

Baptiste FELDMANN – Aurélie GALVANI – Emilie BOULAY

ATELIERS DU MASTER SIGMA

Promotion 2017-2018

DELIMITATION DU DOMAINE PUBLIC FLUVIAL

Pour

La Direction Départementale des Territoires Haute-Garonne

Encadrants:

Mr. Nicolas Gauffilet (DDT 31)

Mr. Lionel Douzal (DDT 31)

Mr. Martin Paegelow (UT2J)

Mr. Sébastien Le Corre (UT2J)



Sommaire

I.	Introduction	7
II.	Contexte	8
1.	Objectifs et enjeux	8
2.	Le Domaine Public Fluvial	8
A.	Approche juridique	9
B.	Approche Géomorphologique	9
III.	Etude Webographique.....	11
1.	Définitions.....	11
2.	Approches SIG.....	12
A.	Principes récurrents rencontrés	12
B.	Méthodes avec le logiciel QGIS.....	14
C.	Méthodes avec le logiciel ArcGIS	15
D.	Méthodes avec des logiciels de modélisation hydrauliques	15
3.	Approches non SIG	15
4.	Bilan	17
IV.	Présentation des zones d'études	20
1.	Zone de la Palmoula.....	20
2.	Zone de La Garonne - Pyrénées	21
3.	Zone de la Marcaissonne	23
4.	Zone de confluence Garonne - Ariège	24
V.	Etude des données raster	26
1.	Données fournies.....	26
2.	Spécifications générales des dalles	27
3.	Méthodes d'acquisition	27
4.	Qualité de l'acquisition LiDAR	30
5.	Qualité de l'interpolation.....	31
6.	Délimitation des dalles.....	32
7.	Anomalies de valeurs d'altitude dans le MNT.....	34
VI.	Test des méthodes existantes.....	35
1.	Méthode de la Courbure	35
A.	Fonctionnement général	35
B.	Résultats	36
C.	Bilan	46
2.	River Bathymetry Toolkit	47
A.	Tests effectués sur une dalle	48
B.	Tests effectués sur plusieurs dalles.....	55

C.	Bilan de la méthode	60
VII.	Développement de l'Analyse Profil en Travers	61
1.	Fonctionnement général	61
2.	Résultats	63
A.	Zone de la Confluence Garonne-Ariège	63
B.	Zone de La Marcaissonne	66
C.	Zone De la Palmoula	69
D.	Zone de la Garonne - Pyrénées	71
3.	Conclusion	73
VIII.	Comparaison des résultats.....	74
1.	Définition des indicateurs	74
2.	Prise en compte de l'incertitude des résultats	74
3.	Résultats	75
A.	Taux de recouvrement RBTK - Courbure	80
B.	Pourcentage de recoupement APET – RBTK	81
C.	Pourcentage de recoupement APET – Courbure	83
4.	Bilan des méthodes.....	85
IX.	Conclusion	87
X.	Références.....	88
	Annexe 1: Les métadonnées.....	90
	ANNEXE 2 : Description des métadonnées de la table d'assemblage Lidar	92
	ANNEXE 3 : Méthode de la Courbure	93
	ANNEXE 4 : Méthode du "river Bathymetry Toolkit"(RBTK)	103
	ANNEXE 5.....	103
	ANNEXE 6.....	110
	ANNEXE 7.....	103
	ANNEXE 8.....	112

Table des figures

Figure 1: Le Domaine Public Fluvial (<i>Source : Préfecture du Lot, 2017</i>)	9
Figure 2: Géomorphologie d'un cours d'eau (<i>Source : Chabard et al., 2003</i>)	10
Figure 3: Les unités géomorphologiques Anglo-saxonnes (<i>Source : Indiana Fluvial Erosion Hazard Program</i>).....	12
Figure 4: Enveloppe environnant le DPF détectée par la courbure	13
Figure 5: Le Topographic Position Index (TPI). (<i>Weiss, 2006</i>)	13
Figure 6: Limites du <i>Bankfull Stage</i> dans une rivière en méandres (<i>Source : Wikipedia</i>).....	16
Figure 7: Limites du <i>Bankfull Stage</i> définies par les barres latérales	16
Figure 8: Résumé de la recherche Webographique.....	18
Figure 9: Zone d'étude pour effectuer les tests du projet de délimitation du DPF	20
Figure 10: Délimitation de la zone d'étude de la Palmoula	21
Figure 11: Bloc 3D de la zone d'étude de la Palmoula	21
Figure 12: Délimitation de la zone d'étude Garonne Pyrénées	22
Figure 13: Bloc 3D de la zone d'étude Garonne Pyrénées	22
Figure 14: Délimitation de la zone d'étude de la Marcaissonne	23
Figure 15: Bloc 3D de la zone d'étude de la Marcaissonne.....	24
Figure 16: Délimitation de la zone d'étude de la confluence.....	25
Figure 17: Bloc 3D de la zone de confluence	25
Figure 18: Attributs d'une dalle LIDAR de la table d'assemblage. Le champ NB_LIDAR_T indique que l'ensemble des nœuds sur la dalle proviennent du LiDAR terrestre, soit 1 000 000.	28
Figure 19: Attributs d'une dalle radar de la table d'assemblage. Le champ NB_RADAR comporte la valeur maximale, soit 1 000 000.	28
Figure 20: Sources des nœuds de constructions des dalles MNT	29
Figure 21: Raster de la métadonnée SOURCE fournie avec les dalles RGE ALTI®	30
Figure 22: Tableau d'indexation des couleurs de la couche source (<i>Source : IGN, 2014</i>).....	31
Figure 23: Masque Distance sur la Haute-Garonne	32
Figure 24: Couverture LiDAR sur la zone De la Palmoula	33
Figure 25: Couverture LiDAR sur la zone de la Marcaissonne.....	33
Figure 26: Discontinuités observées dans la zone de De la Palmoula.....	34
Figure 27: Diagramme de flot pour la méthode de la courbure (légende commune à tous les diagrammes de flot).....	36
Figure 28 : Résultats de la méthode de la courbure sur la zone de la Palmoula.....	37
Figure 29 : Exemple de signature de courbures similaires à celles du DPF. A gauche courbure simple, à droite courbure après seuillage	38
Figure 30: Discontinuités dans le résultat de la courbure.....	39
Figure 31: Résultats de la méthode de la courbure sur la zone Nord de la Marcaissonne	40
Figure 32: Résultats de la méthode de la courbure sur la zone Sud de la Marcaissonne	41
Figure 33: Exemple de discontinuité due aux limites de dalles.....	42
Figure 34: Résultats de la méthode courbure sur la zone de la confluence Ariège/Garonne.....	43
Figure 35: Résultat de la méthode de la courbure sur la zone des Pyrénées	45
Figure 36: Variation de la pente à partir d'un profil en travers sur la zone des Pyrénées	46
Figure 37: Diagramme de Flot pour l'utilisation du River Bathymetry Toolkit	48
Figure 38: Graphe 'Volume to area' pour la dalle 'RGEALTI_FXX_0588_6270_MNT_LAMB93_IGN69'	49
Figure 39: Résultat du Bankfull dans la zone de Saint-Orens 'RGEALTI_FXX_0588_6270_MNT_LAMB93_IGN69'	49
Figure 40: Comparaison des résultats des méthodes utilisant l'outil "River Bathymetry Toolkit" (ArcGis) et le modeleur définissant les courbures (QGIS) sur la zone de la Marcaissonne 'RGEALTI_FXX_0588_6270_MNT_LAMB93_IGN69'	50

Figure 41: Graphe 'Volume to area' pour la dalle 'RGEALTI_FXX_0586_6301_MNT_LAMB93_IGN69' de la zone de la Palmoula	50
Figure 42: Résultats du Bankfull dans la zone de la Palmoula 'RGEALTI_FXX_0586_6301_MNT_LAMB93_IGN69'	51
Figure 43: Comparaison des résultats des méthodes utilisant l'outil "River Bathymetry Toolkit" (ArcGis) et le modeleur définissant les courbures (QGIS) sur la zone de la Palmoula 'RGEALTI_FXX_0586_6301_MNT_LAMB93_IGN69'	52
Figure 44: Graphe 'Volume to area' pour la dalle 'RGEALTI_FXX_0513_6201_MNT_LAMB93_IGN69' dans la zone des Pyrénées	53
Figure 45: Représentation du Bankfull dans la zone des Pyrénées 'GEALTI_FXX_0513_6201_MNT_LAMB93_IGN69'	53
Figure 46: Graphe 'Volume to area' pour la dalle 'RGEALTI_FXX_0571_6270_MNT_LAMB93_IGN69' dans la zone de la confluence	54
Figure 47: Représentation du Bankfull dans la zone des Pyrénées 'RGEALTI_FXX_0571_6270_MNT_LAMB93_IGN69'	54
Figure 48: Représentation du Bankfull dans la zone totale de la Marcaissonne	55
Figure 49: Graphe 'Volume to area' pour la zone de la Palmoula	56
Figure 50: Représentation du <i>Bankfull</i> dans la zone totale de la Palmoula	56
Figure 51: Représentation du <i>Bankfull</i> dans la zone d'étude des Pyrénées	57
Figure 52: Graphe 'Volume to area' pour la zone de la confluence	58
Figure 53: Représentation du Bankfull dans la zone d'étude de la confluence	59
Figure 54: Comparaison des résultats des méthodes utilisant l'outil "River Bathymetry Toolkit" (ArcGis) et le modeleur définissant les courbures (QGIS) sur la zone de la confluence	60
Figure 55: Diagramme de flot pour la méthode du script python	62
Figure 56: Délimitation de la Garonne et de l'Ariège de la zone "avant débordement" pour le secteur de la confluence (profils en travers)	64
Figure 57: Délimitation de la Garonne et de l'Ariège de la zone "avant débordement" à partir des profils en travers pour le secteur de la confluence (Points des rives)	65
Figure 58: Recherche des bords du cours d'eau par analyse des profils en travers sur la zone nord de la Marcaissonne	67
Figure 59: Recherche des bords du cours d'eau par analyse des profils en travers sur la zone sud de la Marcaissonne	68
Figure 60: Recherche des bords du cours d'eau par analyse des profils en travers sur la zone de la Palmoula	70
Figure 61: Recherche des bords du cours d'eau par analyse des profils en travers sur la zone des Pyrénées	72
Figure 62: Comparaison des résultats des méthodes utilisées sur la zone de la Palmoula	76
Figure 63: Comparaison des résultats des méthodes utilisées sur la zone Nord de la Marcaissonne ...	77
Figure 64: Comparaison des résultats des méthodes utilisées sur la zone Sur de la Marcaissonne	78
Figure 65: Comparaison des résultats des méthodes utilisées sur la zone de la confluence	79
Figure 66: Diagramme de flot du taux de recouvrement RBTK - Courbure	80
Figure 67: Diagramme de flot du pourcentage de recouplement APET-RBTK	81
Figure 68: Exemple d'écart entre les méthodes APET et RBTK	82
Figure 69: Diagramme de flot du pourcentage de recouplement APET-Courbure	83
Figure 70: Exemple d'artefacts sur la courbure liés aux bâtiments et route	84
Figure 71: Arbre de décision vers l'outil le plus adapté en fonction des situations et besoins	86

Table des tableaux

Tableau 1: Fichiers fournis par la DDT le 17/01/2018.....	26
Tableau 2: Spécifications du MNT en fonction de méthode d'acquisition.....	27
Tableau 3: Tableau récapitulatif statistique des parts de chaque source.....	29
Tableau 4: Taux de recouvrement entre les méthodes RBTK et Courbure.....	80
Tableau 5: Taux de recouvrement entre les méthodes RBTK et Courbure.....	82
Tableau 6: Taux de recouplement entre les méthodes APET et Courbure.....	83

I. Introduction

Dans le cadre de notre formation de Master 2 SIGMA, les ateliers sont une période où l'occasion est donnée aux étudiants de travailler sur des projets en lien direct avec le monde du travail. Ces projets permettent de travailler sur des problématiques concrètes posées par des commanditaires public ou bien privé.

Ce travail de 5 semaines (entre le 15 Janvier et le 23 Février) a pour but de répondre aux attentes du maître d'ouvrage, de proposer différentes solutions, de soulever des questionnements et autres verrous techniques, d'avoir un regard critique sur le sujet et d'exposer un prototype permettant de répondre le mieux possible à la problématique de départ.

Notre projet porte sur la délimitation du Domaine Public Fluvial (DPF) pour les cours d'eau domaniaux de la Haute-Garonne. Ce projet est réalisé en collaboration avec la Direction Départementale des Territoires de la Haute-Garonne (31).

Notre projet s'articule autour de plusieurs axes. Tout d'abord, après une rapide contextualisation des objectifs et des enjeux de cet atelier, nous avons réalisé un état de l'art en matière de délimitation d'un cours d'eau. Ensuite, à partir des méthodes existantes, nous avons testé ces méthodes sur notre zone d'étude, nous avons également développé notre propre méthodologie pour répondre aux différentes contraintes de notre zone d'étude. Enfin, nous avons réalisé une comparaison des différentes méthodes présentées dans ce rapport.

II. Contexte

Notre projet de délimitation du DPF est un sujet qui fait intervenir différents domaines techniques. Ces objectifs et ces enjeux permettent de mieux définir les attendus du maître d'ouvrage et de mieux poser la problématique relative à ce projet.

1. Objectifs et enjeux

Cet atelier de délimitation du DPF réalisé dans le cadre d'une collaboration avec la DDT 31 a été une opportunité de travailler sur un sujet d'actualité avec de forts enjeux. Cette collaboration nous a permis de mieux cerner notre problématique et de mieux définir les attentes du projet. Ainsi, l'objectif est de développer et de tester des méthodes permettant la mise en place d'un protocole pour la recherche des limites du Domaine Public Fluvial. Ce projet se concentre sur le département de la Haute-Garonne et principalement sur les grands cours d'eau domaniaux (Garonne, Tarn, Ariège, Salat et Neste). Toutefois, la problématique porte aussi sur les plus petits cours d'eau domaniaux car ils sont plus difficiles à délimiter.

Mais, vu l'étendu du réseau hydrographique de la Haute-Garonne et de la durée impartie pour ce projet, une restriction à plusieurs zones d'étude a été nécessaire, validée par les commanditaires.

Pour cet atelier, différents types de données nous ont été proposés. Des données raster, qui correspondent aux dalles du MNT du département. Elles sont issues de données de l'IGN - RGE Alti. Des données vecteurs, qui correspondent aux couches de la BD TOPO de l'IGN.

Ce projet d'actualité permet de mettre en relation des enjeux d'aménagement du territoire avec les sciences géomatiques.

L'objectif de ce projet est de proposer des pistes de méthodologie afin de permettre à la DDT de se positionner stratégiquement sur les questions de délimitation des cours d'eau domaniaux et d'avoir un avis technique sur la faisabilité d'une telle opération sur l'ensemble de la Haute-Garonne.

Néanmoins, avant de pouvoir étudier les méthodes existantes en matière de délimitation d'un cours d'eau, il est utile de définir de façon précise ce qu'est le Domaine Public Fluvial ainsi que ces limites théoriques.

2. Le Domaine Public Fluvial

Le Domaine Public Fluvial se définit d'un point de vue juridique par les articles L2111-7 et suivants du Code Général de la Propriété des Personnes Publiques (CG3P). L'article L2111-7 dispose que le domaine public fluvial concerne "les cours d'eau appartenant à l'Etat, à ses établissements publics, aux collectivités territoriales ou à leurs groupements et classés dans le domaine public fluvial". Ces cours d'eau sont ainsi appelés cours d'eau domaniaux.

La détermination des limites des cours d'eau domaniaux peut s'appuyer sur une définition juridique mais aussi sur une définition d'un point de vue géomorphologique. L'avantage est qu'il est alors

possible comparer les deux approches et d'analyser les similarités dans le but de définir de façon précise ce qui est recherché pour ce projet.

A. Approche juridique

La définition juridique s'appuie sur l'article L2111-9 du CG3P pour définir la délimitation des cours d'eau domaniaux. Cet article dispose que la limite du domaine public fluvial pour un cours d'eau domanial correspond à " [...] la hauteur des eaux coulant à pleins bords avant de déborder.". Cet article définit ainsi le principe du *plenissimum flumen*.

Autrement dit, la limite d'un cours d'eau classé dans le domaine public fluvial correspond aux berges lorsque le cours d'eau coule à pleins bords mais n'est pas en période de crue. Cette définition très précise demande de connaître la hauteur d'eau maximale d'un cours d'eau avant son débordement, ce qui dans la réalité est toujours assez difficile à fixer.

DELIMITATION DU DOMAINE PUBLIC FLUVIAL

Schéma de principe

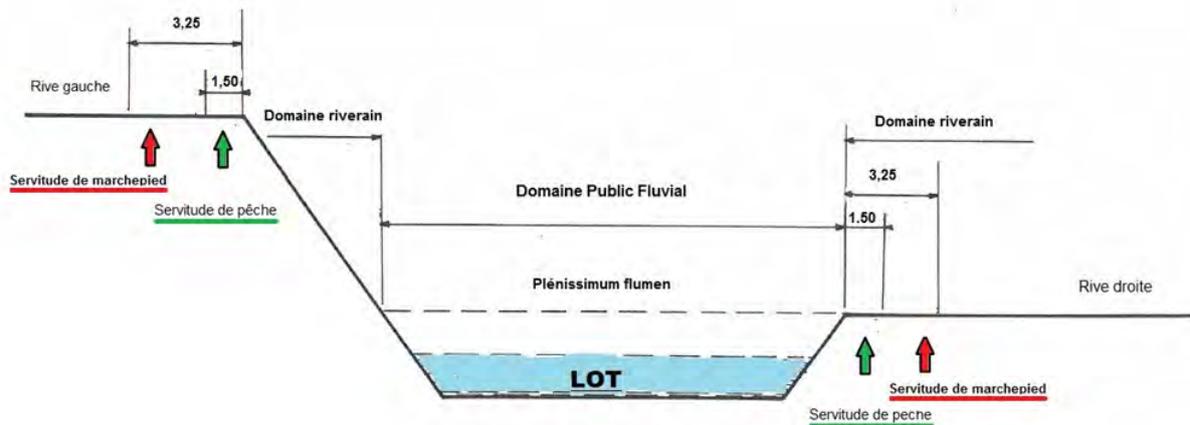


Figure 1: Le Domaine Public Fluvial (Source : Préfecture du Lot, 2017)

B. Approche Géomorphologique

Le point de vue géomorphologique s'appuie sur ce qui caractérise un cours d'eau au niveau de sa topographie. Ainsi, on définit pour un cours d'eau, le lit mineur comme étant "l'espace linéaire où l'écoulement s'effectue la majeure partie du temps".

Tandis que le lit majeur se définit lui comme étant "l'espace inondé de part et d'autre du lit mineur lorsque le cours d'eau est en période de crue".

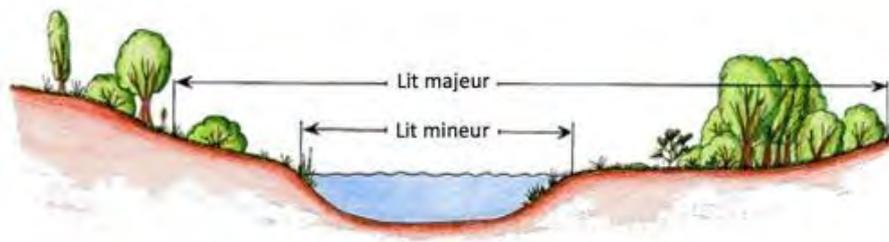


Figure 2: Géomorphologie d'un cours d'eau (Source : Chabard et al., 2003)

Ces deux définitions portent sur le même objet avec des visions différentes. Néanmoins on peut trouver des similarités entre la notion de limite du DPF dans le droit et la notion de lit mineur. Ces similarités se retrouvent dans la bibliographie qui a été analysée pour ce projet afin de permettre de mettre en œuvre une stratégie pour le développement d'une méthode de recherche des berges du cours d'eau.

III. Etude Webographique

Cet état de l'art a pour but de regrouper les méthodes existantes applicables pour la détection du Domaine Public Fluvial à l'aide de données LiDAR. Ceci, afin de faire un tour d'horizon des méthodes, et d'expliquer l'orientation de nos recherches pour la réalisation de cet atelier. Cette webographie peut également être fournie à des utilisateurs souhaitant travailler sur ce projet, afin de leur apporter un support de travail à partir duquel ils pourront continuer les recherches selon les pistes qu'ils jugent pertinentes.

Nous présentons dans un premier temps les méthodes rencontrées utilisant divers logiciels et outils SIG, puis les méthodes non SIG. Nous les considérons complémentaires aux méthodes SIG, car elles permettent de valider les résultats calculés informatiquement, et constituent des analyses complémentaires et préalables aux visites de terrain.

A l'issue de cette phase d'étude, nous avons dégagé les différents outils existants à tester. Plusieurs critères généraux de sélection ont été définis :

- Disponibilité sous QGIS : Dès la réunion de lancement avec la DDT, nous avons convenu de développer la méthodologie en priorité sous QGIS, ce logiciel étant celui utilisé à la DDT ;
- Facilité de téléchargement et d'installation : l'outil doit pouvoir être obtenu et installé aisément ;
- Facilité de prise en main ;
- Richesse de la documentation associée : Le fonctionnement de l'outil doit pouvoir être connu, et une documentation doit lui être associée.

Certains outils rencontrés ont été testés, mais n'ont pas été retenus, leur utilisation n'étant pas pertinente dans notre cas, et les résultats produits ne semblaient pas utilisables pour notre problématique. Ces outils sont indiqués dans ce chapitre.

1. Définitions

La définition du Domaine Public Fluvial retenue pour nos recherches est celle présentée dans le contexte de ce rapport : « *hauteur des eaux coulants à pleins bords avant de déborder* » (Article L2111-9, *Legifrance*).

