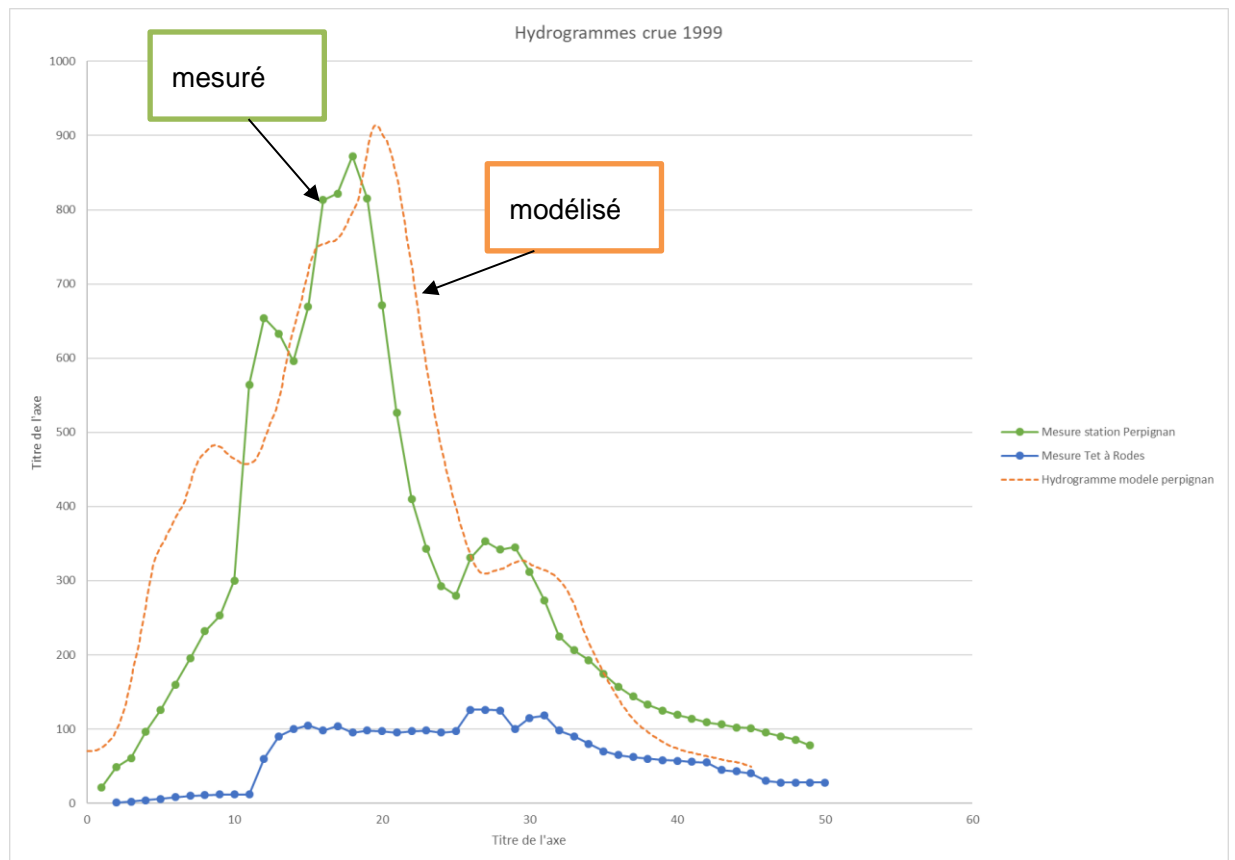


Figure 19 : Hydrogrammes crue 1999 mesurés et injectés dans le modèle

Comme pour la crue de 1940, les différences restent acceptables dans la mesure où l'objectif de l'étude est de retrouver le fonctionnement hydraulique général afin d'évaluer par la suite les impacts des aménagements envisagés.

3.3.4 Hydrogrammes des crues de projet

Les crues de projet (Q1, Q2, Q5, Q10, Q20, Q30, Q50) ont été simulées par injection d'un hydrogramme unique à l'amont du modèle correspondant à l'hydrogramme calculé à Perpignan pour une période de retour donnée.

En effet, au vu de la difficulté d'évaluer les incidences du barrage de Vinça pour les différentes périodes de retour, les apports des différents affluents, les phénomènes de concomitances et d'écrêtement, **il a été choisi de raisonner uniquement en valeur de débit. Il sera possible de rattacher ce débit à une période de retour en fonction du secteur concerné.**

Ainsi :

- il n'y a pas d'apports des affluents ($Q=1\text{m}^3/\text{s}$)
- les valeurs des débits de pointe à Perpignan sont issues des données de la Banque Hydro avec prise en compte de l'influence du barrage
- la forme de l'hydrogramme injecté en amont du modèle correspond à celui de 1999 enregistré à Perpignan
- les différents hydrogrammes sont obtenus par application d'un coefficient multiplicateur pour retrouver les débits de pointe à Perpignan issus de la Banque Hydro

Au regard des incertitudes sur l'estimation du débit centennale en aval du barrage de Vinça, il est proposé d'analyser la crue de 1940, crue de référence du PPRi et crue débordante en lit majeur rive droite et rive gauche afin de définir l'impact des aménagements sur les zones inondables.

Les hydrogrammes de projet sont présentés ci-dessous (Figure 20) :

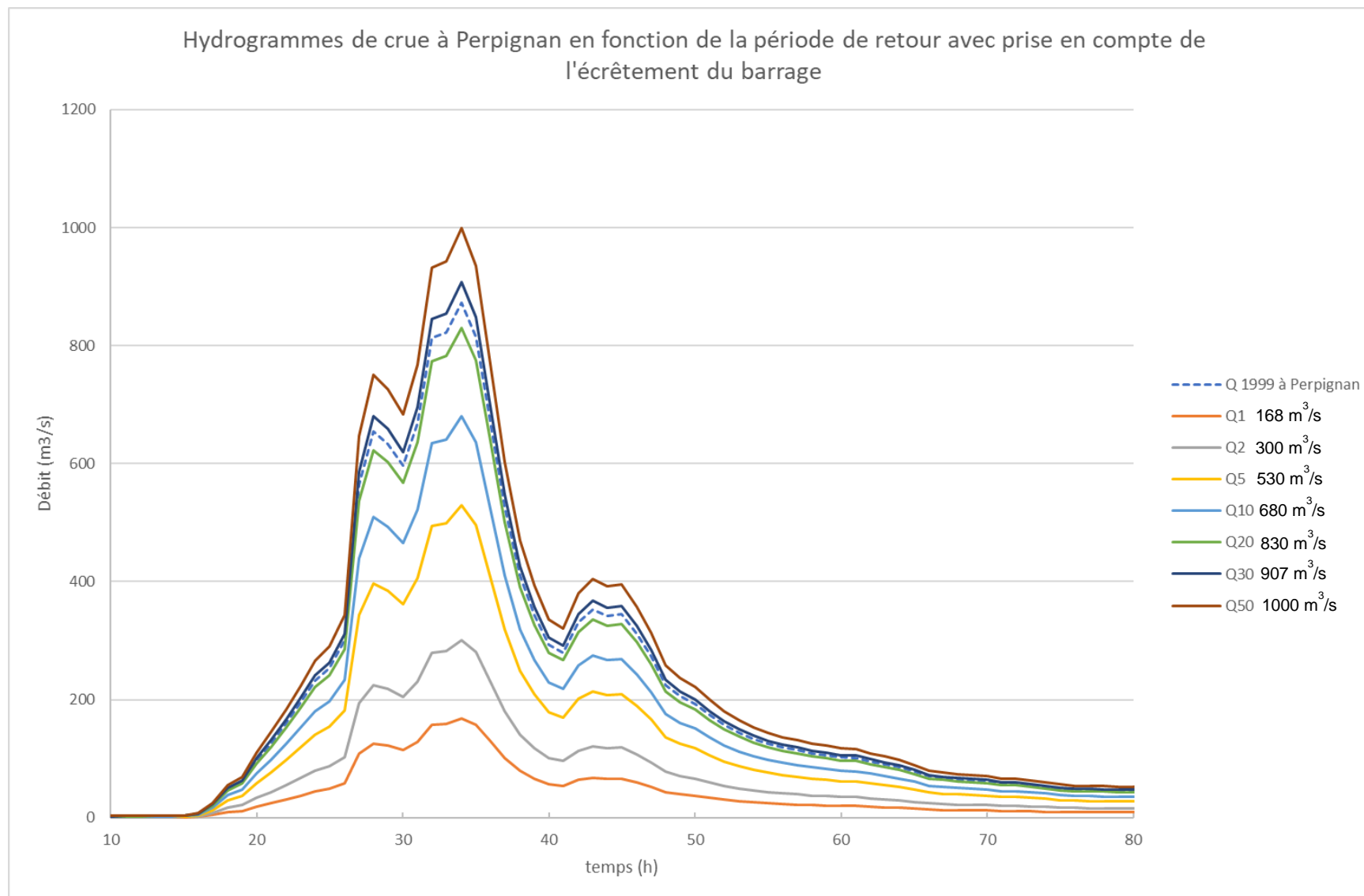


Figure 20 : Hydrogrammes projet à Perpignan déterminés sur la base de l'hydrogramme de la crue de 1999, injectés en amont du modèle

3.4 CALAGE DU MODELE SUR L'EVENEMENT DE 1940

Le calage du modèle a été réalisé sur la base des résultats cartographiques du PPRI de la Têt moyenne (BRL – 2012) afin que l'emprise des zones inondables et les hauteurs d'eau soient cohérentes avec la crue de 1940 à l'état initial (sans rupture de digue).

3.4.1 Paramètres de calage retenus

Le calage du modèle a consisté en l'ajustement des paramètres comme :

- Le coefficient Strickler
- Les coefficients de seuil ou de perte de charge sur les ouvrages de franchissement.

Les coefficients de Strickler retenus sont les suivants :

- | |
|---|
| - K lit majeur = 12 |
| - K lit mineur entre Rodes et Millas = 25 |
| - K lit mineur entre Millas et Perpignan = 30 et K lit moyen = 20 |
| - K affluents = 25 |

Ces coefficients sont cohérents avec les coefficient pris dans la modélisation hydraulique du PPRI Têt Moyenne.

3.4.2 Résultats de calage

L'objectif de ce calage est de retrouver les emprises inondées établies par BRL dans le cadre du PPRI de la Têt moyenne de 2012 pour la crue de 1940.

Toutefois, les difficultés suivantes ont été rencontrées :

- Les hydrogrammes de crue des affluents ne sont pas disponibles
- Les aléas du PPRI de la Têt moyenne ont été réalisés à partir de la combinaison de plusieurs scénarios :
 - crue de 1940 sur la Têt, pas de crue sur les affluents mais injection progressive des apports de versants en différents points de la Têt pour retrouver le débit de pointe à Perpignan
 - crue centennale sur les affluents rive gauche, crue trentennale sur la Têt
- Les affluents rive droite ne sont pas inclus dans la modélisation de BRL. Le Boules a fait l'objet d'une étude à part, tout comme la Basse et le Castelnou (Soler).
- Les phénomènes de stockages (notamment pour les affluents rive droite : Boules, Soler, Basse ...) ne sont pas représentés dans notre modèle dans la mesure où ces cours d'eau ne sont modélisés que sur le dernier kilomètre avant la confluence.

Aussi, les hauteurs d'eau calculées pour la crue de 1940 dans le cadre de cette étude seront comparées aux hauteurs d'eau calculées par BRL **dans le cadre du PPRI sur la Têt seule.**

Pour plus de simplicité, les cartes seront comparées en termes de classes : > 0.5m et <0.5m.

Les cartes sont présentées pages suivantes (Figure 21, Figure 22 et Figure 23).

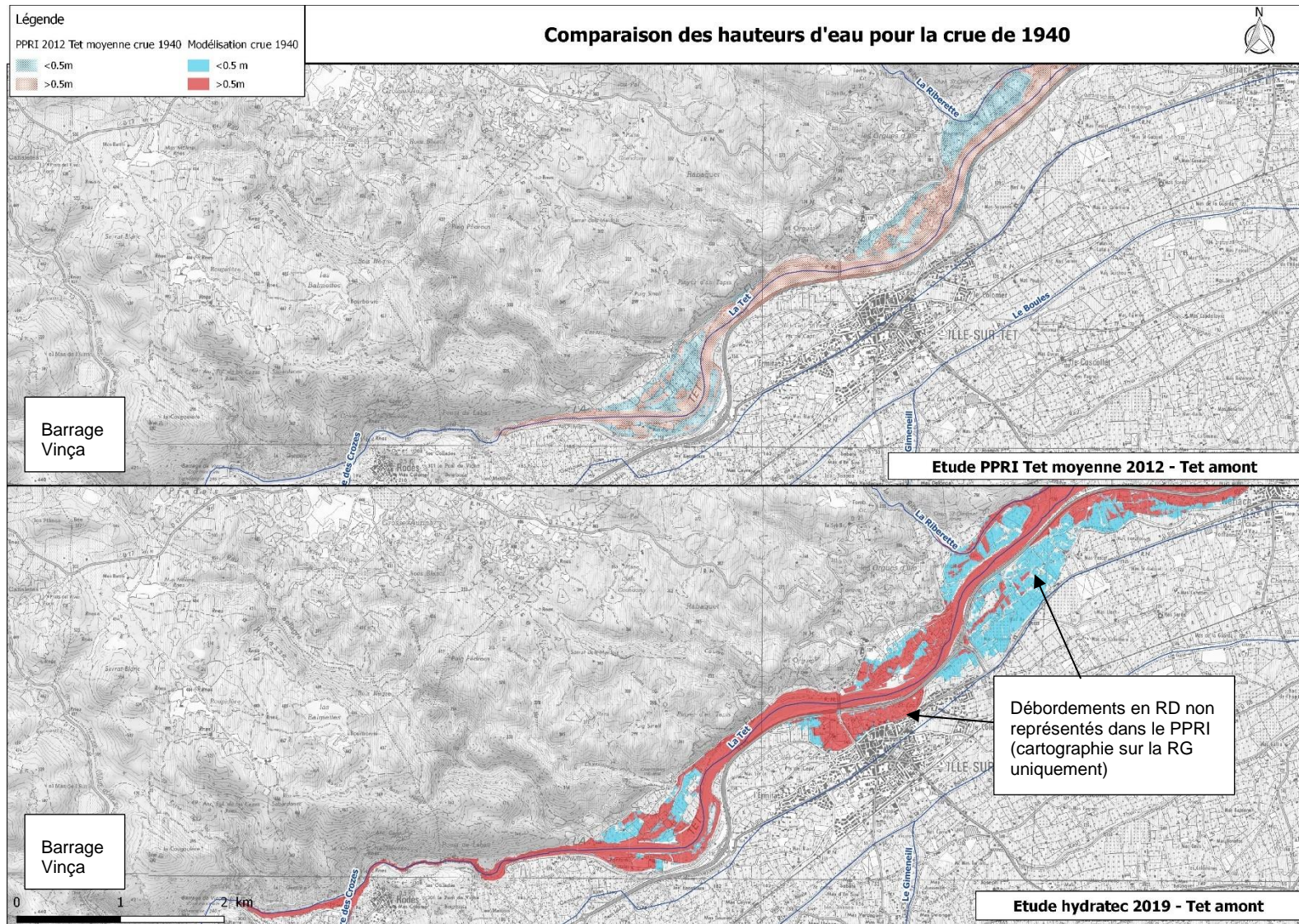


Figure 21 : Comparaison des hauteurs d'eau pour la crue de 1940 -1

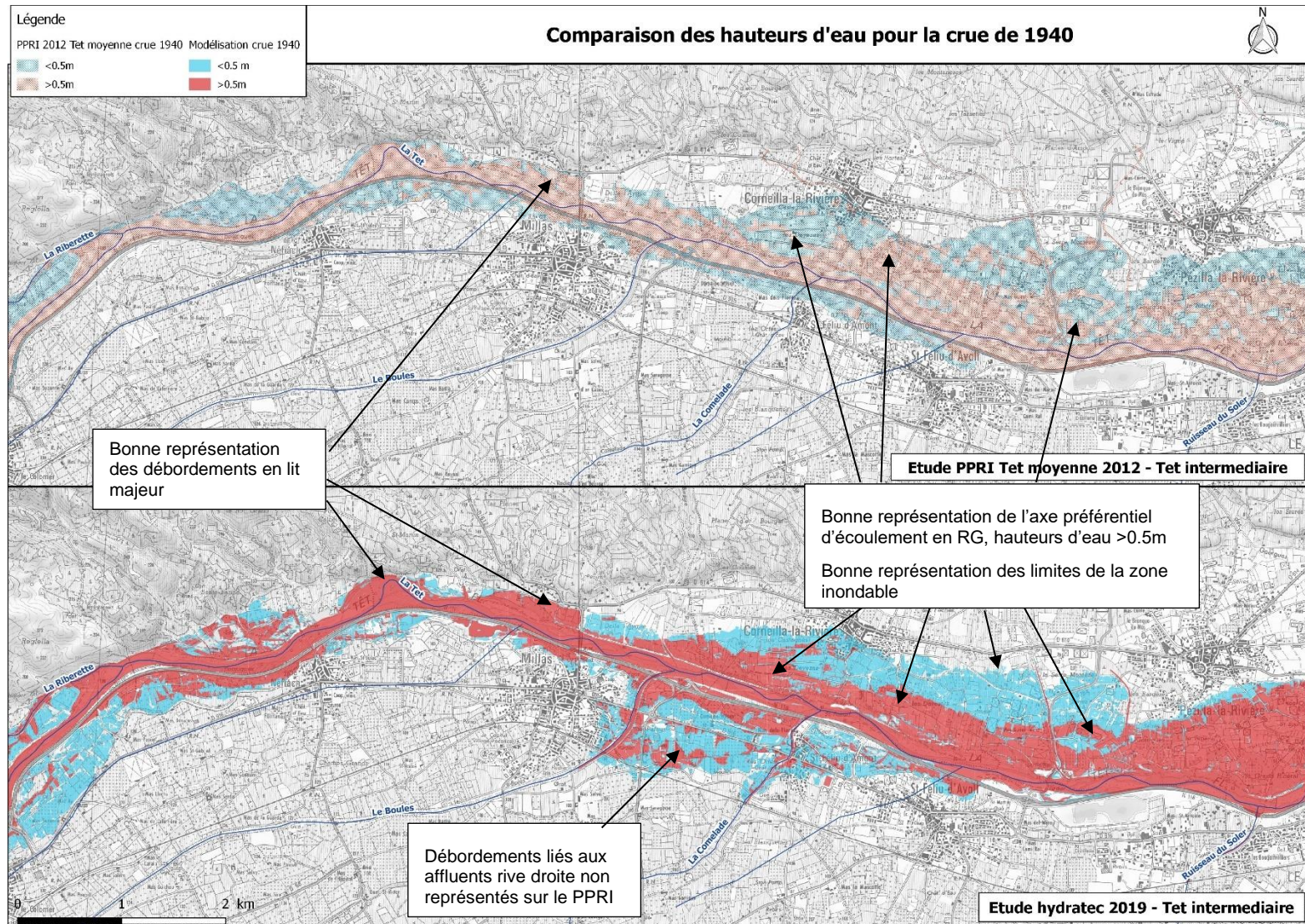


Figure 22 : Comparaison des hauteurs d'eau pour la crue de 1940 -2

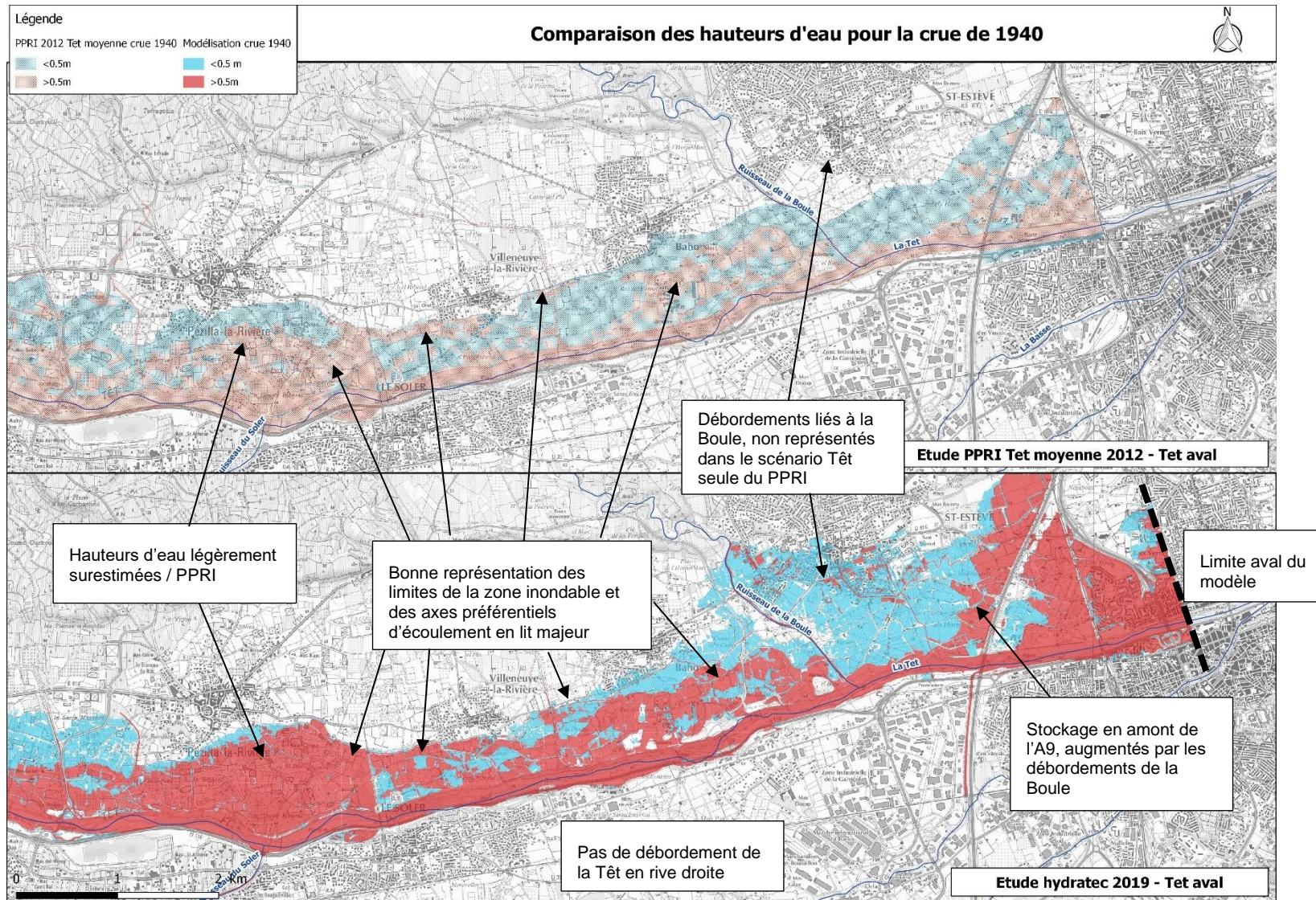


Figure 23 : Comparaison des hauteurs d'eau pour la crue de 1940 -3

D'une manière générale, les emprises des débordements de la Têt, les classes de hauteurs d'eau et les axes préférentiels d'écoulement sont bien représentés sur l'ensemble de la zone d'étude.

Les différences observées peuvent s'expliquer par :

- La donnée source topographique du MNT qui est plus récente dans le cadre de notre étude
- La localisation des injections intermédiaires de débit et les valeurs des débits de pointe
- La taille du maillage. En effet, dans le cadre du PPRI, les mailles étaient de 4000m² en moyenne, alors que celles du présent modèle sont de l'ordre de 2000m², ce qui peut influencer sur les emprises des zones inondées.

A Perpignan, le débit de pointe calculé par le modèle est de 3400 m³/s ce qui est cohérent avec les valeurs de débit pointe de la bibliographie.

Le modèle est donc cohérent en hauteur d'eau et en emprise par rapport à la cartographie de l'étude de BRL. **Le calage du modèle hydraulique peut donc être considéré comme satisfaisant.**

Les résultats de l'état initial, pour différents débits, serviront de base de comparaison afin de déterminer les impacts des aménagements proposés.

Les crues d'objectifs pour déterminer l'impact des aménagements, sont des crues morphogènes comprises entre 2 ans et 30 ans.

La crue de 1940 (crue de référence) sera testée sur l'état aménagé afin de s'assurer de la non-aggravation des zones inondables.

3.5 ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE EN ETAT ACTUEL

L'annexe 4 présente les cartographies des zones inondées sur l'emprise du modèle pour différentes périodes de retour entre 1 an et la crue de 1940.

Pour la crue de 1940 (Figure 24, Figure 25 et Figure 26) les débordements en rive gauche sont généralisés. L'emprise des débordements reste relativement réduite entre Rodès et Néfiac en raison de la topographie du secteur.

A partir de Millas, l'emprise des débordements augmente en rive gauche. Les écoulements empruntent les anciens chenaux et bras morts (cohérent avec l'analyse de l'activité hydrodynamique). Les remblais routiers engendrent des zones de stockage en amont.

Les hauteurs d'eau sont largement supérieures à 0.5m en bordure de Têt et les vitesses sont fortes supérieures à 0.5m/s, voire 1m/s en bordure immédiate du lit mineur.

En rive droite, la RN116 bloque les débordements.



Figure 24 : Fonctionnement hydraulique pour la crue de 1940 – Vinça à Néfiach

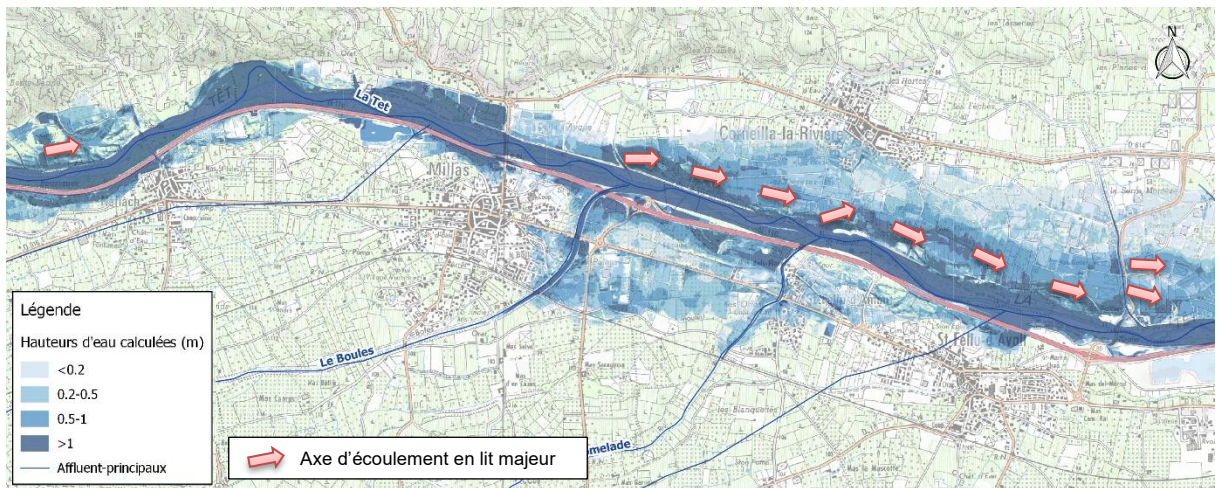


Figure 25 : Fonctionnement hydraulique pour la crue de 1940 – Néfiach à St Féliu d'Aval

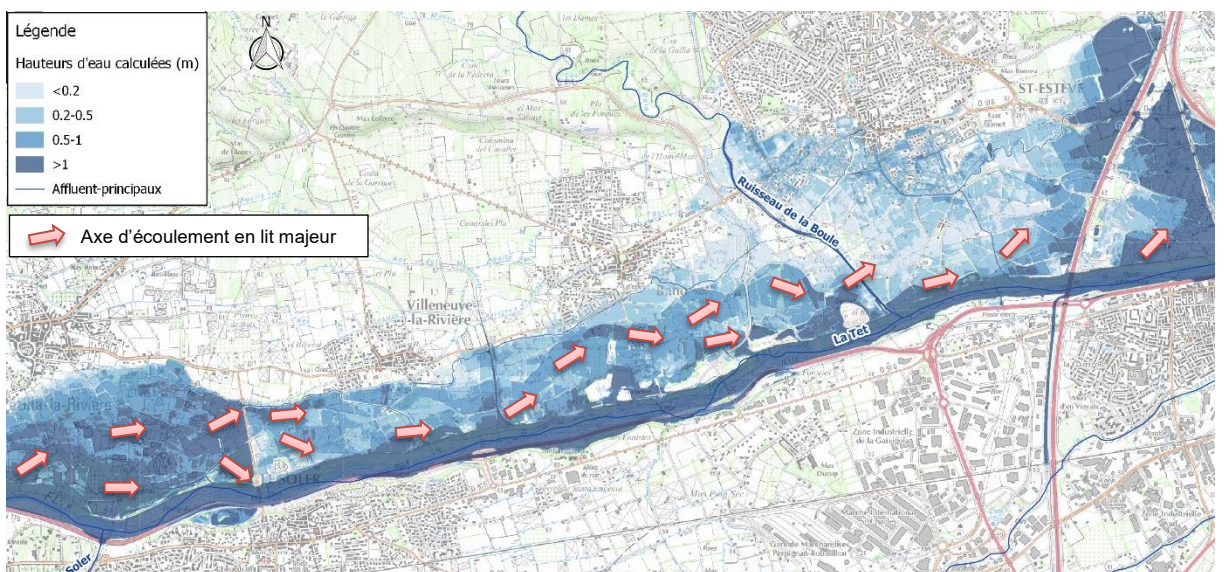


Figure 26 : Fonctionnement hydraulique pour la crue de 1940 – Pézilla à A9

Pour les différentes crues de projet simulées, les débordements restent très réduits en raison de l'effet d'écrêtement du barrage de Vinça et de la capacité hydraulique importante du lit mineur de la Têt.

Pour un débit de la Têt de 530 m³/s à Perpignan (équivalent à une période de retour de 5 ans à Perpignan), il n'y a pas de débordements sur l'ensemble de linéaire, hormis en rive gauche au droit de Pézilla la Rivière (Figure 27). Ces débordements restent toutefois très localisés. Il n'y a pas de débordements pour les plus petits débits.

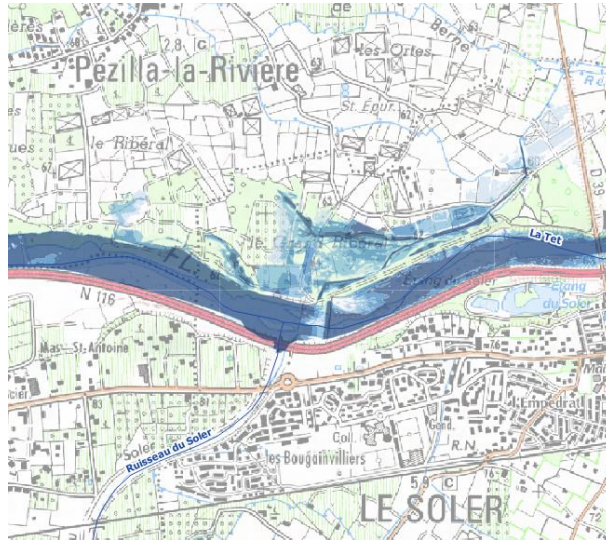


Figure 27 : Débordements à Pézilla la Rivière pour 530 m³/s

Pour un débit 680 m³/s (équivalent à une période de retour de 10 ans à Perpignan), l'emprise des débordements à Pézilla est légèrement plus étendue que pour 530 m³/s. Il n'y a pas de débordements ailleurs.

Pour un débit 830 m³/s (équivalent à une période de retour de 20 ans à Perpignan), de légers débordements se produisent à Corneilla la Rivière. Au niveau de Pézilla, les écoulements empruntent un axe secondaire et se stockent au droit de la D39. Il n'y a pas de débordement ailleurs.

On retrouve un comportement similaire pour 900 m³/s (équivalent à une période de retour de 30 ans à Perpignan) et 1000 m³/s à Perpignan (équivalent à une période de retour de 50 ans à Perpignan) avec des emprises de débordement plus importantes (Figure 28 et Figure 29).

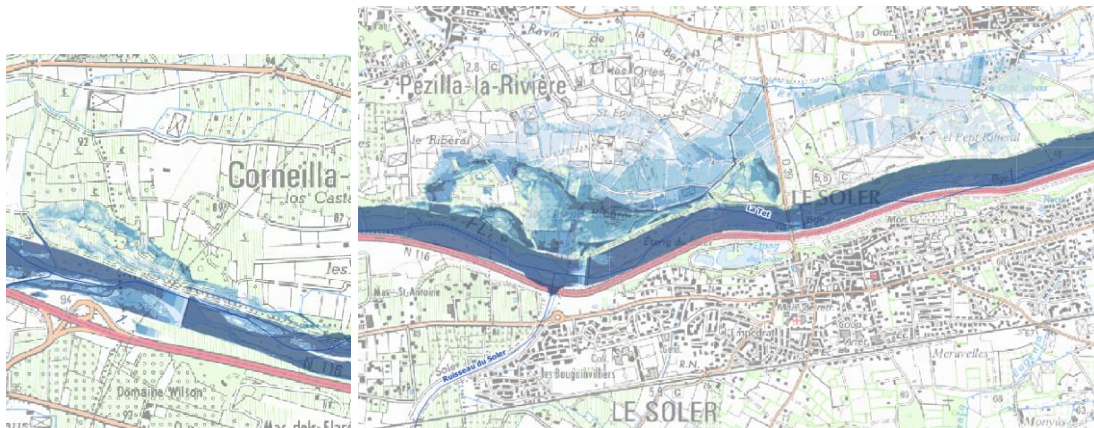


Figure 28 : Emprise des débordements à Corneilla et Pézilla pour 900 m³/s

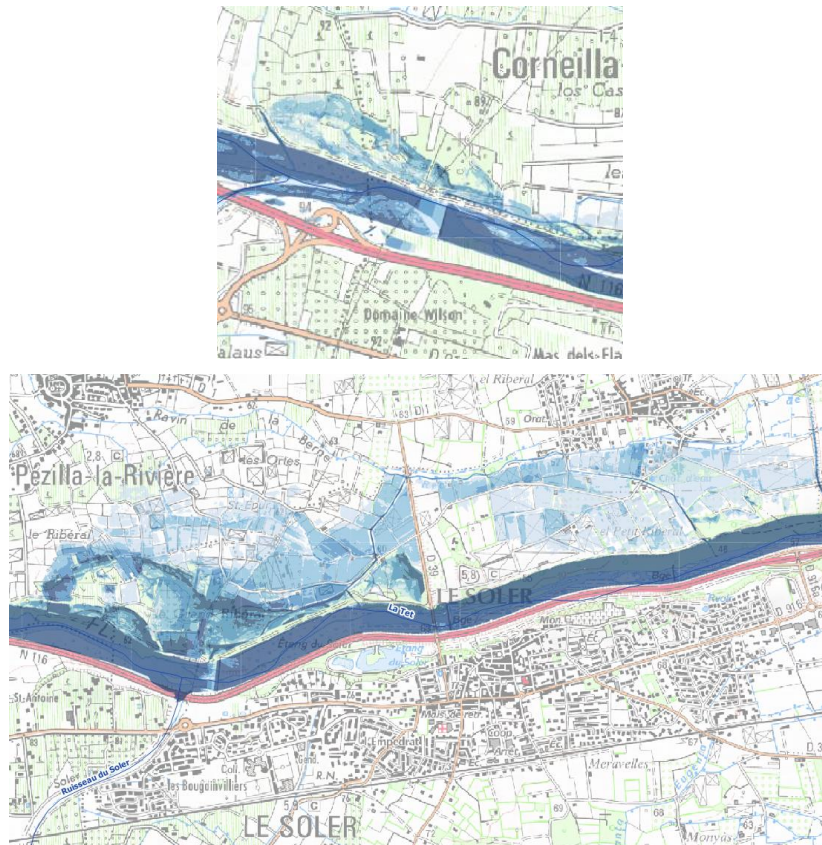


Figure 29 : Emprise des débordements à Corneilla et Pézilla pour 1000 m³/s

Les lignes d'eau maximales calculées pour les différentes crues étudiées ainsi que les lignes de berges sont présentées en annexe.

4 ETUDE DU TRANSPORT SOLIDE

4.1 SENSIBILITE DES SOUS-BASSINS VERSANTS A L'EROSION ET ZONE D'APPORTS PRIMAIRES

4.1.1 Méthodologie

Dans le cadre de cette étude et compte tenu des enjeux que peut représenter le transit sédimentaire, nous avons identifié les zones de productions privilégiées sur le bassin versant.

Avant de décrire la méthodologie appliquée, revenons sur le rôle prépondérant de la couverture végétale sur l'arrachement et le transport de sédiments. Les auteurs s'accordent pour affirmer que la végétation est le facteur majeur dans la protection des sols, dans la structuration des écoulements et de la diminution de la violence des crues. "*Quels que soient le climat, la pente, le type de sol, les phénomènes d'érosion seront médiocres si le sol est couvert à plus de 90%*" (ROOSE, 1977). Les effets en sont les suivants :

- la diminution des écoulements, liée à une meilleure utilisation des réserves en eaux, favorisant intensément l'évapotranspiration en été,
- l'augmentation de la perméabilité, liée au réseau racinaire ramifié,
- la diminution de l'énergie cinétique des précipitations, en relation avec l'effet parapluie de la végétation qui intercepte de toutes les précipitations inférieures à 2 millimètres (cette interception réduit l'impact au sol de l'eau (effet splash)),
- la diminution des quantités de matériaux érodés, Il peut y avoir une réduction d'environ 70% de l'ablation,
- un effet filtrant, favorisant la diminution de la taille des matériaux de l'amont vers l'aval,
- la protection du sol, par la présence, au fur et à mesure, d'une litière s'épaississante.

Afin de déterminer la sensibilité des sous-bassins versant à l'érosion, la carte géologique est observée pour déterminer si les dépôts sont meubles (colluvions de pente notamment, éboulis, ...) et ont une lithologie favorable.

Une analyse par photographies aériennes à partir du site web de l'IGN de la largeur des tronçons terminaux des sous bassins versants permet de déterminer un indice d'alimentation sédimentaire et de s'apercevoir comment cet indice a évolué au cours du temps.

La cartographie des secteurs les plus favorables en termes de production sédimentaires a été réalisée en appliquant une hiérarchisation des bassins versants et sous bassins versants. La méthode employée résulte des expérimentations de C. LATULIPPE et JL. PEIRY. Le découpage en sous bassins versants permet de déterminer les zones du bassin versant de la Têt aval alimentant préférentiellement le fleuve.

Au total sur le bassin versant de la Têt, 109 sous bassins versants ont été identifiés. Cette méthode ne permet pas de quantifier les apports de matières en suspension mais de sélectionner les secteurs les plus propices à fournir des matériaux directement au réseau drainant. Cette méthodologie assure un croisement de cartes thématique du substrat, d'indice de stabilité du réseau hydrographique et de carte de sensibilité des sols à l'érosion.

Les critères retenus sont :

- la morphométrie des bassins versants (longueur, pente, surface, densité de drainage, ratio de relief),
- la géologie (très favorable, favorable, non favorable)
- la couverture végétale (surfaces végétalisées, non végétalisée).

Ces paramètres sont ensuite croisés et pondérés.

Ainsi, un indice de sensibilité à l'érosion, intégrant les croisements géologiques et de végétation, est déterminé pour chaque bassin versant. Les variables morphométriques sont intégrées au calcul du coefficient de sensibilité sous la forme de coefficients multiplicateurs.

Les cartographies obtenues permettent d'identifier les apports primaires ainsi que les zones les plus propices à la fourniture de sédiment pour le fleuve. Cette information permettra de proposer des rétablissements de continuité de transit dans les secteurs qui sont favorables mais qui peuvent aujourd'hui être déconnectés de la Têt.

4.1.2 Sensibilité à l'érosion

La méthode utilisée dans cette partie se base sur les travaux de C. LATULIPPE et JL. PEIRY, afin de proposer un classement des zones potentiellement favorables à la production de sédiments, qui seront repris par les affluents de la Têt. Cette méthodologie a été adaptée notamment au niveau du critère d'analyse géologique quant à la sensibilité à l'érosion mécanique des formations. Les cartes produites fournissent des informations qualitatives sur les secteurs les plus sensibles aux agents d'érosion et par conséquent ceux qui peuvent fournir des matériaux aux cours d'eau (éléments grossiers ou fins)

a) Les variables

- Variables morphométriques

Les critères retenus sont la densité de drainage (Dd) et le ratio de relief (RR). Pour obtenir ces critères, chaque sous-bassin versant a été caractérisé selon les variables suivantes :

Type de variable	Désignation	Commentaire
Longueur des cours d'eau en fonction de son ordre	L_u	Cumul du chevelu, information la plus précise possible (km) – BD carthage
Longueur du Bassin	L_b	
Surface du Bassin	A	
Dénivelée du bassin	$\Delta_h = Z_{\max} - Z_{\min}$	
Variables morphométriques		
Densité de drainage	$Dd = (\sum L_u) / A$	La densité de drainage témoigne des potentialités de dissection d'un bassin versant (traduit l'intensité de la connexion des versants avec les lits fluviaux)
Ratio de Relief	$RR = \Delta_h / L_b$	Le RR témoigne du potentiel d'activité des processus géomorphologique gravitaires (potentiel des processus d'érosion)

Tableau 21 : Tableau des variables morphométriques

- Variable géologique : les formations géologiques ont été regroupées au sein de 3 catégories (en fonction de leurs sensibilités aux agents d'érosion) :
 - très favorable,
 - favorable,
 - non favorable.

Ce regroupement a été réalisé par l'analyse des cartes géologiques ainsi que par l'interprétation de la sensibilité des roches aux processus d'érosion (caractéristiques d'érodabilité). Ont été considérées comme « non favorable » à la production de sédiments, également l'ensemble des zones urbaines (sol protégés).

- Variable végétale : l'absence de végétation contribue au ruissellement de surface et par conséquent à l'arrachement des sédiments et à leur transport vers l'exutoire du bassin versant. Deux classes ont été identifiées en fonction du type d'occupation du sol issue du référentiel Corine Land Cover de 2012 (ci-dessous). Il s'agit d'un pourcentage du type d'occupation de sol. Les terrains en jachère (non végétalisés une partie de l'année) ont été considérés comme végétalisés

Catégorie	Caractérisation du type par catégorie
Sol nu (dans ces espaces)	Emprise tissu urbain continu et discontinu, zone industrielles et commerciales, réseaux et infrastructures routières,
Sol végétalisé	Forêts, végétation arbustive, végétation clairsemée, marais maritimes

Tableau 22 : Catégorisation du critère végétal

b) Le croisement

Un croisement entre les paramètres issus de la géologie et de la couverture végétale est réalisé ce qui permet de faire ressortir 6 combinaisons possibles :

- géologie favorable :
 - sol nu (FN)
 - sol végétalisé (FV),
- géologie très favorable :
 - sol nu (TFN),
 - sol végétalisé (TFV),
- géologie non favorable :
 - sol nu (NFN),
 - sol végétalisé (NFV).

Les résultats de ces combinaisons sont exprimés en % de la superficie du sous bassin versant concerné.

A ces combinaisons sont affectés des coefficients pondérateurs en fonction de leur potentialité à produire des sédiments (S_{maxj}).

Combinaison	Sensibilité maxi (S_{maxj})
Géologie Très Favorable et sol Nu (TFN)	50
Géologie Favorable et sol Nu (FN)	25
Géologie Très Favorable et sol Végétalisé (TFV)	10
Géologie Non Favorable et sol Nu (NFN)	10
Géologie Favorable et sol Végétalisé (FV)	5
Géologie Non Favorable et sol Végétalisé (NFV)	0

Tableau 23 : Coefficient pondérateur en fonction de leur potentialité à produire des sédiments

Pour chaque variable les sensibilités des autres bassins versants ont été calculés selon la formule suivante :

$$S_{ij} = (V_{ij}/V_{maxj}) * S_{maxj}$$

Avec i : n° de l'individu,

j : n° de la variable,

S_{ij} : sensibilité de l'individu i pour la variable j ,

V_{ij} : valeur de la variable j pour l'individu j ,

V_{maxj} : valeur maximum de la variable j ,

S_{maxj} : sensibilité maximum pour la variable j .

L'identification et la hiérarchisation des zones de fortes productions de sédiments se calculent par la mise en place d'un indice de sensibilité global à l'érosion. Ce calcul est réalisé en deux étapes :

- le croisement entre la carte géologique et celle de l'occupation du sol (calcul d'une variable S_i),
- les indices morphométriques ont été intégrés sous forme de coefficient multiplicateur qui vient pondérer la variable S_i (Cm^{Dd} et Cm^{RR}).

Des coefficients multiplicateurs (Cm^{Dd} et Cm^{RR}) ont été déterminés de manière diminuer ou renforcer les valeurs des coefficients S_i (S_i = somme des S_{ij} de chaque sous bassins versants)

Les équations sont représentées ci-dessous

- $Cm^{Dd} = 0,34 * Dd + 0,565$
- $Cm^{RR} = 1,667 * RR + 0,667$

L'ensemble de ces données a permis de calculer l'indice de sensibilité globale SG_i pour chaque bassin versant et ont permis de les classer en 5 classes d'érodabilité :

$$SG_i = Cm^{Dd} * Cm^{RR} * S_i$$

c) Analyse des sous bassins versant de la Têt

- Critère morphologique

Le bassin versant de la Têt en aval du barrage de Vinça a été découpé, pour les besoins de l'analyse morphologique en 109 sous bassins versants. Nous avons particulièrement détaillé les sous-bassins versant en amont de Perpignan, car les apports, sur le secteur d'étude, proviennent intégralement de l'amont. La figure suivante les localise :

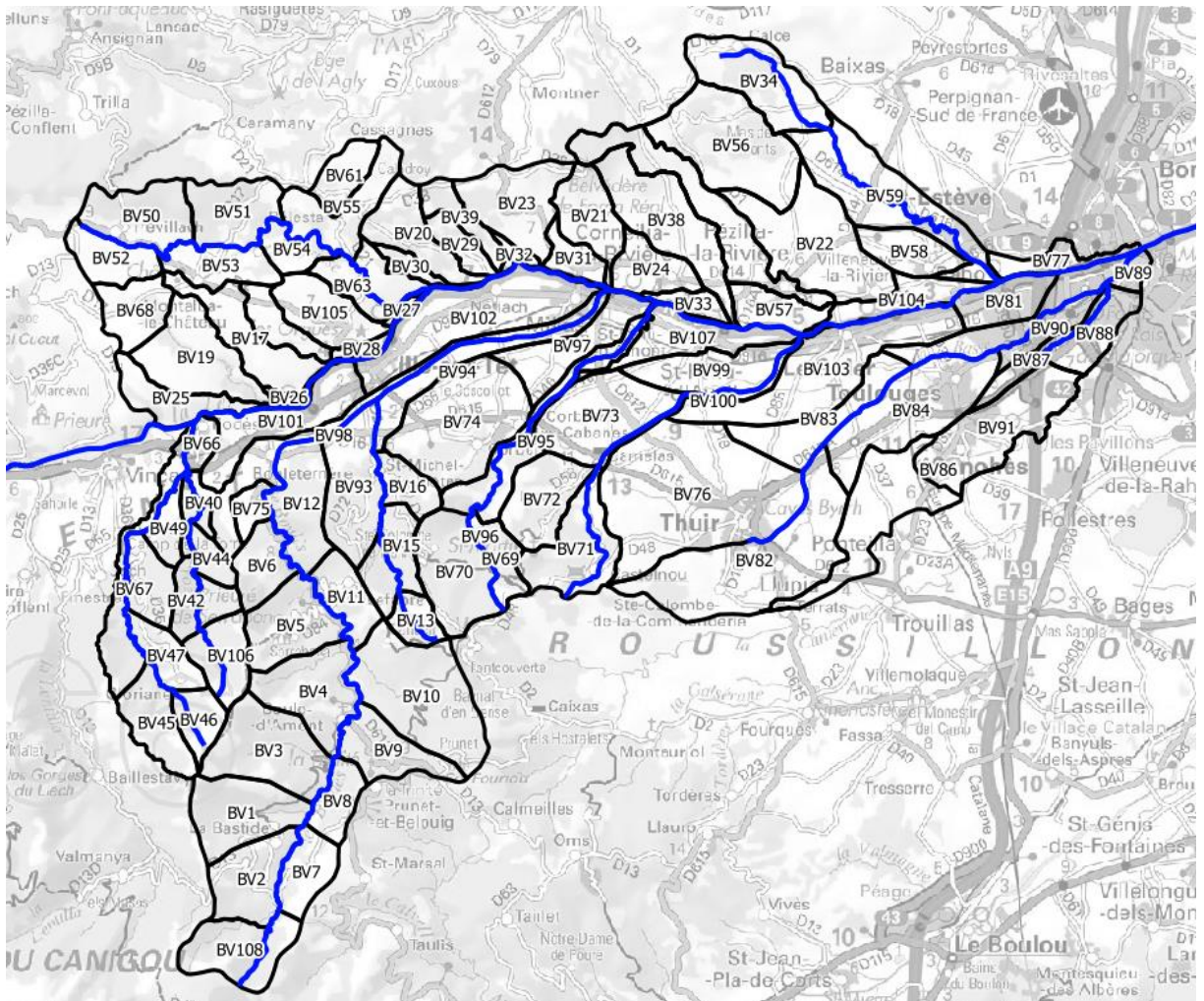


Figure 30 : Les sous-bassins versants morphologiques entre Vinça et Perpignan

Le tableau en annexe 1 synthétise les critères morphologiques pour l'ensemble sous-bassins versant de la Têt. Les paramètres morphologiques ont permis de déterminer une densité de drainage et un ratio de relief, paramètres utilisés dans le croisement pour déterminer des coefficients multiplicateurs.

- Critère géologique

La cartographie suivante synthétise le critère géologique en classant le potentiel d'érodabilité des sols en fonction de la géologie. On constate que le bassin versant amont n'est pas favorable à l'érosion à l'exception de bandes de formations pélitiques, plus tendres. Le long des cours d'eau et sur la partie de la plaine alluviale, les formations géologiques sont constituées majoritairement de colluvions, d'alluvions ou encore de limons et de marnes, rendant les sols très favorables à l'érosion.

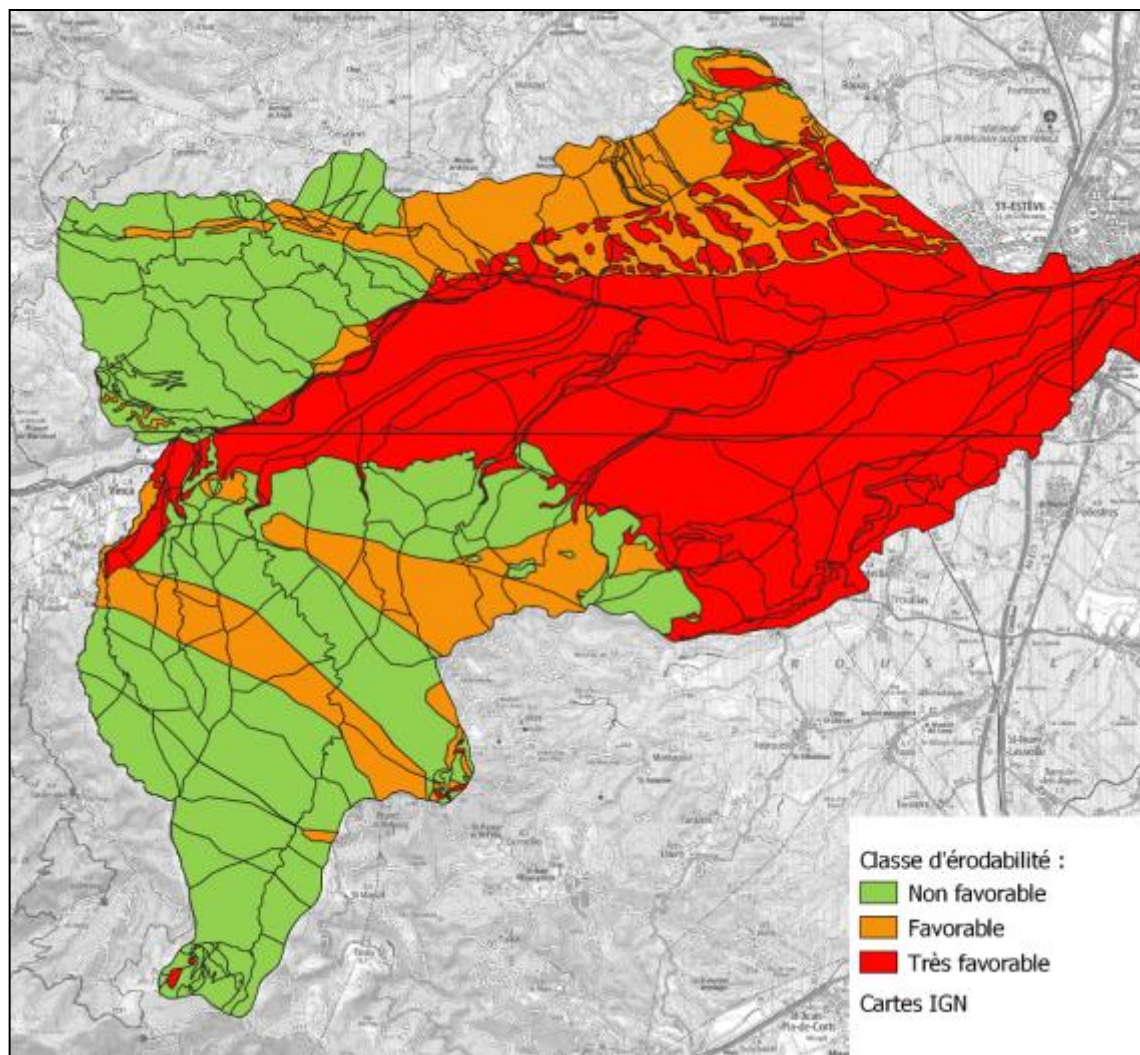


Figure 31 : Cartographie de l'érodabilité des sols, entre Vinça et Perpignan, en fonction du critère géologique

- Critère végétal : la cartographie suivante synthétise le critère végétal en se basant sur l'occupation des sols. On notera un bassin versant très végétalisé à l'exception des zones urbaines.

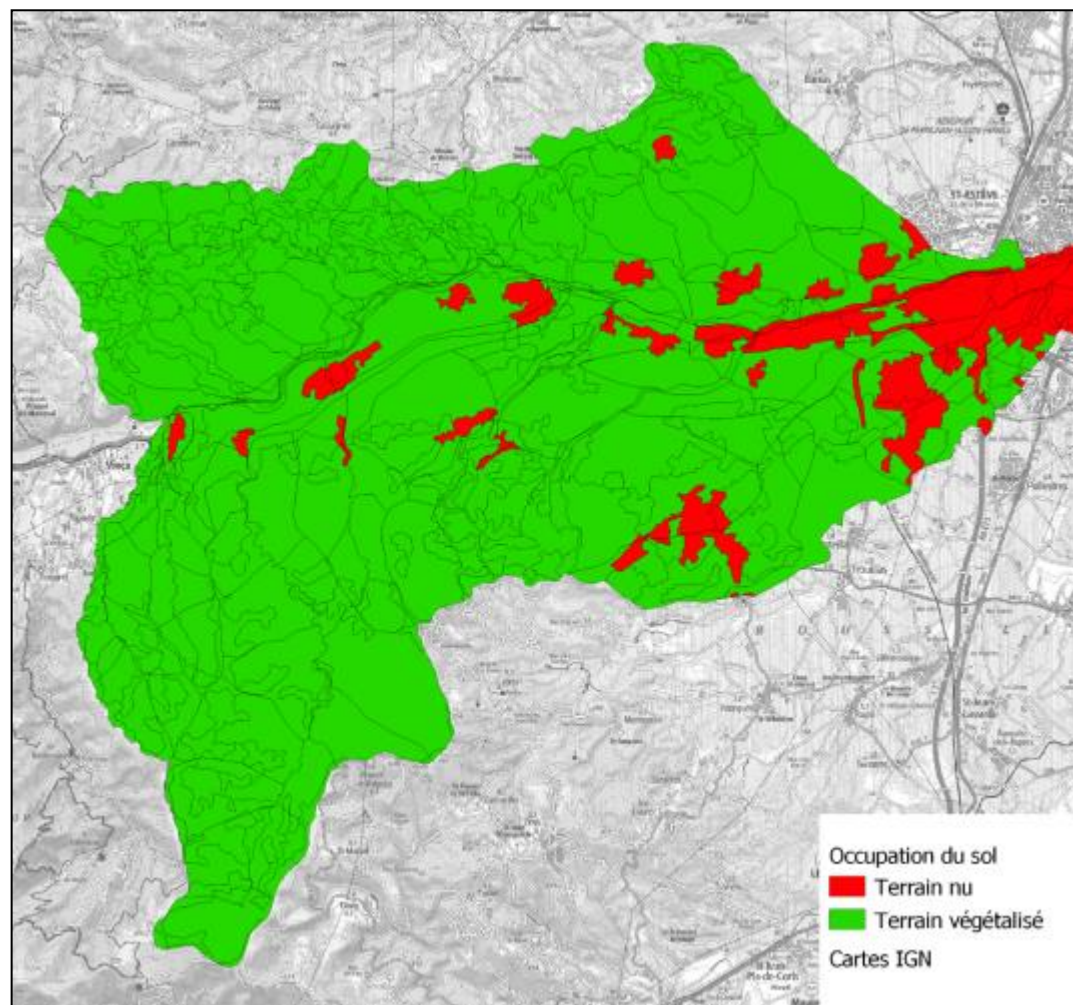


Figure 32 : Cartographie de l'occupation du sol sur le critère végétal, entre Vinça et Perpignan

- Croisement – sensibilité à l'érosion des sous-bassins versant de la Têt

Comme précisé dans la méthodologie présentée précédemment, le croisement des 3 critères (morphologique, géologique et végétation), permet de déterminer une note représentant la sensibilité globale à l'érosion, pour chaque sous-bassin versant étudiés.

Le tableau en annexe 2 synthétise l'ensemble des notations.

Le graphique suivant classe la sensibilité globale à l'érosion par sous-bassin versant.

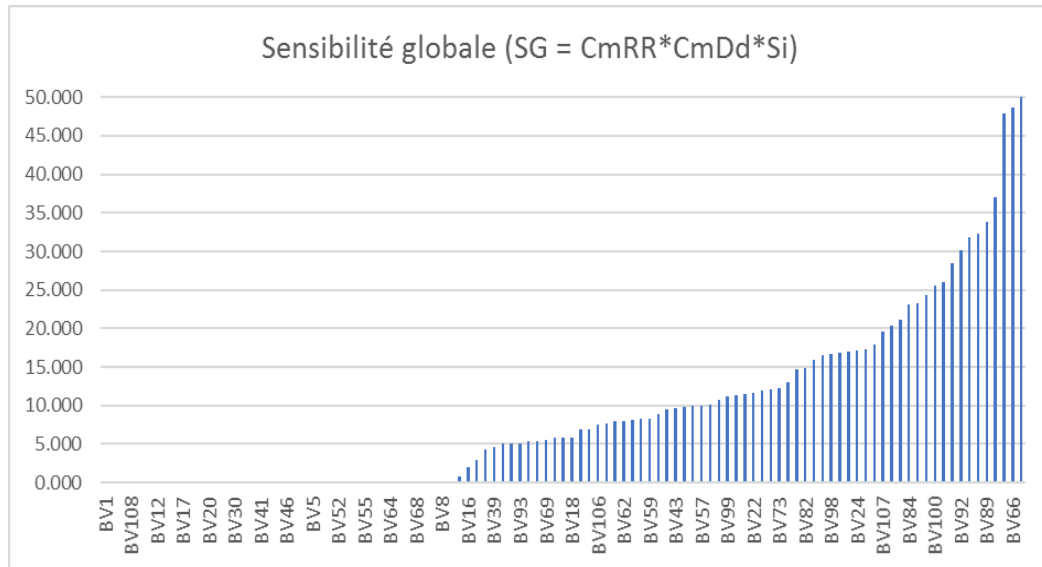


Figure 33 : Classement par sensibilité globale des sous-bassins versant

D'après ce graphe on constate qu'une petite moitié des sous-bassins versants (en nombre) présente une sensibilité à l'érosion considérée comme nulle et seuls 3 ou 4 sous-bassins versants présentent une sensibilité à l'érosion très forte. Un tiers des sous-bassins versants présentant une sensibilité à l'érosion présente une sensibilité moyenne.

La figure suivante localise les bassins versants et représente spatialement, la sensibilité à l'érosion. Ainsi le bassin versant aval de la Têt comprend 3 secteurs de sensibilité :

- **Un secteur amont avec une très faible sensibilité à l'érosion (roche peu érodable et couvert végétal important),**
- **Un secteur central avec une sensibilité à l'érosion faible à moyenne (roche érodable mais avec couvert végétal),**
- **Un secteur aval avec une forte voire très forte sensibilité à l'érosion (secteur urbanisé, faible couvert végétal et roches érodables).**

Les résultats de cette analyse permettent de localiser les versants où l'érosion mécanique est plus importante et qui seront les principaux pourvoyeurs de matériaux vers la Têt. Nous pouvons constater que :

- **les versants de la Rigarda et du Boulès, compte tenu de leur sensibilité importante à l'érosion dans leurs parties aval, sont plus propices à fournir des matériaux.**
- **les versants qui se localisent dans les formations superficielles (terrasses alluviales récentes ou anciennes, les alluvions), ou au contact de géologiques moins indurées (formations géologiques du Miocène), peuvent alimenter le transit sédimentaire du fleuve.**

Il convient de préciser que plus on se trouve dans les parties aval plus les apports seront fins en relation avec la géologie locale. Enfin cette carte permet de localiser les secteurs propices à la recharge latérale de la Têt et qu'il faudra tenter de reconnecter afin de retrouver un équilibre.