Dans les études anglo-saxonnes, aucun équivalent légal du Domaine Public Fluvial n'a été référencé. Cependant, son équivalent géomorphologique est le "*Bankfull*" ou "*Bankfull stage*", correspondant à la limite maximale que l'eau peut atteindre avant de déborder dans la plaine inondable (*Army Corps of Engineers, 2013*). Cette définition correspondant à celle du DPF, nos recherches dans les travaux anglophones se sont basées sur ce terme (figure 3).

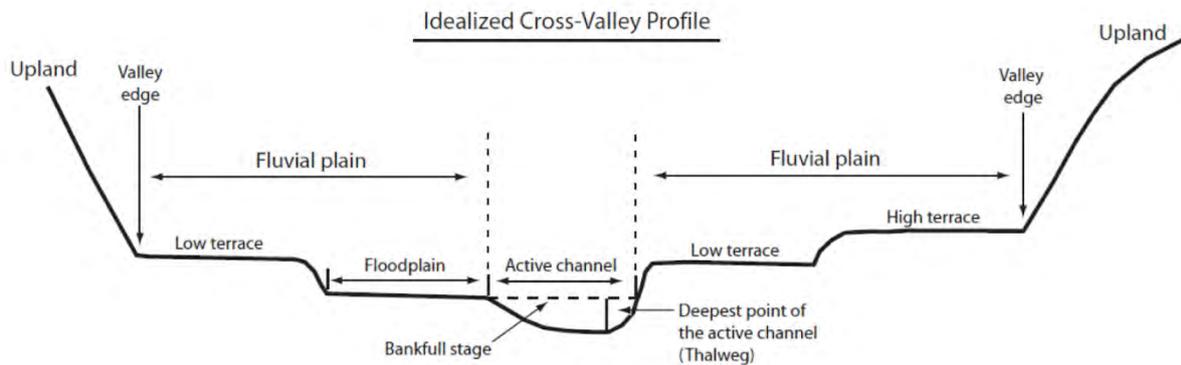


Figure 3: Les unités géomorphologiques Anglo-saxonnes (Source : Indiana Fluvial Erosion Hazard Program)

2. Approches SIG

Si nous n'avons pas rencontré d'articles ou d'études portés spécifiquement sur la détection du Domaine Public Fluvial, plusieurs méthodes appliquées à d'autres thématiques peuvent-être utilisées pour ce cas.

Une grande partie des méthodes francophones utilisant les outils SIG recensées ici ont été développées pour l'identification des zones inondables, dans le cadre de la Directive Européenne Inondation de 2007 (transposée dans la loi Grenelle II de 2010). En effet, la problématique commune repose sur l'analyse de données altimétriques pour identifier les unités géomorphologiques et les surfaces impactées par la montée des eaux. Ces études délimitant le lit majeur et mineur, il est possible d'appliquer les méthodes rencontrées à la problématique du DPF.

A. Principes récurrents rencontrés

La plupart des méthodes SIG rencontrées reposent sur le calcul de certains paramètres retrouvés fréquemment au cours de la recherche webographique. Ces paramètres sont les suivants :

La pente : Systématiquement calculée dans les études géomorphologiques, elle est aisément calculable sur des logiciels comme ArcGIS ou QGIS, avec l'outil Pente. Cette valeur seule ne suffit cependant pas à caractériser le DPF, mais doit-être exploitée pour fournir des indicateurs plus significatifs, tels que la courbure, qui est expliquée dans le paragraphe suivant.

La rupture de pente / courbure : Elle représente la variation de la pente, c'est à dire la valeur de la dérivée de la pente (Alvarez, 2012). Elle permet ainsi de distinguer des rebords, pouvant correspondre au DPF, comme illustré sur la figure ci-dessous :

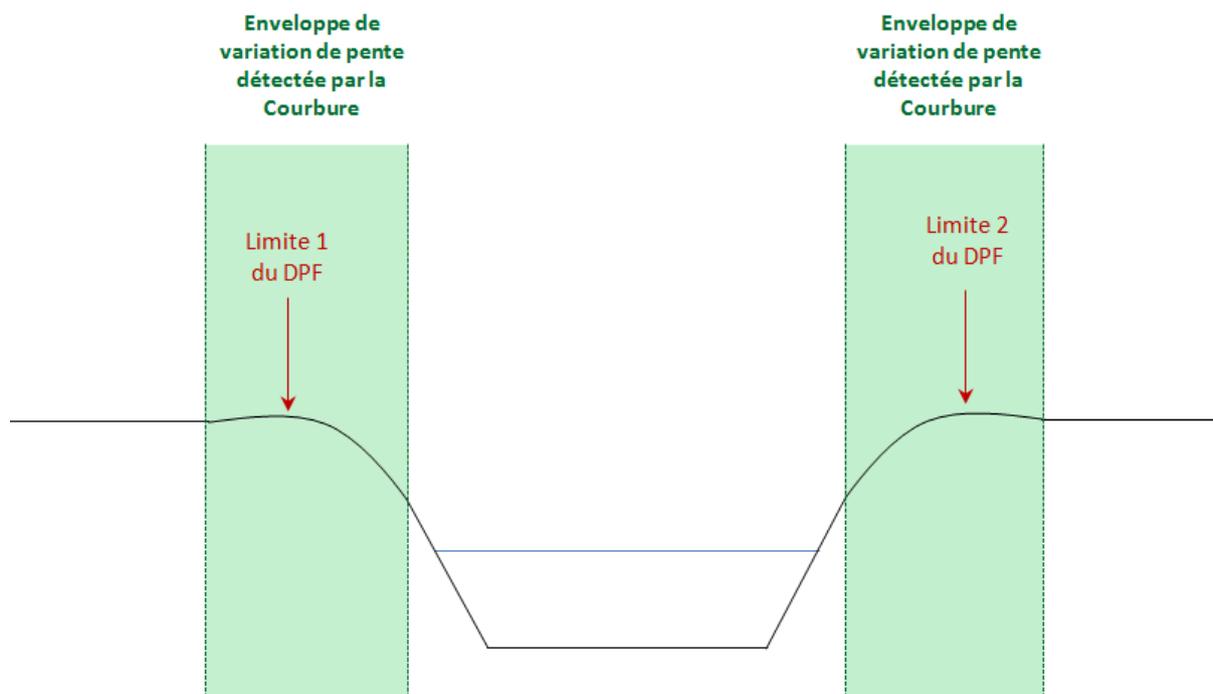


Figure 4: Enveloppe environnant le DPF détectée par la courbure

Elle peut-être calculée avec l’outil Courbure sous ArcGIS, et l’outil r.param.scale avec QGIS-GRASS. Elle fait partie de l’une des deux méthodes que nous avons souhaité développer. Elle est présentée dans la [partie VI.1](#) de ce rapport.

Le Topographic Position Index (TPI) : Cet indice compare l’élévation de la cellule d’un MNT à l’élévation moyenne des cellules de son voisinage (Weiss, 2006). Cet indice permet de connaître la topographie locale et d’en identifier les différents éléments comme illustré sur la figure 5 ci-dessous. Ainsi, un TPI positif décrit des topographies plus élevées que leur entourage (Crête), tandis qu’un TPI négatif décrit une topographie moins élevée (Vallée).

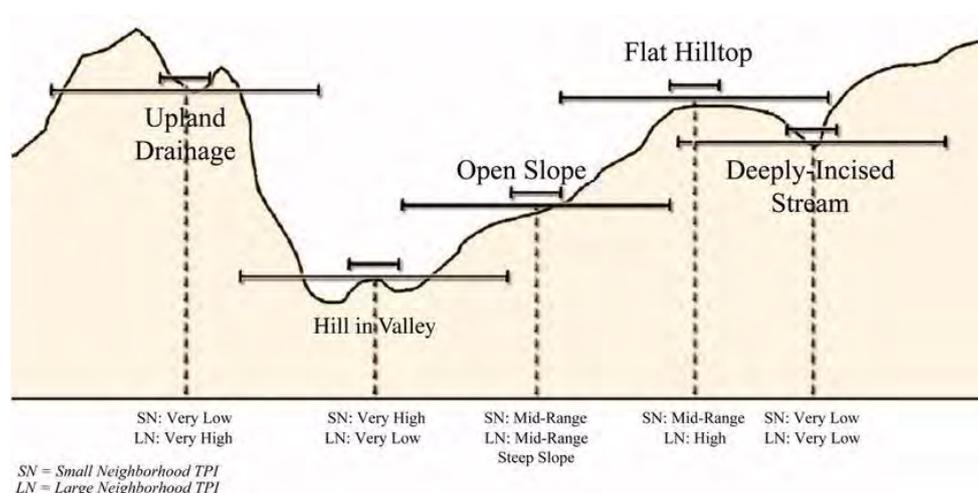


Figure 5: Le Topographic Position Index (TPI). (Weiss, 2006)

Cet indice est très dépendant de l’échelle considérée, les variations locales du relief pouvant-être absorbées avec des échelles trop importantes.

Les bibliothèques GDAL et SAGA sous QGIS proposent chacun un outil de calcul (appelé Topographic Position Index).

Nous avons initié des tests avec l'outil TPI sous QGIS. Cependant le résultat produit ne correspondait pas à un résultat aisément exploitable pour notre problématique, nous avons ainsi décidé de ne pas poursuivre les essais avec cet indice.

Ces calculs peuvent-être appliqués à des dalles dans leur totalité ou divisées en coupes transversales, aussi appelées profils en Travers (*Cross Section*). Couramment utilisés en Géologie, ils permettent une plus grande rapidité de calcul. Le logiciel HEC-RAS utilise notamment les *Cross Section* pour effectuer les calculs de modélisation hydraulique. Ce principe est exploité dans la méthode d'Analyse en Profil en Travers, développée en Script Python, dont les résultats et l'utilisation sont détaillés dans la [partie VII](#).

B. Méthodes avec le logiciel QGIS

Dans le cadre de directive Inondation, le CEREMA a développé un outil d'exploitation des données LiDAR, appelé DI-CARTO (*Wikihydro, 2013*). Cet outil est librement utilisable sous le logiciel QGIS, associé à GRASS, et propose des fonctionnalités telles que le calcul des ruptures de pentes (utilisant l'outil `r.param.scale`), définissant les changements de morphologie, et ainsi les limites du DPF. Ajouté à cela, il présente des fonctions de manipulation de raster telles que l'assemblage de dalles raster, et peut ainsi représenter un support de traitement lors de la manipulation de plusieurs dalles.

Cet outil a été développé pour une version QGIS 1.8 en 2013. Aucune mise à jour n'a été publiée sur le site depuis cette date. Nous avons cependant pu télécharger et installer Di-Carto sur plusieurs PC possédant la version 2.18 de QGIS.

Après plusieurs essais, il s'est avéré que les outils ne parvenaient pas à faire appel aux fonctions GRASS, probablement causé par une intégration différente de GRASS entre les deux versions de QGIS. Une erreur de traitement apparaissait systématiquement lors de l'appel des fonctions.

Au vu des conflits de versions rencontrés et de l'absence de mise à jour de ce plugin, nous avons choisi de ne pas poursuivre les essais. Cependant, cet outil est compilé avec R, les scripts peuvent ainsi être lancés sur un logiciel comme R-Studio. Cependant une reprise conséquente des codes est nécessaire, ce pourquoi nous avons choisi de ne pas poursuivre les essais.

Nous avons néanmoins pu obtenir la description de la chaîne de traitement pour le calcul de rupture de pente. Cet exemple a servi de support pour le développement de la méthode de courbure que nous présentons dans ce rapport.

Nous avons également trouvé un *plugin* QGIS de détection automatique des limites du *Bankfull* à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (*Pier Luigi De Rosa, 2014*). Développé en 2014, ce plugin est disponible en téléchargement.

Cependant, ce plugin n'a pas été mis à jour depuis sa date de première publication, et la documentation sur son fonctionnement ou son utilisation est très limitée. De plus, il est indiqué comme obsolète dans les extensions QGIS. Ainsi, nous avons choisi de ne pas utiliser cet outil.

C. Méthodes avec le logiciel ArcGIS

Un *Addin* a été développé par l'U.S Forest Service, Office National des Forêts aux Etats-Unis.

Il est initialement développé pour l'étude de la géomorphologie des cours d'eau, la modélisation hydraulique et le transport de sédiments (*US Forest Service*). Il permet de manipuler des Modèles Numériques de Terrain et de les exporter sur des logiciels de modélisation hydrauliques comme HEC-RAS. Il contient en particulier un outil de détection des limites du *Bankfull*, équivalent géomorphologique du Domaine Public Fluvial. Développé pour la version d'ArcGIS 10.2, il est en maintenance active et dispose d'une documentation détaillée. Au vu de sa simplicité d'utilisation et des ressources disponibles, nous avons choisi de tester cet outil. Les résultats sont présentés dans la [partie VI.2](#) de ce rapport.

ArcGIS possède également plusieurs boîtes à outils telles que le Spatial Analyst et le 3D Analyst. Plusieurs supports et tutoriels décrivent les outils disponibles pour effectuer des calculs pour le TPI, la courbure (*Support ArcGIS Courbure, 2016*) ou la pente (*Support ArcGIS Pente, 2017*).

Le CEREMA cite une chaîne de traitement pour la détection des zones inondables incluant le 3D Analyst, dont le détail n'est cependant pas décrit (*CEREMA, 2014*).

En complément, une documentation développée pour la détection des zones inondables est disponible sur le site d'ArcGIS dont certaines étapes pourraient être applicables à la détection du Domaine Public Fluvial (*ArcGIS, Plaine inondable, 2016*).

La priorité ayant été donnée au développement sous QGIS, ces pistes n'ont pas été explorées plus en détail.

D. Méthodes avec des logiciels de modélisation hydrauliques

Les logiciels de modélisation hydrauliques sont utilisés pour étudier l'écoulement dans les cours d'eau et les canaux. Le logiciel HEC-RAS en est un exemple, et propose un Plugin QGIS appelé RiverGIS (son équivalent sous ArcGIS est HEC-GeoRAS) qui nécessite l'utilisation d'une base de données POSTGIS (*RiverGIS, 2015*). Il permet de créer des modèles hydrauliques en une ou plusieurs dimensions.

Cependant, ces logiciels restent orientés pour une modélisation hydraulique dynamique. Ils nécessitent une importante préparation des données et requièrent des données supplémentaires au MNT pour fonctionner.

S'ils sont ainsi pertinents pour la détection des zones inondables en modélisant la propagation et l'écoulement de l'eau, ils ne semblaient en revanche pas applicables à notre cas. Ces outils nous semblaient trop complexes à mettre en œuvre pour l'utilisation que nous souhaitions en faire, des outils moins complexes existants. Nous avons choisi de ne pas tester ces méthodes.

3. Approches non SIG

Une grande partie des approches rencontrées concernent des approches non SIG, basées sur des principes géomorphologiques sur le terrain. Si ces méthodes ne sont pas applicables pour l'élaboration de la méthodologie, elles permettent néanmoins de délimiter le Domaine Public Fluvial sur des cours d'eau à l'état naturel en complément des calculs effectués, et ainsi de valider les résultats des calculs via les outils SIG. Ce sera un complément d'information important lors des études sur le terrain.

Plusieurs indicateurs servent à identifier le *Bankfull Stage* (correspondant au DPF naturel) selon la morphologie du cours d'eau (*Agence des Ressources Naturelles du Vermont, 2004*) :

- Présence d'un replat sur une barre de méandre : La morphologie d'un cours d'eau sinueux évoluant dans la vallée, des barres de méandres se forment. Le point haut de ces barres correspond *Bankfull stage* (figure 6);
- Présence de barre latérales : sur des rivières ou cours d'eau plus droits, la présence de barres latérales est courante, correspondant au *Bankfull stage* (figure 7). Ceci peut parfois correspondre au lit majeur ;
- Présence d'un adoucissement de la pente sur les berges du cours d'eau : Rupture de pente entre une pente forte et une pente douce correspondant généralement au *Bankfull stage* ;
- Présence d'une limite entre une végétation de type forestière (Ripisylve) et une végétation aquatique (Hélophyte) ou absence de végétation. Comme le niveau de l'eau est amené à atteindre la limite du DPF à plusieurs occasions, la végétation pérenne forestière ne pousse pas dans la zone du *Bankfull channel*.



Figure 6: Limites du *Bankfull Stage* dans une rivière en méandres (Source : Wikipedia)



Figure 7: Limites du *Bankfull Stage* définies par les barres latérales

4. Bilan

Le schéma ci-dessous résume les méthodes rencontrées au cours de nos recherches (figure 8) :

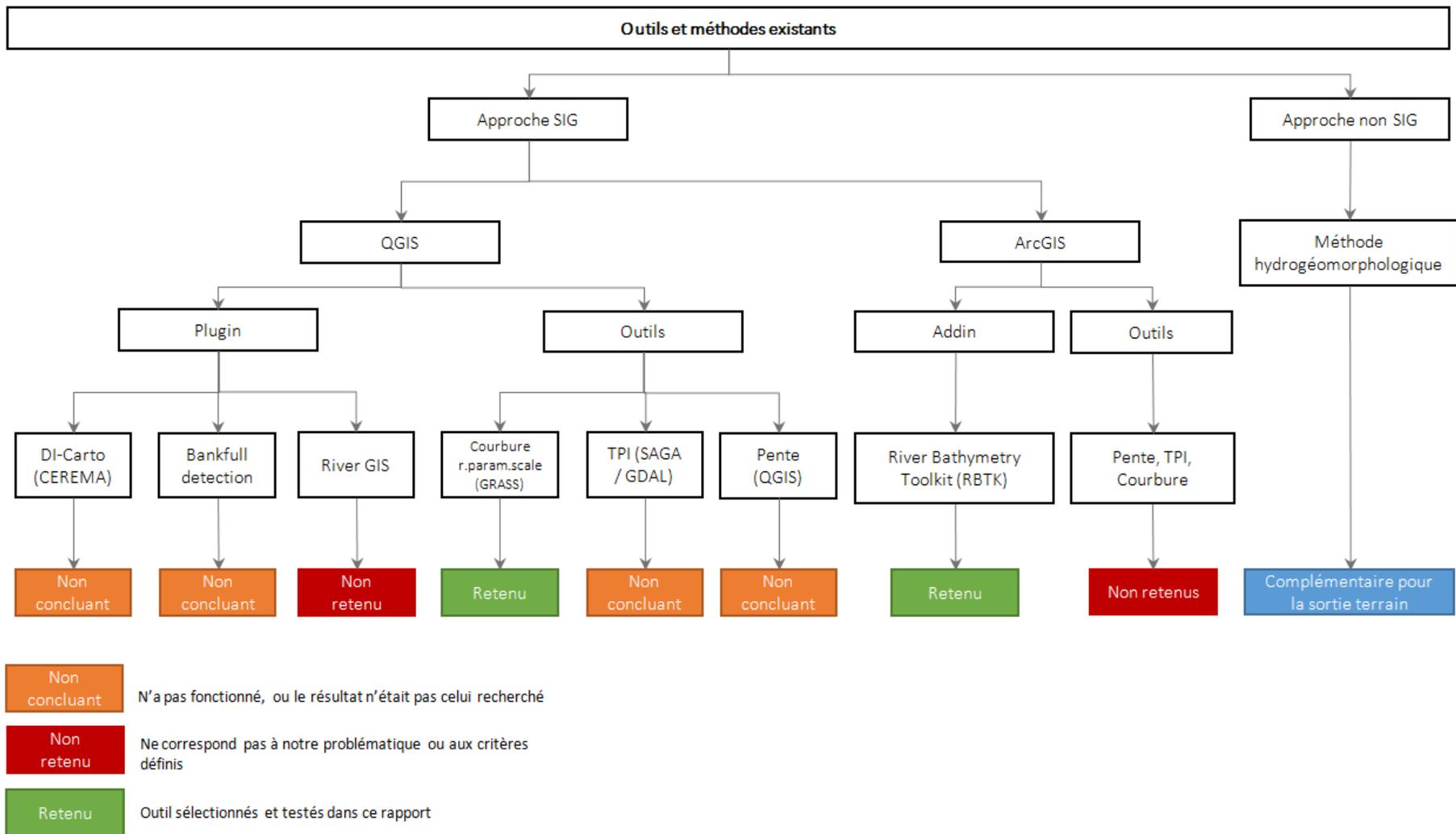


Figure 8: Résumé de la recherche Webographique

A l'issu de nos recherches, les méthodes retenues pour une phase de tests approfondis sont :

- le River Bathymetry Toolkit d'ArcGIS ;
- la méthode de la Courbure ;
- le principe des cross sections a également été retenu pour le développement de la méthode Analyse Profils en Travers en Script Python.