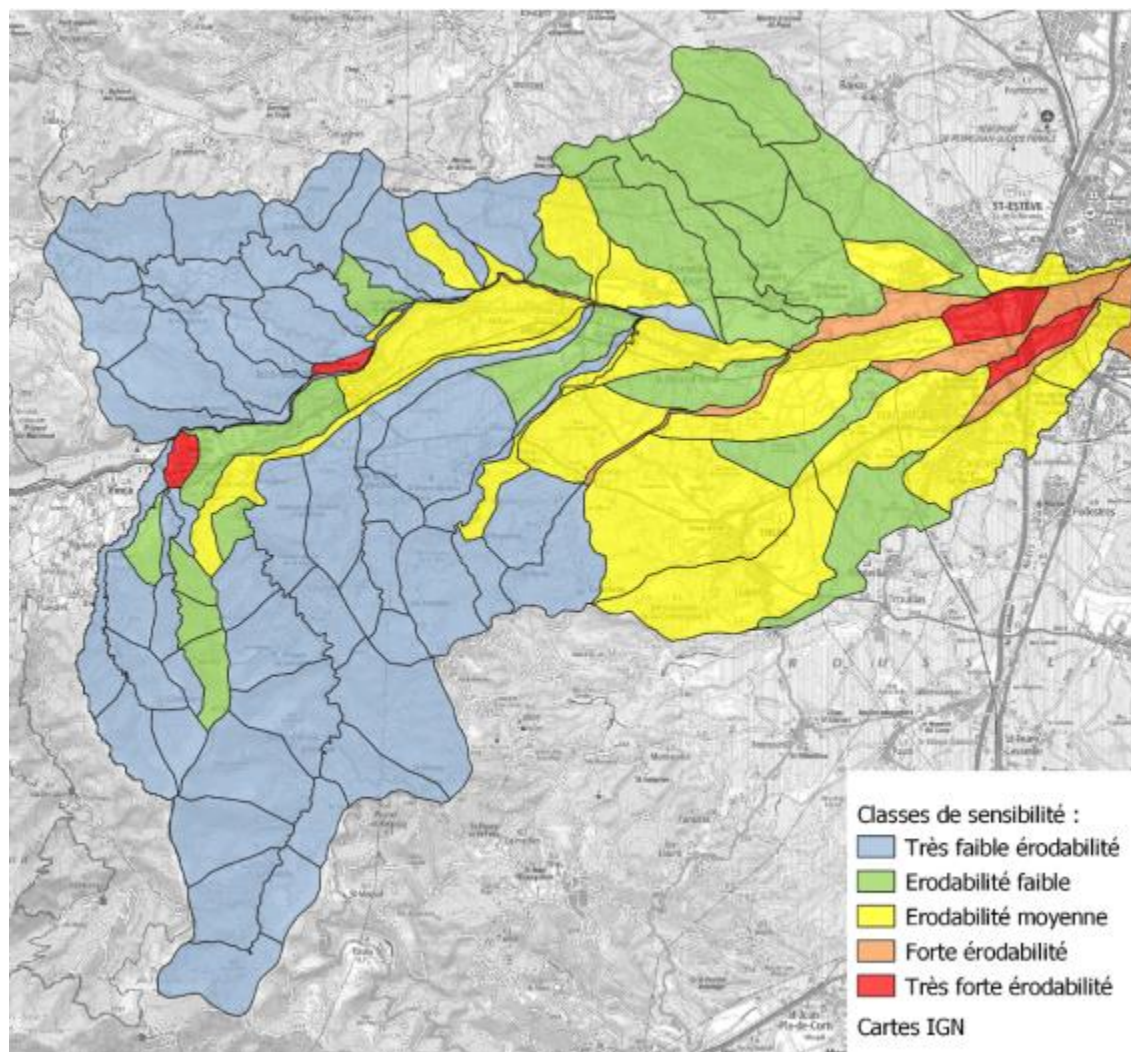


Figure 34 : Sensibilité à l'érosion entre Vinça et Perpignan

4.1.3 Zones d'apports primaires

D'après l'analyse de la photographie aérienne et d'une reconnaissance de terrain, il ressort des zones d'apports primaires (sédiments arrivant quasi-directement au cours d'eau par gravité), identifiés sur la cartographie suivante. Ces secteurs correspondent aux sédiments issus de l'érosion des versants et en contact direct avec le lit mineur (éboulis, glissements terrigènes, cône de déjections, ...). L'identification de ces secteurs couple l'analyse des cartes géologiques et l'interprétation stéréoscopique des photo-aériennes. Cette dernière permet de déterminer si ces formations détritiques sont ou non, actives et si elle se trouvent proche du lit mineur. Leurs connexions sont ensuite confirmées par les expertises de terrain afin de savoir si elles peuvent alimenter en sédiment le cours d'eau ou pas (cette déconnexion est souvent liée à des aménagements anthropiques).

Les apports connectés sont principalement localisés en aval du barrage de Vinça et majoritairement en rive gauche (6.3 km²). Ces apports primaires sont connectés au cours d'eau et permettent de l'alimenter, au regard de la géologie, en granite et en Schistes pélitiques.

En rive droite, sur le bassin versant du Soler, les apports primaires sont des formations géologiques pélitiques, les seuils présents sur le secteur ralentissent et perturbent le transit de ces apports primaires à la Têt (0.6 km²).

Enfin en aval, en rive gauche sur la commune de Sainte-Marie-la-Mer, des apports primaires sont présents dans des formations d'alluvions, et qui sont totalement déconnectés du cours d'eau en raison de la présence d'une digue non classée.

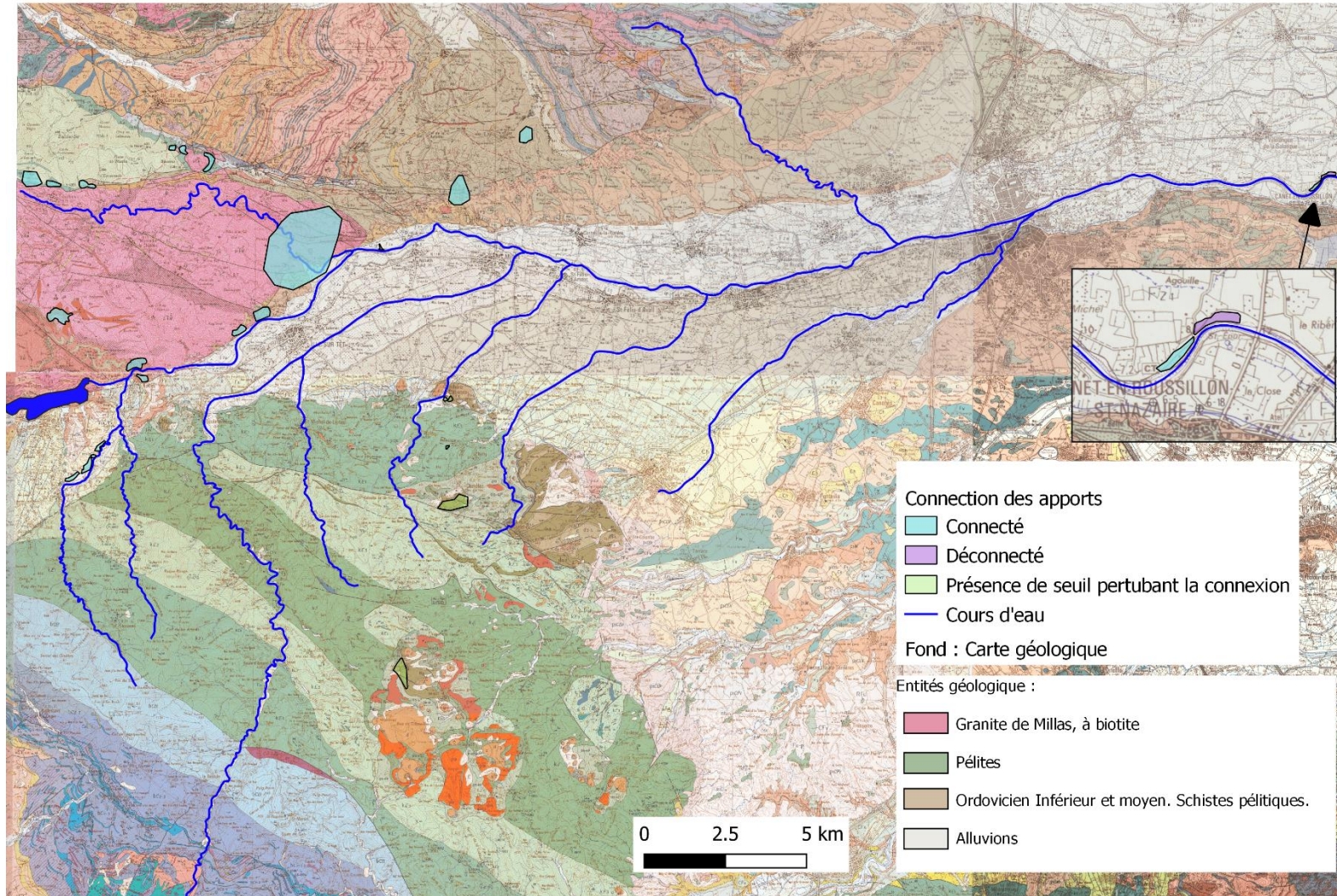


Figure 35 : Localisation des apports primaires en aval du barrage de Vinça

4.2 ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Les relevés granulométriques ont été réalisés sur le fleuve mais également sur les affluents concernés par cette étude. La méthode d'échantillonnage et la localisation des relevés sont décrites ci-dessous

4.2.1 Méthodologie

L'analyse granulométrique est réalisée en fonction de la géomorphologie du secteur et de la forme du cours d'eau. Les relevés granulométriques seront multipliés sur le secteur afin de définir :

- la résistance potentielle du lit à l'abaissement,
- le degré de pavage,
- la gamme granulométrique qui transite

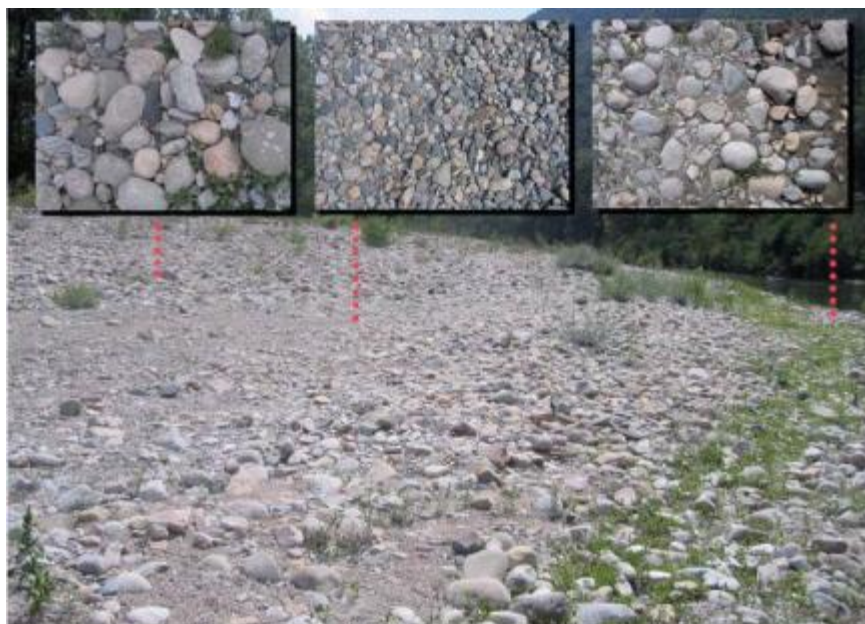


Illustration de la variabilité de la granulométrie de surface sur un banc alluvial (banc de convexité). On trouve un facteur 5 d'écart sur le D50... et la fraction la plus grossière est plutôt sur le haut du banc. En l'occurrence, on choisira la zone la plus grossière.

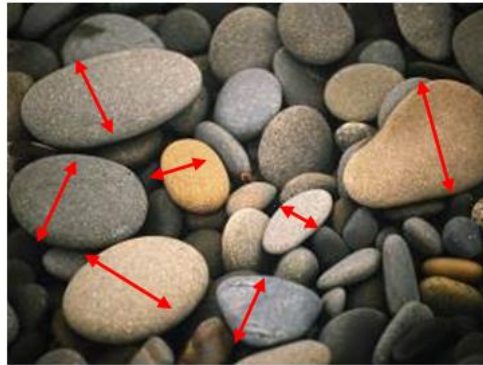
Ces mesures sont effectuées grâce à une analyse granulométrique dimensionnelle. Cela se déroule de la manière suivante :

- mesure d'un échantillon de 100 à 200 galets,
- dimensionnement de la plus grande largeur.

Cette technique est réalisée à l'aide d'un double décimètre avec un relevé tous les 20 cm (largeur et longueur). Il en suivra la réalisation d'une courbe granulométrique dont les diamètres caractéristiques seront analysés et interprétés (méthode WOLMAN). On vise à établir les données caractéristiques comme le d10, d30, le d50, le d75 et le d90.

Sur l'ensemble du bassin versant traité, une dizaine de relevés granulométriques a été réalisée. Ces relevés sont satisfaisants pour une représentation du panel des matériaux constituant le fond du lit du cours d'eau de la Têt et de ses affluents qui présentent un transport solide significatif (Le Rigarda, Le Boulès, La Ribérette, La Comelade).

La figure ci-après indique comment sont mesurés les axes intermédiaires des matériaux rencontrés :



Axes intermédiaires mesurés dans le cadre du protocole de WOLMAN

Des courbes granulométriques sont déduites les données caractéristiques d_{10} , d_{90} , d_{30} , d_{50} et d_m :

- d_{30} correspond au diamètre pour lequel 30% des grains de l'échantillon sont plus petits. Ce paramètre est représentatif des matériaux fins,
- d_{50} correspond au diamètre médian de l'échantillon,
- d_{90} correspond au diamètre pour lequel 90% des grains de l'échantillon sont plus petits. Ce paramètre caractérise les matériaux grossiers,
- d_m est le diamètre moyen de l'échantillon. Il est un bon indicateur de la granulométrie d'ensemble,
- le rapport d_{90} / d_{30} traduit l'étendue granulométrique de l'échantillon.

Sur la Têt, les prélèvements ont été réalisés afin d'avoir une représentation de l'ensemble du linéaire d'étude.

Ainsi il a été relevé sur les secteurs suivants :

- En amont, au droit de la commune de Néfiach,
- À Corneilla, en aval de la confluence avec le Boulès,
- Au droit de la STEP, en face de Saint Féliu d'amont, (en aval de la confluence avec la Comelade),
- En aval, après la traversée de Perpignan au droit de la commune de Bompas.

Sur le linéaire incisé de la Têt, aucun relevé n'a pu être réalisé car :

- soit le linéaire ne présentait pas de matériaux,
- soit les matériaux disponibles étaient ceux bloqués par un seuil et donc pas représentatifs du transport solide du secteur étudié.

La figure suivante (Figure 36) localise les sites de mesures.

Cette analyse granulométrique permet, outre le fait de quantifier le transit et de fournir un bilan sédimentaire par tronçon, de proposer le panel granulométrique efficace et à mettre en place pour la reconstruction du fond du lit dans les secteurs où l'incision a fait disparaître le manteau alluvial. En effet, si la recharge sédimentaire propose un panachage granulométrique de diamètre trop important cela favorisera la mise en place d'un armage et une homogénéisation du fond et si les sédiments sont trop fins le plancher alluvial risque de disparaître pour de petits événements.

Localisation des points de prélèvements granulométrique

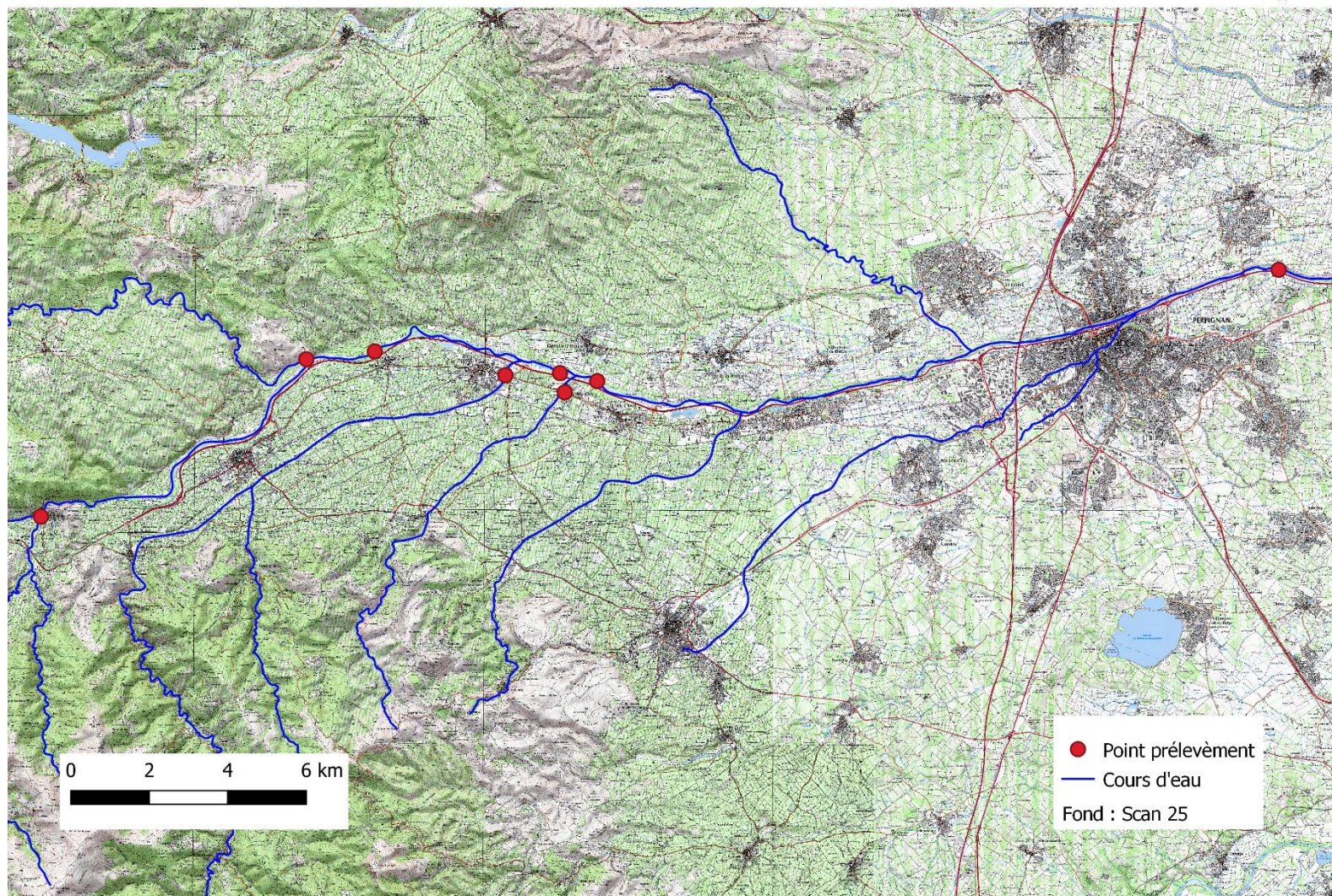


Figure 36 : Localisation des sites de mesures granulométriques

4.2.2 Analyse des données existantes

Dans les données bibliographiques, deux études ont proposé des relevés granulométriques que nous avons analysés dans le cadre de cette mission. Les relevés d'ISL (2011) ont été effectués par la méthode Wentworth, qui correspond à des qualifications plutôt orientées dans le cadre de la détermination des habitats ou micro-habitats. Il n'y a pas de quantification des éléments par tailles, correspondant au site de relevé. Il s'agit de proportions qui ne peuvent pas être utilisées dans le cadre de notre quantification (pas de d16, d30, d50, dm ...).

Les éléments présents dans l'étude de BRL de 2012 montrent deux sites ayant fait l'objet de relevés granulométriques. La méthode de prélèvements n'est pas précisée ni même la localisation des bancs expertisés. Il ressort que les résultats présentés dans le premier site à Néfiach sont proches de nos expertises avec une surreprésentation des éléments fins dans les données BRL. Ce relevé doit probablement subir l'influence du seuil dans le tri granulométrique ce qui peut être la raison de la surabondance des éléments fins.

Le second relevé de BRL, à Canet, met en avant une absence d'éléments grossiers alors que nos prélèvements à Bompas indiquent la présence de cette gamme sédimentaire (d50 BRL = 4.6 mm, d50 hydratec = 38 mm). On peut penser que ce relevé a été réalisé juste en amont du seuil de Canet induisant l'absence de la frange grossière que l'on retrouve quelques centaines de mètres en amont.

C'est pour ces raisons que nous ne pourrions pas utiliser les données issues de ces deux études.

4.2.3 Mesures in situ

Les processus de transports depuis l'amont favorisent l'abrasion des matériaux et induisent un affinage du profil granulométrique vers l'aval (Figure 37). Toutefois cette tendance peut être influencée par les apports des affluents vers le cours d'eau principal, ce qui rend ce profil non linéaire et complexifie les relevés granulométriques.

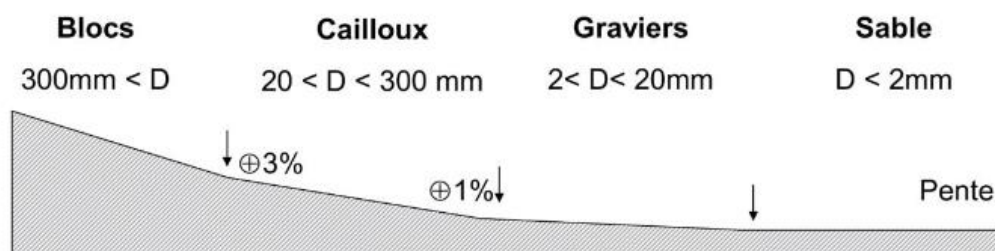


Figure 37 : Evolution de la granulométrie des cours d'eau d'amont en aval (source : Recking 2017)

La localisation des relevés est importante et ne se fait pas de façon aléatoire. L'étendue granulométrique n'est pas homogène sur l'ensemble du manteau alluvial constituant le lit mineur. En effet, l'activité hydrodynamique à l'intérieur même d'une section d'écoulement varie suivant les contraintes latérales, les variations des vitesses d'écoulement, l'occupation du sol, la sinuosité,

Les atterrissements dans le lit mineur sont donc variés tant sur le plan de leurs compositions granulométriques que sur leurs répartitions spatiales. L'intensité de crues a également un impact sur la composition et la constitution de ces bancs alluviaux.

La puissance des crues, la géométrie de la vallée et les contraintes sur le plancher alluvial sont à l'origine de l'hétérogénéité de dépôts à la fois spatialement mais également dans la composition verticale du banc. Afin d'avoir une bonne représentation du panel granulométrique il est donc primordial de prendre en considération l'ensemble de ces paramètres.

L'analyse des mesures in situ a permis de réaliser des graphiques représentant la répartition des matériaux en fonction de leur taille. On peut ainsi distinguer, du plus petit mesuré au plus grossier, les sables (<à 2mm), les graviers (de 2mm à 64mm), les galets (64mm à 264mm) et enfin les blocs (> 256mm). Ces mesures ont également permis de réaliser des courbes granulométriques qui seront interprétées pour chaque cours d'eau.

4.2.4 Eléments de l'analyse

Les éléments qui sont analysés avant d'effectuer le bilan sédimentaire permettent de décrire l'activité hydrodynamique locale. En effet, suivant l'intensité des crues qui se sont produites sur le bassin versant et suivant leurs espacements dans le temps, on peut constater une migration des éléments les plus fins vers l'aval laissant sur place les éléments les plus grossiers. Cette couche plus grossière protège ainsi les couches sous-jacentes ; c'est le phénomène d'armurage du manteau alluvial. Poussé à son paroxysme l'armure peut se transformer en pavage, couche qui ne sera détruite que pour les événements extrêmes dans le cours d'eau. L'analyse de la forme des courbes granulométriques indique la présence ou non d'une armure dans le cours d'eau.

Nous utiliserons également la notion de classement limite d'une armure mature de Chin et al (1994) pour confirmer l'analyse des courbes granulométriques et les expertises de terrain. L'indice de tri granulométrique (S_o) qui sera calculé permettra de mettre en avant le comportement hydrodynamique des cours d'eau (Figure 38) ainsi que le calcul de l'étendue granulométrique qui renseignera l'hétérogénéité des apports.

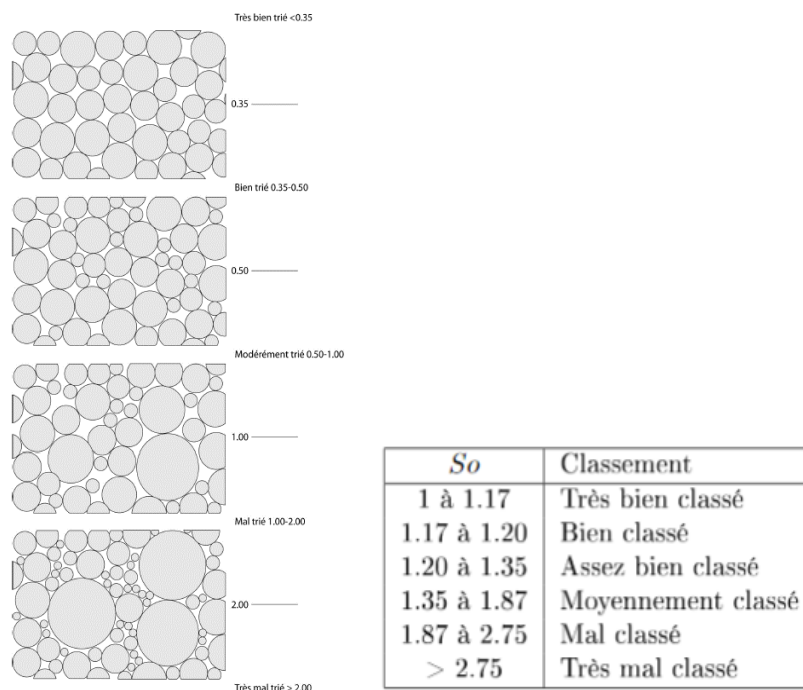


Figure 38 : indice de Tri (S_o)

4.3 QUANTIFICATION DU TRANSIT SEDIMENTAIRE

4.3.1 Méthodologie de calcul

Les calculs sont effectués à partir des résultats des courbes granulométriques issues des relevés de terrain telles que présentées ci-après et des débits liquides calculés au paragraphe précédent (chap. 2).

L'estimation du transport solide est effectuée grâce aux formules de Sogreah-Lefort de 1991, Meunier, Rickenmann, Recking 2008, Lefort 2007 et Lefort 2015. Ces dernières qui comprennent des domaines de validité spécifiques, ne pourront pas être toutes utilisées sur certains tronçons des cours d'eau. Donc sur chaque tronçon homogène, le calcul fait appel aux formulations dont le domaine de validité est vérifié.

La quantification des apports compte tenu des incertitudes, se base sur la potentialité du transport solide, ce qui propose un ordre de grandeur du transit sédimentaire (soit par type de crue, soit en fonction du bilan annuel en relation avec les débit classés). Les formules que nous utilisons sont présentées dans le tableau ci-dessous avec leurs champs d'application.

Formules Globales		
Types de cours d'eau	Formule	Champ d'application
Torrents à fortes pentes formule de MEUNIER	$Qs/Q = 8.2i^2$ Qs= transport solide en m ³ /s Q= débit liquide et i = la pente	Torrents à forte pente et pour des très fortes crues.
Rivière torrentielle ou de piedmont SOGREAH-LEFORT	$Qs/Q = 2.7 (d90/d30)^{0.2} i^{1.5} \times (1 - (Q0/Q)^{0.375})$ Q0 début d'entraînement d90 et d30 diamètre en % d'une classe	Pente entre 20% et 0.2% diamètre > à 1mm Q/Q0 > 25
LEFORT 2007	$Gs = 0.0864 Cpm Q$	champ d'application étendu
RECKING 2009	$q_s [m^3 / s / m] = 15.6 \sqrt{g(s-1)D_{50}^3} (\theta - \theta_c)^2$ si $\theta < 0.65S^{0.41}$ $q_s [m^3 / s / m] = 14 \sqrt{g(s-1)D_{50}^3} \theta^{2.45}$ si $\theta > 0.65S^{0.41}$	Validité pente 0.1 à 20%
Lit à chenal simple MEYER-PETER	$Qs/Q = 0.91 i^{7/6} \times (1 - (Q0/Q)^{3/8})$	Diamètre > à 0.6mm pente < à 2.5%

Tableau 24 : formule de quantification du transport solide

La formule de Lefort de 2015 fera partie également de nos calculs (énoncée en annexe 4). Cette dernière permet de mieux prendre en considération l'étendue granulométrique et permet également de faire une distinction entre différents débits de mise en mouvement.

On notera que la pente est un paramètre majeur dans les formules de calcul de transport solide. Cette variable permet au cours d'eau d'adapter la pente de son profil en long en relation avec le transit sédimentaire effectif des parties amont. La pente et les débits (liquide et solide) jouent un rôle prépondérant dans le début de mise en mouvement des matériaux. Les variations d'un des deux paramètres entraînent des ajustements longitudinaux et latéraux des bandes actives de l'hydrosystèmes. Les débits actuels étant connus, les bilans sédimentaires par tronçons indiqueront les volumes théoriques qui arriveront dans un tronçon situé directement en aval. Si les capacités de charriage sont plus importantes que les apports, on assistera à un déséquilibre sédimentaire ce qui impliquera une tendance à l'incision. En faisant varier la variable pente sur un tronçon on peut ainsi tendre vers un équilibre entre les apports direct de l'amont et la capacité de transit du tronçon afin que le

bilan soit neutre. C'est cette option qui est choisie sur la Têt pour définir le profil d'équilibre de projet.

Ces formules permettent d'accéder à la relation donnant la potentialité de transport solide du matériau constituant le fond en fonction du débit liquide. L'application de cette loi de transport à la courbe des débits classés permettra de calculer le transport solide annuel dans chaque section.

Pour chaque point de mesures, un tableau donne une estimation du volume total charrié pour des crues de période de retour 2, 5, 10, 30 et 100 ans sur chaque tronçon homogène. Afin de prendre en compte les incertitudes de ces estimations, il est proposé un encadrement des quantités obtenues par des bornes inférieures et supérieures.

Nous proposerons également un bilan des apports annuels pour la Têt et ses affluents étudiés.

4.3.2 Quantification du transit sédimentaire des affluents

a) La Rigarda

Sur cet affluent rive droite, deux prélèvements ont été réalisés à proximité de la Têt. Les résultats sont présentés ci-dessous.

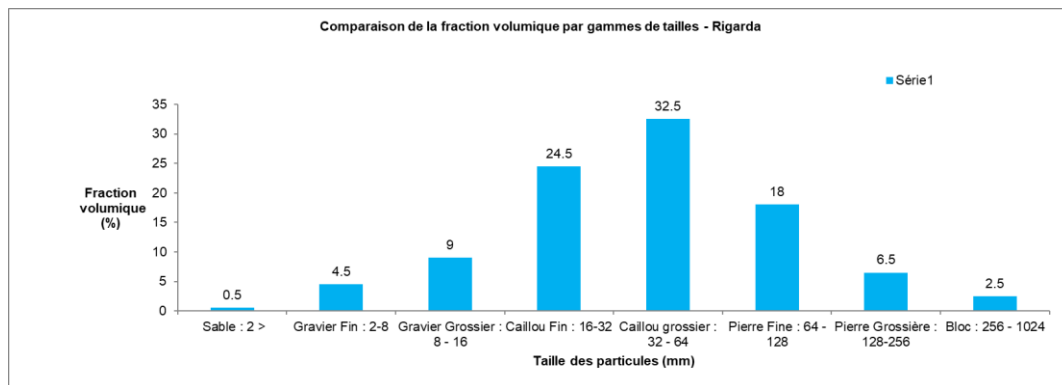


Figure 39 : fraction volumique de taille sur la Rigarda

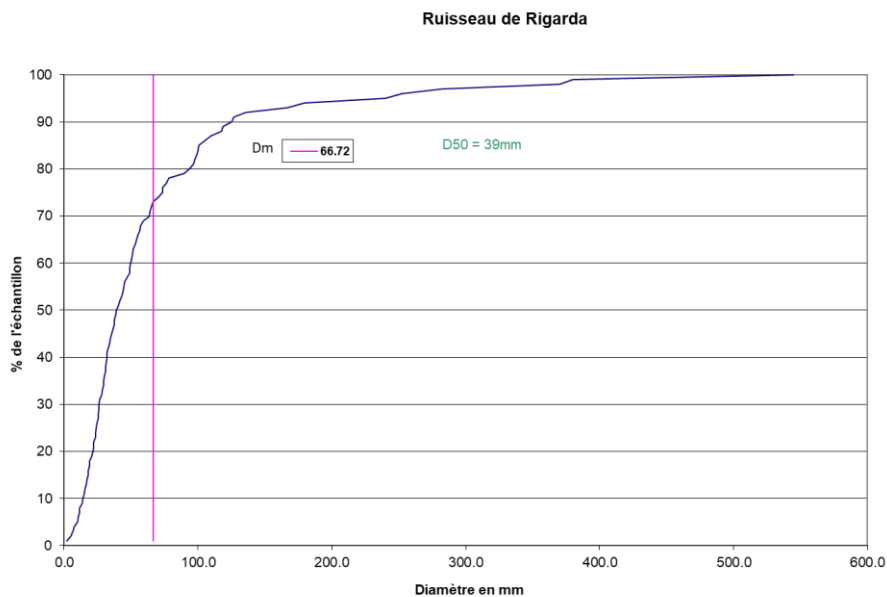


Figure 40 : courbe granulométrique – Rigarda

Pente moyenne en m/m	Granulométrie en m					Indice de Tri (So)	Etendue granulométrique D90/D30	Indicateur d'Armure (ia) : D99/D50
	D30	D50	D75	D90	Dm			
0.0158	0.026	0.039	0.074	0.125	0.067	1.75	4.8	9.7

Tableau 25 : synthèse des données granulométriques sur la Rigarda

L'analyse des données de terrain permet de mettre en avant une bonne étendue granulométrique avec une faible représentation des éléments les plus fins (Tableau 25). Ces derniers sont très fréquemment mis en mouvement et transportés par la Rigarda et repris par la Têt. On peut noter la présence de quelques gros blocs qui faussent l'indicateur d'armure, très élevés ici. Ces gros blocs ne sont aujourd'hui que très difficilement mobilisables comme en témoigne leur décoloration de surface qui nous indique une absence de mouvement (Figure 41). Il semble que les compétences de transport de la Rigarda ne soient plus suffisantes pour faire transiter cette gamme granulométrique jusqu'au fleuve.

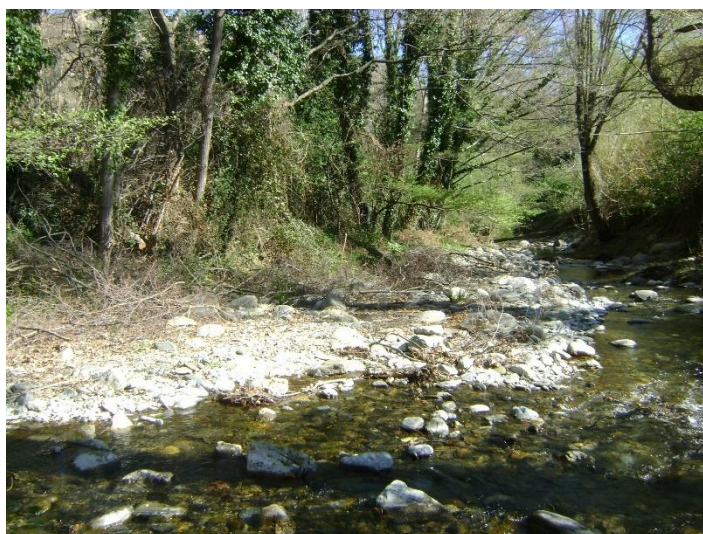


Figure 41 : Décoloration des blocs en surface

Le mauvais triage nous renseigne sur une rivière à la dynamique plutôt torrentielle. Les bancs sur la Rigarda fournissent régulièrement et quantitativement des matériaux pour la Têt amont mais plutôt sur la fraction fine des sédiments.

Les apports pour les crues qui peuvent se produire sur le bassin versant de la Rigarda, se trouvent ci-dessous (Tableau 26).

Evaluation du volume total charrié (m ³ / Crue)					
	Période de retour				
	2ans	5 ans	10 ans	30 ans	100 ans
Moyenne	625	1200	1900	2950	4250
Borne Inf	500	950	1500	2350	3400
Borne Sup	750	1450	2300	3550	5100

Tableau 26 : volumes charriés en crue à l'exutoire de la Rigarda

b) La Ribérette

Sur cet affluent rive gauche, deux prélèvements ont été réalisés à proximité de la Têt. Les résultats sont présentés ci-dessous.

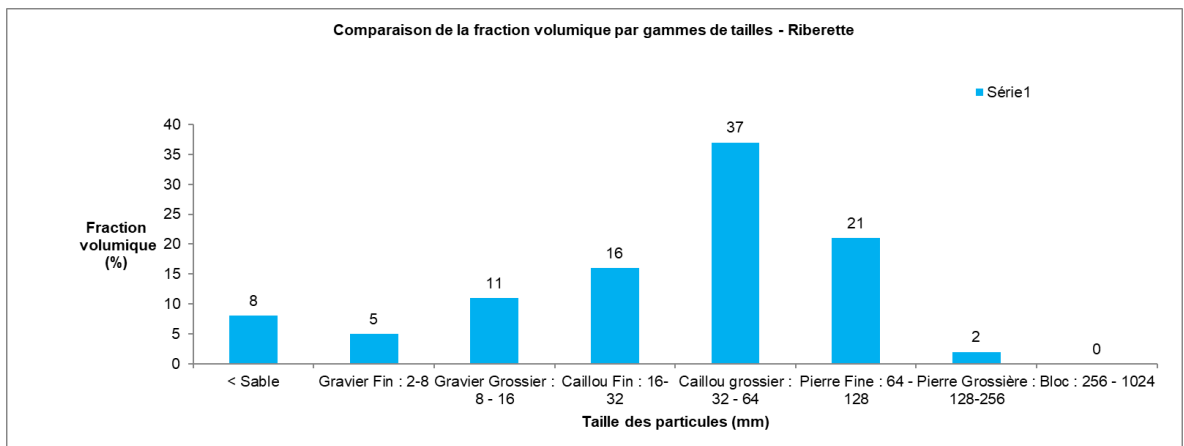


Figure 42 : fraction volumique de taille sur la Ribérette

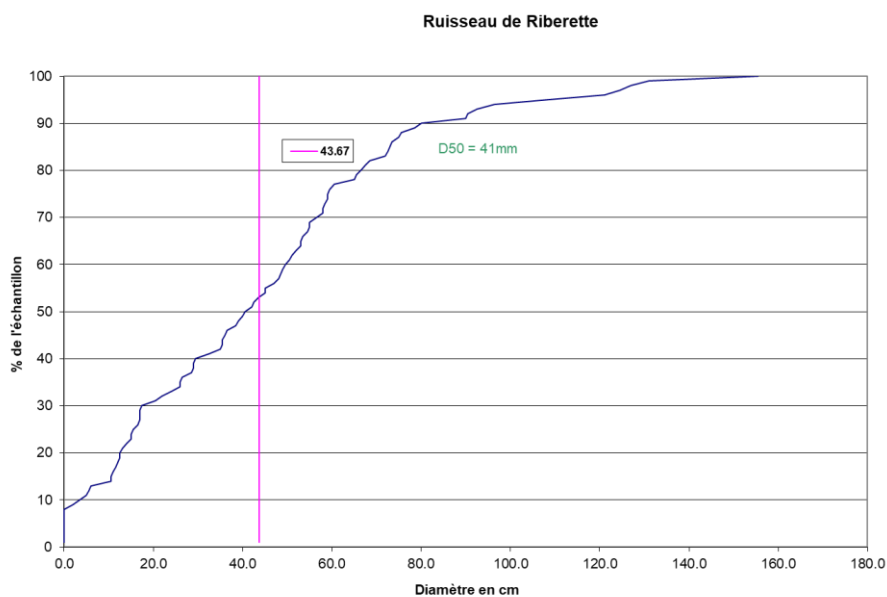


Figure 43 : courbe granulométrique – Ribérette

Pente moyenne en m/m	Granulométrie en m					Indice de Tri (So)	Etendue granulométrique D90/D30	Indicateur d'Armure (ia) : D99/D50
	D30	D50	D75	D90	Dm			
0.0098	0.018	0.041	0.059	0.08	0.044	1.95	4.5	3.2

Tableau 27 : synthèse des données granulométriques sur la Ribérette

Les apports de la Ribérette sont très hétérogènes comme le montre le calcul de l'étendue granulométrique. **L'armurage n'est pas présent sur ces bancs alluviaux d'aspect très mobiles.**

Il convient de préciser que les deux relevés granulométriques mettent en avant des résultats diamétralement opposés :

- Celui réalisé le plus en aval subit très certainement l'influence des crues de la Têt avec des dépôts plus fins (décantation de fins de crue) qui entraînent donc une surestimation de la fraction fine de notre relevé.
- L'échantillon réalisé plus en amont comporte une frange grossière bien plus importante avec très peu d'éléments de petites tailles.

La décroissance du panel granulométriques sur la Ribérette est très rapide sur le linéaire étudié. Ce constat permet d'avancer que les apports de cet affluent viennent subitement se déposer au contact de la plaine alluviale de la Têt, à la faveur d'une diminution brutale de la pente, formant ainsi une vaste zone d'épandage sédimentaire. Cette dernière était connectée à la Têt par un chenal de crue qui permettait de récupérer de façon plus directe les matériaux les plus grossiers de cet affluent.

Il convient de préciser que l'orientation brutale du lit mineur de la Ribérette vers le nord-est au droit du lieu-dit « Pla de Reglèlla » a très peu évolué historiquement et reste à mettre en relation avec l'hydrodynamisme du fleuve dans ce secteur. La Têt dans cette partie a repoussé le tracé de son affluent vers le versant rive gauche, vers les parties externes de son lit majeur, à la faveur des crues et des bancs alluviaux déposés (élargissement conséquent du plancher alluvial favorable à la création de bancs sédimentaires).

Ainsi la Ribérette s'écoule en lit majeur où la pente est faible assurant une décroissance granulométrique des apports jusqu'à la confluence (autre cause de la surreprésentation des éléments fins du relevé granulométrique aval). La présence d'ouvrage réduisant significativement la divagation en rive gauche ne permet plus de mobiliser les matériaux les plus grossiers issus du bassin versant de la Ribérette et les apports actuels au fleuve sont de tailles plus fines.

L'analyse des cartes anciennes confirme ce système de fonctionnement. On peut avancer que les apports de la Ribérette sont très rapidement repris par la puissance des écoulements du fleuve (compte tenu de forte proportion de sédiments de tailles moyennes). Cet affluent devait être un pourvoyeur de sédiments importants que le cours d'eau principal venait récupérer par sapement de berges en rive gauche. Avec les aménagements anthropiques les connexions latérales Têt/Ribérette ont quasiment disparu et les échanges sédimentaires ne se produisent que sur la partie terminale de la confluence.

Dans ce contexte nous avons donc pris la moyenne des 2 échantillons pour une représentativité du fonctionnement actuel du transit sur ce cours d'eau et sa quantification en amont

Les apports pour les crues qui peuvent se produire sur le bassin versant de la Ribérette, se trouvent ci-dessous (Tableau 28).



Evaluation du volume total charrié (m ³ / Crue)					
Période de retour					
	2ans	5 ans	10 ans	30 ans	100 ans
Moyenne	1100	1850	2750	4075	5650
Borne Inf	900	1500	2200	3250	4500
Borne Sup	1300	2200	3300	4900	6800

Tableau 28 : volumes charriés en crue à l'exutoire de la Ribérette

c) Le Boulès

Sur cet affluent rive droite, deux prélèvements ont été réalisés à proximité de la Têt. Les résultats sont présentés ci-dessous.

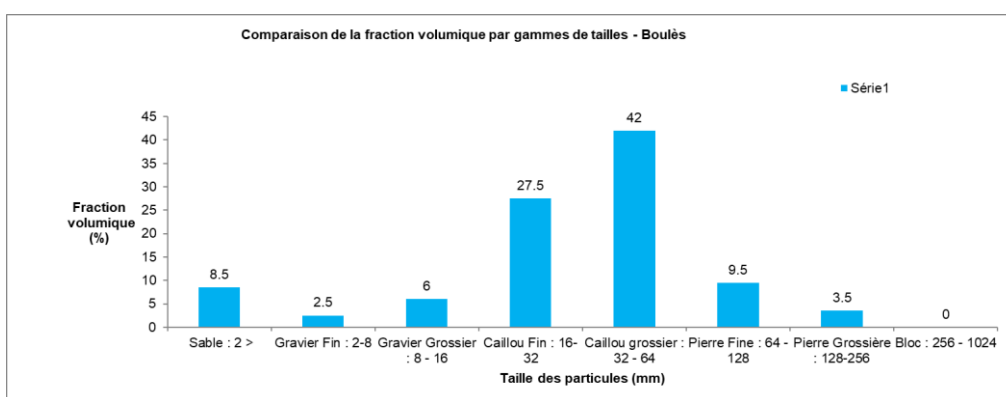


Figure 44 : fraction volumique de taille sur le Boulès

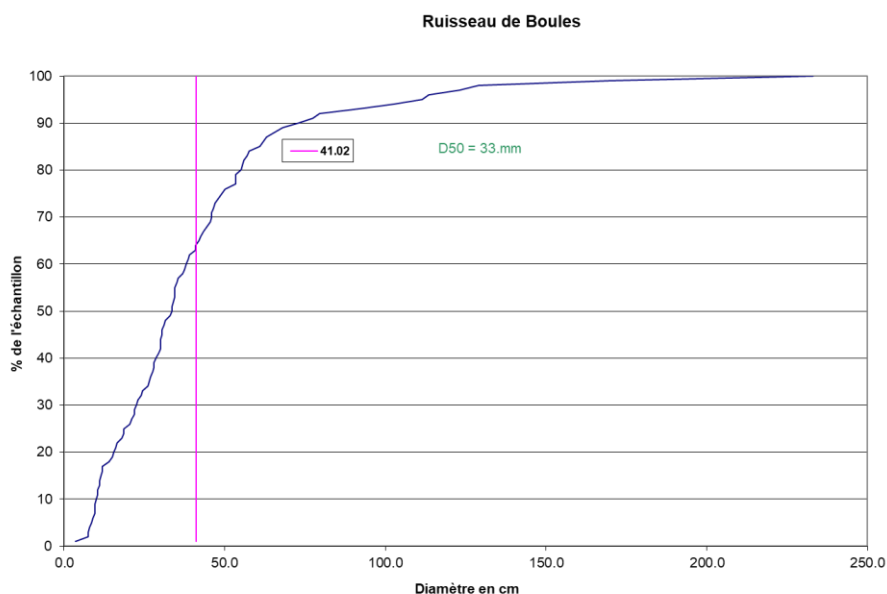


Figure 45 : courbe granulométrique – le Boules

Pente moyenne en m/m	Granulométrie en m					Indice de Tri (So)	Etendue granulométrique D90/D30	Indicateur d'Armure (ia) : D99/D50
	D30	D50	D75	D90	Dm			
0.0072	0.023	0.034	0.049	0.073	0.041	1.62	3.2	5.1

Tableau 29 : synthèse des données granulométriques sur le Boules

L'artificialisation du lit mineur impacte le fonctionnement du transit sur le Boulès, bien que ce dernier fournisse la majeure partie des apports de la Têt en aval de Vinça. La chenalisation a entraîné une nouvelle forme de comportement hydrodynamique. Ce cours d'eau, autrefois divagant dans un lit mineur constitué de bancs sédimentaires, s'écoule actuellement dans un chenal déconnecté de sa plaine alluviale et surdimensionné. Cela se traduit par une diminution des processus de transport comme l'indique l'indice de tri faible et l'absence de sédiments grossiers qui se trouvent bien en amont de la confluence. **La courbe granulométrique nous indique que le panel granulométrique se concentre sur quelques valeurs qui se trouvent être ici la gamme des cailloux fin à grossiers. L'absence de connexions latérales amplifie l'homogénéisation de la taille des matériaux constituant les bancs sédimentaires.**

Les apports pour les crues qui peuvent se produire sur le bassin versant du Boulès, se trouvent ci-dessous (Tableau 30).

Evaluation du volume total charrié (m ³ / Crue)					
	Période de retour				
	2ans	5 ans	10 ans	30 ans	100 ans
Moyenne	2225	3500	5050	7350	9600
Borne Inf	1750	2800	4050	5900	8000
Borne Sup	2700	4200	6050	8800	11200

Tableau 30 : volumes charriés en crue à l'exutoire du Boulès

d) La Comelade

Sur cet affluent rive droite, deux prélèvements ont été réalisés à proximité de la Têt. Les résultats sont présentés ci-dessous.

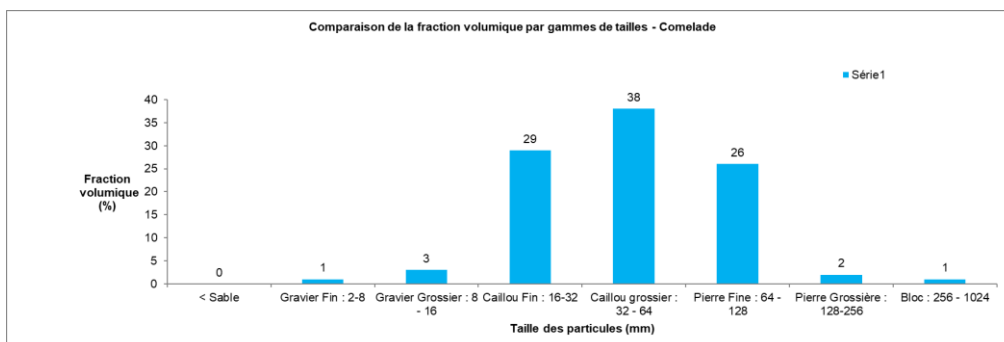


Figure 46 : fraction volumique de taille sur la Comelade

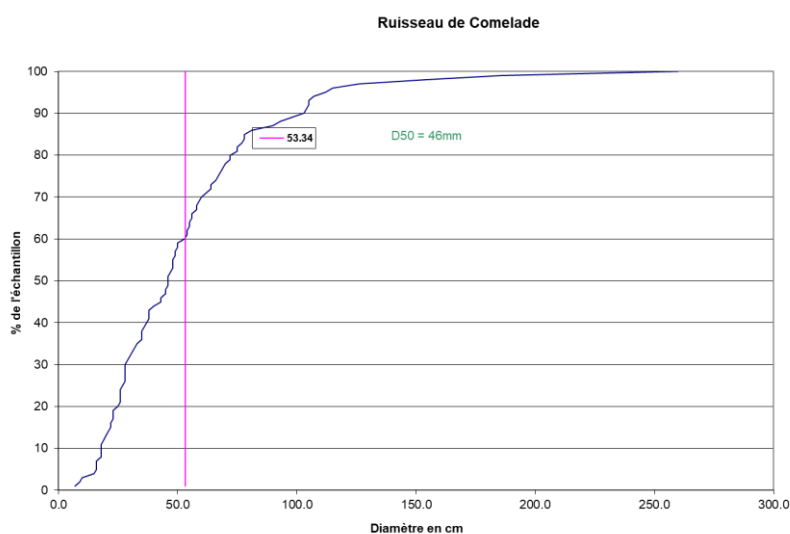


Figure 47 : courbe granulométrique – la Comelade

Pente moyenne en m/m	Granulométrie en m					Indice de Tri (So)	Etendue granulométrique D90/D30	Indicateur d'Armure (ia) : D99/D50
	D30	D50	D75	D90	Dm			
0.012	0.028	0.046	0.067	0.103	0.053	1.57	3.67	4.0

Tableau 31 : synthèse des données granulométriques sur la Comelade

Ce cours d'eau présente les mêmes caractéristiques que le Boulès hormis le fait que certaines parties de cet affluent ne sont pas chenalisées. C'est pour cette raison que l'étendue granulométrique englobe des fractions plus grossières. Les Volumes transportés restent faibles.

Les apports pour les crues qui peuvent se produire sur le bassin versant de la Comelade, se trouvent ci-dessous (Tableau 32).

Evaluation du volume total charrié (m³ / Crue)

	Période de retour				
	2ans	5 ans	10 ans	30 ans	100 ans
Moyenne	550	950	1475	2225	3125
Borne Inf	450	750	1200	1800	2500
Borne Sup	650	1150	1750	2650	3750

Tableau 32 : volumes charriés en crue a l'exutoire de la Comelade

e) Bilan

Dans le cadre de cette étude et pour affiner les apports qui alimentent le fleuve, nous avons estimé un bilan annuel des apports pour chaque affluent en fonction des débits classés (Figure 48).

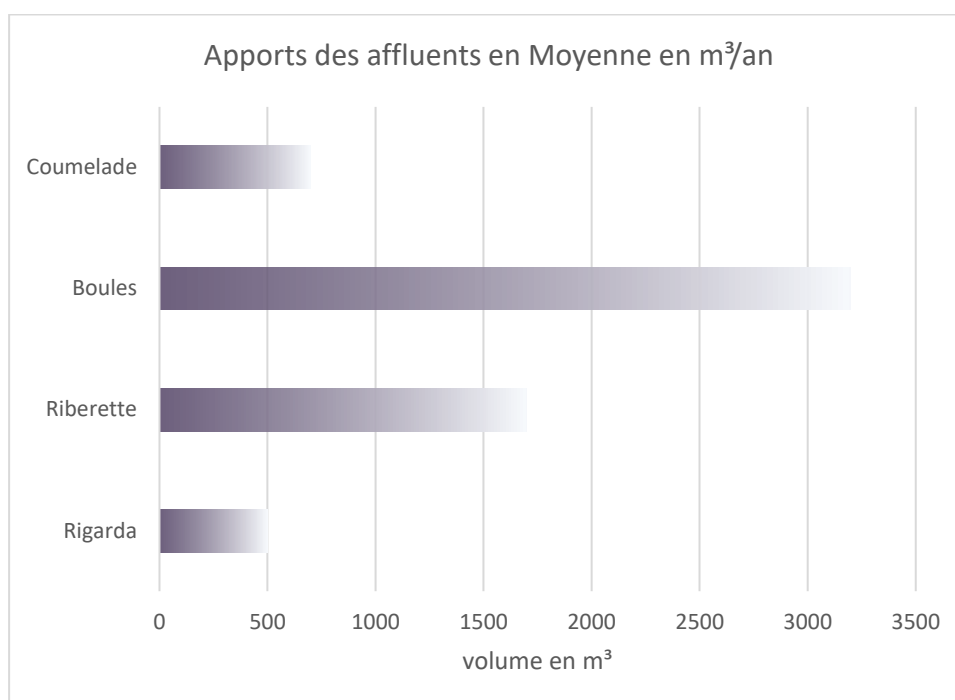


Figure 48 : bilan moyen des apports pour les affluents étudiés

Ces estimations moyennes permettront d'évaluer « les besoins en sédiments » de la Têt en relation avec sa compétence au charriage.

On peut déjà, en première analyse constater que les éléments les plus grossiers seront apportés par la Rigarda alors que les matériaux plus fins par les trois autres affluents. Ces bilans annuels permettront également d'estimer pour chaque tronçon de la Têt, le bilan sédimentaire.

Cours d'eau	Superficie du bassin versant en km ²	Volume de matériaux annuel en m ³	Ratio entre les volumes annuels et la superficie
Comelade	14,1	Environ 700	49.6
Boulès	91,6	Environ 3 200	34.9

Ribérette	30,1	Environ 1 700	56.4
Rigarda	28,7	Environ 500	17.4

Tableau 33 : ratio entre les volumes sédimentaires annuels produits et la superficie du bassin versant

Nous complétons cette analyse quantitative par le calcul d'un ratio entre la superficie des bassins versants et les quantités annuelles de matériaux apportés à la Têt (Tableau 33). Cet indicateur complète et valide ce qui a été déjà constaté dans le diagnostic initial.

Nous avons constaté que la Rigarda fournit des quantités importantes de sédiments au fleuve, mais uniquement pour des crues importantes (crues déstructurant l'armure). En revanche sur le transit moyen annuel, on assiste plutôt à du stockage sédimentaire des éléments grossiers au sein même de la vallée. Le transit des éléments fins à médians se fait annuellement jusqu'à la Têt. Les apports plus grossiers au fleuve se font donc par à-coup et de façon non régulière. La géologie locale du bassin versant avec une faible érodabilité des formations en place nous indique que les matériaux issus des zones d'alimentation primaire ne peuvent être mobilisés que par de forts événements, d'où le faible ratio par rapport à la taille de son bassin versant.

La Ribérette produit beaucoup de sédiments par rapport à la taille de son bassin versant. Ce ratio important confirme le fait que les apports primaires sont constitués d'éléments plus fins et plus facilement mobilisables par les écoulements annuels. Les formations géologiques en place, proches de la confluence et constituées de concrétions de limons et marnes, sont très certainement à l'origine de ces apports en quantité et facilement mobilisables.

Le Boulès en comparaison avec la taille du bassin versant de la Comelade, produit moins spécifiquement de sédiments annuellement. Malgré des apports importants et des zones favorables à l'érosion et à la recharge (surtout en aval dans les terrasses alluviales dans sa partie aval), il est donc probable que les aménagements anthropiques réduisent les apports directs à la Têt. Cela confirme que le surdimensionnement du lit du Boulès réduit de façon importante les apports annuels, de même que de certains ouvrages amont, impactant la continuité sédimentaire.

En conclusion nous pouvons résumer que les apports sur les affluents sont hétérogènes tant en volume qu'en panel granulométrique.

Ainsi la Rigarda, qui fonctionne plutôt comme un torrent, pourra apporter en fonction des crues des volumes de sédiments importants et de taille plutôt grossière.

La Ribérette quant à elle est plutôt pourvoyeuse d'éléments plus fins de façon plus régulière, qui seront très rapidement repris par le fleuve et entraînés sur de longues distances.

Le Boulès reste, en volume le plus important fournisseur de matériaux au fleuve mais sûrement en quantité bien moindre qu'auparavant.

Le bassin versant de la Comelade apporte sa part de sédiment (probablement avec une matrice plus fine que présentée dans les résultats) au fleuve qui dans ce secteur les remobilisent très rapidement compte tenu de la dégradation du secteur aval qui « aspirent » les matériaux.

4.3.3 Quantification du transit sédimentaire de la Têt

a) Synthèse des données granulométriques sur la Têt

La synthèse des données granulométriques, sur la Têt, est présentée ci-dessous (Figure 49).

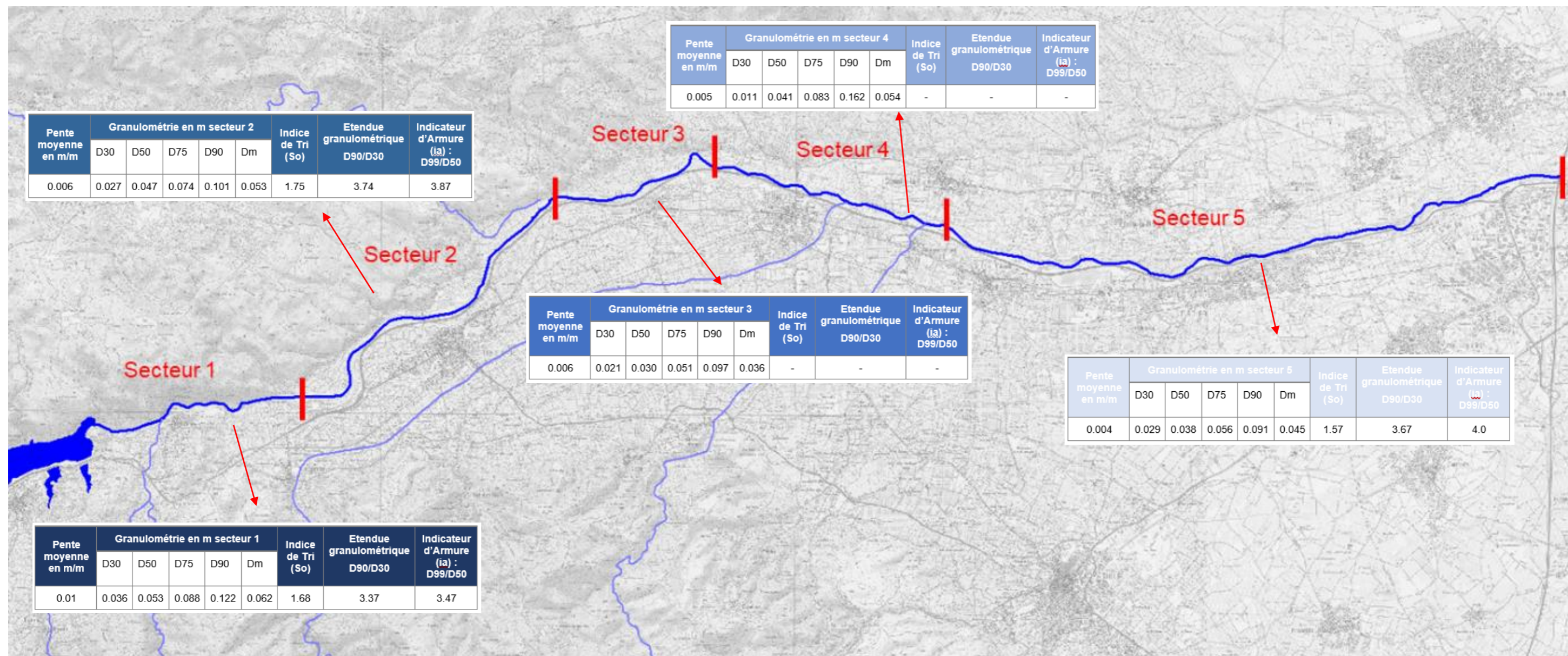


Figure 49 : synthèse des données granulométriques sur les différents tronçons de la Têt

Les analyses des relevés granulométriques sur les différents tronçons de la Têt montrent une décroissance granulométrique classique d'amont en aval. Seul le secteur 4 laisse entrevoir un armurage marqué.

Notons que pour les secteurs 3 et 4, nous avons appliqué une pondération sur les relevés granulométriques car l'armurage a été constaté durant les expertises et les relevés de terrain (pondération : Hey et Thorne - 1983). C'est pour cette raison que les indices de tri et indicateurs d'armure ne sont pas calculés sur ces secteurs. Ces données extrapolées pour le calcul du transit sédimentaire ne reflètent pas la couche de surface mesurée in situ. Il convient de préciser que la rupture de cette armure reste néanmoins fréquente sur cette zone (absence de colmatage et d'induration).

L'indice de tri dans les secteurs où le calcul a été réalisé, nous conforte sur **l'activité dynamique importante de la Têt, avec globalement un transport peu sélectif.**

Les matériaux en places sont hétérogènes ce qui peut indiquer que les affluents ont un rôle non négligeable sur le transit sédimentaire du bassin versant actuellement, compte tenu des nombreuses déconnexions latérales présentes sur le linéaire de la Têt (digues, merlons, infrastructures). En effet, s'il n'y avait pas d'apports de ces derniers, l'indice de tri serait beaucoup plus faible (homogénéité des matériaux).