IV. Présentation des zones d'études

Quatre zones d'études ont été définies sur le département de la Haute-Garonne. Elles ont été sélectionnées par la DDT comme des zones échantillons présentant des enjeux particuliers (pression urbaine, environnementale, ou le relief) permettant de tester nos méthodes et leur efficacité à traiter la problématique de chaque zone. Elles sont présentées sur la figure ci-dessous (figure 9) :

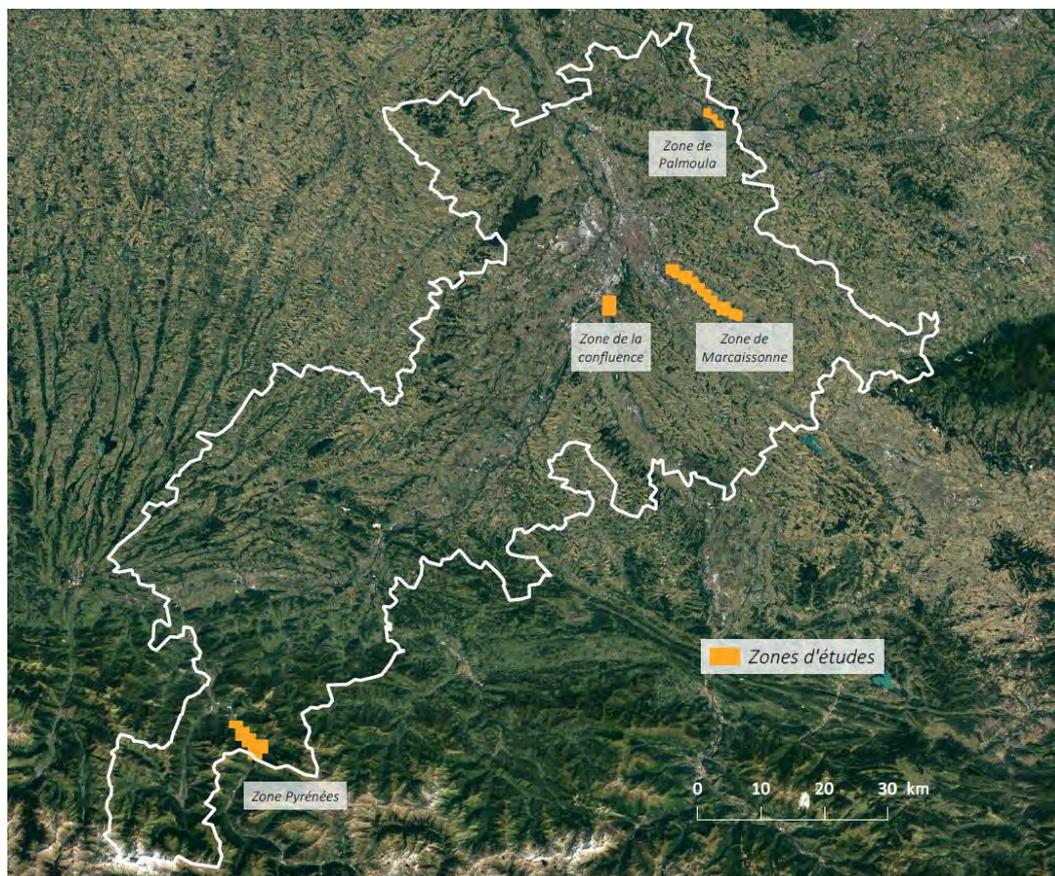


Figure 9: Zone d'étude pour effectuer les tests du projet de délimitation du DPF

La référence des dalles utilisées pour chaque zone est détaillée en [annexe 1](#).

1. Zone de la Palmoula

Cette première zone d'étude s'étend sur une longueur de 4 km entre les communes de Bessières et Buzet-sur-Tarn, qui sont traversées par le ruisseau de la Palmoula, d'une largeur moyenne estimée à moins de 5m (figure 10).

Il s'agit d'une zone avec un petit cours d'eau et un important réseau hydrographique de ruisseaux. Il y a donc des enjeux importants pour définir les limites de ces petits ruisseaux qui sont difficiles à délimiter du fait qu'ils ne soient pas constamment en eaux.

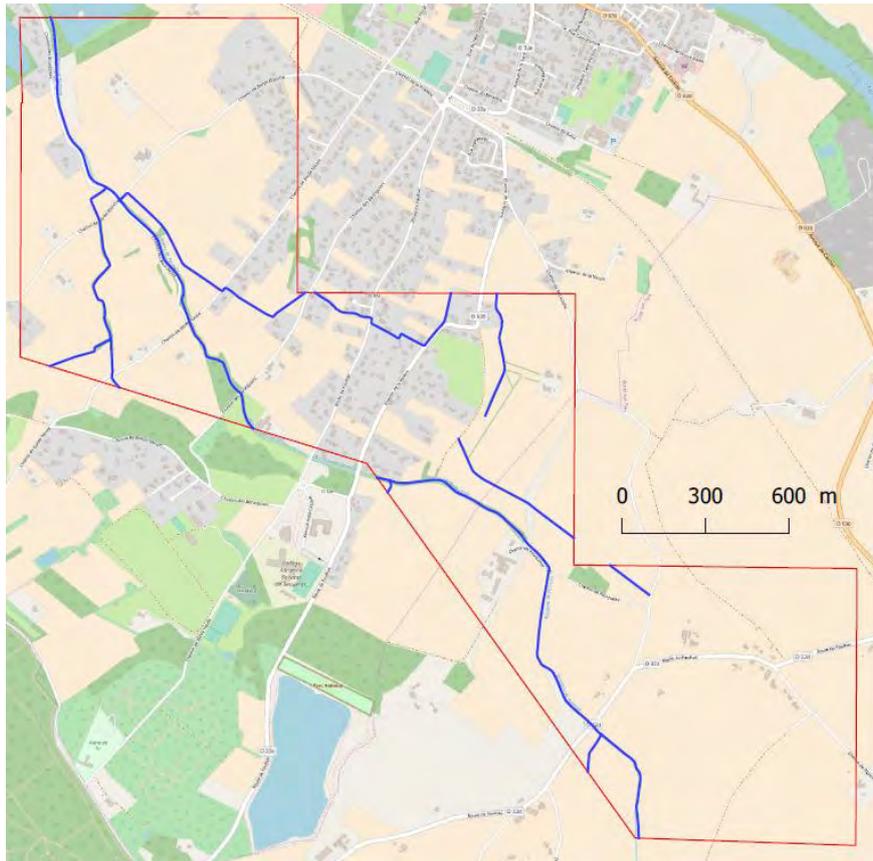


Figure 10: Délimitation de la zone d'étude de la Palmoula

La vue en 3D permet de mettre en évidence que cette zone est une zone peu urbanisée avec un faible relief. Les bords du cours d'eau sont francs et marqués (figure 11).

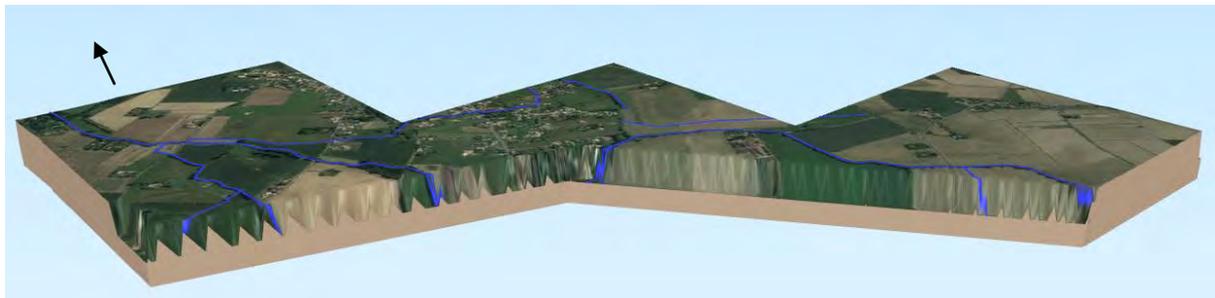


Figure 11: Bloc 3D de la zone d'étude de la Palmoula

2. Zone de La Garonne - Pyrénées

Sur cette zone, la Garonne est étudiée sur une longueur de 7km traversant les communes d'Arlos au Nord à celle de Fos au Sud (figure 12). La largeur de la Garonne est d'une largeur moyenne estimée entre 15 et 30m.



Figure 12: Délimitation de la zone d'étude Garonne Pyrénées

Situé en zone montagneuse, ce site a été choisi afin de pouvoir étudier le comportement des méthodes sur un milieu de montagne et de fortes pentes. (figure 13).

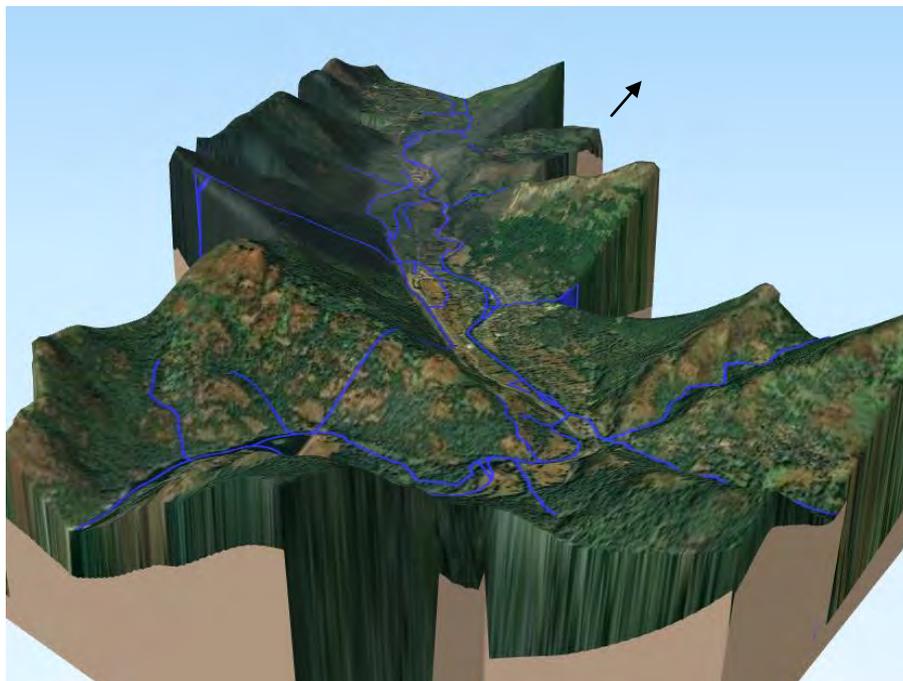


Figure 13: Bloc 3D de la zone d'étude Garonne Pyrénées

3. Zone de la Marcaissonne

Cette zone de 23 km, qui suit la Marcaissonne allant de la commune Saint-Orens-de-Gameville à celle de Tarabel, alterne en des zones urbanisées et des zones rurales, avec un relief majoritairement plat (figure 14). Le ruisseau de la Marcaissonne est un petit cours d'eau étroit et irrégulier, d'une largeur moyenne estimée à moins de 5m.

Cette zone importante est, comme la zone de la Palmoula, caractérisée par un petit ruisseau ainsi qu'un réseau hydrographique important composé d'une multitude de petits cours d'eau non permanents. C'est un site à forts enjeux car pour les petits ruisseaux, il est difficile de fixer une limite, et certaines parties du cours d'eau urbanisées sont fortement aménagées. De plus, les tronçons présents dans le BD TOPO de l'IGN ne décrivent pas ces ruisseaux de façon précise.

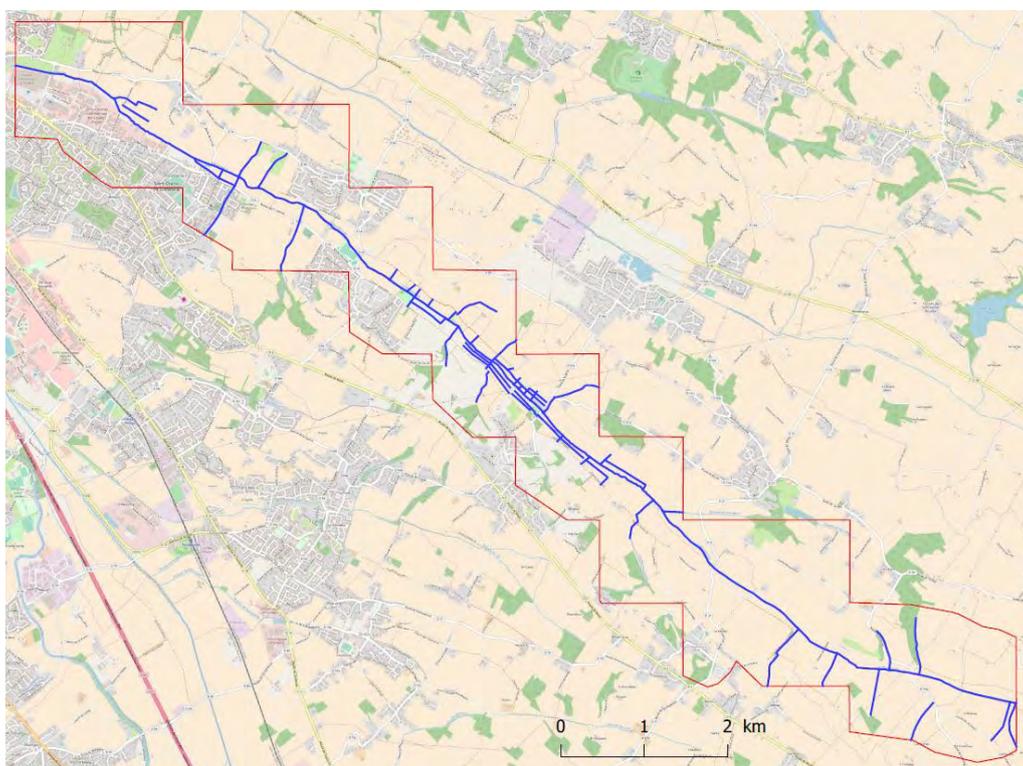


Figure 14: Délimitation de la zone d'étude de la Marcaissonne

La carte 3D de la zone nous permet de définir une zone ayant peu de reliefs (figure 15).



Figure 15: Bloc 3D de la zone d'étude de la Marcaissonne

4. Zone de confluence Garonne - Ariège

La zone d'étude de la confluence entre la Garonne et l'Ariège sur 4 km. Elle se situe sur les communes de Portet-Sur-Garonne, Pinsaguel et Lacroix-Falgarde.

Elle constitue une zone d'étude proche de la métropole toulousaine, en amont. De plus, la zone de confluence est caractérisée par une importante surface en eaux qui est relativement peu aménagée à cet endroit. La Garonne et l'Ariège y atteignent respectivement 250 et 110 mètres de largeur. Enfin, elle présente un intérêt technique car c'est une zone de regroupement de deux rivières avec des rives convexes (figure 16 et 17).



Figure 16: Délimitation de la zone d'étude de la confluence



Figure 17: Bloc 3D de la zone de confluence

V. Etude des données raster

Le développement de la méthodologie reposant sur la manipulation de Modèles Numériques de Terrain, il était nécessaire de prendre connaissance en détail des données (et métadonnées) qui ont été utilisées. La phase d'initiation de ce projet a donc impliqué l'étude de la structure des données fournies.

Ce chapitre n'a pas pour vocation d'expliquer le processus de conception d'un MNT ou de répéter la documentation officielle sur le RGE ALTI®. Il a pour objectif de souligner certains éléments importants issus des métadonnées et des documents complémentaires, qui ont pu influencer ou expliquer les résultats obtenus dans le cadre de ce projet.

1. Données fournies

Les données MNT sur lesquelles nous avons travaillé proviennent du volet Inondation du service RGE ALTI® de l'IGN. Issues d'une campagne de levés de 2013, elles ont été livrées en 2015. Elles sont conçues pour une utilisation à des échelles comprises entre le 1 : 3 000 et le 1 : 20 000.

Elles ont été fournies avec des fichiers de métadonnées et de style. Le tableau 1 présente les différents fichiers que nous avons téléchargés auprès de la DDT lors de la réunion de lancement du 17 Janvier :

Description	Nom	Format
Dalles RGE ALTI®, emprise Haute-Garonne	RGEALTI_FXX_xxxx_yyyy_MNT_LAMB93_IGN69	ASCII Grid
Fichiers de style QGIS des dalles	StyleCouleur, _StyleGris80-3220	QML
Fichier de métadonnées attributaires	LiDAR - Metadonnees (campagne 2013, livraison 2015)	HTML
Fichier précision du LiDAR	PRECISION de chaque point du LiDAR	TXT
Couche qualité DISTANCE	RGE_LIDAR_1M_DISTANCE	GEOTIFF 8 bits
Couche qualité SOURCE	RGE_LIDAR_1M_SOURCE	GEOTIFF 8 bits
Fichier de style QGIS de la couche SOURCE	RGE_LIDAR_1M_SOURCE	QML

Tableau 1: Fichiers fournis par la DDT le 17/01/2018

Nous nous sommes procurés, via le site de l'IGN, les documents complémentaires suivants :

- Le Descriptif de contenu [version 2.0](#)
- Le Descriptif de livraison [version 2.0](#)
- Le Tableau d'Assemblage [RGE ALTI®](#)

2. Spécifications générales des dalles

Les spécifications des dalles RGE ALTI® utilisées sont les suivantes :

- Pas : 1 m
- Taille dalle : 1km²
- Format ASCII Grid (.asc)
- Système géodésique : RGF93
- Projection : Lambert 93

3. Méthodes d'acquisition

Si les MNT présentent les mêmes spécifications, ils n'ont pas été produits selon la même méthode d'acquisition. En effet, selon le paysage ou la demande du client, plusieurs technologies sont mises en œuvre par l'IGN . Le support descriptif de contenu Version 2.0 détaille le moyen d'acquisition et la précision attendue, présenté dans le tableau 2 :

Technologie	Paysage	Exactitude altimétrique	Exactitude planimétrique	Zones étudiées concernées
LIDAR	Zones inondables et littorales, grands massifs forestiers	Entre 0,2 et 0,5 m	0,6 m	Zones de la Marcaisonne, De la Palmoula, Confluence Ariège-Garonne
Radar	Zones de montagne (Alpes, Pyrénées, Cévennes, Corse)	Jusqu'à 7m dans les zones de forte pente.	Non contrôlée	Zone de la Garonne - Pyrénées
Corrélation de photographies aériennes	Reste du territoire	0,5 à 0,7 m	Non contrôlée	Zones de la Marcaisonne et De la Palmoula

Tableau 2: Spécifications du MNT en fonction de méthode d'acquisition

Les dalles issues des mesures radar (zones montagneuses) ne sont pas recommandées par l'IGN pour une utilisation de haute précision. En effet, elles présentent une précision altimétrique moindre, de l'ordre de 7m dans les zones de forte pente. Hors de ces dernières, il n'est cependant pas précisé quelle est la précision altimétrique moyenne en zone de montagne.

La méthode d'acquisition pour chaque dalle est donnée par la table d'assemblage de l'IGN (figure 18), disponible au format Shapefile. Ce tableau présente l'ensemble des dalles RGE ALTI® et leurs spécifications, telles que les dates de mesures ou le capteur utilisé. Le détail des champs et attributs de la table d'assemblage est présenté en [annexe 2](#). Elle présente, en particulier, la source des nœuds utilisés pour la construction de chaque dalle, comme illustré sur les figures ci-dessous :

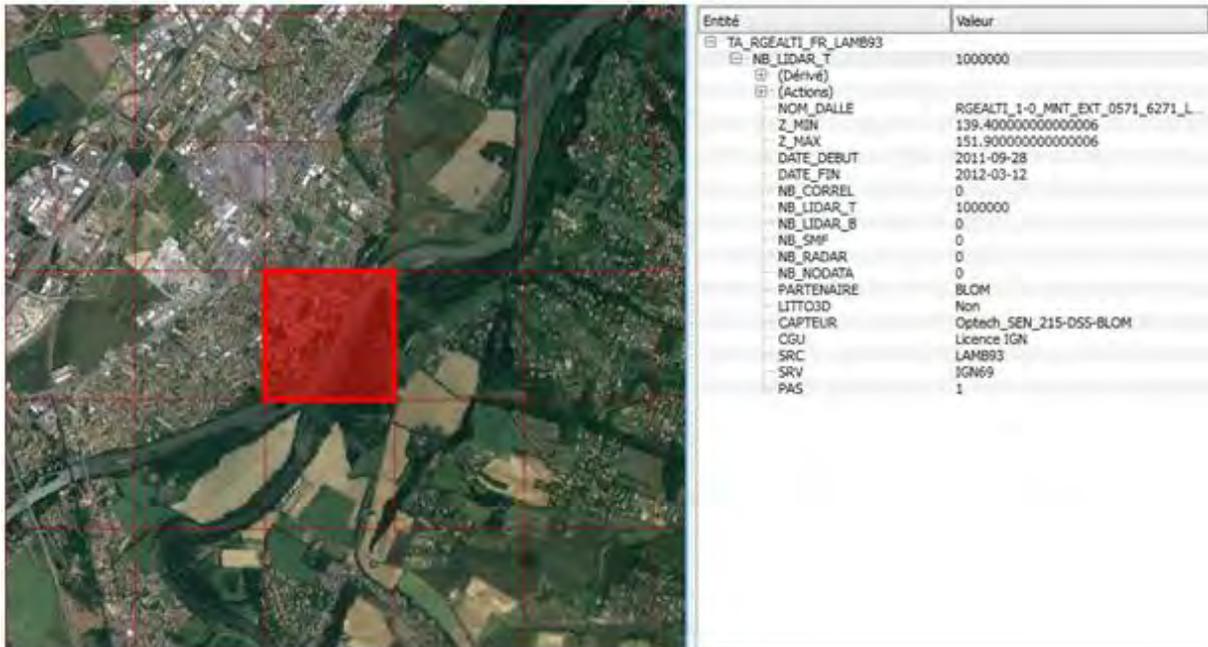


Figure 18: Attributs d'une dalle LIDAR de la table d'assemblage. Le champ NB_LIDAR_T indique que l'ensemble des nœuds sur la dalle proviennent du LiDAR terrestre, soit 1 000 000.



Figure 19: Attributs d'une dalle radar de la table d'assemblage. Le champ NB_RADAR comporte la valeur maximale, soit 1 000 000.

La précision de la méthode utilisée pour la construction des dalles a significativement influencé les résultats, en particulier sur la zone des Pyrénées, dont les dalles sont construites avec des données radar. Les résultats de calculs sur cette zone sont présentés dans la [partie VI](#) et [VII](#) de ce rapport.