L'armurage constaté sur les secteurs 3 et surtout le secteur 4 vient conforter l'idée que les ajustements du profil en long, sur le bassin versant étudié, se situent dans cette zone de la Têt (constat déjà réalisé lors de l'analyse hydrogéomorphologique). Les sollicitations du fleuve sur son plancher alluvial favorisent le départ des matériaux les plus facilement mobilisables laissant la charge la plus grossière en place et qui ne sera mobilisée que pour des crues plus importantes. **Les érosions régressives, présentes sur des linéaires importants, qui ont été constatées et localisées dans cette partie de la vallée sont des indicateurs de déséquilibre** (cartographie des marqueurs de l'activité morphologique sur le plancher alluvial – rapport de mission 1 phase 1). Ce secteur est un point majeur de basculement entre la partie aval où les écoulements s'effectuent sur le substrat et la zone amont plus stable. Ces ajustements du profil en long par érosion régressive, du fait de « l'aspiration » des matériaux par le secteur 5, se manifestent de plusieurs manières qui sont :

- les érosions de berges sur des linéaires importants,
- la déstabilisation des ouvrages transversaux (les seuils de Millas et du Soler endommagés suite à la tempête Gloria janvier 2020, en témoignent),
- l'augmentation du linéaires de faciès et le changement de style fluvial,
- la contraction de la bande active du cours d'eau et l'augmentation de la capacité de transport (malgré la diminution de la pente vers l'aval),
- la végétalisation de certains bancs sédimentaires,
- la quasi absence de sédiment fin en de surface
- les résurgences ponctuelles de la nappe d'accompagnement entre le substrat et l'ancien plancher alluvial végétalisé
- les érosions régressives sur les affluents dans ce secteur.

Les conséquences de cette incision aval se propagent donc vers les zones amont progressivement, mais qui est ralenti en raison de la présence de seuils sur le linéaire qui maintiennent le calage du profil en long. Ces derniers sont toutefois fortement sollicités par la dynamique du cours d'eau qui se manifeste par ce phénomène d'érosion régressive, comme on le constate après la crue liée à la tempête Gloria.

b) Transit sédimentaire sur le Têt

Les calculs de transit sédimentaire par tronçon sur la Têt sont présentés ci-dessous (Tableau 34).

		Evaluation du volume total charrié (m ³ / Crue)			
		Période de retour			
		2ans	5 ans	10 ans	30 ans
Secteur 1	Moyenne	2850	6100	7900	11250
	Borne inf.	2200	5000	6300	9000
	Borne Sup	3500	7200	9500	13500
Apports : Rigarda	Moyenne	625	1200	1900	2950
Secteur 2	Moyenne	1075	3075	4450	6875
	Borne inf.	850	2450	3550	5500
	Borne Sup	1300	3700	5350	8250
Apports : Riburette	Moyenne	1100	1850	2750	4075
Secteur 3	Moyenne	1950	4625	6350	9200
	Borne inf.	1550	3700	5100	7350
	Borne Sup	2350	5550	7600	11050
Pas d'affluents étudiés					
Secteur 4	Moyenne	2500	6150	8550	12575
	Borne Inf.	2000	5000	6800	10000
	Borne Sup	3000	7300	10300	15150
Apports : Boules	Moyenne	2225	3500	5050	7350
Apports : Comelade	Moyenne	550	950	1475	2225
Secteur 5	Moyenne	2675	6250	8750	12500
	Borne inf.	2150	5000	7000	10000
	Borne Sup	3200	7500	10500	15000
Pas d'affluents étudiés					

Tableau 34 : volumes charriés en crue à l'exutoire des secteurs de la Têt

Les bilans sédimentaires calculés sur les différents secteurs de la Têt mettent en évidence que même pour les crues fréquentes les apports des affluents étudiés sont insuffisants pour assurer une continuité sédimentaire. Cela favorise le déstockage des sédiments présents dans le lit de la Têt. Ils peuvent apporter des quantités de matériaux non négligeables comme nous avons pu le constater lors des expertises de terrain. Ces petits cours d'eau fournissent des matériaux au fleuve uniquement lors d'évènements entraînant des écoulements, par à-coups. Sans être exhaustif nous pouvons citer :

- sur le secteur 2 : le Correc de Vallagra en sortie de gorges fournit des sédiments dont la granulométrie peut assurer la respiration altitudinale de la Têt dans cette partie de vallée,
- sur le secteur 3 : le ruisseau du Font del Ferrer. Ce petit cours d'eau rive gauche, connecté au fleuve présente des stocks sédimentaires importants. C'est le seul à participer à la recharge dans ce secteur,

- sur le secteur 4 : la Llobera affluent rive gauche qui apporte des sédiments plutôt fins en relation avec la géologie de son bassin versant,
- les affluents du secteur 5, rive gauche, fournissent également des sédiments (peu) à la Têt, mais qui se trouvent rapidement repris par le fleuve.

En analysant les bilans quantitatifs des volumes charriés pour les différentes crues il ressort le constat suivant (Tableau 34) :

- **Sur le secteur 1** : un rapport entre les volumes entrant et la capacité de transit du secteur indique **un bilan déficitaire du transit**. Dans cette section de gorges, où les apports sont restreints et la continuité amont du transit est rompue, il n'est pas étonnant d'avoir ce bilan. L'hydrodynamisme est très soutenu avec un surplus de débit liquide en sortie de barrage favorisant la reprise très rapide des sédiments issus de la Rigarda.
- **Sur le secteur 2** : avec l'élargissement de la vallée et du plancher alluvial le fleuve perd de sa compétence permettant de déposer une partie de sa charge. Les volumes transités par les crues sont plus faibles par manque de compétence de la Têt (hormis pour les crues fréquentes – reprise des éléments fins issus des apports primaires présents localement). **Ce secteur se présente comme une zone de stock temporaire que les crues pourront mobiliser en fonction de leur puissance**. Donc les petites crues auront tendance à déposer dans cette partie (bilan excédentaire en ration avec les apports des affluents) et qu'au-delà de Q2 les apports sur ce secteur ne seront plus suffisants,
- **Sur le secteur 3** (*granulométrie de calcul avec coefficient d'armurage*) : **ce tronçon du fleuve est déficitaire par rapport à la quantité d'apport amont**, et cela dès les premiers coups d'eau. L'absence de recharge latérale en liaison avec des contraintes anthropiques sur les deux berges favorise donc une légère incision. Il faut relativiser ces résultats car **le ruisseau du Font del Ferrer fournit des quantités de matériaux non négligeables** (cours d'eau non étudié),
- **Sur le secteur 4** (*granulométrie de calcul avec Coefficient d'armurage*) : les volumes calculés en fonction de la fréquence des crues présentent **un équilibre entre les apports amont et la capacité de la Têt, voire excédentaire, du moins pour les crues fréquentes** (à relativiser avec la présence d'une armure localement). Ce relatif équilibre est cohérent avec le constat réalisé sur le terrain. **Toutefois, dès que les crues sont plus importantes (à partir de la Q10) les apports issus des affluents ne sont plus suffisants compte tenu de l'hydrodynamisme local** où le lit mineur est contraint et où les étalements sont fortement contraints en lit majeur ne permettant plus les dépôts de sédiment dans ces secteurs. **Les apports amont semblent palier ces manques. Ce secteur est stable ou stabilisé par les seuils de calage du profil.**
- **Sur le secteur 5** : on peut constater que les volumes entrant de l'amont sont équivalents aux volumes sortants. Ces résultats dans ce tronçon sont à relativiser compte tenu du constat fait et de l'incision dans le substrat constaté. Cela pourrait dire que le fleuve a trouvé un équilibre de transit. Cela n'est pas le cas dans ce secteur car la réduction de la bande active augmente la concentration des vitesses dans le lit mineur ce qui favorise **la reprise des matériaux** alors que la pente est moindre que dans la partie amont. Cette constatation nous indique que **dans ce secteur du fleuve, la bande active doit être plus large pour diminuer l'activité hydrodynamique et favoriser un équilibre entre transit et bon fonctionnement du plancher alluvial.**

Nous avons ensuite estimé les bilans annuels en fonction des débits classés pour chaque secteur du fleuve. Les débits classés prennent en considération l'ensemble du réseau

hydrographique du tronçon concerné. Ces bilans par tronçon nous indiquent les volumes de transit par le fleuve sans événement majeur sur le bassin versant (Figure 50).

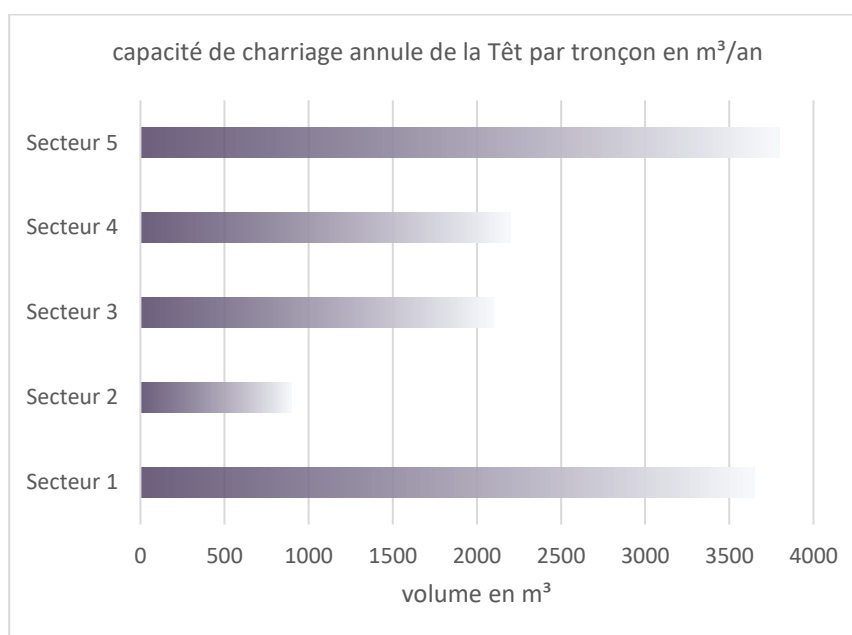


Figure 50 : bilan moyen des apports pour les différents secteurs sur le fleuve

	Dm affluents en m	Dm de la Têt en m
Secteur 1	0.067	0.062
Secteur 2	0.044	0.053
Secteur 3	Pas de mesure. Reprise Dm Rigarda – 0.044	0.056
Secteur 4	Boules -> 0.041 Comelade -> 0.053	0.054
Secteur 5	Pas d'affluents étudiés	0.045

Tableau 35 : comparaison des Dm entre les apports des affluent et les bancs de la Têt

Le tableau ci-dessus (Tableau 35) nous indique les écarts entre le diamètre médian (Dm) de chaque affluent et ceux des bancs mesurés dans la Têt. On peut noter deux choses importantes dans l'analyse de ce tableau :

- La Rigarda qui apporte à la Têt une quantité non négligeable de matériaux, lui fournit essentiellement des éléments fins que le cours d'eau peut mobiliser pour de petits événements. Cela induit que les excédents par rapport à la capacité de la Têt dans ce secteur se retrouveront très rapidement dans les zones aval.
- Le Boulès en comparaison avec la Comelade, apporte beaucoup de matériaux, plutôt fins, ce qui signifie que la frange plus grossière (que l'on peut retrouver sur les apports de la Comelade avec une lithologie sensiblement équivalente) se trouvent bloqués sur son linéaire (conséquence de la chenalisation surdimensionnée du Boulès).

Secteurs	Bilan volumique en m ³ moyen annuel de la Têt (Débits classés)	Commentaires
1	3 650	Les apports moyen annuel de la Rigarda sont de l'ordre de 500m ³ . Déficit sédimentaire peu inquiétant en liaison avec la configuration du fond de vallée (gorges)
2	900	Les apports moyens de la Ribérette sont de 1 700m ³ ce qui pourrait nous indiquer des apports excédentaires. Mais compte tenu du panel granulométrique de cet affluent, relativement fins, ils sont rapidement mobilisés (Tableau 35)
3	2 100	Secteur déficitaire, les apports de la Ribérette ne sont pas suffisants
4	2 200	Les apports du Boulès et de la Comelade représentent 3900 m ³ annuellement. Comme le montre le tableau ci-dessus (Tableau 35), les apports du Boulès, qui sont importants sont dans une fraction granulométrique plutôt fine. De plus, dès la Q2 sur le fleuve la totalité des matériaux injectés se trouve mobilisés et transite vers le secteur 5.
5	3 800	Déficit sédimentaire, le bilan fait apparaître un équilibre entre l'amont et la sortie du secteur, avec une pente moindre. Aucun stockage n'est présent sur ce tronçon.

Tableau 36 : bilan par secteur sur la Têt

4.3.4 Bilan du transi sédimentaire et pente d'équilibre théorique

Pour conclure sur les bilans quantitatifs du transit sédimentaire de la Têt et des affluents étudiés, nous pouvons avancer que

- le secteur 1 de gorges fournit des matériaux par à-coups et reste tributaire du bon fonctionnement de la Rigarda.
- le secteur 2, 3 et 4 semblent en équilibre avec ponctuellement des dysfonctionnements mineurs
- le secteur 5 « aspire » les sédiments depuis l'amont par vidange du plancher alluvial et par érosion régressive entraînant des dysfonctionnements vers les parties amonts.

La figure suivante synthétise le bilan du transit sédimentaire.

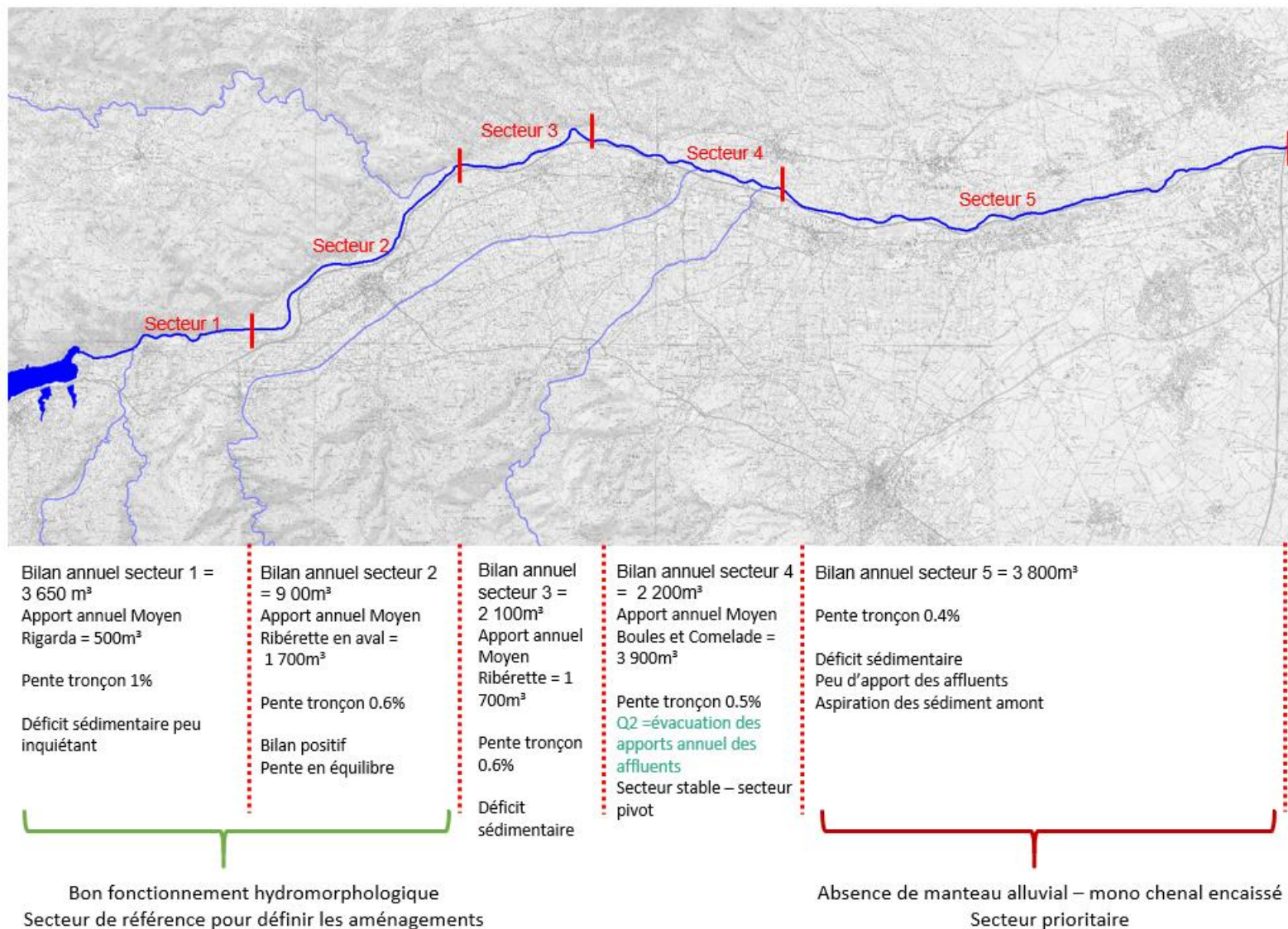


Figure 51 : Synthèse du transit du sédimentaire

A noter que nous estimons des capacités de transport afin de réaliser des bilans sédimentaires sur des tronçon. Il n'est pas réellement question de volume de sédiments puisque cette notion est difficilement quantifiable. En effet, elle est fortement dépendante des débits liquides considérés (débit de pic en crue, débit moyen annuel ...), de la remobilisation ou non des bancs sédimentarisés, mais également de la respiration altitudinale du cours d'eau (la section évolue en fonction du transit sédimentaire).

Afin que l'incision puisse être stoppée, il est nécessaire de rétablir et rééquilibrer le transit sédimentaire par la recherche de la pente d'équilibre au droit du tronçon en déséquilibre.

Cette notion de pente d'équilibre est très théorique car elle est rarement atteinte du fait des variations des écoulements qui fluctuent plus vite que les ajustements morphologiques. Il s'agit d'une pente qui s'ajuste continuellement en relation avec les variations des variables de contrôles (variation climatique, évolution de l'occupation du sol, actions anthropiques, évolution des débits solide et liquide, ...)

Cette pente théorique repose sur l'estimation des matériaux qui alimentent la Têt par rapport aux débits calculés et aux volumes estimés. Afin de la définir nous avons réalisé une inversion des formules de transport sédimentaire utilisées afin d'estimer la pente à retrouver un équilibre sédimentaire.

Cette pente d'équilibre théorique est estimée à environ 0.35% sur le linéaire d'étude présentant l'incision.

En diminuant la pente, on favorise l'augmentation du débit du seuil de mise en mouvement des matériaux et favorisant ainsi un équilibre entre les apports actuels amont et la capacité de transit sédimentaire dans ce tronçon (tronçon n°5).

Cette pente pourra être atteinte par :

- **L'augmentation de l'emprise du lit plein bord pour diminuer la fréquence de mise en mouvement des matériaux,**
- **L'augmentation de la sinuosité,**
- **La mise en place d'ouvrage pour caler le fond du lit, faciliter la recharge et éviter les processus localiser d'incision.**

Cette pente d'équilibre servira donc de base pour la définition du profil en long du cours d'eau aménagé (dont la définition sera affinée dans les missions suivantes).

5 LES PRINCIPES D'AMENAGEMENTS

Les cours d'eau ne sont pas figés et sont des organismes vivants. Les services qu'ils rendent aux sociétés humaines sont nombreux à condition que l'hydrosystème fonctionne correctement. La situation actuelle du fonctionnement de la Têt et de ses affluents nous révèle que certains aménagements, peut-être trop axés sur l'aspect hydraulique, ou pratique, ont entraîné des dysfonctionnements majeurs sur le fleuve. Face à cela certains travaux d'urgence ne sont finalement que des « pansements » face à la problématique globale.

Toutes actions engagées dans un cours d'eau ou sur plancher alluvial, toutes modifications du sol entraînent des répercussions sur le cycle hydrologique, sur la qualité de l'eau et sur les systèmes biologiques. Les aménagements proposés dans le cadre de cette étude ne seront pas axés sur le seul compartiment hydromorphologique. En effet, les enjeux externes et internes au système seront pris en considération pour que l'ensemble des problématiques puissent être évalués, analysés et/ou intégrés dans les propositions d'action. Nous ne perdons pas de vue ici que l'atteinte du bon état de la Têt passe par un bon fonctionnement hydromorphologie mais il est utopique de vouloir revenir à un état « pristine » du fleuve et de ses affluents.

L'hydrosystème est caractérisé par une organisation dans plusieurs dimensions :

- L'axe longitudinal : qui se traduit par la croissance de certains indicateurs (débits, profondeurs, largeur du cours d'eau, évolution du style fluvial) et la décroissance d'autres (la pente, la vitesse des écoulements et la granulométrie), toute action aura des répercussions soit en amont soit en aval.
- La dimension transversale : elle passe par la connexion latérale entre le lit mineur et sa plaine d'inondation (connexions physique et écologique),
- La dimension verticale : les échanges entre la rivière et sa nappe, cyclique au grès des saisons, qui favorise l'épuration des eaux mais qui sont aussi vitaux pour les organismes aquatiques.
- La dimension temporelle : le système actuel est un héritage, la bonne connaissance de l'histoire et de l'activité hydrodynamique permet de comprendre certains aspects de son fonctionnement, son évolution et ses tendances pour y apporter les « justes aménagements »,
- ...

Nous ne parlerons pas ici de l'axe spatial, interface de l'hydrosystème et de l'atmosphère, moins impactant (hormis les variations des régimes de précipitation liées au changements climatiques) pour cette étude et les aménagements proposés.

5.1 GRANDES ORIENTATIONS PAR SECTEUR

Les orientations d'aménagements proposées sont articulées selon trois axes (Figure 52) :

- La connectivité longitudinale,
- La connectivité latérale
- La connectivité verticale.

La connectivité peut être résumée par l'interaction et les échanges entre les compartiments constituant l'hydrosystème et le plancher alluvial.

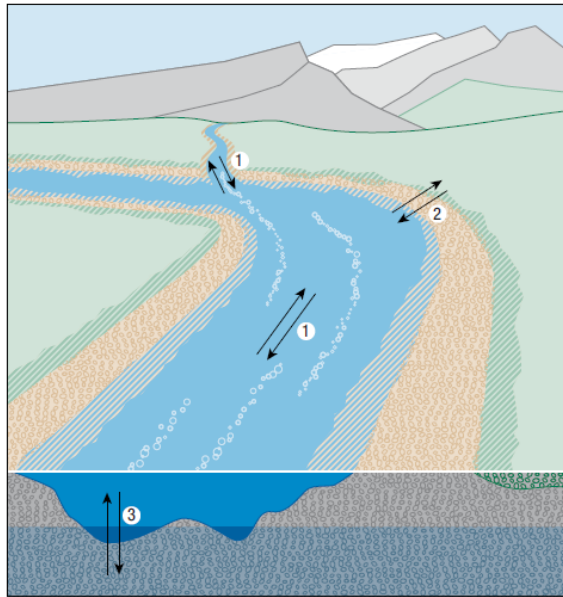


Figure 52 : connectivités du plancher alluvial (d'après Malmqvist 2002)

1 : La connectivité longitudinale, 2 : La connectivité latérale, 3 : La connectivité verticale.

Connectivité longitudinale : Il s'agit ici de rétablir les échanges entre l'amont et l'aval pour la Têt mais également pour ses affluents, pour assurer la continuité sédimentaire et piscicole. Ce type de connexion est essentiel pour trouver un équilibre sédimentaire et assurer la diffusion écologique (migration des poissons, transport de la matière organiques et des graines, groupes d'organisme). Elle est également prépondérante pour le maintien ou la création d'un corridor, par le biais de la ripisylve qui favorise la mise en place de mosaïque complexe d'essence (depuis la strate herbacée à la strate arborée). Sans compter que la ripisylve, outre le fait d'être un zone refuge, est également :

- Une source de matière organique pour l'hydrosphère,
- Un filtre pour les éléments dissous par son réseau racinaire
- Un absorbeur des apports de nitrates,
- Un stabilisateur de berges
- Un frein aux écoulements de certaines crues.

Connectivité latérale : Cette connexion permet d'assurer la transition entre le cours d'eau, ses berges et le reste de sa plaine alluviale. Dans ces transects et en fonction de la morphologie locale, de nombreux types d'habitats et d'espèce sont présents. Les étagements classiques passent du lit mineur au lit moyen, constitué d'une ripisylve plus ou moins développées en fonction de la fréquence des inondations, et du lit moyen au lit majeur avec ses annexes alluviales (bras morts, marais, chenaux de crue, zones humides). Chacun de ces étages héberge des populations animales et végétales qui interagissent de manière active ou passive. Cette connectivité est également essentielle pour réguler la puissance des cours d'eau et assurer la recharge sédimentaire localement.

Connectivité verticale : Il s'agit des échanges complexes entre la rivière et sa nappe. Cette connexion s'effectue si la perméabilité le permet, dans la zone Hyporhéique. Cette interface d'épaisseur plus ou moins importantes, accueille une biodiversité importante et participe au recyclage de la matière organique. Elle sert souvent également de nurserie pour de nombreuses espèces et peut avoir également un rôle de refuge pour certains organismes en cas de crue. Cette connectivité est également importante pour les questions de ressource et de qualité des eaux.

Les propositions ci-après combinent ces trois connectivités. Afin d'y parvenir il est donc souhaitable que l'hydrosystème assure ces connexions.

La dynamique sédimentaire de la Têt est actuellement problématique comme déjà énoncé. L'incision dans le secteur 5 de notre linéaire d'étude a fait disparaître le manteau alluvial et tend à se propager vers l'amont. Il est donc primordial de définir des actions de correction pour endiguer ce phénomène qui en l'état est irréversible. Plusieurs possibilités d'aménagements sont envisageables pour retrouver un hydrosystème fonctionnel et connecté dans les trois axes. Toutefois ces aménagements visant à trouver un équilibre hydromorphologique s'accompagnent de la définition de la pente d'équilibre dans ce secteur afin que l'incision puisse être stoppée. Cette notion de pente d'équilibre reste très théorique car les ajustements du fleuve et de ses affluents sont permanents à différentes échelles de temps. Cette notion de pente d'équilibre n'est donc théoriquement jamais atteinte car les variations des écoulements fluctuent plus vite que les ajustements morphologiques. Nous parlerons ici d'équilibre dynamique qui permettra d'anticiper les ajustements morphologiques permanent du fleuve en réponse aux variations des écoulement et du transport de sédiment.

Les principes d'aménagement concernant les Secteur 1, 2, 3 et 4 définiront les grandes orientations à mettre en œuvre. Une réflexion sur les enjeux anthropiques permettra d'affiner les propositions. Nous ne rentrerons pas dans les détails des enjeux écologiques, agricoles ou des contraintes foncières qui devront être intégrés par la suite dans le cadre des futurs avant projets dans ces zones de la Têt. Ces orientations d'aménagements permettront d'affiner ensuite les propositions sur chaque secteur ainsi que leurs priorisations.

En revanche sur le Secteur 5 une pré analyse a été réalisée compte tenu des éléments à notre disposition et des investigations écologiques réalisées. Dans un premier temps les enjeux agricoles, les infrastructure et ouvrages et le projet ES TÊT ont permis de définir de multiples actions ponctuelles sur les dix derniers kilomètres. Ces actions seront affinées lors la mission 2 (scénarios) et 3 (AVP) qui intégrera l'ensemble des contraintes pour toutes les actions recommandées.

5.1.1 Secteur 1 : du barrage de Vinça au lieu-dit « Fontaine de St Jules »

Dans ce secteur de gorges où l'essentiel des matériaux est fourni par la Rigarda, les actions sont très limitées.

Dans cette partie de la vallée il convient de favoriser la continuité sédimentaire sur 2 ouvrages présents sur la Rigarda (ROE 65374 et ROE 50076).

Au droit de la confluence, la réactivation des deux bancs pourra fournir des sédiments au fleuve (nivellement et scarification).

En fin de secteur 1, en rive droite, au droit du lieu-dit « Les Garrigues Baxes » (en amont immédiat du lieu-dit fontaine Saint Jules) une réouverture pour une recharge latérale est possible. Dans ce secteur il semble qu'un décorsetage soit à privilégier

5.1.2 Secteur 2 : du lieu-dit « Fontaine de St Jules à la confluence avec la Ribérette

Dans cette partie de la Têt les actions seront mineures. Les actions se centraliseront sur la réactivation de la recharge latérale par la suppression des ouvrages empêchant la divagation. Cette suppression des ouvrages concerne les démantèlements des protections de berges et/ou des digues ou le décorsetage des digues existantes en liaison avec les enjeux locaux (décorsetage = déplacement d'une digue s'écartant du lit mineur). Une attention devra être portée au niveau du lieu-dit « Horts de Dellà » où se trouvent localisés

une déchetterie et quelques enjeux ponctuels (décorsetage dans ce secteur). De plus ce décorsetage, voire la suppression définitive des digues, permettra une meilleure connexion latérale propice à la réduction des inondations dans les parties aval et favorisera la mise en place d'une diversité écologique.

La scarification et le nivellement des bancs figés permettra la remobilisation de sédiments sur certains secteurs (actions ponctuelles sur l'ensemble du linéaire -bancs à identifier lors du lancement des études dans ce secteur en fonction des enjeux écologiques localement).

La réactivation des bras secondaires et chenaux de crues favorisera l'étalement des écoulements en rive droite (carte de l'activité hydrodynamique de la partie 1).

La zone d'apport primaire au lieu-dit « Pinder d'en Tapis », en rive gauche, est actuellement déconnectée par la présence d'une route. La reconnexion de cette zone permettrait à la Têt de récupérer des matériaux issus de cette formation meuble par une recharge latérale assurant ainsi un meilleur transit sédimentaire.

En amont du lieu-dit « Pla de Reglella » la réactivation du chenal de crue secondaire identifié permettra la reprise des sédiments les plus grossiers de la Ribérette qui ont tendance à venir se stocker dans cette partie du plancher alluvial à presque 1km en amont de la confluence avec la Têt.

5.1.3 Secteur 3 de la confluence avec la Ribérette jusqu'au seuil en amont de Millas

Ce secteur présente des altérations morphologiques avec ponctuellement la disparition du manteau alluvial. Les actions à réaliser concernent la suppression des ouvrages latéraux en rive gauche empêchant la divagation et la recharge latérale. Ces actions devront être réalisées avec un remodelage des berges pour une imbrication des différentes unités formant la plaine alluviale.

La création ou réactivation de plusieurs chenaux identifiés sur les cartes d'activité hydrodynamique permettra de réduire la puissance érosive dans certaine portion du secteur, l'étalement des crues ainsi que la recharge latérale. Ce style fluvial est conforme avec la configuration de la Têt dans cette portion de la vallée avant les perturbations entraînant les dysfonctionnements locaux. Ces multiples bras devront être en relation avec les enjeux écologique présents qui seront identifiés lors des investigations plus détaillées dans les études à venir.

La scarification des bancs sédimentaire sédentarisés devra être réalisée au regard de enjeux écologiques localement avec un remodelage des berges pour une réactivation progressive.

En aval du gué de Néfiach, l'ouverture d'un chenal en rive gauche pour favoriser la reprise d'un bancs sédimentaire localisé en bordure externe du lit majeur, en amont de la zone de ripisylve avant le seuil amont de Millas.

Localement des actions de protection de berges seront nécessaires pour éviter de déstabiliser la RN 116 (en amont de Néfiach). Ces actions et le choix du système de protection se feront en fonction des contraintes d'affouillement et des forces tractrices.

5.1.4 Secteur 4 : du seuil en amont de Millas au seuil de St Féliu d'Amont

C'est dans cette partie de vallée que les dysfonctionnements majeurs apparaissent. Les seuils en place calent le profil le long de la rivière.

Dans cette partie de la vallée le décorsetage en rive gauche est préconisé. Un premier tracé proposé reprend les contraintes inondation et agricoles afin d'apporter un premier filtre sur les possibilités d'aménagement dans ce secteur.

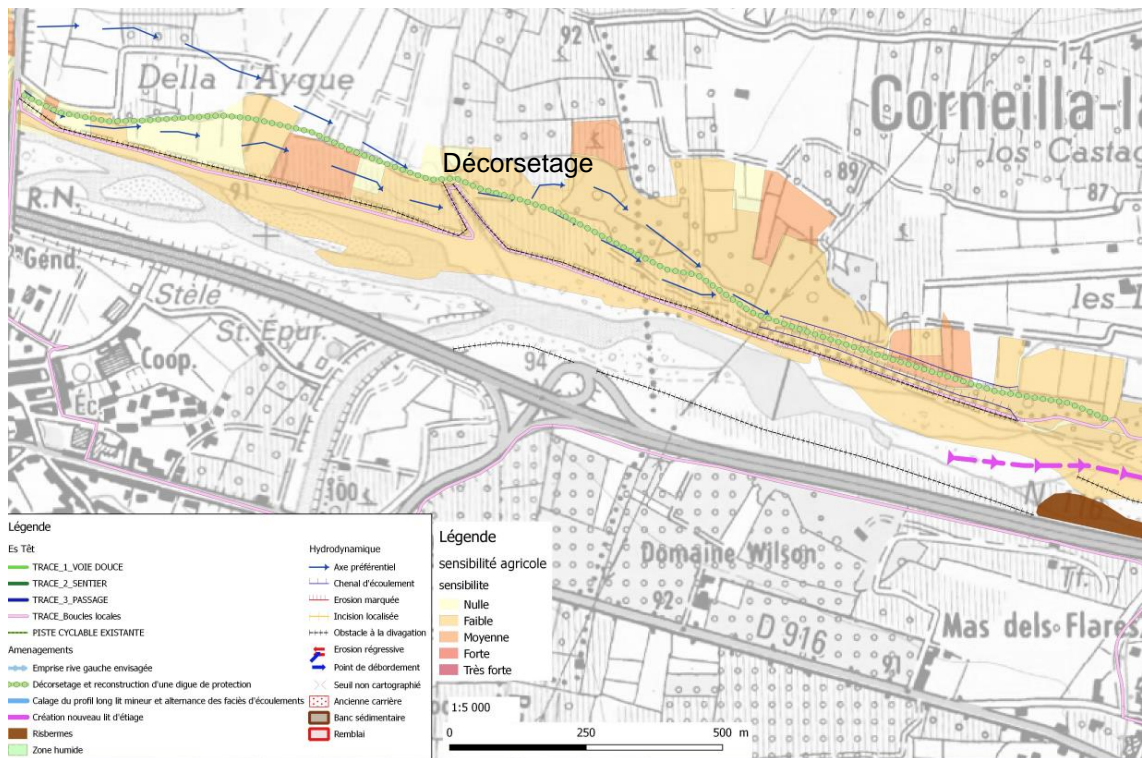


Figure 53 : propositions d'aménagement sur le secteur 4

Ce décorsetage devra être suivi d'un nivellement des berges pour éviter les érosions brutales. La recharge latérale permettra de réguler la puissance érosive de la Têt et favorisera la continuité du transit sédimentaire. Cette configuration favorisera la recréation des connectivités longitudinales (ripisylve, corridor) et latérales (transition du milieu aquatique vers le milieu terrestre).

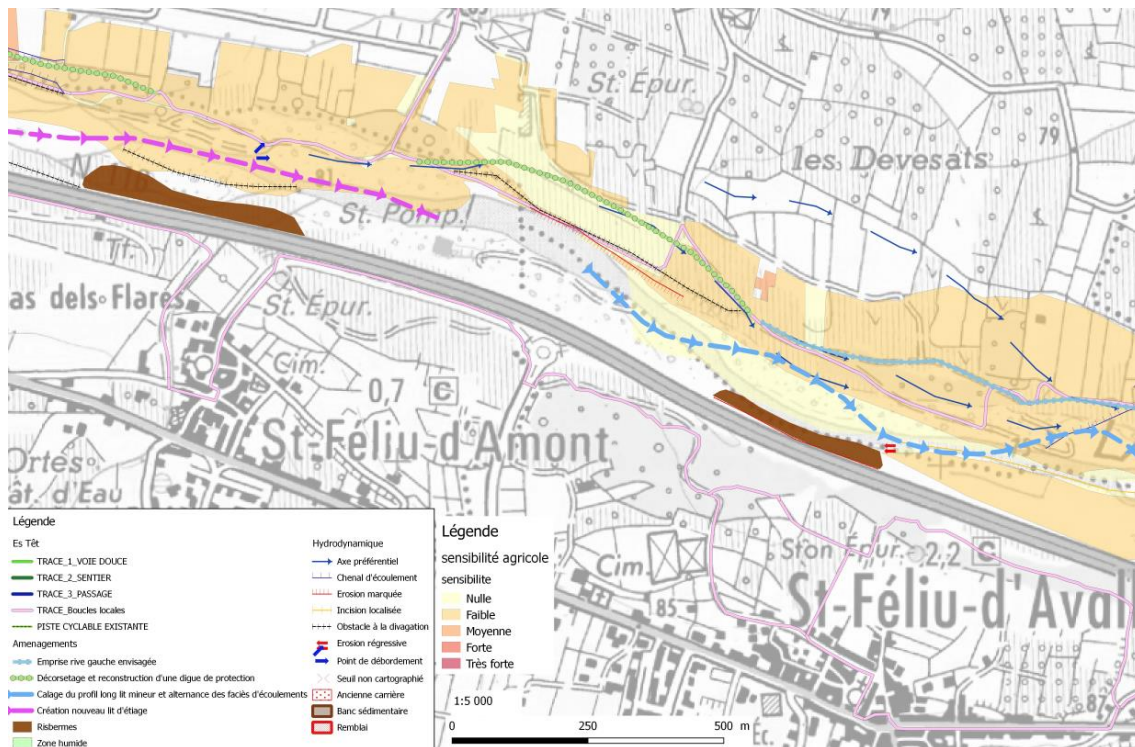


Figure 54 : propositions d'aménagement sur le secteur 4

Des actions plus ponctuelles sont également à prévoir. 500m en amont du pont de Millas, sur la rive gauche, la création d'un nouveau lit d'étiage, reprenant un ancien chenal d'écoulement, permettra de réduire la pression sur la berge opposée où est localisé le remblai de la RN 116 (remblai déjà bien érodé actuellement). Ces mêmes actions de protections du remblai routier entraînent la mise en place de système de protection de berges (Figure 54) dont les techniques devront pouvoir répondre au contrainte tout en ayant le moins d'impact possible sur la connectivité latérale déjà fortement réduite sur cette berge

La scarification des bancs alluviaux sédentarisés devra être réalisée au regard de enjeux écologiques localement avec un remodelage des berges pour une réactivation progressive

Sur le Boulès, les actions devront permettre de rétablir un transit de matériaux plus grossiers que ce qui arrivent au fleuve actuellement. Le reprofilage de la section rectifiée de cet affluent principal, tout en conservant sa capacité hydraulique pour ne pas aggraver les inondations, permettra la reprise du transit. A ce remodelage, la création de multiples faciès d'écoulement permettra un accroissement de la biodiversité. Ces aménagements devront prendre en considération les espèces remarquables qui pourraient être présentes sur le linéaire.

5.1.5 Secteur 5 : du seuil de St Féliu d'Amont au pont de l'autoroute A9

Ce tronçon de la Têt présente les altérations morphologiques les plus importantes car sur un linéaire de plus de 10km le cours d'eau il n'y a plus aucun manteau alluvial et le fleuve s'écoule sur le substrat directement. Les altérations multiples et les conséquences que cela entraîne ont déjà été exposées dans la partie 1.

La banalisation du milieu nécessite des actions et des aménagement importants sur tout le linéaire avec en première lieu la conservation des sédiments qui proviennent des secteurs amont et l'arrêt de la propagation de l'érosion régressive.

Compte tenu de l'évolution morphologique de la bande active il convient de rechercher un équilibre dynamique en définissant un profil théorique permettant le retour du transit sédimentaire. Cette pente théorique repose sur l'estimation des matériaux qui alimentent la Têt par rapport aux débits calculés et aux volumes estimés. Afin de la définir nous avons réalisé une inversion des formules de transport sédimentaire utilisées afin d'estimer la pente à retrouver un équilibre. Cette pente de l'ordre de 0.35% sur cette partie du fleuve pourra être atteinte par :

- L'augmentation de l'emprise du lit plein bord pour diminuer la fréquence de mise en mouvement des matériaux,
- L'augmentation de la sinuosité,
- La mise en place d'ouvrage pour caler le fond du lit, faciliter la recharge et éviter les processus localiser d'incision.

C'est en combinant l'ensemble de ces solutions que nous pouvons proposer les aménagements ci-après d'amont en aval (Figure 55, Figure 56, Figure 57, Figure 58, Figure 59, Figure 60, Figure 61, Figure 62, Figure 63 et Figure 64). Globalement nous réaliserons la création d'une bande active avec apports externes de matériaux. La gamme granulométrique sera finement proposée afin de réaliser en préalable une armure et assurer la stabilité du fond. Les alternances de faciès seront adaptées avec les contraintes écologiques repérés issues du diagnostic écologique (mission 2). Le manteau alluvial sera recréé avec un minima de 1m de sédiments pour assurer les variations annuelles liées à la respiration du manteau. Des seuils de fond seront disposées pour éviter au fleuve de retrouver des écoulements sur le substrat. La mise en place d'un nouveau chenal d'étiage permettra d'assurer la connectivité dans les trois axes. Les variations latérales du nouveau plancher alluvial, en relation avec les enjeux et contraintes permettront de créer des alternances entre zones actives et secteurs de dépôts temporaires. La connexion latérale permet d'assurer les transitions avec les différentes unités du plancher alluvial. Le décorsetage préconiser tiendra compte de contraintes qui sont :

- L'activité et les enjeux agricoles,
- Les projets en cours (Es Têt),
- Le risque inondation,
- Les contraintes foncières,
- Les contraintes écologiques,
- Les infrastructures et ouvrages,

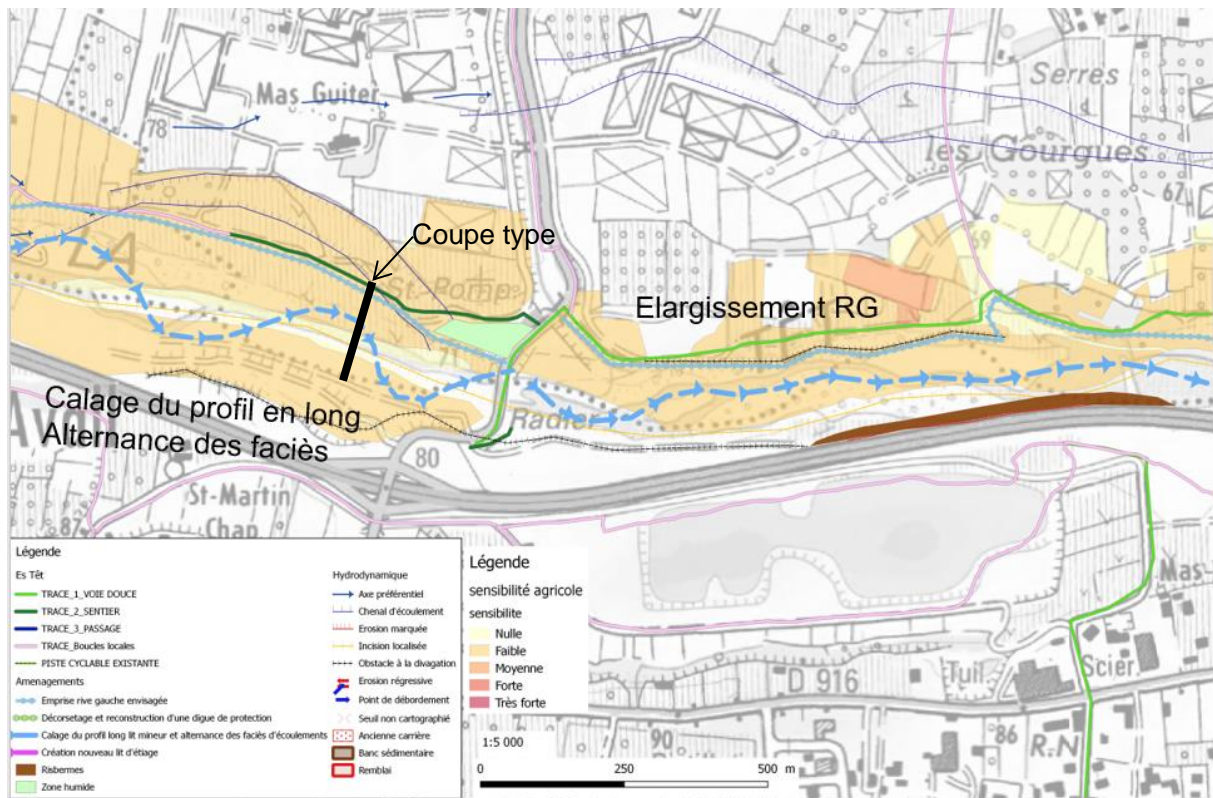


Figure 55 : propositions des aménagements sur le tronçon 5.1

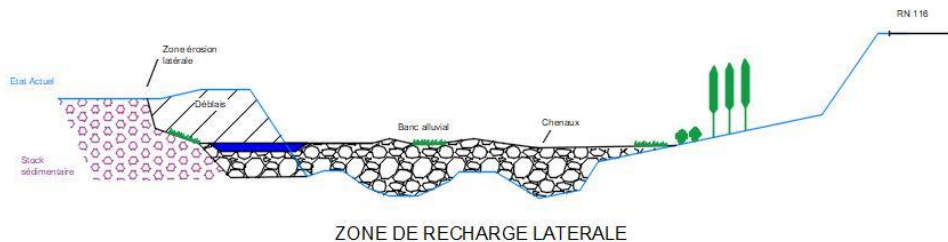


Figure 56 : coupe type de reprofilage en relation avec les contraintes

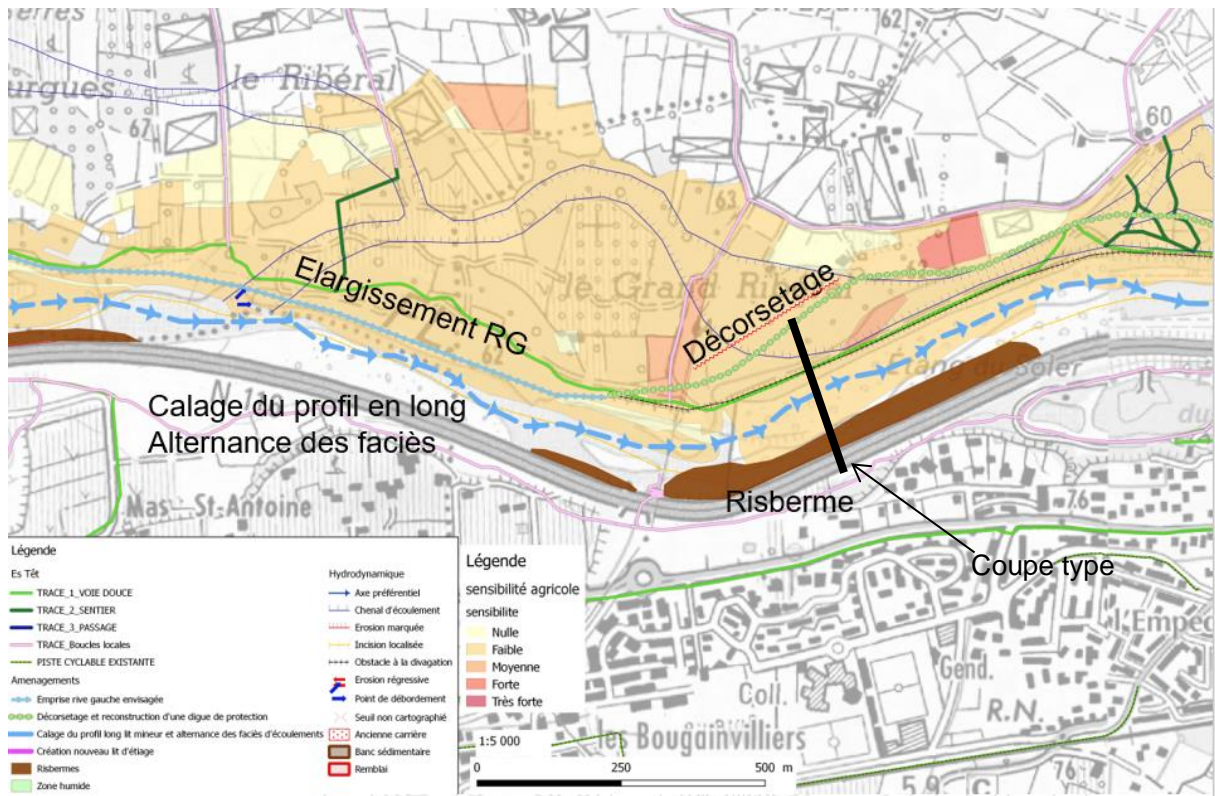


Figure 57 : propositions des aménagements sur le tronçon 5.2

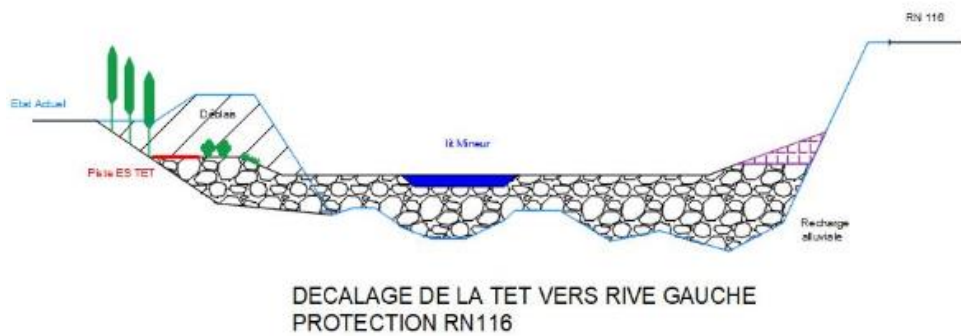


Figure 58 : coupe type de reprofilage en relation avec les contraintes

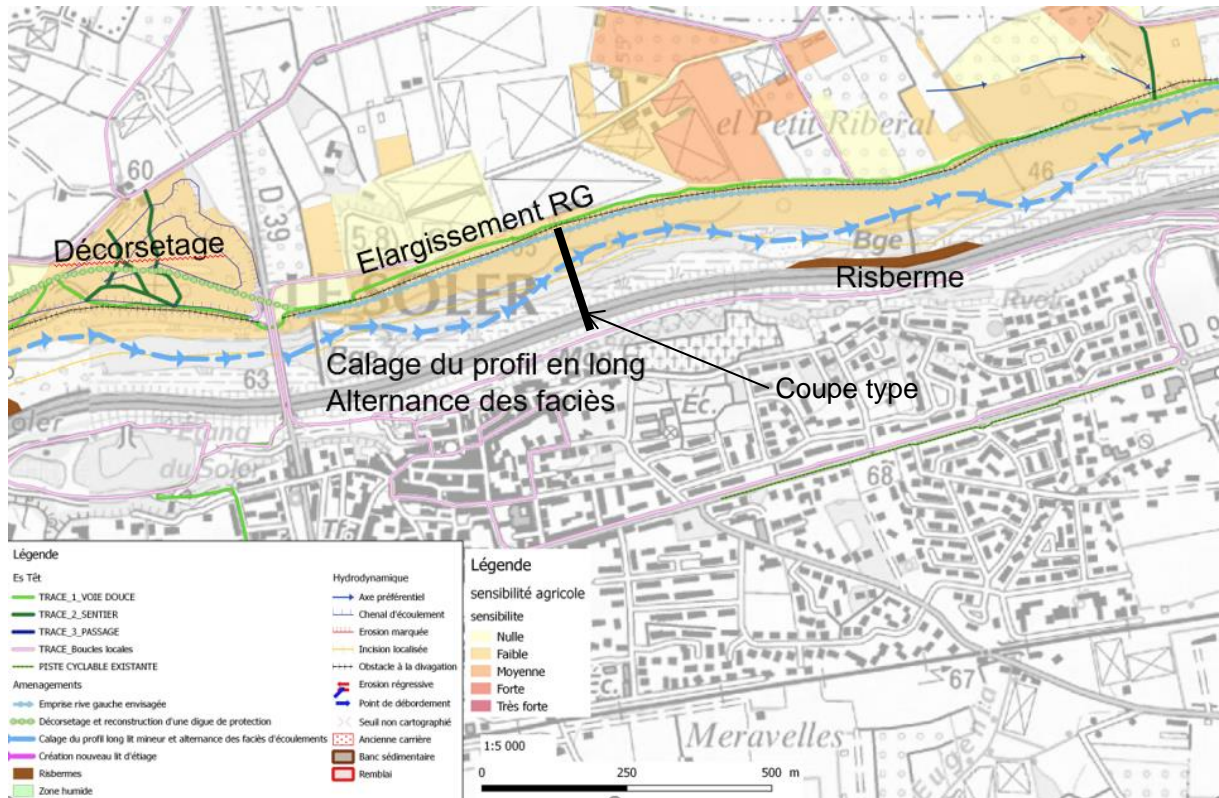


Figure 59 : propositions des aménagements sur le tronçon 5.3

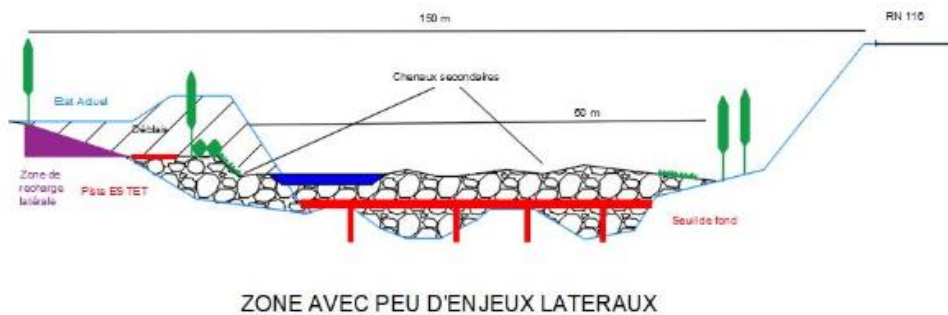


Figure 60 : coupe type de reprofilage en relation avec les contraintes

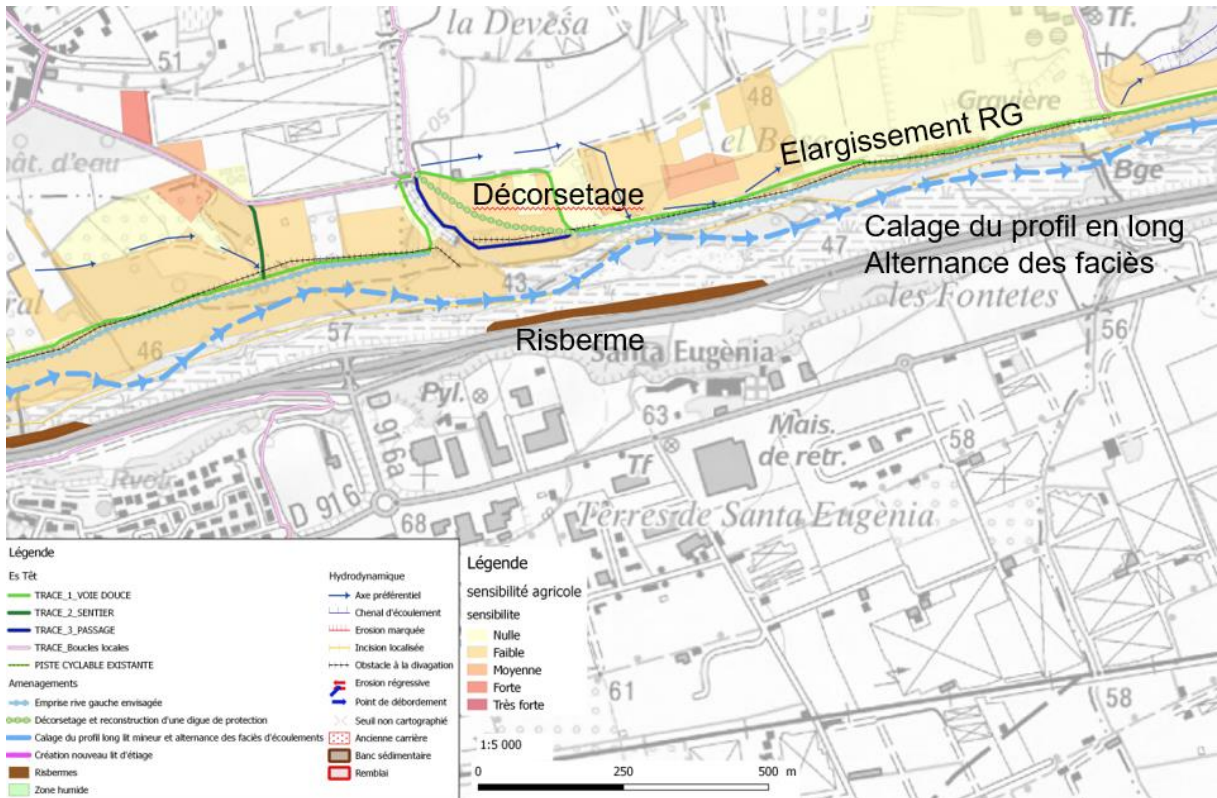


Figure 61 : propositions des aménagements sur le tronçon 5.4

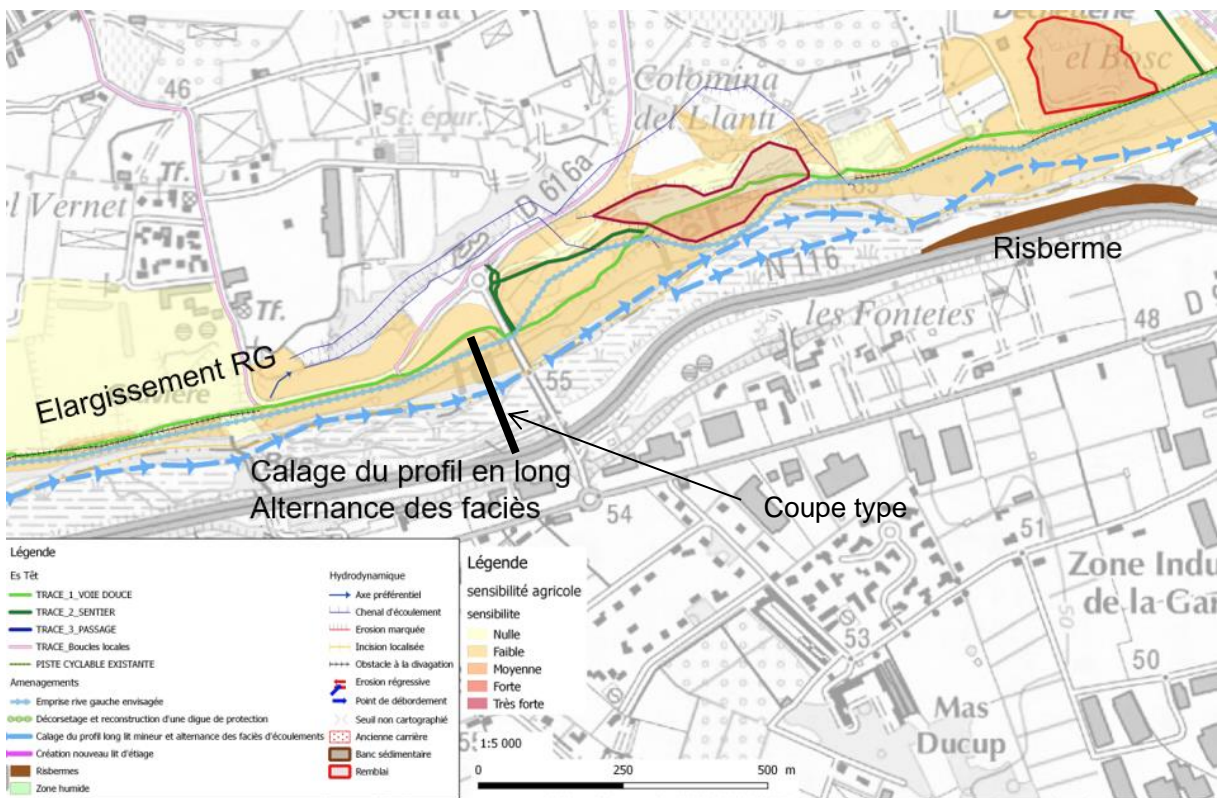


Figure 62 : propositions des aménagements sur le tronçon 5.5

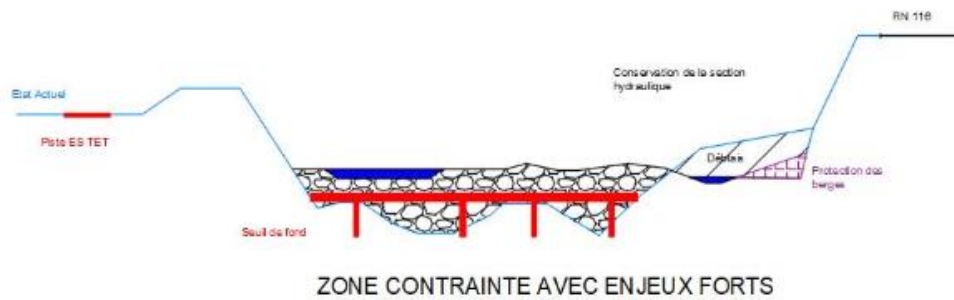


Figure 63 : coupe type de reprofilage en relation avec les contraintes

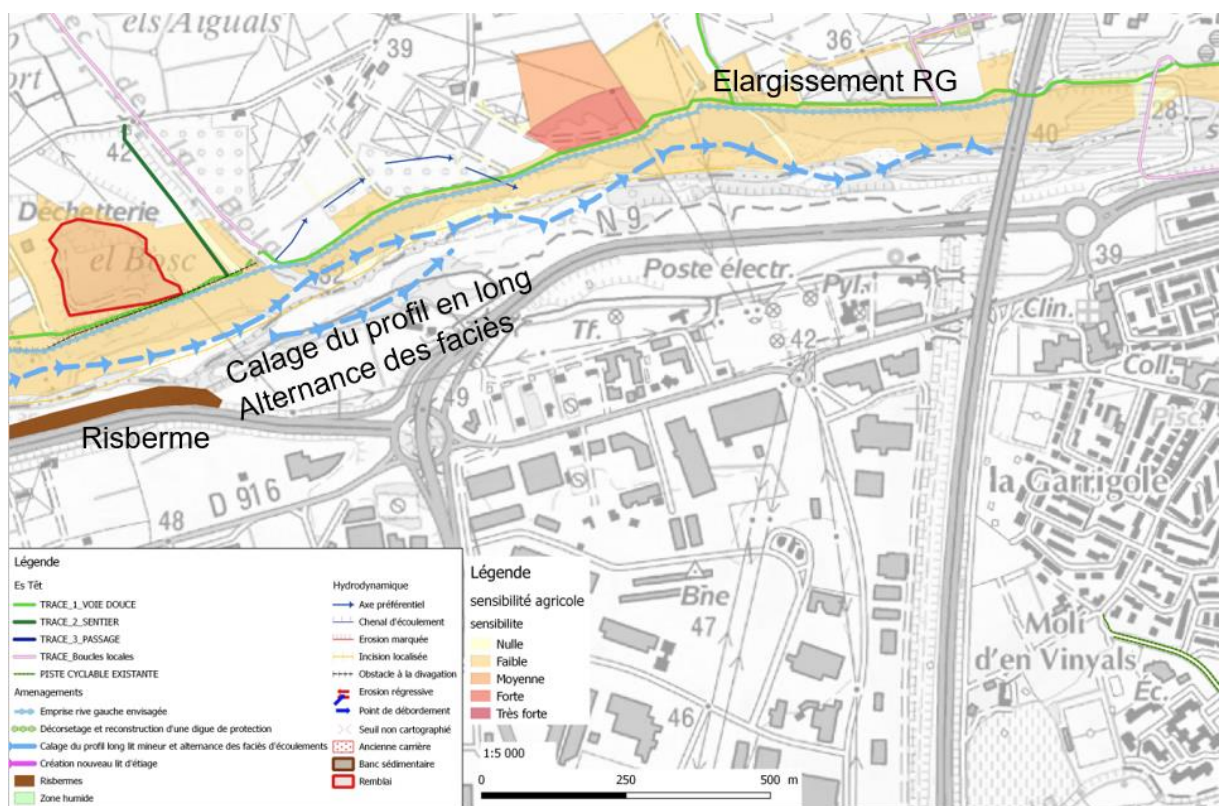


Figure 64 : propositions des aménagements sur le tronçon 5.6

La définition précise de ces aménagements seront détaillés dans la mission 2 où toutes les contraintes seront analysées. Les aménagements seront adaptés et testés par modélisation hydraulique dans la mission 3 (AVP) afin de ne pas aggraver le risque inondation dans les secteurs accueillants de personnes et de biens.