De ce fait, il nous paraissait souhaitable d'identifier les dalles Radar à l'échelle de la Haute-Garonne à partir de la table d'assemblage, qui représentent des données difficilement exploitables pour la délimitation du DPF. Pour ces zones, il serait recommandé d'avoir recours à d'autres sources de données altimétriques. La carte ci-dessous présente, la nature des nœuds utilisés pour chaque dalle (figure 20, tableau 3):

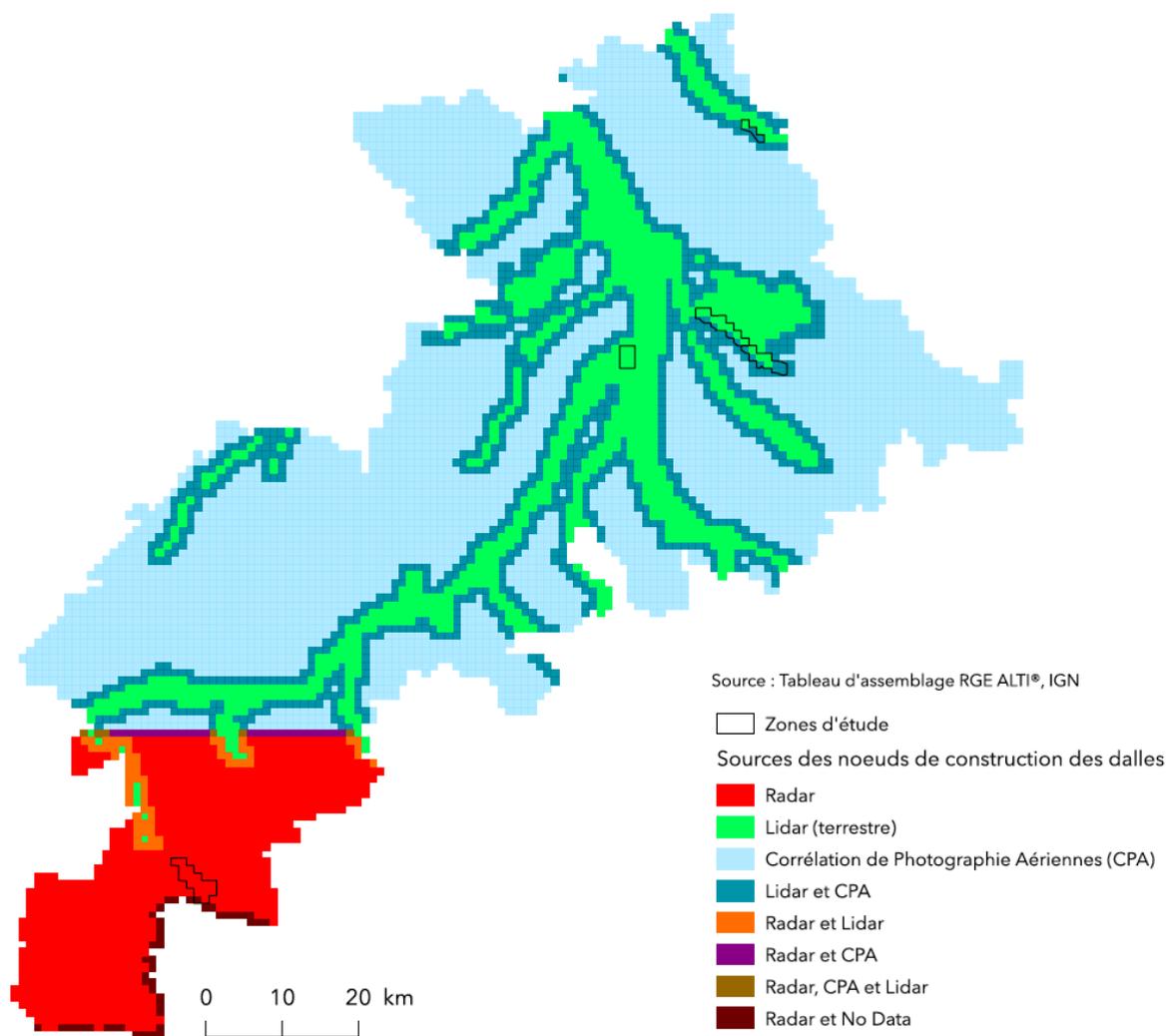


Figure 20: Sources des nœuds de constructions des dalles MNT

Source(s) des nœuds	Nombre de dalles	Pourcentage
Radar	860	12,6 %
LiDAR Terrestre Aéroporté	1029	15,0 %
Corrélation de Photographie Aériennes (CPA)	3745	54,7 %
LiDAR et CPA	1079	15,7
Radar et LiDAR	62	0,9 %
Radar et CPA	26	0,4 %
Radar, CPA et LiDAR	6	0,1 %
Radar et No Data	45	0,6 %
TOTAL	6852	100 %

Tableau 3: Tableau récapitulatif statistique des parts de chaque source

Une partie des zones de la Palmoula et de la Marcaissonne sont partiellement construites avec une association de données LiDAR et de corrélation de photographies aériennes. Pour les dalles concernées, la part de données LiDAR reste majoritaire (1 à 20 % de part de données de corrélation selon la dalle considérées). Ceci n'a pas influencé les calculs et les résultats produits.

4. Qualité de l'acquisition LiDAR

Le raster de métadonnées SOURCE est fourni avec les dalles RGE ALTI®. Il utilise la même grille que le MNT, et fournit pour chaque nœud de construction du MNT une valeur codant l'information associée. Cette image, en couleurs indexées, indique la précision du LiDAR sur les différentes dalles.

La légende du raster SOURCE à notre disposition propose des attributs qualitatifs, comme le montre la figure 21:

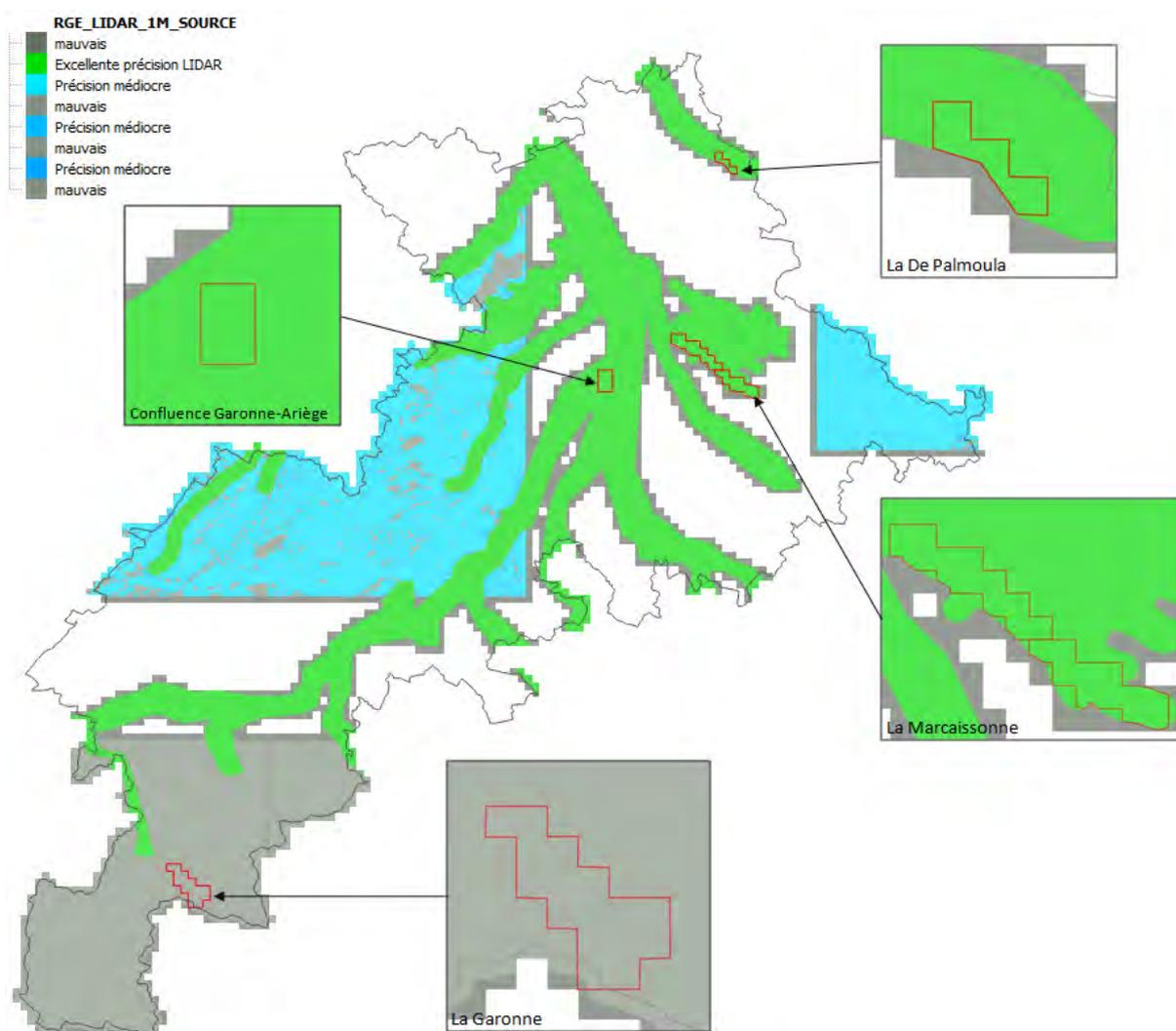


Figure 21: Raster de la métadonnée SOURCE fournie avec les dalles RGE ALTI®

Ainsi, les zones couvertes par le LIDAR (soit les trois zones en périphérie de Toulouse) présentent une précision jugée 'Excellente', tandis que la zone des Pyrénées présente une précision jugée 'Mauvaise'. Cette dernière peut-être expliquée de deux manières : soit par un levé LIDAR non retenu, soit par

l'adjectif 'Mauvais' est un équivalent de la valeur 'No Data' signifiant que cette zone n'est pas couverte par du LiDAR, mais du radar.

Cependant, il ne nous a pas été possible de trouver plus d'explications sur la définition de ces attributs. En effet, cette légende ne correspond pas aux attributs décrits dans le descriptif de contenu, et les supports complémentaires de l'IGN ne fournissent pas cette information.

Un support de l'IGN précise pour les couleurs indexées les sources correspondantes : les tons verts correspondent au LIDAR, et bleu à la corrélation (figure 21).

S =	50	LIDAR Topo IGN densité d'acquisition théorique non renseignée ou inférieure à 1 pt / m ²	0	255	0	
S =	5n	LIDAR Topo IGN densité d'acquisition théorique n points au m ² . (de 51 à 57)	20*n	255	20*n	
S =	56	LIDAR Topo IGN densité d'acquisition théorique 8 points ou plus au m ² .	160	255	160	
S =	59	LIDAR Topo IGN interpolation > 10m	0	150	0	
S =	60	Translation en Z à partir du MNE LIDAR Topo IGN densité acquisition théorique non renseignée ou inférieure à 1 pt / m ²	150	230	40	
S =	6n	Translation en Z à partir du MNE LIDAR Topo IGN densité d'acquisition théorique n points au m ² . (de 61 à 66)	150+10*n	230+2*n	40+10*n	
S =	67	Translation en Z à partir du MNE LIDAR Topo IGN densité d'acquisition théorique 7 points ou plus au m ² .	220	244	110	
S =	66	LIDAR Topo IGN sans corrections interactives	130	180	130	
S =	69	LIDAR Topo IGN Point Fictif	190	190	190	
S =	70	Origines multiples produit Litto3D	90	130	0	
S =	80	LIDAR Topo externe densité acquisition théorique non renseignée ou inférieure à 1 pt / m ²	0	200	0	
S =	8n	LIDAR Topo externe densité d'acquisition théorique n points au m ² .(de 81 à 87)	10*n	200	10*n	
S =	86	LIDAR Topo densité d'acquisition théorique 8 points ou plus au m ² .	80	200	80	
S =	89	LIDAR Topo externe interpolation > 10m	0	100	0	
S =	96	LIDAR Topo externe sans corrections interactives	90	150	90	
S =	99	LIDAR Topo externe Point Fictif	100	100	100	
S =	100	Corrélation automatique PVA HR 30 cm == pixel ==> 20 cm Zone Rurale	0	0	210	
S =	101	Corrélation automatique PVA HR 30 cm == pixel ==> 20 cm Zone Urbaine	0	0	215	
S =	102	Corrélation automatique PVA HR 30 cm == pixel ==> 20 cm BD Alti® recalée	0	0	220	
S =	103	Corrélation automatique PVA HR 30 cm == pixel ==> 20 cm BD Alti® non recalée	0	0	225	

Figure 22: Tableau d'indexation des couleurs de la couche source (Source : IGN, 2014)

Nous n'avons pas pu faire correspondre cette légende avec les attributs de celle que nous possédons. Nous avons également contacté l'IGN afin d'obtenir des précisions sur ce sujet.

5. Qualité de l'interpolation

Plus l'interpolation est importante, plus les résultats seront susceptibles de différer de la réalité. Nous avons ainsi contrôlé sur chacune des zones d'études les valeurs d'interpolation à l'aide du masque Distance. Cette image précise, pour chaque nœud, la distance entre celui-ci et le point le plus proche ayant servi à calculer son altitude. Cette distance est exprimée en mètres.

La couche est à l'échelle de la Haute-Garonne, et permet ainsi de contrôler les zones d'études, comme illustré sur la figure 22 :

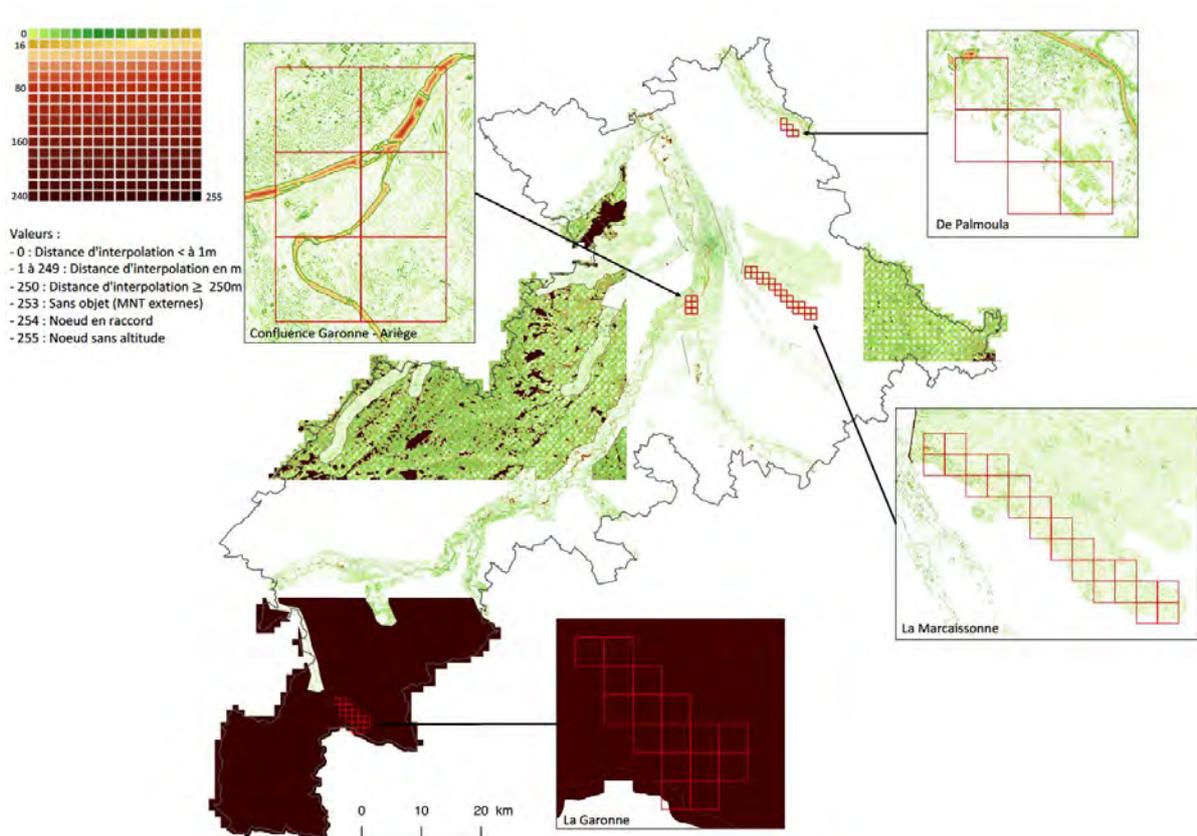


Figure 23: Masque Distance sur la Haute-Garonne

Pour l'ensemble des dalles, l'interpolation sur des berges des cours d'eau est inférieure à 10m, soit satisfaisante.

La valeur "253 - sans objet", signifie que la zone a été couverte par une autre technologie que le LiDAR. Elle est attribuée à l'ensemble des dalles de la zone de la Garonne-Pyrénées. Nous n'avons pas trouvé d'équivalence à cette couche pour les données radar.

La distance d'interpolation sur la surface de l'eau est importante car elle est modélisée à partir de la mesure du sol et des berges. Les surfaces d'eau de plus d'un hectare font l'objet d'une saisie vecteur et d'une mise à plat. Les surfaces inférieures à un hectare ne font l'objet d'aucun traitement : la surface de l'eau est modélisée soit par triangulation berge à berge (processus LiDAR) soit par interpolation.

Mis à part pour la zone de la Garonne-Pyrénées, les distances d'interpolation sont satisfaisantes pour les traitements effectués lors de cette étude.

6. Délimitation des dalles

Nous avons constaté que les dalles sont par endroits tronquées selon les limitations de la couche Source. Ceci résulte en une couverture partielle de deux zones d'études : La Palmoula et la Marcaissonne, comme illustré sur les figures 24 et 25.

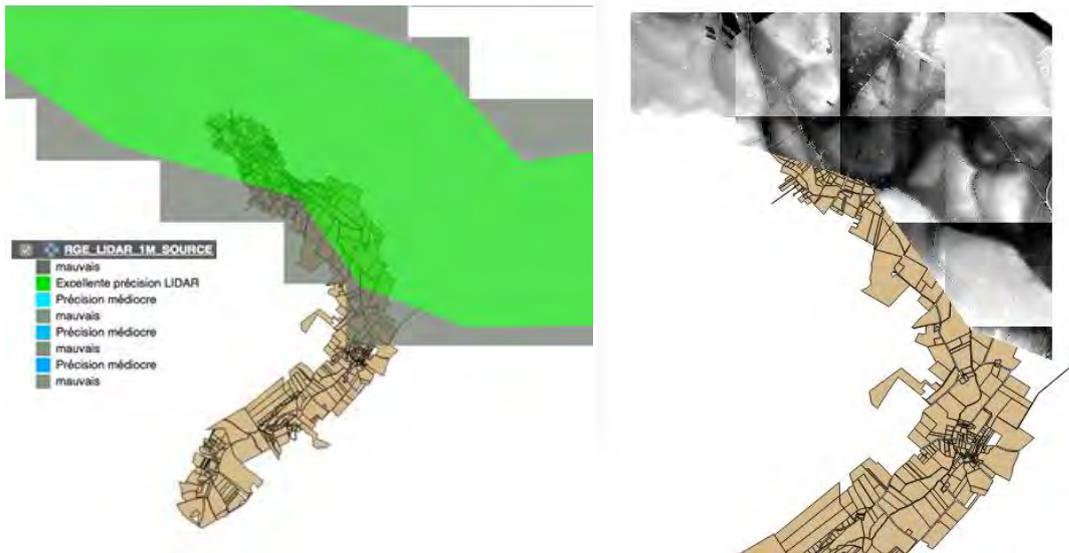


Figure 24: Couverture LiDAR sur la zone De la Palmoula

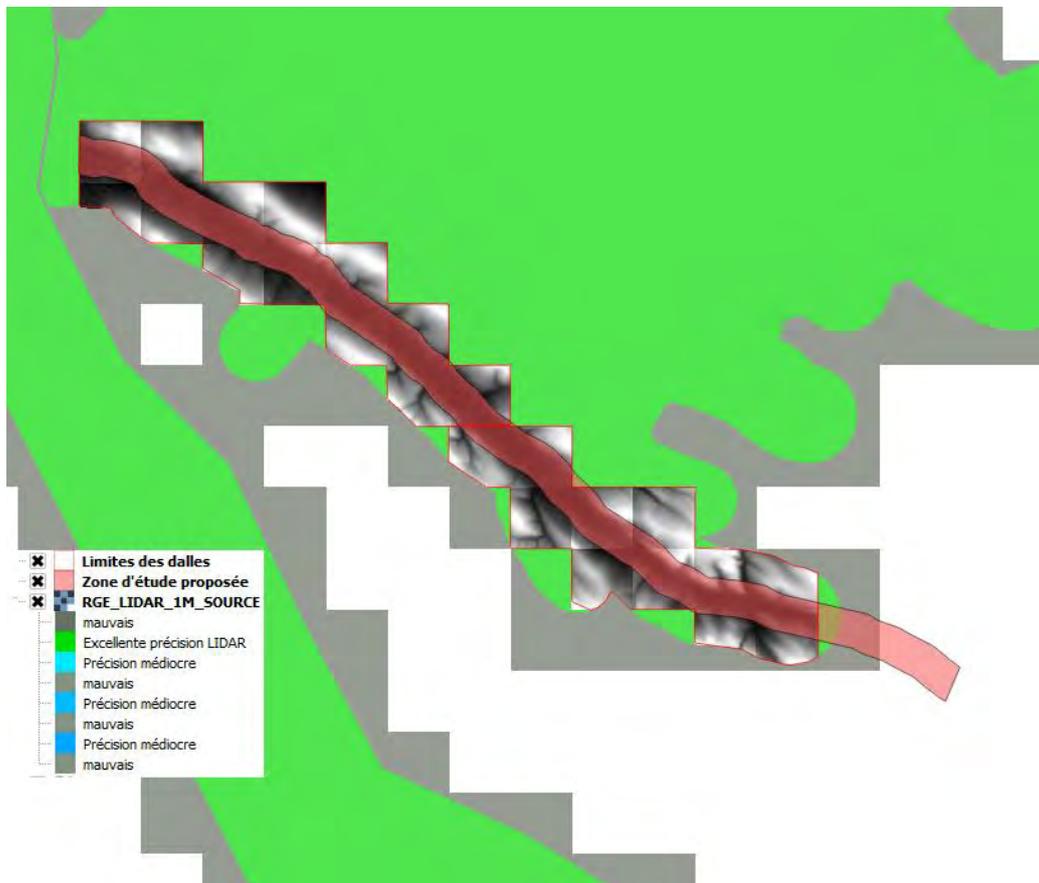


Figure 25: Couverture LiDAR sur la zone de la Marcaissonne

Les dalles environnantes sont des dalles issues de données de corrélation, ou d'un mélange des deux (les dalles tronquées ci-dessus présente des nœuds LiDAR et de corrélation). D'après nos recherches, ceci est lié au format de la commande, faite dans le cadre du volet Inondation, qui couvre les littoraux et les cours d'eau pour les zones inondables. Ceci n'a en revanche pas d'impact sur les grands fleuves comme la Garonne.

7. Anomalies de valeurs d'altitude dans le MNT

Sur les ruisseaux étroits, un phénomène particulier a été observé : des imprécisions d'altitudes sont observées le long du cours d'eau, les rebords et le thalweg sont lissés, résultant en des valeurs d'altitudes faussées. Le ruisseau de la Palmoula, d'une largeur d'une dizaine de mètres, présente cette particularité, comme illustré sur la figure ci-dessous :



Figure 26: Discontinuités observées dans la zone de De la Palmoula

Une reconnaissance visuelle sur le ruisseau montre des berges franches, bien représentées sur la partie Nord de la dalle, comme le montre l'image Street View ci-dessus. Ce n'est cependant pas le cas pour la partie Sud, qui présente un lissage en plusieurs endroits, alors que la morphologie du ruisseau est similaire. La végétation est cependant plus dense, de type taillis.

Seule une zone de discontinuité pourrait correspondre à un pont, mais les ponts étant considérés comme du sursol (appartenant ainsi au MNE), ils ne figurent pas dans le MNT.

L'IGN stipule cependant que la précision du LiDAR Aéroporté est limitée par la végétation basse de type taillis, nécessitant une interpolation.

Ainsi, la faible largeur du cours d'eau, couplée à une végétation dense, aurait amené lors de l'interpolation de cette zone à une perte de précision. Ces irrégularités sur le cours d'eau ont influencé les calculs, notamment en créant une discontinuité dans l'enveloppe calculée du DPF, comme expliqué dans la [partie VI.1.B](#) de ce rapport.

L'IGN a également été contacté sur ce sujet afin d'obtenir des informations complémentaires.

VI. Test des méthodes existantes

1. Méthode de la Courbure

Suite à la recherche bibliographique, nous avons choisi de mettre en oeuvre la méthode de détection du DPF en utilisant la courbure. L'explication théorique de la courbure est donnée plus en détail dans l'étude webographique ([voir Partie II](#)).

Cette méthode est une adaptation de l'outil Rupture de Pente du Plugin Di-Carto, développé par le CEREMA, que nous avons abandonné suite à une incompatibilité avec la version actuelle de QGIS.

La chaîne de traitement était cependant indiquée sur le site du Plugin et retrouvée dans un rapport du CEREMA. Elle a ainsi servi de base au développement d'une nouvelle chaîne de traitement, développée et adaptée en fonction des résultats obtenus sur les zones étudiées.

A. Fonctionnement général

Le fonctionnement général de la chaîne de traitement est celui-ci (la notice de ce diagramme est en [annexe 3](#)) :

- Calcul de la courbure à partir d'un Modèle Numérique de Terrain ;
- Seuillage des valeurs de courbure afin d'extraire les pixels selon la valeur de courbure qu'ils possèdent ;
- Vectorisation du résultat ;
- Filtrage des polygones ayant une surface supérieure à un seuil afin de filtrer les résidus ;
- Découpage du résultat selon une zone tampon autour des cours d'eau afin de ne conserver que les polygones pouvant correspondre au DPF ;
- Production d'une couche résultat.

Cette chaîne de traitement fait appel à des bibliothèques spécifiques, telles que SAGA, GRASS et GDAL. Le diagramme de flot ci-dessous présente les étapes de cette méthode (figure 27) :

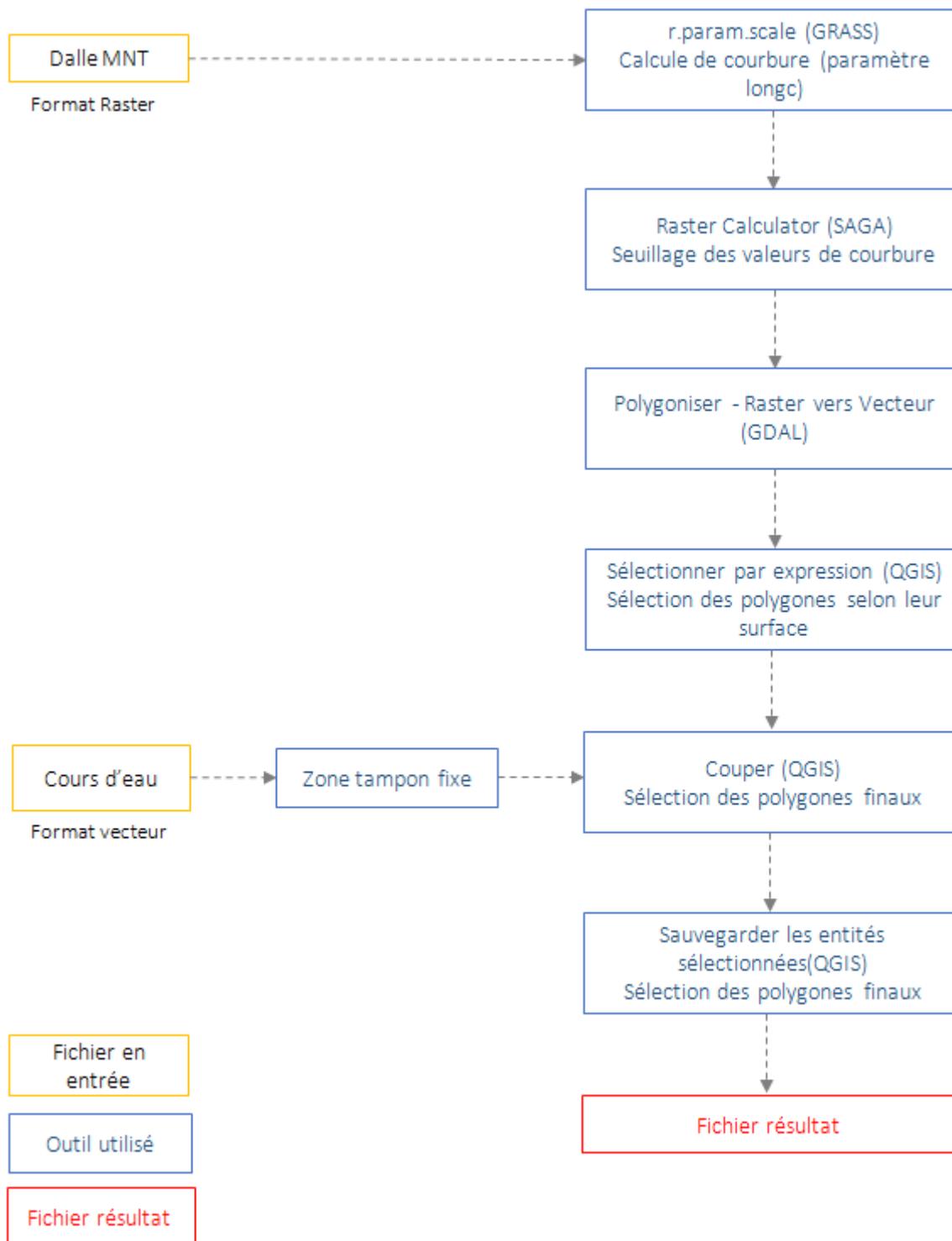


Figure 27: Diagramme de flot pour la méthode de la courbure (légende commune à tous les diagrammes de flot)

B. Résultats

Zone de la Palmoula

Les résultats pour les calculs de courbure sur la zone de la Palmoula sont illustrés sur la carte ci-dessous (figure 28) :



Figure 28 : Résultats de la méthode de la courbure sur la zone de la Palmoula

Le résultat sur l'ensemble des dalles de la zone est une enveloppe de plusieurs mètres dans laquelle est contenue le DPF.

La courbure des bords de cours d'eau se confond parfois avec des éléments ayant une signature similaire : la toiture de certaines habitations dans les zones urbanisées, ou les routes en zone de campagne (la route est plus basse que les champs, et les talus de la route sont marqués, ressemblant ainsi à un cours d'eau) (figure 29).

Les valeurs de courbures de ces éléments sont similaires à celles des limites recherchées, produisant d'importants faux-positifs lors du seuillage. Pour cette raison, tout essai pour lisser ces valeurs (filtrage ou changement des valeurs de seuillage) impacte également la détection du DPF.

La mesure prise a été de découper la couche de résultats selon une zone tampon autour des cours d'eau afin de limiter le bruit et conserver uniquement les limites du DPF.

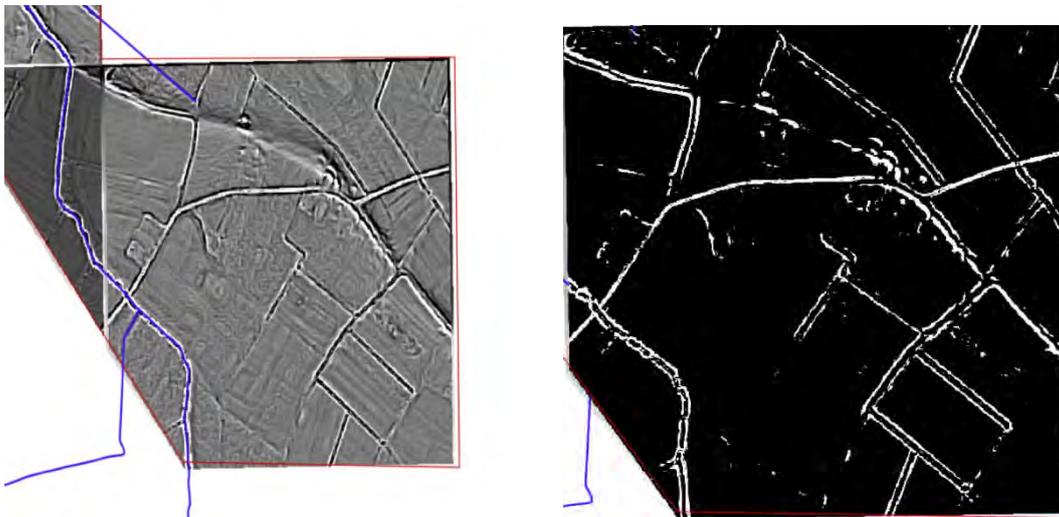


Figure 29 : Exemple de signature de courbures similaires à celles du DPF. A gauche courbure simple, à droite courbure après seuillage

Dans un deuxième temps, la qualité des dalles dans cette zone a influencé le résultat. En effet, des discontinuités sont présentes dans les polygones (figure 30), inhérentes à la dalle raster où des anomalies ont été observées et décrites dans le chapitre sur les métadonnées.



Figure 30: Discontinuités dans le résultat de la courbure

Zone de la Marcaisonne

Les résultats pour la zone de la Marcaisonne sont présentés sur figures 31 et 32 :



Essais de courbure sur la zone de la Marcaissonne (Sud-Est de Toulouse)

Carte 1/2, Bloc 1

Sources : RGE Alti, BD TOPO 2016, Google Satellite

Paramètres utilisés :

- r.param scale (GRASS), calcul de courbure (longc) avec les paramètres par défaut ;
- Raster Calculator (SAGA) : seuillage à 0.005 ;
- Vectorisation (GDAL) ;
- Découpage selon une zone tampon de 40m autour des cours d'eau de la BD TOPO 2016 ;
- Filtrage des surfaces > 300 m² ;



Figure 31: Résultats de la méthode de la courbure sur la zone Nord de la Marcaissonne



Essais de courbure sur la zone de la Marcaissonne (Sud-Est de Toulouse)

Carte 2/2, Bloc 2

Sources : RGE Alti, BD TOPO 2016, Google Satellite

Paramètres utilisés :

- r.param scale (GRASS), calcul de courbure (longc) avec les paramètres par défaut ;
- Raster Calculator (SAGA) : seuillage à 0.003 ;
- Vectorisation (GDAL) ;
- Découpage selon une zone tampon de 40m autour des cours d'eau de la BD TOPO 2016 ;
- Filtrage des surfaces > 300 m² ;



Figure 32: Résultats de la méthode de la courbure sur la zone Sud de la Marcaissonne

Cette zone illustre à la fois les points faibles, et les points forts de la méthode. Les temps de traitement sont raisonnables pour un grand volume de dalles. En effet, ces temps de calculs correspondent à ceux habituellement nécessaires pour effectuer des calculs sur un grand nombre de dalles raster. De plus, l'enveloppe produite est quasiment continue et régulière le long de la Marcaissonne, (certaines discontinuités sont dues aux limites entre les dalles, figure 33).



Figure 33: Exemple de discontinuité due aux limites de dalles

Cependant, les changements de morphologie le long de la Marcaissonne ont amené à reprendre certaines dalles individuellement, le paramétrage défini ne correspondant pas. En effet, le bloc 1 a été traité en processus de lot. Les résultats sur les dalles étaient satisfaisants, excepté pour les 3 dalles de la partie Sud. Il a été nécessaire de relancer un traitement sur ces dalles avec d'autres paramètres de seuillage.

Une solution aurait été de spécifier une valeur faible de seuil, mais cela implique l'obtention de nombreux résidus devant être supprimés par le découpage avec la zone tampon.

Cet exemple est une bonne illustration d'une utilisation type de cette méthode : la définition d'une enveloppe du DPF sur de grandes surfaces.

Zone de confluence Garonne-Ariège

Les résultats pour la zone de confluence Garonne-Ariège sont présentés sur la carte ci-dessous (figure 34):

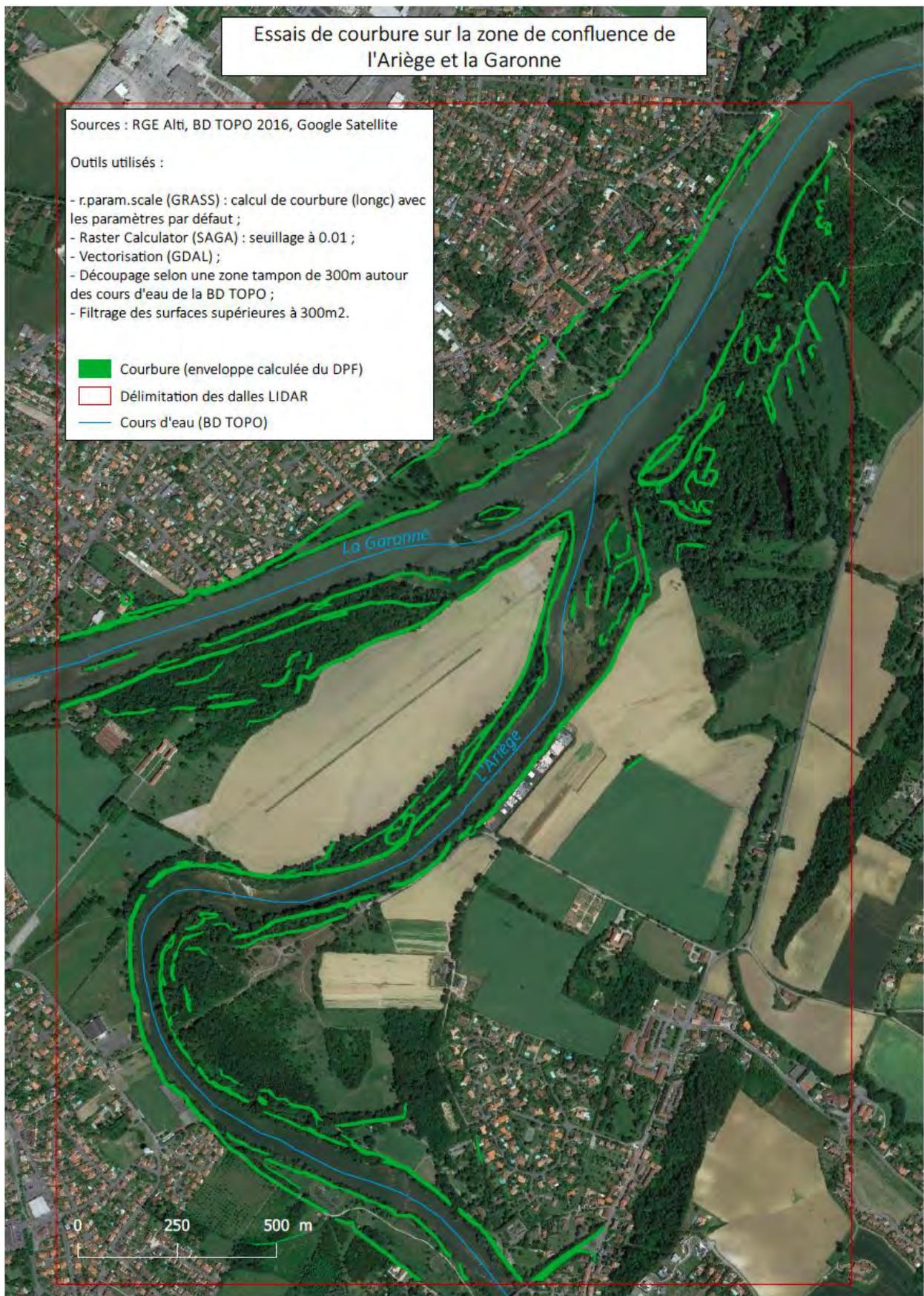


Figure 34: Résultats de la méthode courbure sur la zone de la confluence Ariège/Garonne

La zone de confluence étant une zone complexe, le DPF est difficile à définir dans cette situation : En effet, à l'issue des traitements, plusieurs enveloppes pouvant correspondre au DPF sont visibles le long de la Garonne et de l'Ariège. Une reconnaissance par imagerie satellite n'est plus suffisante dans ce cas, et il est nécessaire de définir sur le terrain le DPF afin de sélectionner les enveloppes lui correspondant.

Cependant la courbure est très marquée dans cette zone, générant un nombre restreint de faux-positifs.

Zone de la Garonne - Pyrénées

Les résultats pour la zone de la Garonne - Pyrénées sont présentés sur la carte ci-dessous (figure 35) :

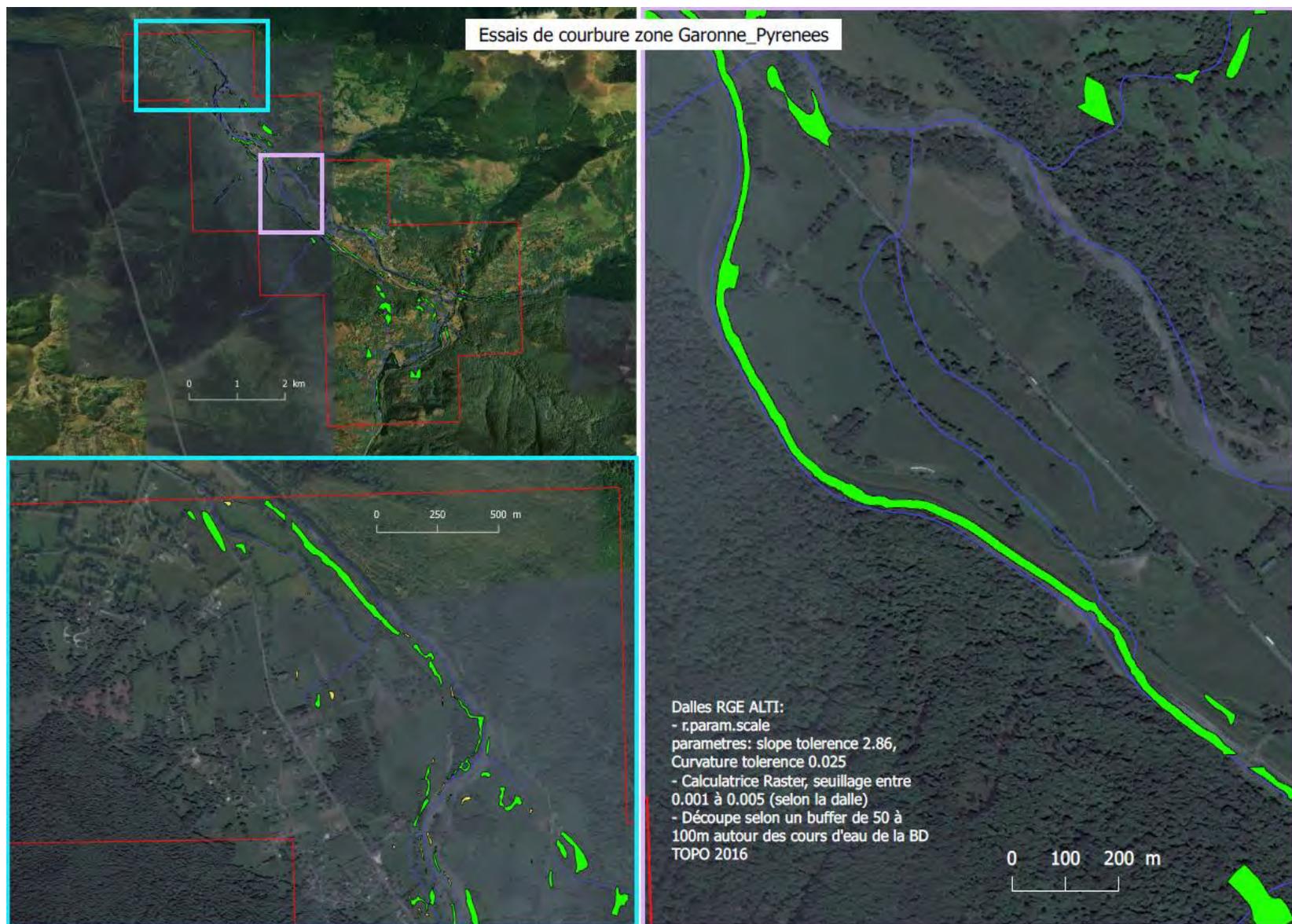


Figure 35: Résultat de la méthode de la courbure sur la zone des Pyrénées

Cette zone d'étude comprend des fortes pentes qui ont fortement impacté les résultats de la courbure. Il est possible de visualiser la morphologie de la zone avec cet exemple de profil à partir d'une coupe transversale (figure 36).