5.2 TEMPORALITE DES AMENAGEMENTS

L'objectif principal des aménagements est de stopper l'incision verticale du lit de la Têt sur l'ensemble du linéaire impacté. Afin d'atteindre cet objectif, il est nécessaire d'avoir une vision globale du fonctionnement actuel et de la problématique.

L'action majeure à mettre en place correspond au calage et à la stabilisation du profil en long. Pour que cette action soit efficace et pérenne, l'action doit être envisagée globalement, sur l'ensemble du linéaire, d'une part, pour assurer la continuité du transit depuis l'amont et d'autre part, pour s'assurer que ces sédiments ne soient pas transportés de façon excessive dans les parties aval excédentaires. Les propositions intègrent également la restauration du fonctionnement hydromorphologique pour tendre vers un bon fonctionnement de la masse d'eau sur l'ensemble des axes de l'hydrosystème.

Toutefois la mise en œuvre des aménagements, de ce projet novateur, nécessite de définir un site pilote afin de voir l'évolution morphologique suite à l'aménagement du site pilote et ainsi assurer et rectifier si nécessaire la suite des aménagements. Il convient de préciser que ce site est intégré dans un aménagement d'ensemble et que cette priorisation tient compte des autres actions qui arriveront plus tard. L'imbrication des actions rentrent bien dans un schéma d'ensemble planifié et cohérent. Le but est d'éviter tout autres dysfonctionnements qui pourraient être liés à des interventions ponctuelles sans aucune logique d'aménagement global.

Afin de définir le site pilote, il est donc nécessaire de prioriser les aménagements. Cette priorisation passe notamment par une temporalité des aménagements.

Le type d'aménagements envisagés (action sur le profil en long), l'urgence de la problématique (secteur incisé jusqu'au substratum) et la logique d'intervention de travaux en rivière conduit à définir une temporalité d'intervention de l'aval vers l'amont.

La priorisation des actions au sein même du programme d'aménagement global sera précisé dans les missions suivantes.

ANNEXES

ANNEXE 1 : PROFILS EN LONG DE LA TET POUR DIFFERENTS DEBITS MODELISES

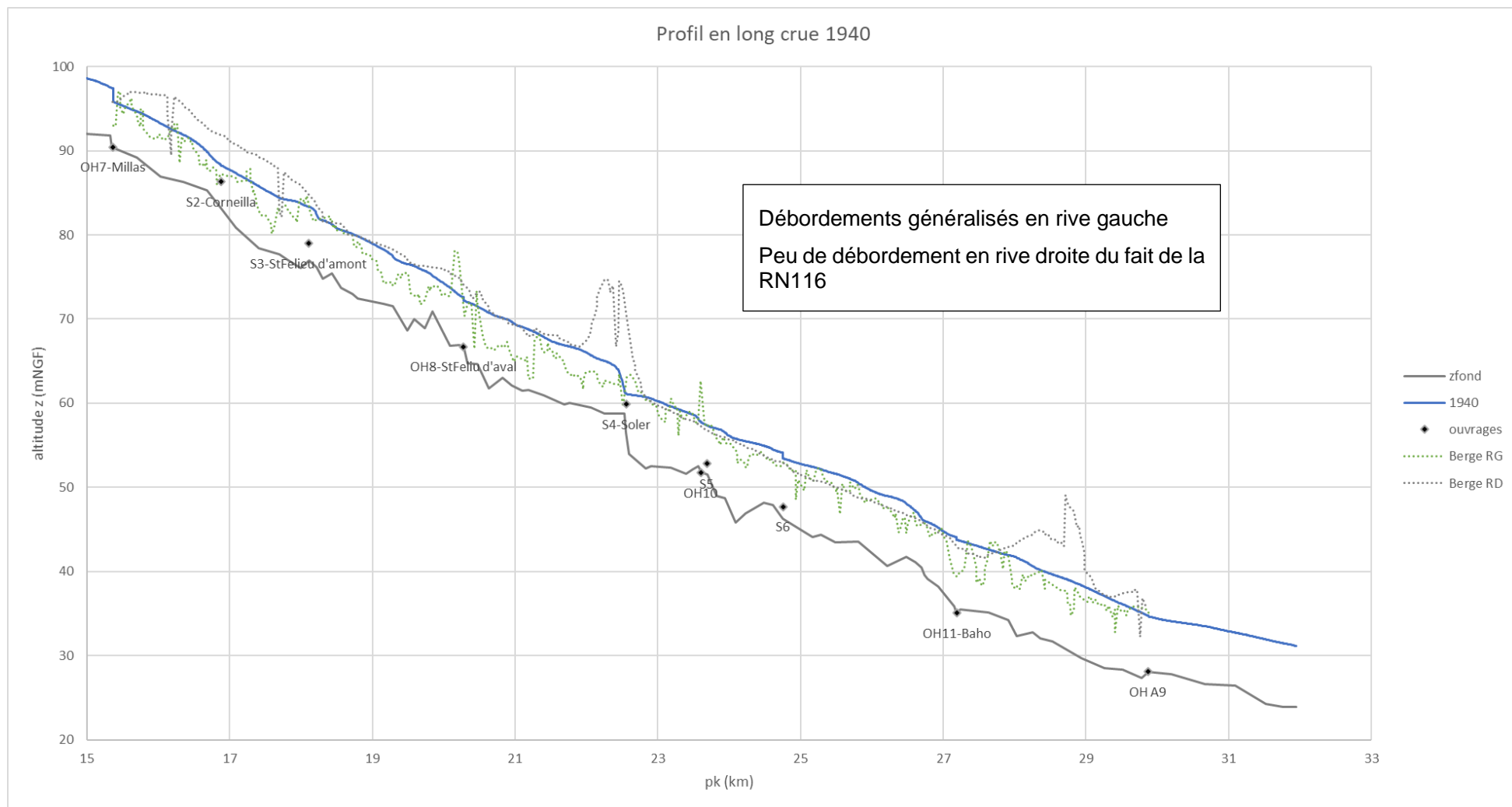


Figure 65 : Lignes d'eau crue 1940 entre Millas et A9

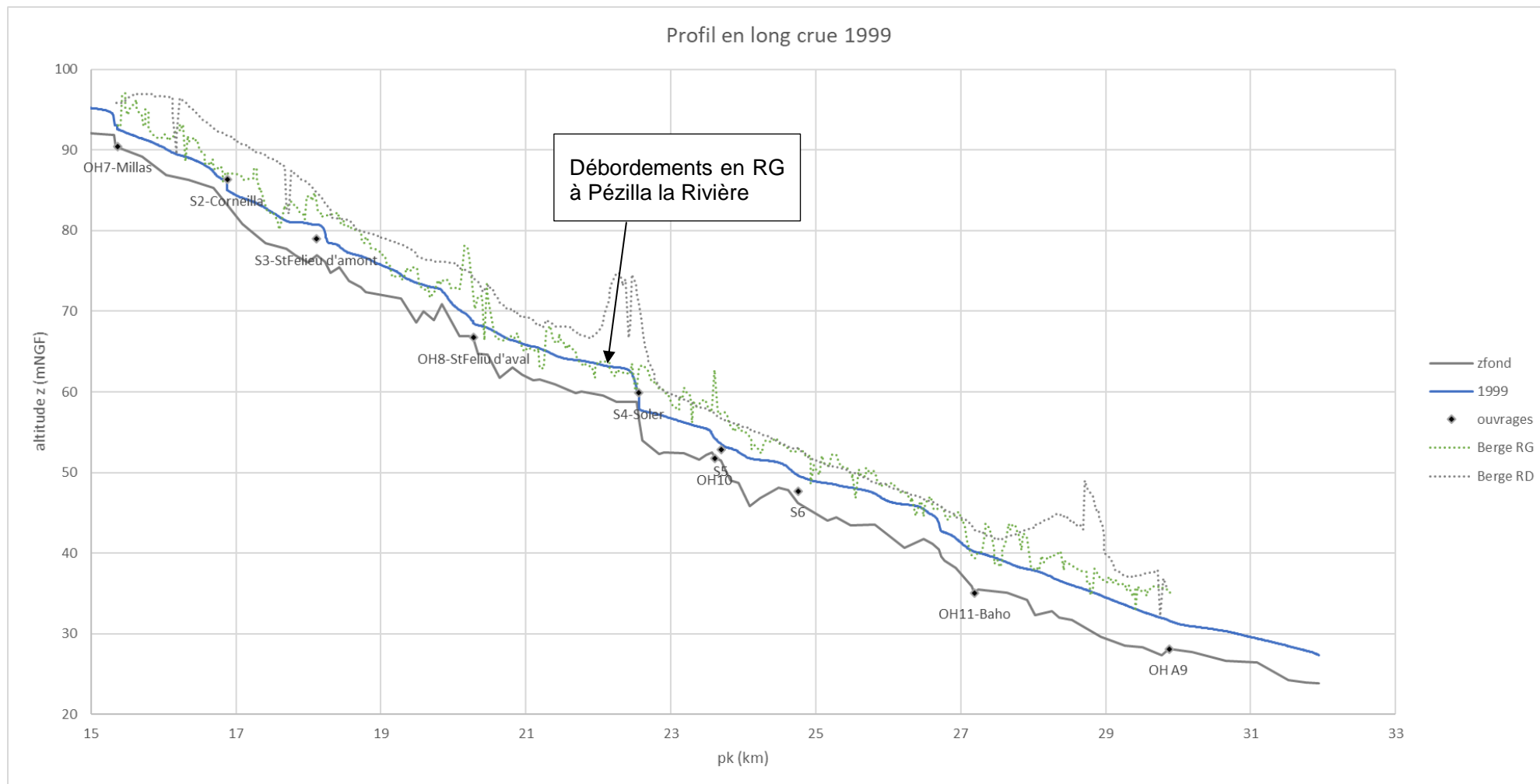


Figure 66 : lignes d'eau crue 1999 ($872\text{m}^3/\text{s}$ à Perpignan) entre Millas et A9

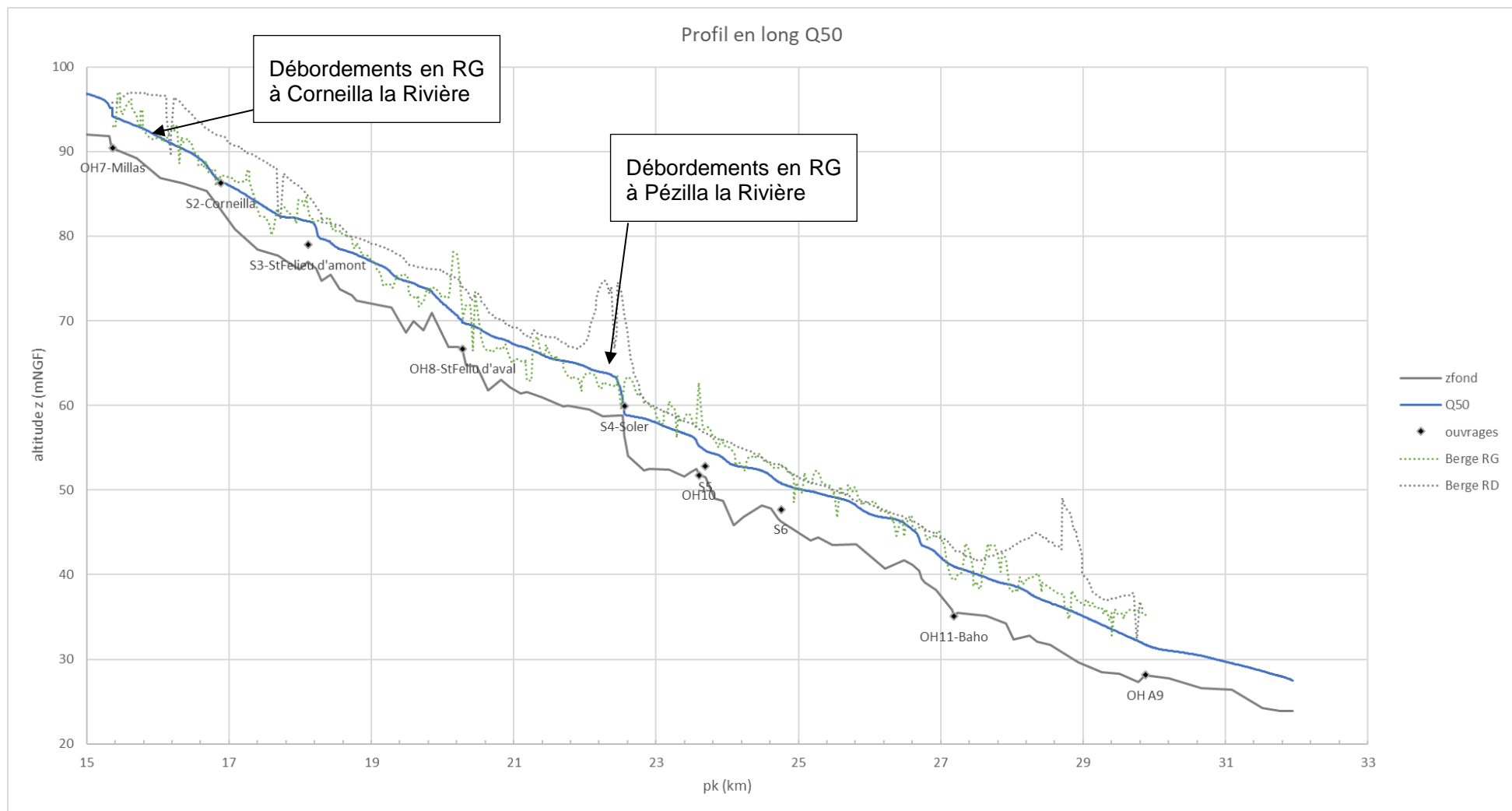


Figure 67 : lignes d'eau Q= 1000 m³/s (T50ans à Perpignan, T> 50ans à Millas) entre Millas et A9

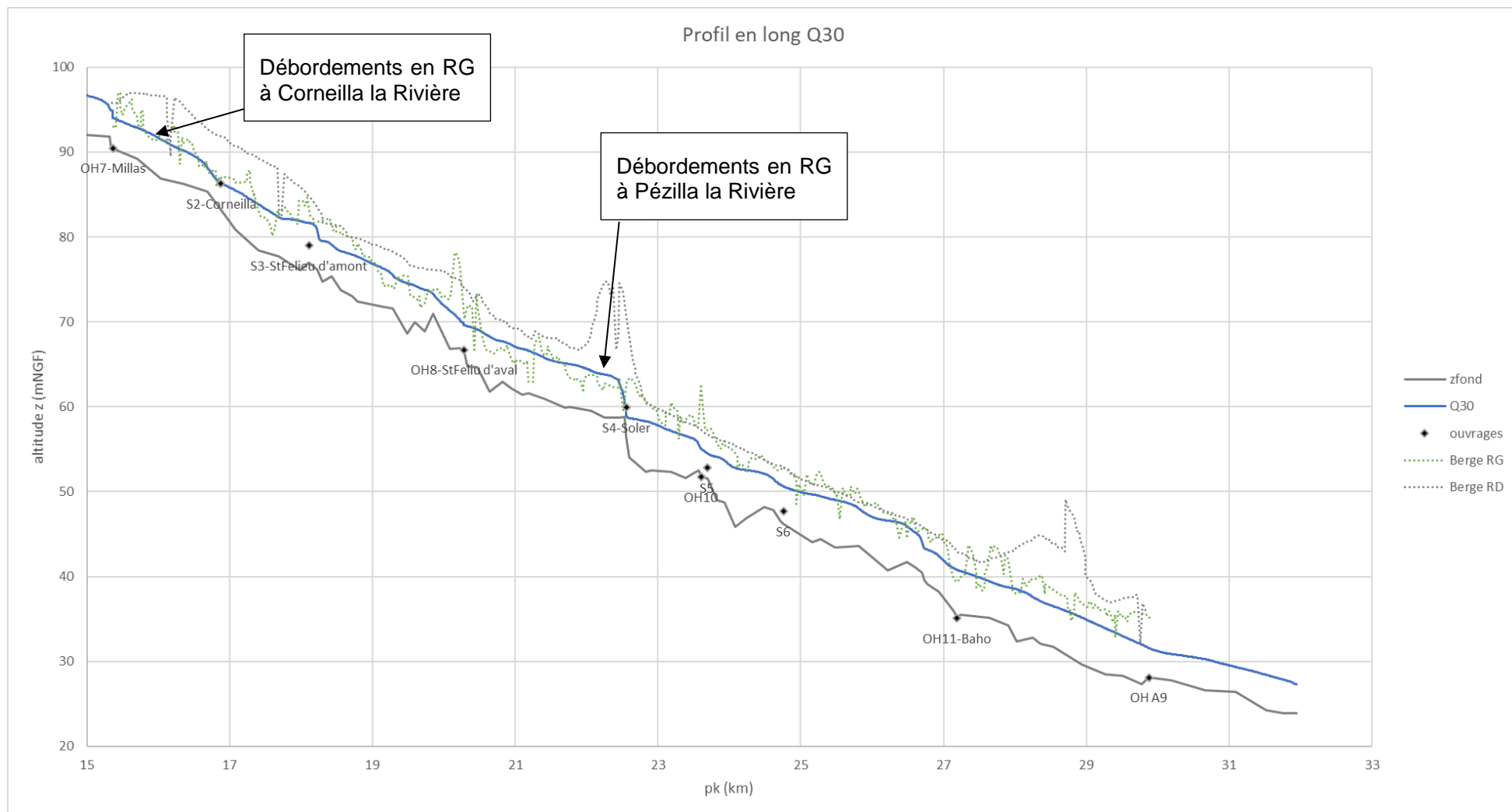


Figure 68 : lignes d'eau $Q=900\text{ m}^3/\text{s}$ ($T=30\text{ans}$ à Perpignan) entre Millas et A9

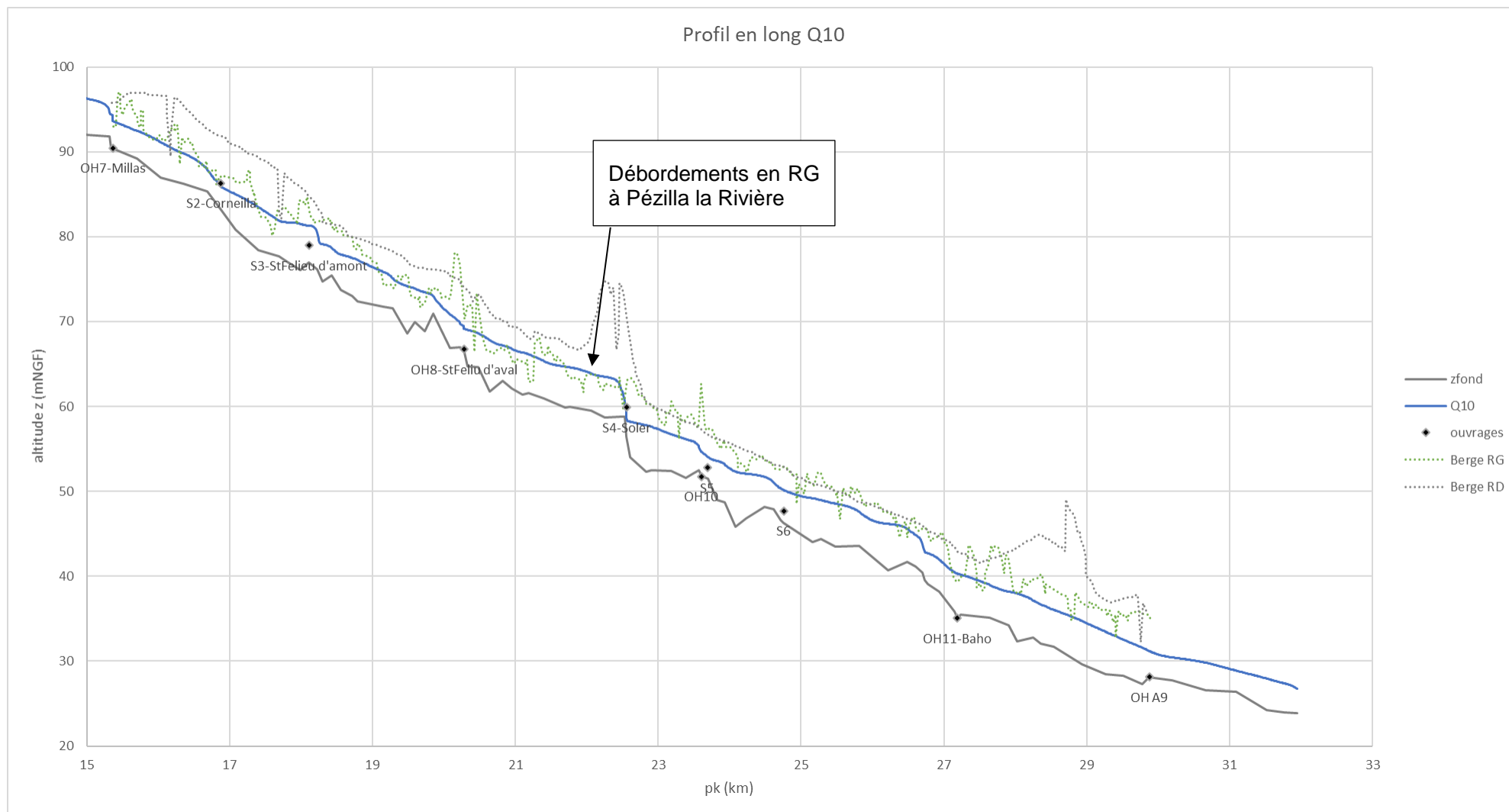


Figure 69 : lignes d'eau $Q= 680 \text{ m}^3/\text{s}$ ($T=10$ ans à Perpignan, $T\sim 30$ ans à Millas) entre Millas et A9

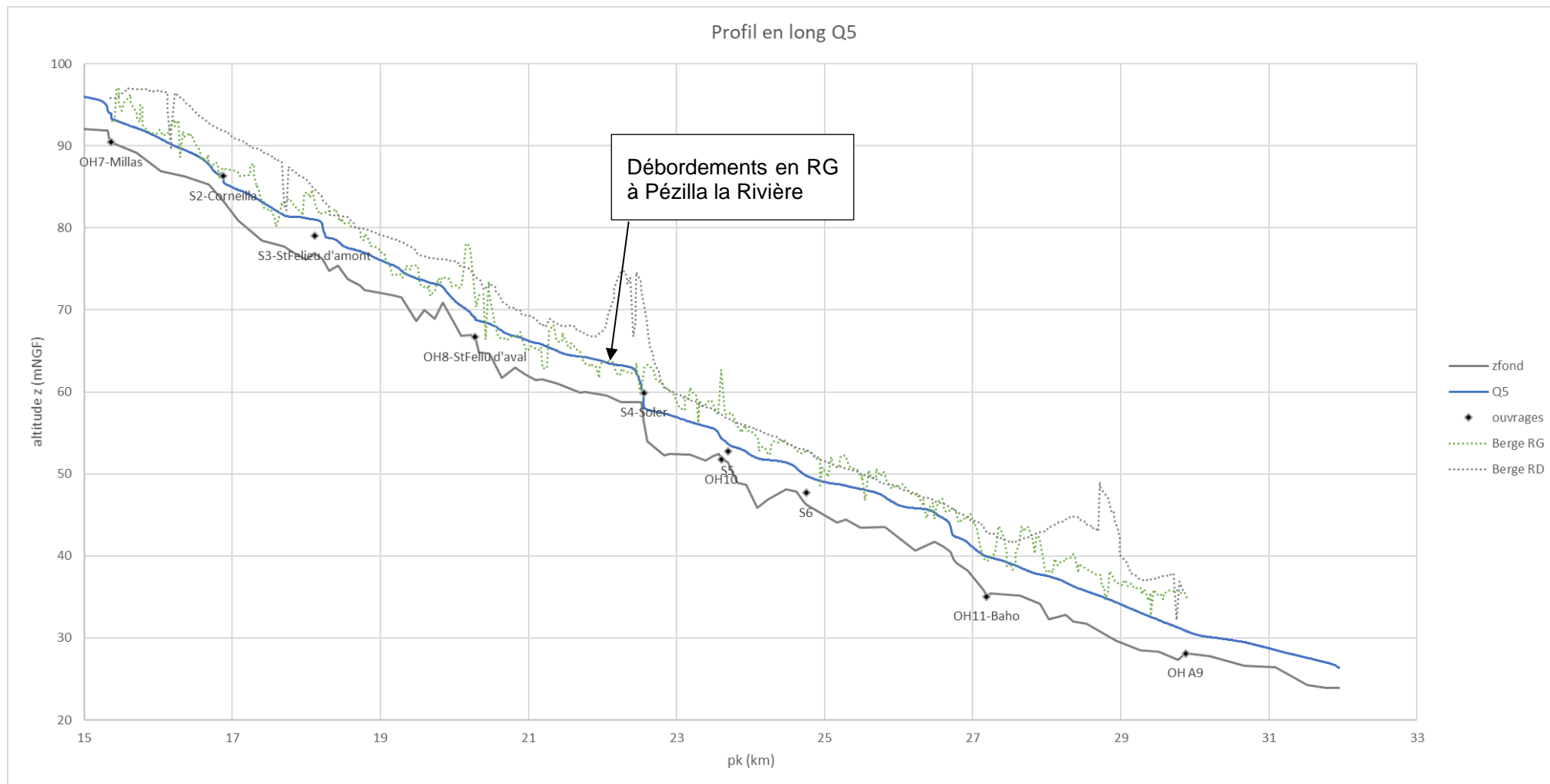


Figure 70 : lignes d'eau $Q= 530$ m³/s ($T=5$ ans à Perpignan, $T\sim 15$ ans à Millas) entre Millas et A9

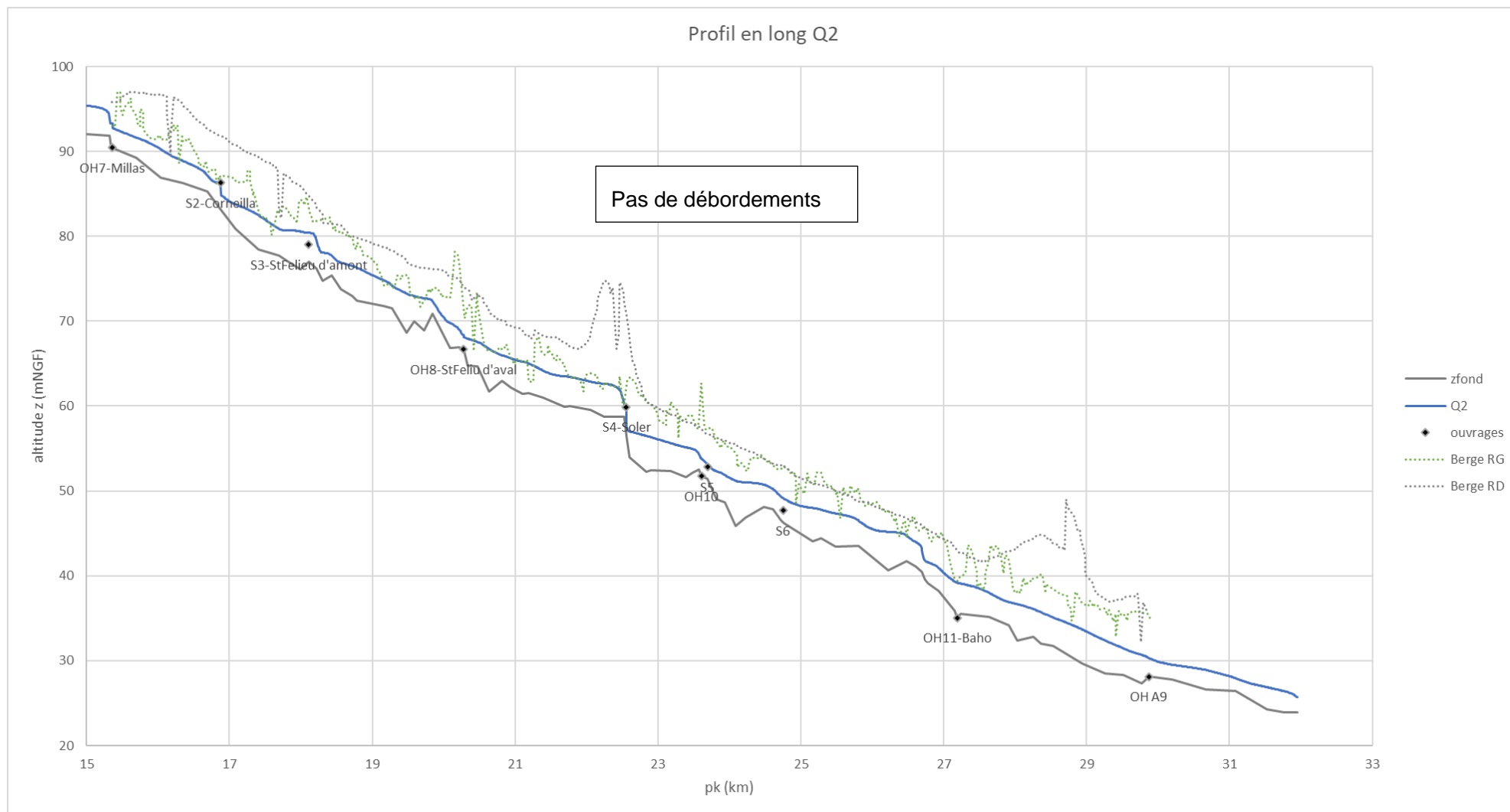


Figure 71 : lignes d'eau Q= 300 m³/s (T=2 ans à Perpignan T ~ 4ans à Millas) entre Millas et A9

ANNEXE 2 : ENONCE DE LA FORMULE DE LEFORT 2015 – NOTE

NON PUBLIEE A CE JOUR



Hydraulique à forte pente - Transport solide

FORMULE DE LEFORT 2015

ANNEXE I

1. PRÉSENTATION

La formule prolonge un travail présenté en 2007 et alors inachevé en ce qui concerne le charriage partiel. Les idées à la base de la formule de 2007 étaient les suivantes :

- Calculer le transport solide par charriage et suspension dans le plus large domaine d'application.
- Ne recourir qu'aux paramètres primaires, nécessaires et suffisants, à savoir le débit, la pente, les spécifications du matériau et la largeur des cours d'eau confinés entre berges stables, cohésives ou boisées. Comme l'a noté Recking, ce choix évite l'emploi de paramètres d'écoulement, hauteur ou vitesse, sources d'imprécision dans le résultat du calcul, notamment dans les torrents et rivières torrentielles. Néanmoins nous avons dû recourir au coefficient de Strickler (berges exclues) pour prendre en compte la résistance due aux formes de lit, surtout les dunes et les rides de sable.
- Déterminer les limites de validité, notamment en regard de la formation du pavage associé à un charriage partiel, c'est à dire privilégiant le transport des plus petits éléments. Lors de sa publication lors d'un colloque de la SHF en 2007, l'analyse du pavage aux faibles transports amorcée avec les données de l'Idaho n'avait pas abouti. Réalisées postérieurement, les études d'Alain Recking intéressent principalement le charriage partiel ; c'est en partant de ses acquis que nous avons repris, corrigé et complété l'étude de 2007.

2. LES PARAMÈTRES DE LA FORMULE

Débit liquide q

Le débit liquide q par unité de largeur est le débit écoulé dans le lit actif par unité de largeur : notre définition exclut le débit écoulé dans le lit majeur et plus généralement les surfaces constituées par des dépôts de matériaux de lessivage (washload) ou couvertes par une végétation permanente.

Pente J

La pente J est la pente de la ligne d'énergie, égale à la pente de la ligne d'eau en écoulement uniforme, mais qui peut en différer notablement en écoulement graduellement varié. Lorsque le transport est un transport de régime 3, la pente de la ligne d'énergie est régulée par le transport et peu variable le long du tronçon de mesure : elle peut donc être assimilée à la pente moyenne de la ligne d'eau. Lorsque le transport est un transport de régime 1 (charriage partiel), la pente varie le long de l'alternance seuil-mouille et sa détermination est moins évidente.

Largeur L

La largeur L est la largeur de l'écoulement actif caractérisée par la présence d'un matériau de fond provenant du charriage. Cette définition exclut à la fois les fonds rocheux et les bancs limoneux ou boisés.

Dans les essais de laboratoire, ce sera la largeur du canal. Dans les fleuves et rivières à lit d'étiage unique, ce sera la largeur du lit ordinaire. L'appréciation sera plus difficile dans le cas des rivières en tresse, lorsque la largeur et la pente sont variables dans le temps et l'espace en fonction du régime des crues (rivières méditerranéennes) : le meilleur choix est la partie mouillée de la largeur du lit actif, variable en fonction du débit.

Spécifications du matériau

Il s'agit du matériau constitutif du lit alluvial et résultant du transport solide fluvial (par opposition à glaciaire). La granulométrie du matériau du lit est censée être mesurée par comptage suivant la méthode de Wolman : ce choix résulte du mode de prélèvement utilisé pour les mesures de l'Idaho et les autres rivières compilées par l'USGS.

Mais les matériaux sableux utilisés en laboratoire ou mesurés sur le terrain sont définis en masse et non en surface, ce qui en principe n'est pas correct; mais ce choix ne peut être évité et est pratiquement sans conséquence, car la granulométrie des sables est le plus souvent étroite. D'autre part la couche de surface des sables est peu sujette au pavage; la contrainte de cisaillement étant largement supérieure à la contrainte critique, le charriage partiel n'y est guère observé.

Pour les rivières moyennes à lit de gravier, la différence entre les granulométries de surface et de sub surface sera significative ; lorsque la mesure n'a pas été effectuée par comptage de surface, mais en masse, profondément ou superficiellement, il faudra s'attendre à des charriages surestimés au voisinage du début de transport.

Le diamètre choisi comme référence est le diamètre moyen d_m du matériau du lit et est défini par :

$$d_m = \sum \frac{d_i P_i}{P} \quad d_i, \text{ diamètre et } P_i, \text{ poids}$$

Ce choix, qui fut celui de Meyer-Peter et Müller, se substitue au d_{50} couramment employé, ce qui majore l'influence des gros éléments dans la composition d'un mélange en granulométrie étendue. Le diamètre moyen est compris entre le d_{50} et le d_{75} et permet à notre avis de mieux représenter le début d'entraînement, du moins pour les rivières peu ou non pavées. Remarquons que le choix du diamètre moyen d_m diffère de celui de Recking qui adopte le d_{84} , mais fait aussi intervenir le d_{50} dans le calcul du nombre de Recking.

L'étendue granulométrique sera évaluée avec la « gradation » égale à l'écart type lorsque la distribution des tailles est log-normale :

$$Gr = \frac{1}{2} \left[\frac{d_{84}}{d_{50}} + \frac{d_{50}}{d_{16}} \right]$$

La densité du matériau intervient sous la forme du poids spécifique γ_s et de la densité sous eau $s-1$, c'est à dire prenant en compte la poussée d'Archimède.

La viscosité cinématique de l'eau ν est variable avec la température et entre dans le calcul du diamètre sédimentologique adimensionnel d_m^* , nécessaire pour le paramétrage des sables fins et moyens et qui s'écrit :

$$d_m^* = d_m \left[\frac{g(s-1)}{\nu^2} \right]^{1/3}$$

3. ÉNONCÉ DE LA FORMULE DE TRANSPORT SOLIDE

Le calcul du transport solide comporte deux régimes :

- Le calcul du débit de transition q_0 ,
- Le calcul de la concentration C_p de part et d'autre du débit de transition q_0 .

3.1. Calcul du débit de transition q_0

Le débit de transition q_0 n'est pas le débit de début de mouvement : il correspond au régime 2 du transport, entre le charriage partiel (ou régime 1), qui ne modifie pas la couche grossière de surface et est constitué de sable et de petit gravier à faible concentration et le charriage généralisé (ou régime 3) qui permet la mise en mouvement de la couche grossière constituant le pavage de surface.

Le débit q_0 s'applique à l'ensemble de la section, définie par la largeur active mouillée L ; il s'exprime sous une forme analogue au débit de début d'entraînement dans la formule de Meyer-Peter et celle de Smart et Jaeggi :

$$\frac{q_0}{\sqrt{g((s-1)d_m)^3}} = C_{(d_m^*)} \cdot \left(\frac{d_m}{L}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{k_s}{k_r}\right)^{-0.5} \cdot J^{-n}$$

Les variables adimensionnelles sont détaillées ci après :

Fonction $C_{(d_m^*)}$

La fonction $C_{(d_m^*)}$ décrit la variation de la contrainte de Shields en fonction du diamètre sédimentologique sous une forme analogue à celle rencontrée dans la littérature pour la contrainte critique :

$$C_{(d_m^*)} = 0.0444 \cdot \left[1 + \frac{15}{1 + d_m^*} - 1.5 e^{(-d_m^*/75)} \right]$$

La valeur 0.0444 est proche de celle de la constante de Meyer-Peter, mais ce n'est qu'une coïncidence dénuée de signification. En pratique, on pourra considérer que ce paramètre est constant et égal à 0.0444 pour les lits de graviers et galets.

Rapport d_m/L

Le rapport d_m/L est en fait le produit des deux rapports d_m/h et h/L :

- d_m/h exprime la variation du coefficient de frottement en fonction de la rugosité relative.
- h/L prend en compte l'effet de paroi exprimé théoriquement avec le rayon hydraulique lorsque la largeur est faible ; mais surtout, il décrit sommairement l'inégale distribution du débit sur le lit par la formation de bancs aux grandes largeurs. Le choix de ce paramètre est pour beaucoup dans l'aptitude de la formule à quantifier les transports sur le terrain et en laboratoire avec les mêmes constantes numériques.

Exposant n

L'exposant n attaché à la pente J est variable et s'écrit :

$$n = 1.6 + 0.06 \log (J)$$

Cette variation empirique de l'exposant pente correspond à une augmentation de la contrainte de cisaillement avec la pente.

Rapport k_s/k_r

La mise en mouvement du matériau du lit se produit lorsque la contrainte exercée par le fluide est supérieure à la résistance des grains élémentaires constitutifs du lit. Mais à la résistance des grains s'ajoutent les résistances dites de forme qui varient de manière différente, telles que celles résultant des dunes, des rides pour les sables et des seuils et mouilles dans les méandres. Le calcul du coefficient de Strickler d'un écoulement à surface libre permet de rendre compte de l'importance respective des résistances de grain et de forme. La variable adimensionnelle $(k_s/k_r)^{-0.5}$ exprime l'incidence du rapport entre le coefficient de rugosité du lit et le coefficient de rugosité attaché au grain, sur lit plat. Ce rapport avait déjà été introduit par Meyer-Peter et Müller dans leur formule de 1948, mais, avec un exposant supérieur à 2, pesait beaucoup plus lourdement sur le résultat. L'introduction de cette variable dans le calcul du débit de transition améliore sensiblement la qualité de la formule. Deux cas vont alors se présenter :

- Les variables hydrauliques ont été calculées en supposant l'écoulement uniforme ou mieux par un calcul des lignes d'eau en écoulement graduellement varié à débit connu; ce calcul permet de déterminer le coefficient de rugosité, en général le coefficient de Strickler.
- Mais plusieurs séries de mesure du fichier USGS ne précisent pas la hauteur d'eau; par ailleurs les données de hauteur des torrents de forte rugosité relative sont souvent peu fiables; pour ces données, le calage de la formule a nécessité une détermination approchée de la variable k_s/k_r . Pour cette détermination, nous partirons des équations de l'écoulement uniforme de Recking et Rickenmann : elles conduisent à l'expression suivante du rapport k_s/k_r en fonction du nombre sans dimension caractérisant la submersion relative :

$$q^* = \frac{q}{\sqrt{g J d_{84}^3}}$$

$$\text{Si : } q^* < 139 \quad k_s/k_r = 0.9 q^{*0.23} \quad \text{si non : } k_s/k_r = 0.9$$

Cette équation est écrite par Recking avec le diamètre d_{84} ; nous la transformerons en utilisant le diamètre moyen d_m et en ajustant les constantes sur les données expérimentales, d'abord sur les données incomplètes puis sur l'ensemble des jeux de données afin de déterminer son champ d'application.

En considérant le nombre sans dimension : $q^* = \frac{q}{\sqrt{g J d_m^3}}$ nous obtiendrons :

$$\text{Si : } q^* < 200 \quad k_s/k_r = 0.75 \left(\frac{q^*}{200} \right)^{0.23} \quad \text{sinon : } k_s/k_r = 0.75$$

3.2. Calcul de la concentration C_p (ppm = mg/litre)

Pour faciliter l'exploitation des données et leur représentation, nous caractériserons le transport solide par la concentration C_p exprimée en ppm, mg/litre ou gr/m³. La concentration est en pratique adimensionnelle et facilite la comparaison entre les données de laboratoire et les calculs. Le débit solide journalier G_s est égal suivant cette définition à :

$$G_s \text{ (tonnes/jour)} = 0.0864 C_p \cdot Q \text{ (m}^3\text{/s)}$$

La concentration C_p exprimée en mg/litre s'écrit :

$$C_p = 1700000 \cdot J^m \cdot \frac{s}{(s-1)^{1.65}} \cdot G_r^{0.2} \cdot cor \cdot F\left(\frac{q}{q_0}, q^*\right)$$

Les variables constitutives sont les suivantes :

1. L'exposant m , attaché à la pente J , s'écrit : $m = 1.8 + 0.08 \log(J)$
2. Le terme $\frac{\gamma_s}{(s-1)^{1.65}}$ dépend du poids spécifique du matériau et de la densité minorée par la poussée d'Archimède. Pour les matériaux de densité moyenne 2.65, ce terme est égal à 1.16.
3. La « gradation » $Gr = \frac{1}{2} \left[\frac{d_{84}}{d_{50}} + \frac{d_{50}}{d_{16}} \right]$ mesure l'étendue granulométrique.
4. Le facteur de correction de dune cor traduit l'influence des fortes rugosités induites surtout en laboratoire par certaines dunes (mais pas toutes) et la majoration du frottement qui en résulte. Sa variation s'efforce de traduire la formation et l'aplatissement des dunes avec le débit analysés par Yalin. Il ne doit être appliqué qu'aux diamètres inférieurs à 0.6 mm et s'écrit :

$$\text{Si : } d_m^* < 14 \text{ et si } \frac{k_s}{k_r} < 0.63 ; cor = 1 - 1.4 e^{-0.9 \left(\frac{k_s}{k_r} \right)^2 \cdot \left(\frac{q}{q_0} \right)^{0.5}} \text{ sinon : } cor = 1$$

Ce coefficient peut être utilisé sur le terrain, mais influence assez peu les résultats.

5. Le rapport $\frac{q}{q_0}$ rapport du débit par unité de largeur au débit q_0 de transition entre les régimes 1 et 2.

6. Le nombre sans dimension $M = \frac{q^* + 2.5}{200}$ est un facteur de réduction du transport par charriage partiel, c'est à dire lorsque q/q_0 est inférieur à 1 ; il varie de 1 à 0.02 lorsque la submersion relative h/d_m décroît de 9 à 1.5.
7. La fonction du débit F comporte deux équations :
- la première caractérise le régime 1 du transport, c'est à dire le charriage partiel des petits éléments, sable et gravier, sur lit pavé;
 - la deuxième caractérise le régime 3 du transport, c'est à dire le transport généralisé par charriage d'abord, puis par charriage et suspension des matériaux du lit.

Les deux équations de la fonction F applicables de part et d'autre du débit de transition q_0 s'écrivent :

$$\text{Si } q < q_0 \quad F1 = 0.06 M \frac{q}{q_0}$$

$$\text{Si : } q > q_0 \quad F2 = \left[6.1 \left(1 - 0.938 \left(\frac{q_0}{q} \right)^{0.284} \right)^{1.66} \right]^Z$$

Les deux fonctions renvoient la valeur 0.06 lorsque $q = q_0$, si la fonction M est égale ou supérieure à 1.

8. L'exposant Z décrit dans l'équation (4.8.14) la majoration du débit solide lorsque l'on passe du charriage à la saltation, puis à la suspension.

$$Z = 1 + \frac{0.38}{d_m^{*0.45}} \cdot \left[\frac{q}{\sqrt{g} d_m^3} \right]^{0.192}$$

En posant $Z = 1$, on obtient l'ordre de grandeur de la fraction du débit solide transporté par charriage de fond. Pour un lit de graviers, l'exposant Z est égal à 1.

ANNEXE 3 : CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES SOUS- BASSINS VERSANT DE LA TET EN AVAL DU BARRAGE DE VINÇA

	Longueur des cours d'eau suivant son classement Strahler	Longueur du bassin versant	Surface du Bassin versant	Dénivelée du bassin versant (= Zmax - Zmin)	Densité de drainage ($\Sigma lu/A$) cela témoigne des potentialités de dissection d'un bassin versant	Ration de relief ($\Delta h/Lb$) cela témoigne du potentiel d'activité des processus gravitaires
Désignation	Lu	Lb	A	Δh	Dd	RR
Unité	km	km	km ²	km	km	
BV1	7.931	1.511	5.944	0.815	1.334	0.540
BV10	18.786	1.904	10.449	0.413	1.798	0.217
BV100	7.694	2.965	1.108	0.084	6.944	0.028
BV101	12.202	3.193	5.795	0.209	2.106	0.065
BV102	21.962	4.715	10.224	0.064	2.148	0.014
BV103	29.397	1.985	10.891	0.072	2.699	0.036
BV104	10.977	2.610	3.225	0.043	3.404	0.016
BV105	9.270	4.099	4.378	0.325	2.118	0.079
BV106	3.247	1.218	2.446	0.586	1.328	0.481
BV107	9.028	3.206	4.715	0.064	1.915	0.020
BV108	6.031	1.702	5.236	0.876	1.152	0.515
BV109	9.007	2.453	0.627	0.102	14.362	0.041
BV11	5.265	1.199	3.153	0.384	1.670	0.320
BV110	3.337	0.823	0.325	0.044	10.283	0.053
BV12	12.813	1.835	5.275	0.480	2.429	0.262
BV13	2.132	1.963	1.886	0.277	1.130	0.141
BV14	2.329	1.125	1.669	0.380	1.395	0.338
BV15	2.707	1.204	2.240	0.368	1.208	0.305
BV16	3.184	2.096	2.258	0.361	1.410	0.172
BV17	7.477	3.770	5.239	0.397	1.427	0.105
BV18	4.044	1.499	2.419	0.316	1.672	0.211
BV19	7.818	3.595	6.745	0.369	1.159	0.103
BV2	4.764	2.107	4.874	0.697	0.978	0.331
BV20	6.939	2.033	4.378	0.342	1.585	0.168
BV21	8.501	2.021	4.075	0.422	2.086	0.209
BV22	19.966	2.554	9.684	0.088	2.062	0.035
BV23	10.240	2.271	5.937	0.370	1.725	0.163
BV24	6.302	1.392	3.219	0.080	1.958	0.057
BV25	2.944	1.370	3.344	0.398	0.880	0.291
BV25	2.944	1.370	3.344	0.398	0.880	0.291
BV26	0.562	0.562	0.485	0.172	1.158	0.306
BV27	1.280	1.280	0.255	0.063	5.025	0.049
BV28	0.001	0.001	0.635	0.125	0.002	86.247
BV29	4.259	2.325	1.791	0.291	2.378	0.125
BV3	9.167	1.448	7.327	0.845	1.251	0.584
BV30	0.044	0.044	1.017	0.256	0.044	5.764

	Longueur des cours d'eau suivant son classement Strahler	Longueur du bassin versant	Surface du Bassin versant	Dénivelée du bassin versant (= Zmax - Zmin)	Densité de drainage ($\Sigma lu/A$) cela témoigne des potentialités de dissection d'un bassin versant	Ration de relief ($\Delta h/Lb$) cela témoigne du potentiel d'activité des processus gravitaires
Désignation	Lu	Lb	A	Δh	Dd	RR
Unité	km	km	km ²	km	km	
BV31	3.537	0.985	1.796	0.121	1.970	0.123
BV32	2.441	2.441	0.590	0.118	4.138	0.048
BV33	1.575	0.912	1.307	0.022	1.205	0.024
BV34	8.946	2.839	6.710	0.228	1.333	0.080
BV35	13.805	8.272	7.376	0.442	1.872	0.053
BV37	14.487	4.612	7.522	0.435	1.926	0.094
BV39	3.612	3.612	2.081	0.285	1.735	0.079
BV4	9.313	2.459	6.130	0.664	1.519	0.270
BV40	3.481	1.905	0.811	0.330	4.293	0.173
BV41	1.367	1.176	1.132	0.493	1.208	0.419
BV42	1.198	0.649	1.657	0.542	0.723	0.834
BV43	2.245	0.886	1.311	0.535	1.713	0.604
BV44	2.345	1.064	1.447	0.590	1.621	0.554
BV45	5.247	2.234	3.981	0.728	1.318	0.326
BV46	2.982	0.726	2.355	0.612	1.266	0.843
BV47	3.529	1.297	2.641	0.662	1.336	0.511
BV48	6.852	1.924	3.022	0.627	2.268	0.326
BV49	5.220	2.050	1.727	0.448	3.023	0.219
BV5	8.352	2.667	5.300	0.760	1.576	0.285
BV50	8.554	2.093	5.216	0.400	1.640	0.191
BV51	9.906	2.595	4.717	0.341	2.100	0.131
BV52	5.049	1.706	3.218	0.192	1.569	0.112
BV53	5.571	1.543	3.507	0.192	1.589	0.125
BV54	4.479	2.021	2.020	0.177	2.217	0.087
BV55	6.241	2.053	4.666	0.313	1.338	0.153
BV56	15.057	3.518	9.701	0.216	1.552	0.061
BV57	4.131	3.646	2.798	0.019	1.477	0.005
BV58	5.013	1.173	3.203	0.041	1.565	0.035
BV59	11.599	7.035	9.411	0.154	1.232	0.022
BV6	7.059	1.905	3.141	0.736	2.247	0.386
BV61	2.587	1.503	2.453	0.223	1.054	0.148
BV62	1.211	1.199	2.013	0.271	0.601	0.226
BV64	4.295	2.445	1.985	0.300	2.163	0.123
BV65	1.416	0.688	0.845	0.397	1.676	0.577
BV66	4.846	1.072	1.152	0.128	4.206	0.119
BV67	5.412	1.348	4.191	0.891	1.291	0.661

	Longueur des cours d'eau suivant son classement Strahler	Longueur du bassin versant	Surface du Bassin versant	Dénivelée du bassin versant (= Zmax - Zmin)	Densité de drainage ($\Sigma lu/A$) cela témoigne des potentialités de dissection d'un bassin versant	Ration de relief ($\Delta h/Lb$) cela témoigne du potentiel d'activité des processus gravitaires
Désignation	Lu	Lb	A	Δh	Dd	RR
Unité	km	km	km ²	km	km	
BV68	1.513	1.305	3.475	0.187	0.435	0.143
BV69	1.462	0.643	2.334	0.282	0.626	0.438
BV7	3.329	1.317	3.142	0.317	1.060	0.241
BV70	8.749	2.777	6.454	0.441	1.356	0.159
BV71	9.985	2.215	5.950	0.382	1.678	0.172
BV72	12.914	1.996	4.831	0.376	2.673	0.189
BV73	17.611	1.658	7.261	0.193	2.425	0.116
BV74	23.240	1.836	10.481	0.350	2.217	0.191
BV75	2.782	0.856	1.335	0.424	2.084	0.496
BV76	53.087	5.475	18.994	0.362	2.795	0.066
BV77	3.594	1.037	1.991	0.021	1.805	0.021
BV78	1.657	0.650	1.005	0.019	1.649	0.029
BV79	1.338	1.338	1.748	0.026	0.766	0.019
BV8	3.348	1.416	2.514	0.403	1.332	0.285
BV80	5.680	5.475	1.309	0.019	4.338	0.003
BV81	5.001	1.538	3.184	0.030	1.570	0.019
BV82	22.615	3.742	13.486	0.366	1.677	0.098
BV83	14.057	1.444	4.839	0.041	2.905	0.028
BV84	24.690	2.589	8.866	0.048	2.785	0.019
BV85	7.953	1.600	4.579	0.048	1.737	0.030
BV86	11.510	2.329	7.617	0.078	1.511	0.033
BV87	2.903	1.447	1.649	0.033	1.760	0.023
BV88	2.493	1.217	3.001	0.071	0.831	0.058
BV89	0.712	0.653	0.821	0.047	0.867	0.071
BV9	4.980	3.770	4.225	0.347	1.179	0.092
BV90	5.406	1.548	2.015	0.029	2.683	0.018
BV91	17.373	1.884	7.980	0.057	2.177	0.030
BV92	21.145	2.873	9.133	0.068	2.315	0.024
BV93	14.620	1.654	6.329	0.509	2.310	0.308
BV94	11.694	2.902	3.752	0.183	3.117	0.063
BV95	6.750	1.396	2.520	0.366	2.679	0.262
BV96	6.261	1.218	2.784	0.459	2.249	0.377
BV97	6.760	1.612	4.736	0.064	1.427	0.040
BV98	11.299	3.270	5.306	0.642	2.130	0.196
BV99	8.043	3.354	4.767	0.047	1.687	0.014

ANNEXE 4 : SENSIBILITE A L'EROSION DES SOUS-BASSINS

VERSANT DE LA TET EN AVAL DU BARRAGE DE VINÇA :

CROISEMENT DES NOTATIONS

	TFN	FN	NFN	TFV	FV	NFV	Somme Si = Sensibilité du BV	Cm ^{Dd} (Cm ^{Dd} = 0,34*Dd +0,565)	Cm ^{RR} (Cm ^{RR} = 1,667* RR+0,667)	Sensibilité globale (SG = Cm ^{RR} * Cm ^{Dd} *Si)
Coefficient pondérateur	50	25	10	10	5	0				
BV1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02	1.566	0.000
BV10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.18	1.029	0.000
BV100	2.74	0.00	0.00	9.45	0.00	0.00	12.19	2.93	0.714	25.485
BV101	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	10.00	1.28	0.776	9.941
BV102	11.74	0.00	0.00	7.65	0.00	0.00	19.39	1.30	0.690	17.328
BV103	15.63	0.00	0.00	6.87	0.00	0.00	22.50	1.48	0.727	24.267
BV104	17.28	0.00	0.00	6.54	0.00	0.00	23.82	1.72	0.694	28.497
BV105	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.28	0.799	0.000
BV106	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	1.02	1.469	7.467
BV107	16.25	0.00	0.00	6.75	0.00	0.00	23.00	1.22	0.700	19.585
BV108	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96	1.525	0.000
BV109	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.45	0.736	0.000
BV11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.13	1.201	0.000
BV110	0.67	0.00	0.00	9.87	0.00	0.00	10.53	4.06	0.755	32.322
BV12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.39	1.103	0.000
BV13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95	0.902	0.000
BV14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04	1.230	0.000
BV15	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	0.98	1.176	5.738
BV16	0.00	0.00	2.03	0.00	0.00	0.00	2.03	1.04	0.954	2.024
BV17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.842	0.000
BV18	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	1.13	1.019	5.774
BV19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96	0.838	0.000
BV2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	1.219	0.000
BV20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	0.947	0.000
BV21	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	10.00	1.27	1.015	12.934
BV22	3.42	0.00	0.00	9.32	0.00	0.00	12.73	1.27	0.725	11.679
BV23	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	1.15	0.939	5.404
BV24	10.29	0.00	0.00	7.94	0.00	0.00	18.23	1.23	0.763	17.111
BV25	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	0.86	1.151	4.976
BV25	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	0.86	1.151	4.976
BV26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96	1.178	0.000
BV27	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	10.00	2.27	0.749	17.034
BV28	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	0.57	144.441	408.602
BV29	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	10.00	1.37	0.875	12.025
BV3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	1.640	0.000
BV30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	10.275	0.000
BV31	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	10.00	1.23	0.871	10.757
BV32	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	10.00	1.97	0.747	14.738
BV33	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	10.00	0.97	0.708	6.897

	TFN	FN	NFN	TFV	FV	NFV	Somme Si = Sensibilité du BV	Cm ^{Dd} (Cm ^{Dd} = 0,34*Dd +0,565)	Cm ^{RR} (Cm ^{RR} = 1,667* RR+0,667)	Sensibilité globale (SG = Cm ^{RR} * Cm ^{Dd} *Si)
Coefficient pondérateur	50	25	10	10	5	0				
BV34	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	10.00	1.02	0.801	8.153
BV35	3.24	0.00	0.00	9.35	0.00	0.00	12.59	1.20	0.756	11.434
BV37	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	10.00	1.22	0.824	10.055
BV39	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	1.16	0.798	4.611
BV4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	1.117	0.000
BV40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.02	0.956	0.000
BV41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98	1.366	0.000
BV42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.81	2.058	0.000
BV43	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	1.15	1.674	9.600
BV44	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	1.12	1.591	8.880
BV45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01	1.210	0.000
BV46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	2.073	0.000
BV47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02	1.518	0.000
BV48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.34	1.210	0.000
BV49	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	1.59	1.031	8.213
BV5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	1.142	0.000
BV50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	0.986	0.000
BV51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.28	0.886	0.000
BV52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	0.854	0.000
BV53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.11	0.875	0.000
BV54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.32	0.813	0.000
BV55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02	0.921	0.000
BV56	2.00	0.00	0.00	9.60	0.00	0.00	11.60	1.09	0.769	9.749
BV57	4.84	0.00	0.00	9.03	0.00	0.00	13.88	1.07	0.676	10.006
BV58	0.00	18.79	0.00	0.00	3.62	0.00	22.41	1.10	0.725	17.831
BV59	2.44	0.00	0.00	9.51	0.00	0.00	11.95	0.98	0.703	8.275
BV6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.33	1.311	0.000
BV61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.92	0.914	0.000
BV62	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	10.00	0.77	1.043	8.026
BV64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.872	0.000
BV65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.13	1.628	0.000
BV66	0.00	25.00	0.00	0.00	3.16	0.00	28.16	2.00	0.865	48.625
BV67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.769	0.000
BV68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57	0.570	0.000
BV69	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	0.78	1.398	5.436
BV7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	1.068	0.000
BV70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	0.932	0.000
BV71	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	1.14	0.954	5.419
BV72	0.00	0.00	2.94	0.00	0.00	0.00	2.94	1.47	0.981	4.256
BV73	0.33	0.00	0.00	9.93	0.00	0.00	10.27	1.39	0.861	12.282

	TFN	FN	NFN	TFV	FV	NFV	Somme Si = Sensibilité du BV	Cm ^{Dd} (Cm ^{Dd} = 0,34*Dd +0,565)	Cm ^{RR} (Cm ^{RR} = 1,667* RR+0,667)	Sensibilité globale (SG = Cm ^{RR} * Cm ^{Dd} *Si)
Coefficient pondérateur	50	25	10	10	5	0				
BV74	0.00	0.00	5.33	0.00	0.00	0.00	5.33	1.32	0.985	6.930
BV75	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	1.27	1.493	9.509
BV76	5.12	0.00	0.00	8.98	0.00	0.00	14.09	1.52	0.777	16.597
BV77	13.03	0.00	0.00	7.39	0.00	0.00	20.42	1.18	0.701	16.886
BV78	6.02	0.00	0.00	8.79	0.00	0.00	14.82	1.13	0.715	11.928
BV79	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	10.00	0.83	0.699	5.769
BV8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02	1.141	0.000
BV80	2.06	0.00	0.00	9.59	0.00	0.00	11.65	2.04	0.673	15.988
BV81	47.70	0.00	0.00	0.46	0.00	0.00	48.16	1.10	0.699	37.004
BV82	7.10	0.00	0.00	8.58	0.00	0.00	15.68	1.14	0.830	14.774
BV83	0.30	0.00	0.00	9.94	0.00	0.00	10.24	1.55	0.714	11.349
BV84	14.91	0.00	0.00	7.02	0.00	0.00	21.93	1.51	0.698	23.147
BV85	35.47	0.00	0.00	2.91	0.00	0.00	38.38	1.16	0.717	31.799
BV86	0.31	0.00	0.00	9.94	0.00	0.00	10.24	1.08	0.723	7.987
BV87	27.12	0.00	0.00	4.58	0.00	0.00	31.70	1.16	0.705	26.020
BV88	32.44	0.00	0.00	3.51	0.00	0.00	35.96	0.85	0.764	23.269
BV89	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	0.86	0.786	33.791
BV9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.97	0.820	0.000
BV90	45.53	0.00	0.00	0.89	0.00	0.00	46.42	1.48	0.698	47.849
BV91	15.75	0.00	0.00	6.85	0.00	0.00	22.60	1.31	0.717	21.158
BV92	27.01	0.00	0.00	4.60	0.00	0.00	31.61	1.35	0.706	30.192
BV93	0.00	0.00	3.18	0.00	0.00	0.00	3.18	1.35	1.180	5.067
BV94	0.00	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	0.66	1.62	0.772	0.825
BV95	3.12	0.00	0.00	9.38	0.00	0.00	12.50	1.48	1.104	20.371
BV96	0.00	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00	1.68	1.33	1.295	2.889
BV97	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	10.00	1.05	0.733	7.702
BV98	0.00	8.59	0.00	0.00	4.37	0.00	12.96	1.29	0.994	16.611
BV99	5.38	0.00	0.00	8.92	0.00	0.00	14.31	1.14	0.690	11.243

ANNEXE 5 : ZONES INONDABLES EN FONCTION DE LA PERIODE DE

RETOUR