Figure 36: Variation de la pente à partir d'un profil en travers sur la zone des Pyrénées

Nous pouvons voir qu'à l'Ouest du cours d'eau, il n'y a aucune variation de pente, d'où l'absence de courbure sur la carte, contrairement à l'est du cours d'eau où la courbure est correctement calculée lors du traitement.

De plus, cette zone montagneuse a été couverte par du Radar (la précision peut être de 7m). De plus comme nous le montre la cross section (figure 36), il y a des absences de courbure qui peuvent être liées à la morphologie de cette zone. Ces différents problèmes amènent à des résultats non satisfaisants sur toute cette zone d'étude.

C. Bilan

Cette méthode présente des temps de traitements corrects. Si traiter l'ensemble de la Haute-Garonne risque de prendre plusieurs heures, cela reste inhérent à des calculs sur des dalles raster de grande taille.

Elle a produit des résultats concluants sur l'ensemble des dalles, la zone de la Garonne - Pyrénées exclue, et fonctionne particulièrement sur les zones où le bord des cours d'eau est marqué sur un relief plat, telle que la zone de la Palmoula. Cependant la distinction du DPF dans les résultats est parfois difficile, notamment dans la zone de confluence où plusieurs enveloppes peuvent correspondre au DPF. Le besoin de valider ces calculs sur le terrain ou par une autre méthode est nécessaire.

Cette méthode pourrait-être utile à des calculs surfaciques afin d'estimer la largeur des berges et du DPF.

Le point faible de la méthode est le paramétrage des différentes fonctions : les paramètres de seuillage, de zone tampon et de filtrage dépendent de la largeur du cours d'eau considéré, et de sa morphologie. Il est souvent nécessaire de revenir sur chaque dalle pour trouver le paramétrage le plus adapté, ce qui rend la méthode peu pertinente s'il est nécessaire de traiter l'ensemble du territoire en une seule fois. De plus, la définition des paramètres reste un choix arbitraire dépendant de la vision qu'en a l'utilisateur. Un axe de développement de cette méthode serait à nos yeux la standardisation des paramètres.

Enfin, le résultat produit est une enveloppe dans lequel le DPF est contenu. A l'échelle de larges fleuves, la dimension de l'enveloppe reste pertinente, mais la question de sa précision peut se poser dans le cas de cours d'eau de petite dimension, même si l'enveloppe produite est pertinente et globale.

Cette méthode est rapide et fonctionne efficacement sur les zones où les bords des cours d'eau sont marqués. Elle manque cependant de précision, et de standardisation. Si le manque de précision pourrait-être corrigé en manipulant les paramètres de la chaîne de traitement voire en ajoutant des fonctions, il nous semble à ce jour, difficile de standardiser les paramètres afin de pouvoir exécuter l'ensemble des dalles automatiquement (processus de lot).

2. River Bathymetry Toolkit

Comme nous avons pu le voir dans l'étude webographique, cet outil permet de calculer le lit de la rivière avant débordement. Les tests sur cet outil ont été réalisés dans un premier temps sur des zones limitées à une dalle. Puis, dans un second temps, sur un raster comprenant toutes les dalles de chacune des zones d'études (entre 6 et 24 dalles).

Le fonctionnement général de la chaîne de traitement est le suivant (la notice de ce diagramme est [annexe 4](#)) :

- Faire un 'detrend' permettant de prendre une valeur globale de MNT (supprimant la perte d'altitude amont/aval) ;
- Définir la limite du Bankfull à partir d'un curseur et de 2 graphes en sortie ;
- Sauvegarder les polygones résultants ;
- Découpage du résultat selon une zone tampon autour des cours d'eau afin de ne conserver que les polygones pouvant correspondre au DPF ;
- Production d'une couche résultat.

Les étapes de cette méthode sont présentées dans le diagramme de flot ci-dessous (figure 37) :

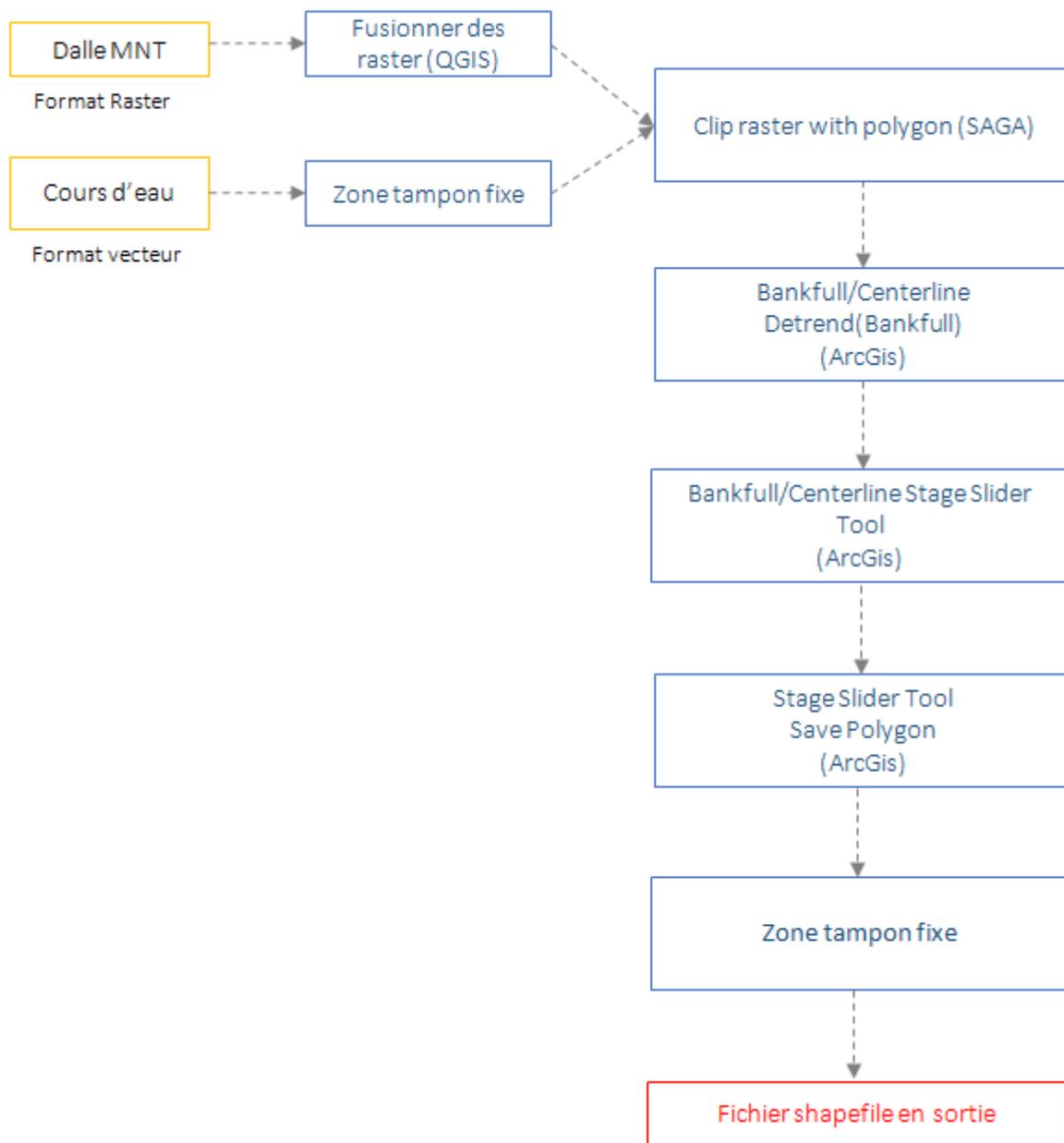


Figure 37: Diagramme de Flot pour l'utilisation du River Bathymetry Toolkit

En sortie de l'utilisation du 'Stage Slider Tool', nous avons deux graphes : "Elevation histogram" et "Volume to area", le graphe 'Volume to area' est étudié pour délimiter le *Bankfull* par l'utilisation d'un curseur (annexe 4). Le résultat peut être exporté en shapefile comprenant les polygones définissant le *Bankfull*.

A. Tests effectués sur une dalle

Zone de la Marcaisonne (dalle 'RGEALTI_FXX_0588_6270_MNT_LAMB93_IGN69')

Avec ce premier test, nous pouvons observer que la limite du *Bankfull* est repérable grâce au graphique 'volume to area' qui, dans notre cas, a la forme type qui est représentative des cours d'eau. Comme vu annexe 4, nous pouvons voir cette limite sur la figure 38.

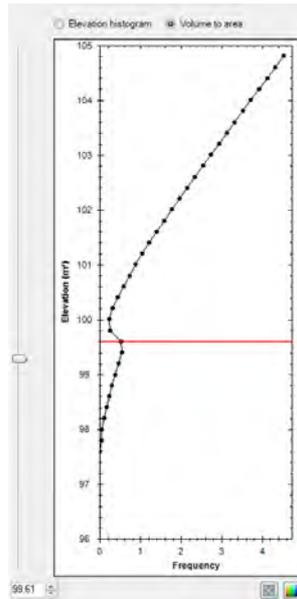


Figure 38: Graphe 'Volume to area' pour la dalle 'RGEALTI_FXX_0588_6270_MNT_LAMB93_IGN69'

Avec le choix de cette limite choisie par la forme du graphe 'volume to area', nous obtenons la représentation du cours d'eau jusqu'à la limite supposée du DPF pour la dalle étudiée dans ce test (figure 39 et [annexe 5](#)) :



Figure 39: Résultat du Bankfull dans la zone de Saint-Orens 'RGEALTI_FXX_0588_6270_MNT_LAMB93_IGN69'

Dans le cas de la dalle 'RGEALTI_FXX_0588_6270_MNT_LAMB93_IGN69' de la zone de la Marcaïssonne, les résultats sont de bonne qualité. En effet nous pouvons le confirmer grâce à la carte (figure 40) comparant les résultats de la courbure calculée sur QGIS et du RBTK sur ArcGis.



Figure 40: Comparaison des résultats des méthodes utilisant l'outil "River Bathymetry Toolkit" (ArcGIS) et le modeleur définissant les courbures (QGIS) sur la zone de la Marcaissonne 'RGEALTI_FXX_0588_6270_MNT_LAMB93_IGN69'

Zone de la Palmoula (dalle 'RGEALTI_FXX_0586_6301_MNT_LAMB93_IGN69')

Cette deuxième zone, contrairement à la dalle précédente choisie pour la zone de la Marcaissonne, ne comprend pas un chenal unique. Dans ce cas, l'outil BRTK a plus de difficulté à calculer les limites du Bankfull sur toute la dalle. Le graphe permet néanmoins d'avoir une idée sur la limite du Bankfull, même si elle est moins précise que dans le cas d'un chenal unique (figure 41).

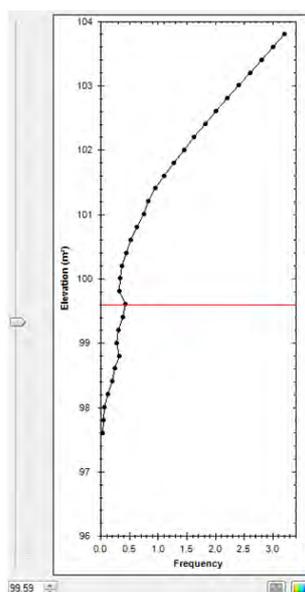


Figure 41: Graphe 'Volume to area' pour la dalle 'RGEALTI_FXX_0586_6301_MNT_LAMB93_IGN69' de la zone de la Palmoula

Avec le choix de cette limite, choisie grâce à la forme du graphe 'volume to area', nous obtenons la représentation du cours d'eau jusqu'à la limite supposée du DPF (figure 42 et [annexe 6](#))

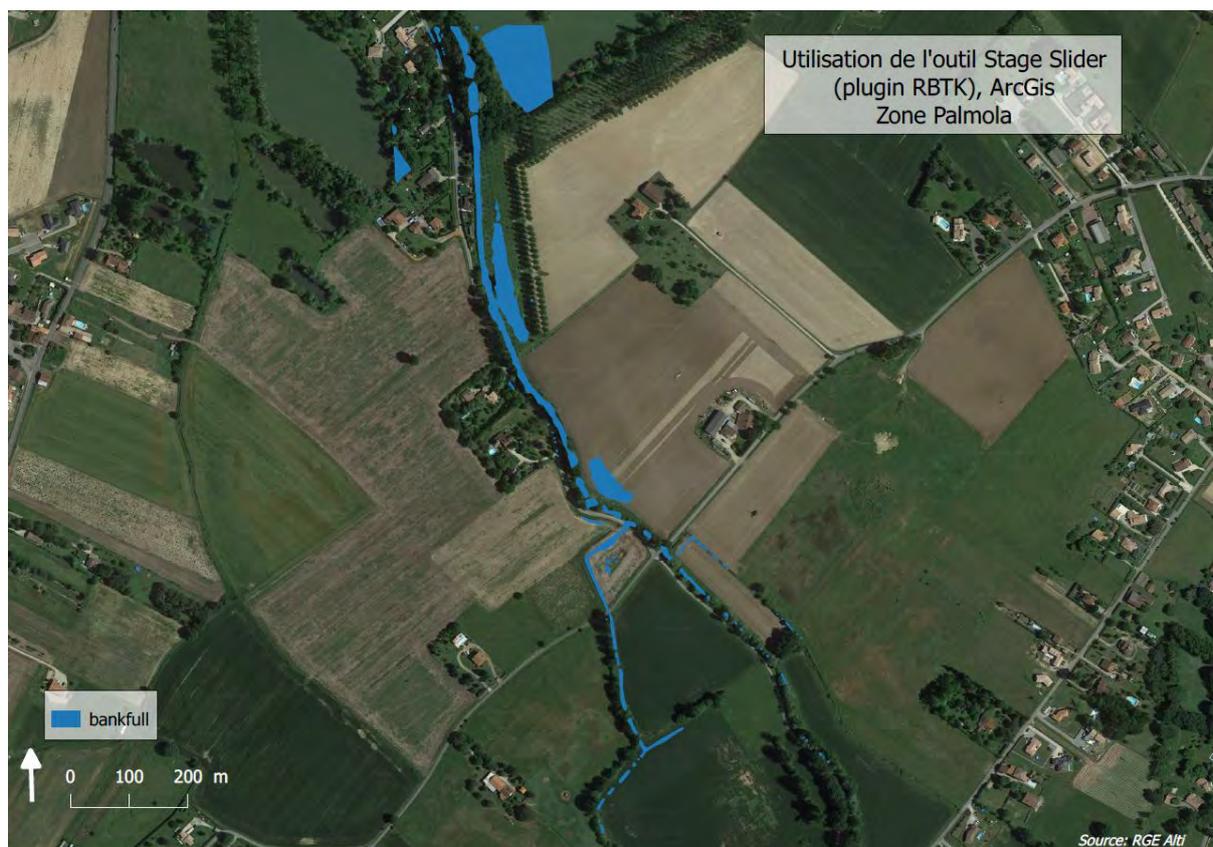


Figure 42: Résultats du Bankfull dans la zone de la Palmoula 'RGEALTI_FXX_0586_6301_MNT_LAMB93_IGN69'

Nous avons comparé les résultats de la courbure calculée sur QGIS et du RBTK sur ArcGis (figure 43), les résultats des deux méthodes sont concordants.



Figure 43: Comparaison des résultats des méthodes utilisant l'outil "River Bathymetry Toolkit" (ArcGis) et le modèleur définissant les courbures (QGIS) sur la zone de la Palmoula 'RGEALTI_FXX_0586_6301_MNT_LAMB93_IGN69'

Zone de la Garonne - Pyrénées (dalle 'RGEALTI_FXX_0513_6201_MNT_LAMB93_IGN69')

Comme nous avons pu le voir lors des tests de courbure effectués sur QGIS, il est difficile de définir la limite du DPF dans la zone de la Garonne - Pyrénées. Cela est lié à la qualité de la dalle MNT mais également à la morphologie de la zone et des cours d'eau. De plus, nous avons vu précédemment qu'il était plus compliqué d'avoir des résultats satisfaisants quand nous n'avons pas un cours d'eau unique, ce qui est également le cas dans cette zone. Donc nous supposons que les résultats risquent d'être de moins bonnes qualités que dans les autres zones d'études. Le graphe 'Volume to area' pour cette dalle ne permet pas d'avoir une idée sur la limite du *Bankfull* (figure 44). Dans ce cas, le choix de la limite va être arbitraire.

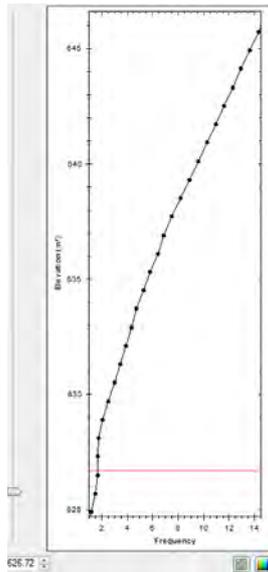


Figure 44: Graphe 'Volume to area' pour la dalle 'RGEALTI_FXX_0513_6201_MNT_LAMB93_IGN69' dans la zone des Pyrénées

Comme attendu, les cours d'eau ne sont pas bien délimités avec cette méthode (figure 45).



Figure 45: Représentation du Bankfull dans la zone des Pyrénées 'GEALTI_FXX_0513_6201_MNT_LAMB93_IGN69'

Zone de la confluence Garonne-Ariège (dalle 'RGEALTI_FXX_0571_6270_MNT_LAMB93_IGN69')

Pour cette dalle, contrairement aux autres, le cours d'eau a une morphologie en méandre qui, de part l'érosion et la sédimentation de ce cours d'eau, aura la taille de son cours d'eau pouvant occuper un tiers de l'image. Il peut donc être plus difficile d'étudier la zone de la confluence sur une dalle et donc une bonne chose de l'étudier sur plusieurs dalles. Le graphe 'Volume to area' pour cette dalle ne permet pas d'avoir une idée sur la limite du *Bankfull* (figure 46). Dans ce cas, le choix de la limite va être arbitraire.

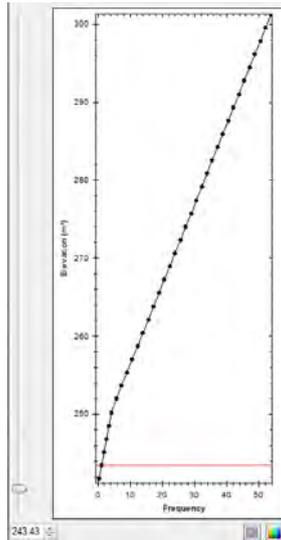


Figure 46: Graphe 'Volume to area' pour la dalle 'RGEALTI_FXX_0571_6270_MNT_LAMB93_IGN69' dans la zone de la confluence

Sur cette zone limitée à une dalle, il est difficile d'avoir une idée de la qualité des limites jusqu'au DPF (figure 47). L'étude sur une plus grande zone par la suite permettra d'avoir une idée plus précise sur le *Bankfull*.

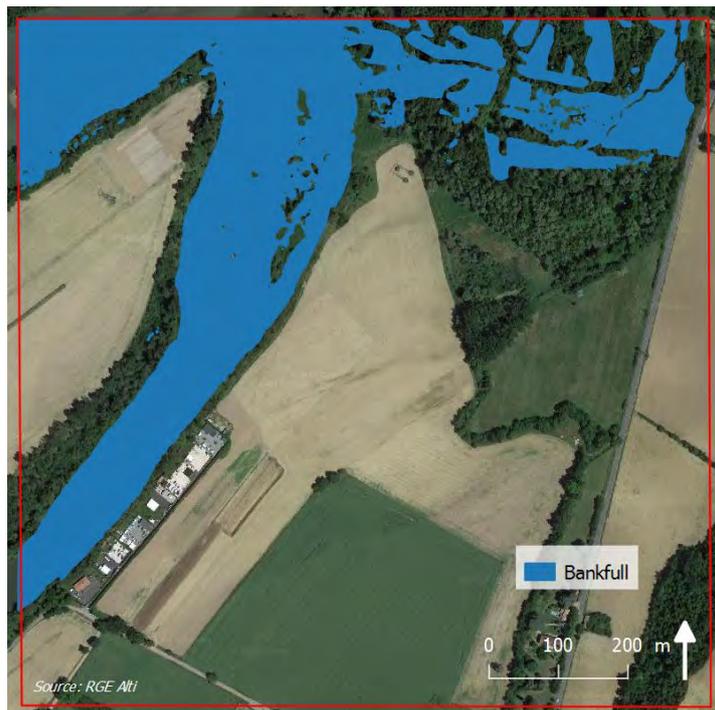


Figure 47: Représentation du Bankfull dans la zone des Pyrénées 'RGEALTI_FXX_0571_6270_MNT_LAMB93_IGN69'

B. Tests effectués sur plusieurs dalles

Les Tests sont effectués pour toutes les dalles situées dans la limite de chaque zone d'études définies par la DDT.

Zone de la Marcaisonne (durée de traitement : 45mn pour 24 dalles)

Cette zone est celle qui comprend le plus de dalles dans nos tests. Cependant il est possible que cela pose des problèmes pour afficher le graphe 'Volume to area'. En effet pour les zones composées de plus de 15 dalles, le graphe ne s'affiche pas.

Le résultat sur la carte générale n'est pas satisfaisant et seulement la partie Nord est calculée, sur la partie Sud le *Bankfull* n'est pas présent (figure 48).



Figure 48: Représentation du Bankfull dans la zone totale de la Marcaisonne

Zone de la Palmoula (durée de traitement : 16mn pour 9 dalles)

Concernant la zone totale de la Palmoula, le graphe de 'Volume to area' s'affiche mais ne permet pas d'identifier la limite du *Bankfull* (figure 49). Le choix de la limite sera arbitraire.

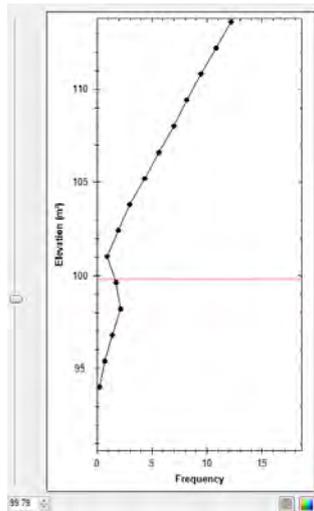


Figure 49: Graphe 'Volume to area' pour la zone de la Palmoula

Nous pouvons voir que les résultats ne sont pas concluants, seule une zone dans la partie Nord-Ouest est représentée et pour laquelle on aura des informations sur le *Bankfull* (figure 50).



Figure 50: Représentation du *Bankfull* dans la zone totale de la Palmoula

Zone de la Garonne - Pyrénées (durée de traitement : 17mn pour 16 dalles)

Comme pour la zone d'étude de la Marcaissonne, le nombre de dalle étudié est important, il est encore une fois possible que cela pose problème pour afficher le graphe 'Volume to area'. Les résultats pour cette zone ne sont pas concluants. En effet, les volumes sont grossiers et la zone Sud est totalement inondée (figure 51). Ce n'est donc pas une méthode appropriée pour l'étude de cette zone.



Figure 51: Représentation du *Bankfull* dans la zone d'étude des Pyrénées

Zone de la confluence Garonne - Ariège (durée de traitement : 3mn pour 6 dalles)

Comme pour les zones qui sont composées de plusieurs dalles, le graphe de 'Volume to area' ne permet pas d'avoir une idée sur la limite du (figure 16) et le choix de la limite sera arbitraire.

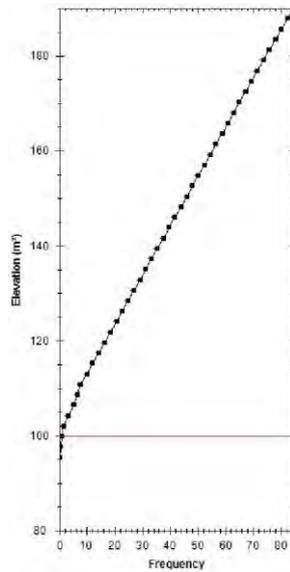


Figure 52: Graphe 'Volume to area' pour la zone de la confluence

Cette zone d'étude est composée de 6 dalles. Cela semble être un bon compromis pour étudier cette zone, en prenant compte de la taille de l'objet étudié et la taille de la zone d'étude (figure 53). Les résultats sont satisfaisants, ils ont été comparés avec la méthode des courbures sur QGIS pour confirmer leur qualité (figure 54 et [annexe 7](#)). Le résultat de cette comparaison montre une bonne cohérence entre ces deux méthodes.



Figure 53: Représentation du Bankfull dans la zone d'étude de la confluence

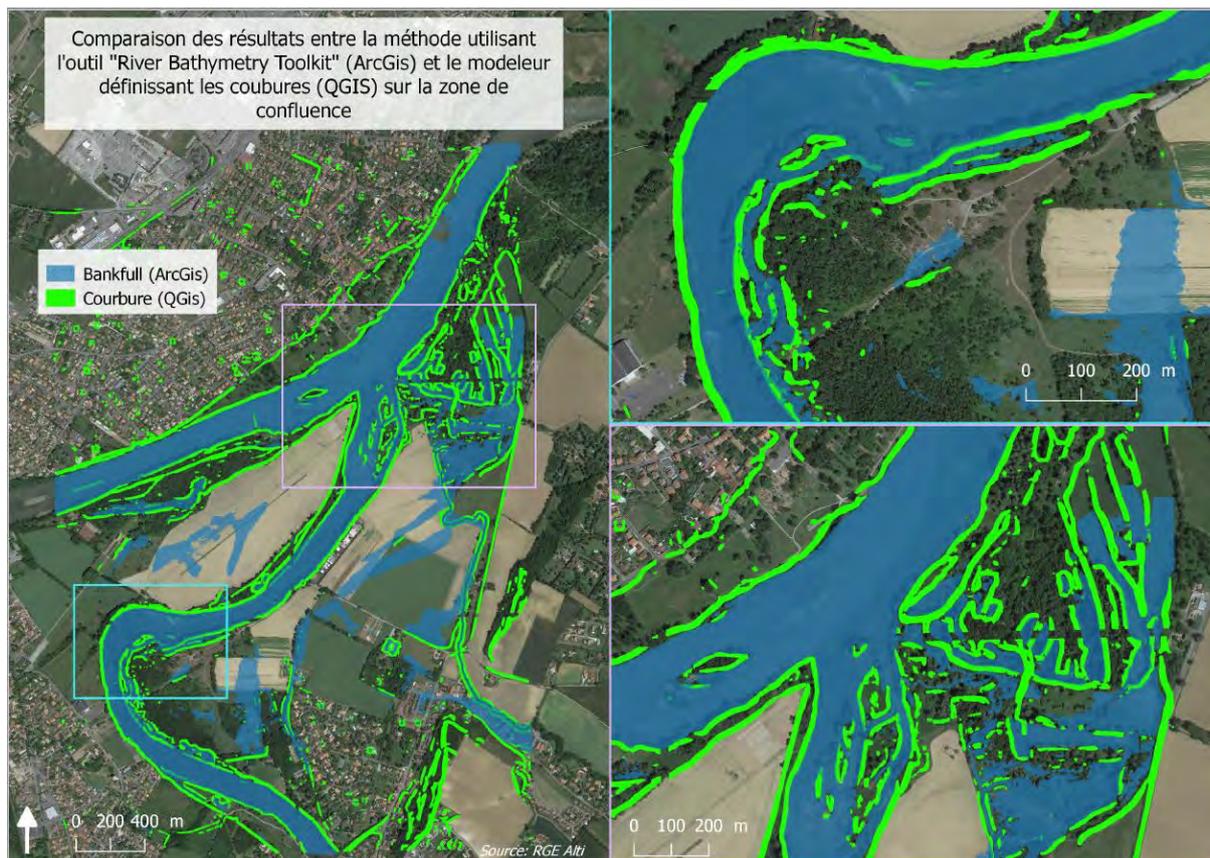


Figure 54: Comparaison des résultats des méthodes utilisant l'outil "River Bathymetry Toolkit" (ArcGIS) et le modeler définissant les courbures (QGIS) sur la zone de la confluence

C. Bilan de la méthode

Pour conclure sur ces tests, nous pouvons observer qu'un élément important pour choisir la taille de la zone à étudier (une ou plusieurs dalles) est le ratio entre la taille du cours d'eau étudié et le nombre de dalles prises en compte pour faire le traitement. En effet si plusieurs cours d'eau sont présents sur une seule zone, comme nous pouvons le voir dans la zone de la Marcaissonne (figures 40 et 48), il y aura de meilleurs résultats à étudier une seule dalle. Et inversement, si le cours d'eau a une surface qui prend plus du tiers d'une dalle, il faut agrandir cette zone de traitement et travailler sur plusieurs dalles pour obtenir des résultats plus lisibles, comme c'est le cas pour la zone de confluence (figure 47 et 53).

Un autre problème observé est que lorsqu'on étudie des zones comprenant plus de 15 dalles, le graphe de 'volume to area' ne s'affiche pas. Egalement, lorsque nous travaillons sur plusieurs dalles, il s'affiche mais les résultats ne permettent pas de l'utiliser. Cela pose problème pour la délimitation du *Bankfull* qui se fait alors totalement arbitrairement.

Cette méthode ne peut donc être utilisée sur de grandes zones mais sur des zones limitées en fonction de la taille du cours d'eau. Par contre elle permettra de comparer les résultats d'autres méthodes sur des zones limitées pour apporter des informations complémentaires.

VII. Développement de l'Analyse Profil en Travers

Le choix de passer par un script Python a été fait pour plusieurs raisons. Tout d'abord, dans le but d'avoir des résultats assez rapidement, on traite successivement l'ensemble des profils. La difficulté réside alors dans le fait de généraliser les critères permettant de trouver les points avant débordement afin d'avoir des paramètres qui soient les mêmes pour tous les profils du traitement. De plus, le passage par un script Python se justifie par la volonté d'avoir une méthode qui soit semi-automatique afin qu'elle soit reproductible et généralisable à un grand territoire.

1. Fonctionnement général

La méthode d'Analyse des Profils en Travers (APET) a pour objectif de déterminer les points avant débordement pour un cours d'eau en utilisant une succession de profils en travers le long de ce cours d'eau. Cette méthode s'articule autour de 2 outils : une fonction QGIS permettant de créer les profils en travers (les "cross-section") et un script Python afin de traiter ces profils pour trouver les rives.

Le script Python s'appuie sur la base d'un traitement itératif en partant du centre du cours d'eau et en s'éloignant progressivement jusqu'à trouver les rives de part et d'autre de l'axe central. Le détail de la procédure de fonctionnement est expliqué en annexe 8.

Le script est résumé dans le diagramme de flot ci-dessous (figure 55):

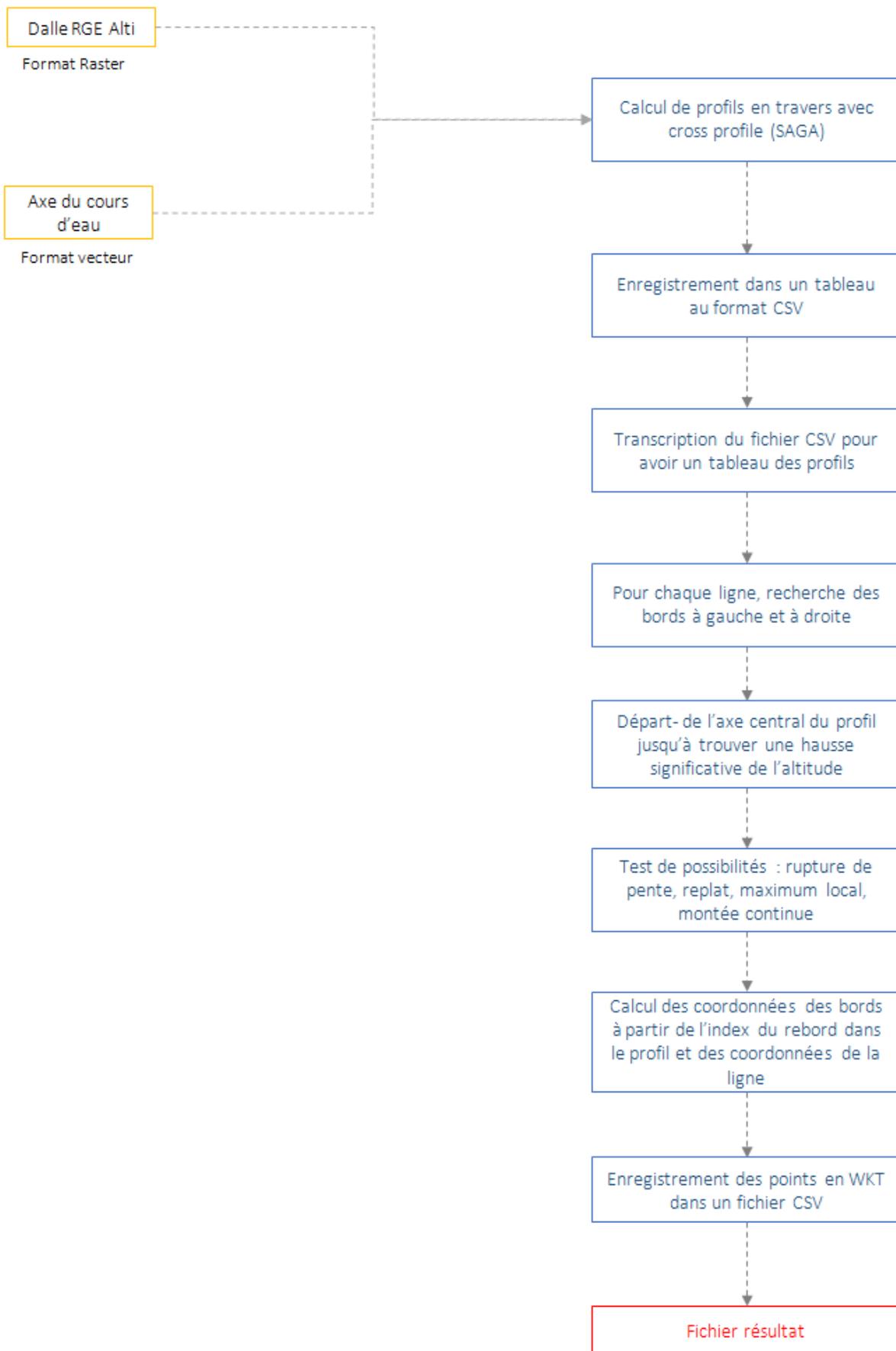


Figure 55: Diagramme de flot pour la méthode du script python

2. Résultats

Ce processus d'analyse a été mis en place et testé pour les quatre zones d'études de notre projet.

A. Zone de la Confluence Garonne-Ariège

Les résultats sont présentés sur les figures 56 et 57 ci-dessous.

Pour cette zone d'étude, la méthode des profils en travers fonctionne relativement correctement. On peut voir les rives de la Garonne et de l'Ariège qui sont assez bien marquées même s'il subsiste des points aberrants qui sont causés notamment par la présence d'ouvrages hydrauliques.

Cette méthode marche correctement pour cette zone en donnant des résultats assez satisfaisants, pour plusieurs raisons.

Les rivières sont très larges et bien creusées (même pour les rives convexes) ce qui fait que les berges sont assez bien marquées. On va donc avoir des points avant débordement qui seront nets. Enfin, les rivières sont assez linéaires et ne forment pas de méandres très resserrés. Les profils en travers suivront donc correctement le cours d'eau et, ils ne se chevaucheront pas dans la plupart des cas.

Toutefois on peut remarquer une petite zone sur la rive convexe d'un méandre de l'Ariège dans la partie sud de la zone d'étude où beaucoup de profils se chevauchent. Cet effet va engendrer un regroupement de points au même endroit qui aura pour conséquence de rendre plus difficile l'interprétation de ces points pour fixer la limite avant débordement.

Mais on peut remarquer aussi sa faible étendue car en globalité, la zone de la confluence est correctement délimitée par cette méthode.

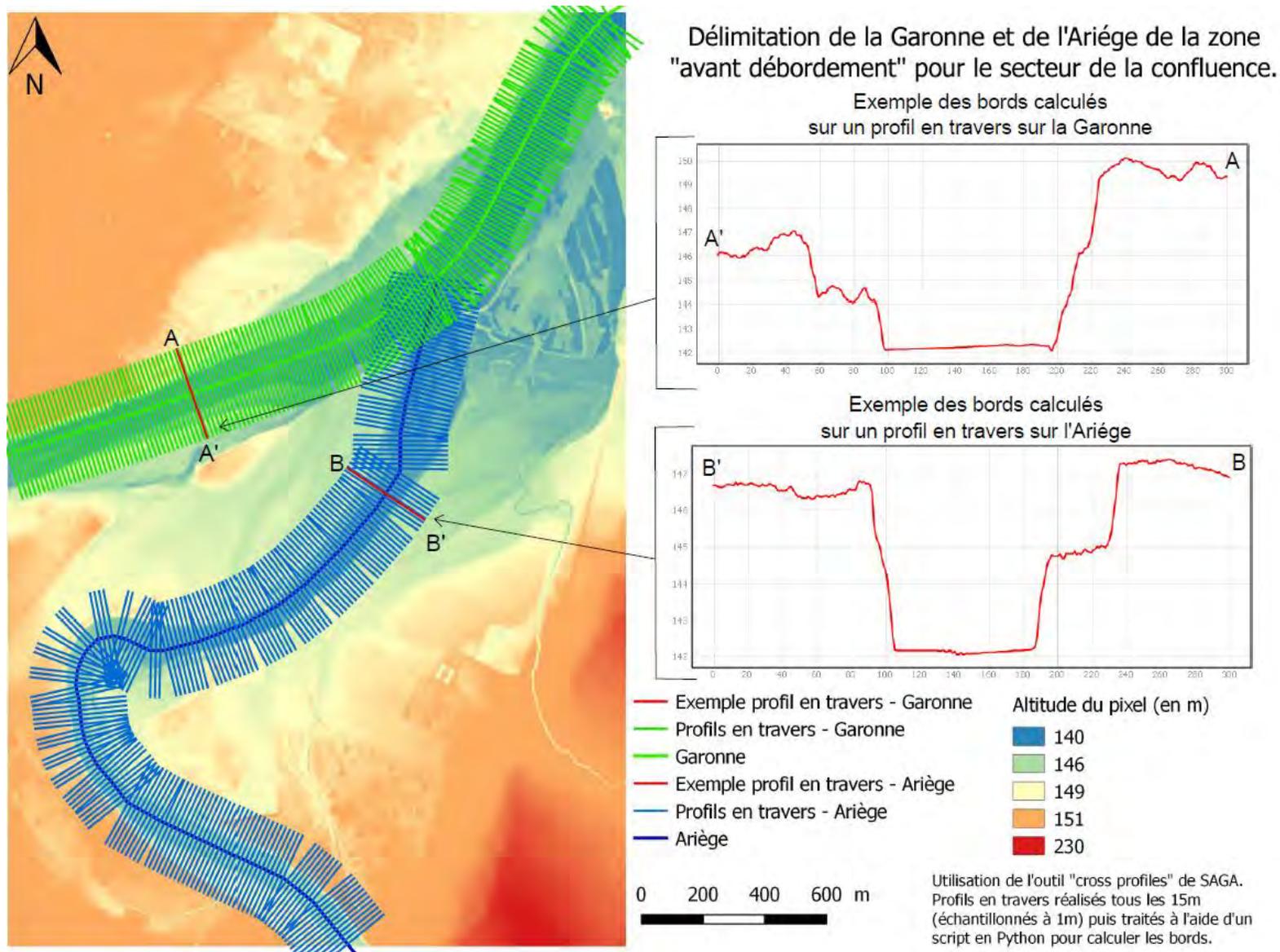


Figure 56: Délimitation de la Garonne et de l'Ariège de la zone "avant débordement" pour le secteur de la confluence (profils en travers).

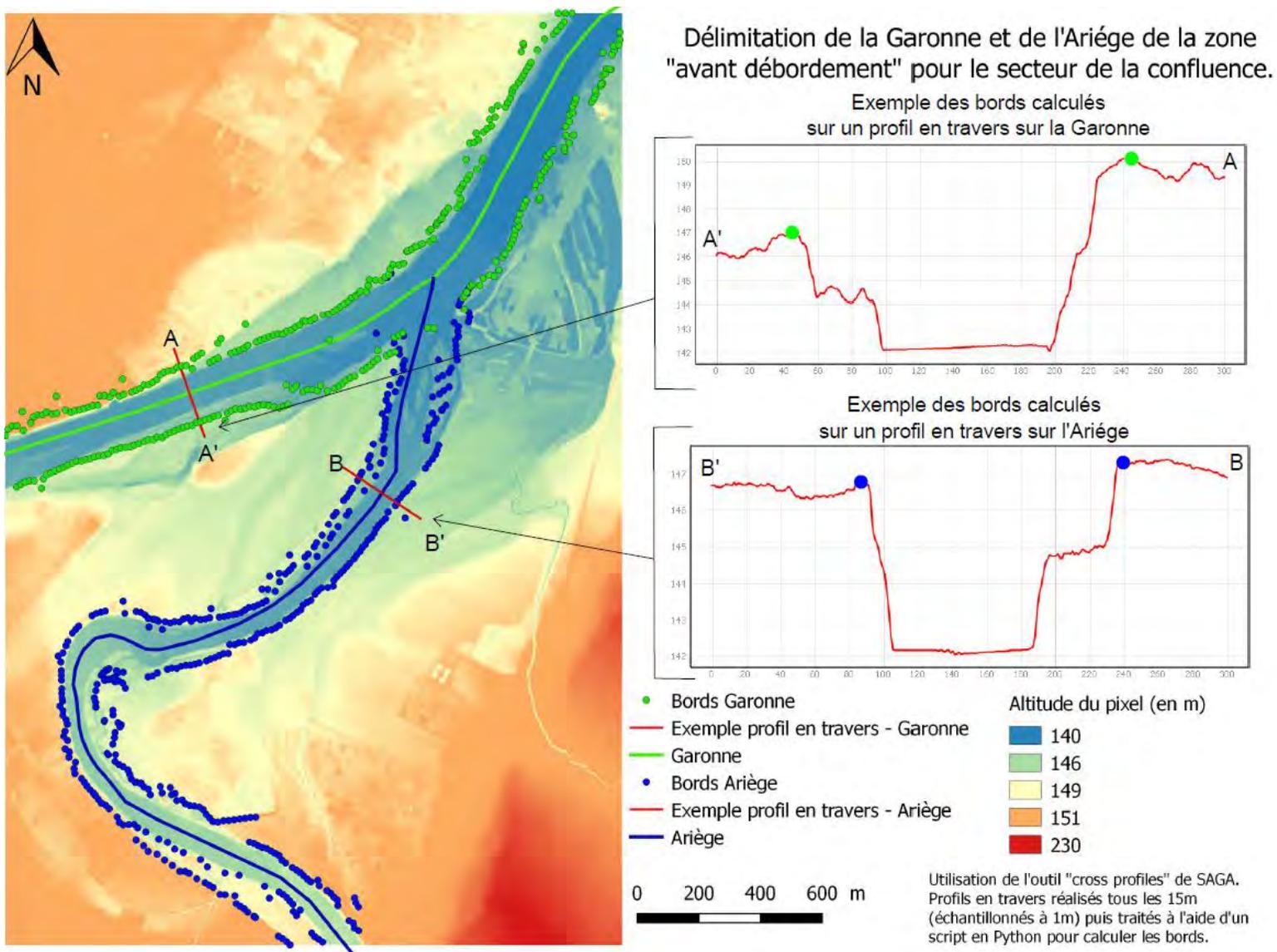
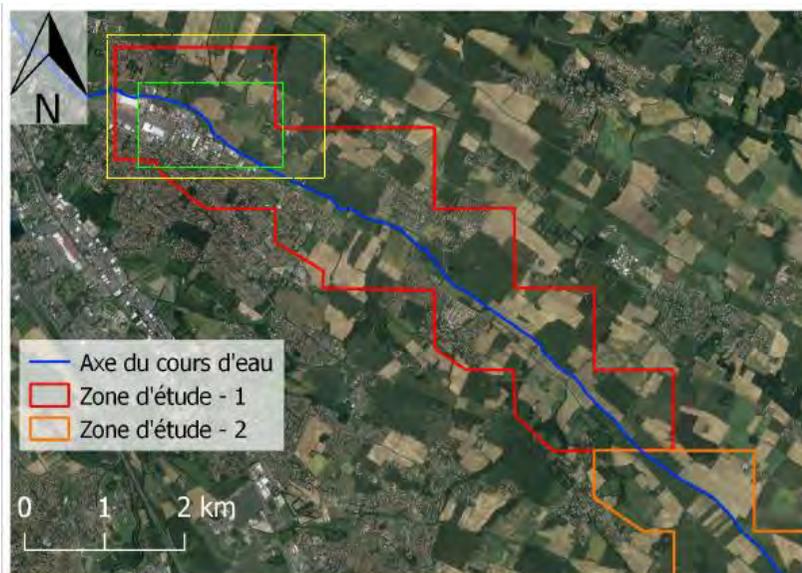


Figure 57: Délimitation de la Garonne et de l'Ariège de la zone "avant débordement" à partir des profils en travers pour le secteur de la confluence (Points des rives)

B. Zone de La Marcaisonne

Les résultats de la méthode d'analyse des profils en travers sont présentés sur la carte-ci dessous (Figure 58).

Ces résultats sont relativement de moins bonne qualité que ceux issus de la zone de confluence. On remarque un enchaînement de points avec plus de points aberrants, il est plus difficile à l'œil nu de discerner le cours d'eau encadré par ces points. On retrouve encore les ouvrages hydrauliques tels que des digues qui viennent perturber le calcul des rives droite et gauche des cours d'eau (Figure 59). Ce niveau de qualité, qui est moins bon que la confluence, s'explique principalement par le fait d'un relief moins marqué et d'un cours d'eau peu large.



Recherche des bords du cours d'eau par analyse des profils en travers
 Test sur la zone de Saint-Orens
 (ruisseau la Marcaissonne)

Carte 1/2
 Fond de carte : Google Satellite

- Dalles RGE Alti (1m)
- Profils en travers réalisés à l'aide de l'outil "cross profiles" de SAGA (pas de 20m)
- Analyse des profils par script Python
- Axe du cours d'eau issu de la BD TOPO (IGN)

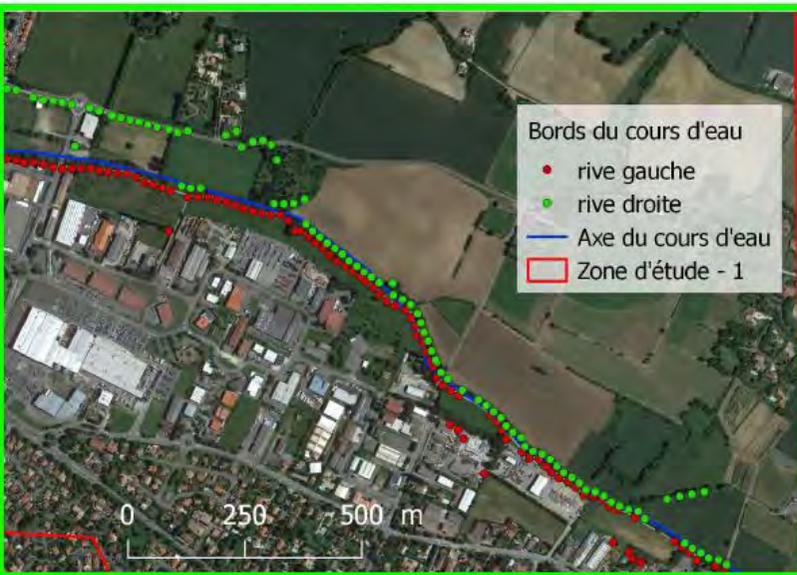
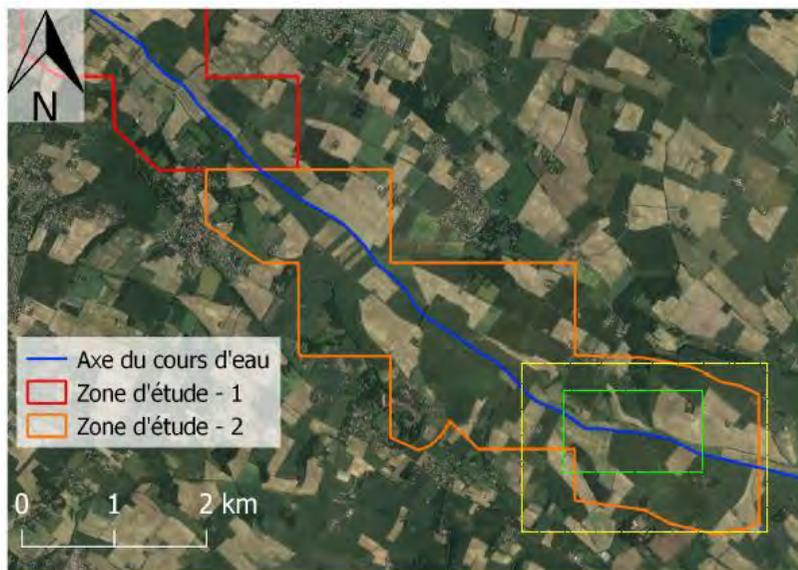


Figure 58: Recherche des bords du cours d'eau par analyse des profils en travers sur la zone nord de la Marcaissonne.



Recherche des bords du cours d'eau par analyse des profils en travers
 Test sur la zone de Saint-Orens
 (ruisseau la Marcaissonne)

Carte 2/2
 Fond de carte : Google Satellite

- Dalles RGE Alti (1m)
- Profils en travers réalisés à l'aide de l'outil "cross profiles" de SAGA (pas de 20m)
- Analyse des profils par script Python
- Axe du cours d'eau issu de la BD TOPO (IGN)

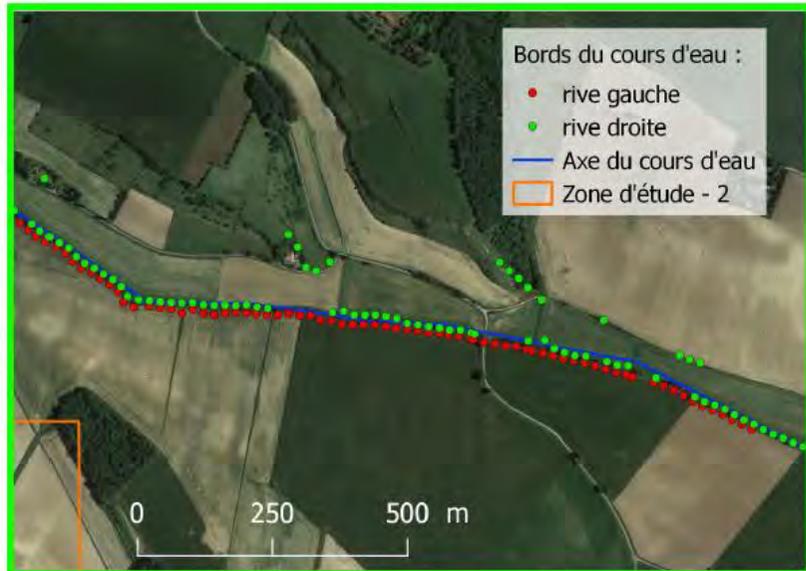
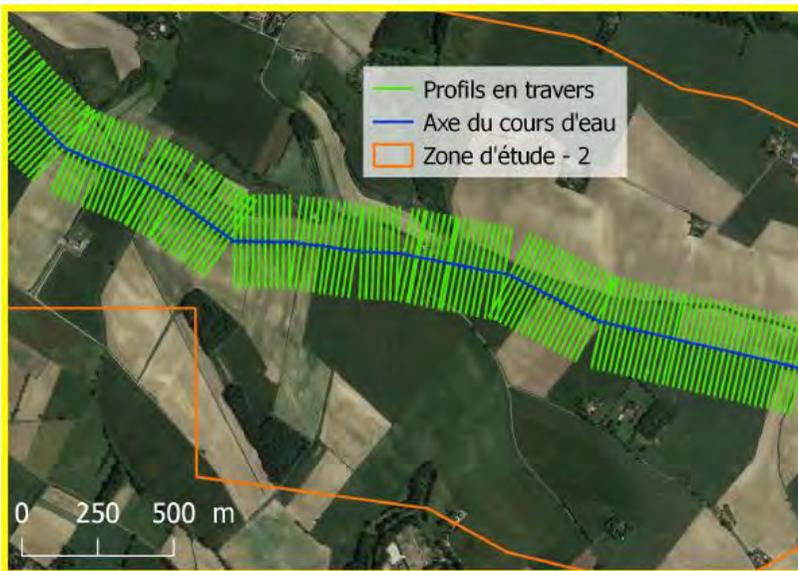


Figure 59: Recherche des bords du cours d'eau par analyse des profils en travers sur la zone sud de la Marcaissonne

C. Zone De la Palmoula

Les résultats pour ce site sont présentés sur la carte ci-dessous (Figure 60).

Cette figure présente des similarités avec la zone de la Marcaissonne. On retrouve les mêmes caractéristiques (relief moins marqué, cours d'eau de faible largeur) qui induisent les mêmes difficultés pour estimer les rives de ces cours d'eau. On distingue en effet des rives assez peu marquées avec un nombre important de valeurs aberrantes amplifiées par la présence d'ouvrages hydrauliques. Toutefois, même s'il est assez difficile de discerner le cours d'eau grâce à ces points, les résultats montrent sur une certaine partie de cette zone des endroits où le cours d'eau est bien marqué.

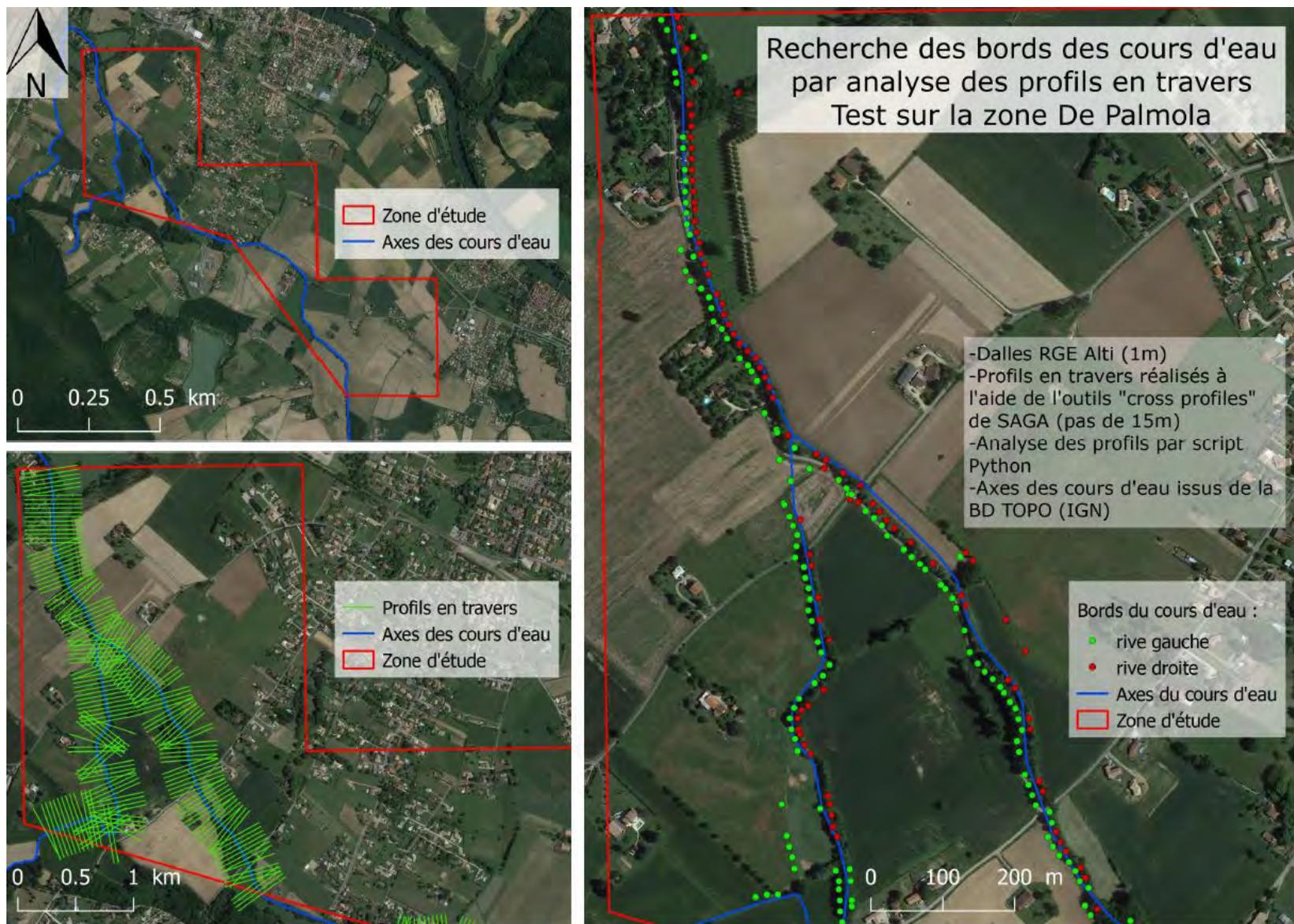


Figure 60: Recherche des bords du cours d'eau par analyse des profils en travers sur la zone de la Palmoula

D. Zone de la Garonne - Pyrénées

Les résultats de l'analyse des profils en travers pour cette zone sont présentés sur la carte ci-dessous (Figure 61).

Cette figure présente des résultats très contrastés par rapport aux 3 autres zones d'étude. En effet, on peut remarquer ici que la recherche des rives de la Garonne fonctionne très mal. Très peu de points sont trouvés par le script et on peut se poser la question de la qualité de ces recherches. Ces résultats s'expliquent par le système d'acquisition des données qui n'est pas du LiDAR. On peut conclure que les données RADAR ne permettent pas d'avoir un fonctionnement optimal pour la méthode d'analyse des profils en travers.

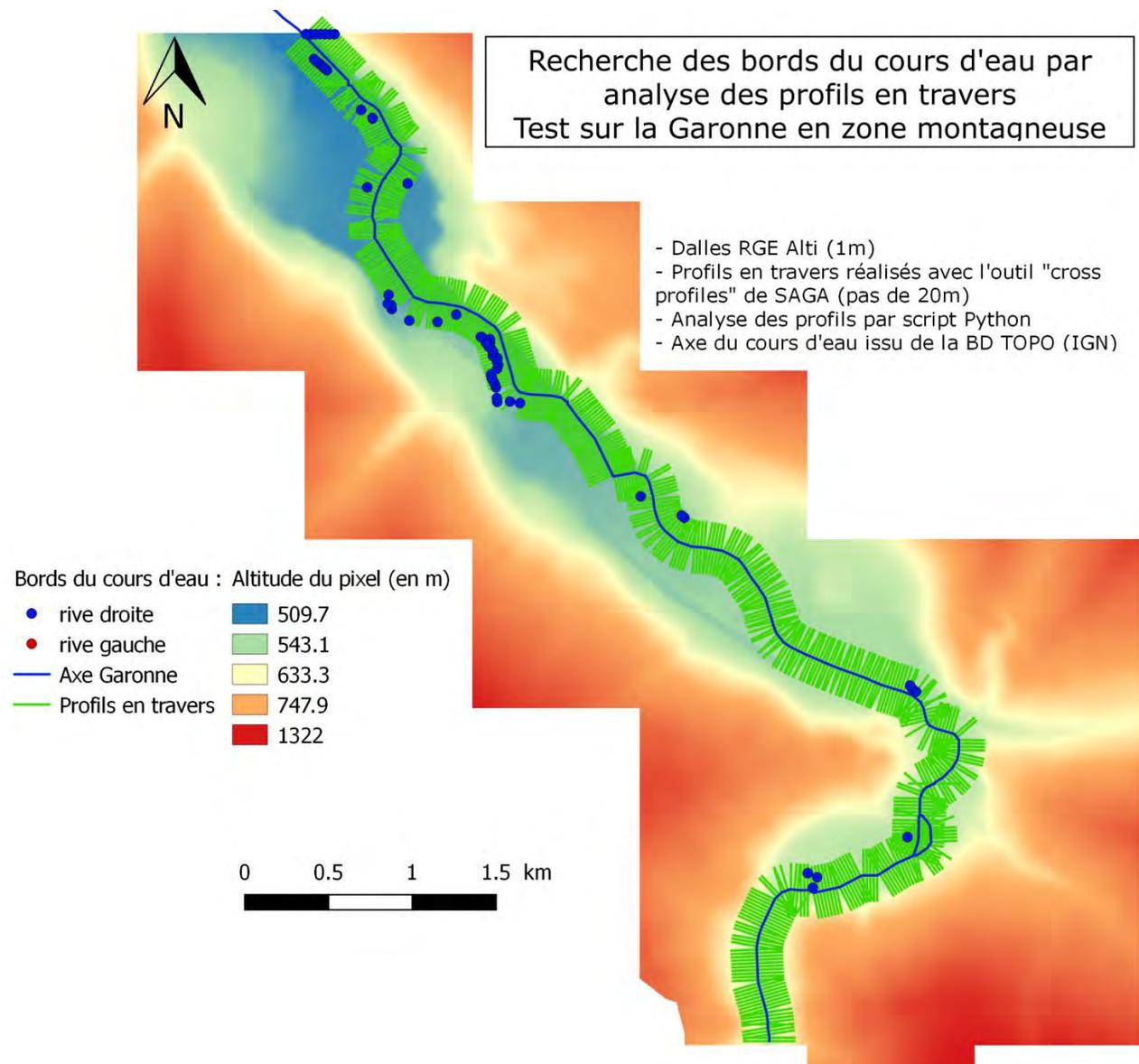


Figure 61: Recherche des bords du cours d'eau par analyse des profils en travers sur la zone des Pyrénées

3. Conclusion

La méthode d'analyse des profils en travers permet de rechercher les points avant débordement d'un cours d'eau. Cette méthode qui s'appuie sur un outil SIG ainsi que sur un script en Python à l'avantage d'étudier la topographie d'un cours d'eau sans passer par des méthodes de traitements d'images, avec une assez bonne rapidité au niveau des temps d'exécution.

Les résultats ont montré l'intérêt de cette méthode qui délivre d'assez bon résultats mais qui sont très dépendants du territoire étudié. En effet, on a pu remarquer que lorsqu'on se trouve sur un site avec un relief assez peu marqué ou si le cours d'eau analysé a une faible largeur, le script Python aura du mal à fonctionner convenablement. De plus, pour des dalles raster issues de données RADAR, le script Python aura également du mal à définir les rives du cours d'eau.

On peut donc voir que si le script renvoi des bons résultats, il faut que certaines conditions soient remplies. Ces limites peuvent néanmoins être dépassées par le développement de plusieurs pistes. Tout d'abord, les critères des tests pour caractériser le point avant débordement peuvent faire l'objet de modification. Ces seuils peuvent être abaissés ou bien relevés selon le cas étudié. Enfin, au niveau des données, l'utilisation de données LiDAR avec une meilleure résolution permettrait sans doute d'améliorer le processus de recherche des points avant débordements.

VIII. Comparaison des résultats

Afin d'estimer qualitativement les trois méthodes testées, nous avons, pour chaque zone recoupés et comparés les résultats obtenus.

Comme expliqué dans les résultats de chacune des méthodes, aucun des résultats sur la zone des Pyrénées n'a été concluant à cause des données RADAR. Pour cette raison, nous avons décidé de ne pas comparer les résultats sur cette zone, ces derniers n'ayant aucune valeur qualitative car manifestement faux.

1. Définition des indicateurs

Il était nécessaire de prendre en compte le format des résultats obtenus selon la méthode, afin de les comparer correctement :

- Méthode de la Courbure : la limite du DPF est contenue dans un Polygone couvrant chaque berge du cours d'eau ;
- River Bathymetry Toolkit : le périmètre du polygone résultant représente la limite du DPF ;
- Analyse des Profils en Travers : chaque point correspond à la limite calculée du DPF sur chaque coupe transversale.

L'APET produisant une limite au format ponctuel, elle peut être manipulée par une requête spatiale afin d'estimer la proportion de points contenus dans les polygones des deux autres méthodes. Nous avons donc choisi de calculer un **pourcentage de recouvrement** des résultats de l'APET avec les autres méthodes.

La courbure et le RBTK produisant tous deux des polygones, nous avons décidé de calculer un **taux de recouvrement** entre les deux méthodes.

2. Prise en compte de l'incertitude des résultats

Il était nécessaire de considérer l'incertitude de précision des résultats dans les calculs de comparaison pour chaque méthode :

- Analyse des Profils en Travers : L'incertitude établie est la résolution des pixels des dalles, soit 1m ;
- River Bathymetry Toolkit : une incertitude de ± 1 m autour du périmètre du polygone a été définie. Pour cela un tampon de -1m et +1m autour du périmètre permet d'avoir une limite à comparer avec les autres paramètres.
- Méthode de la Courbure : La courbure produisant une enveloppe, l'incertitude est déjà prise en compte dans ce résultat.

3. Résultats

Les cartes suivantes présentent pour chaque zone les résultats des comparaisons (*Figures 62 à 65*).

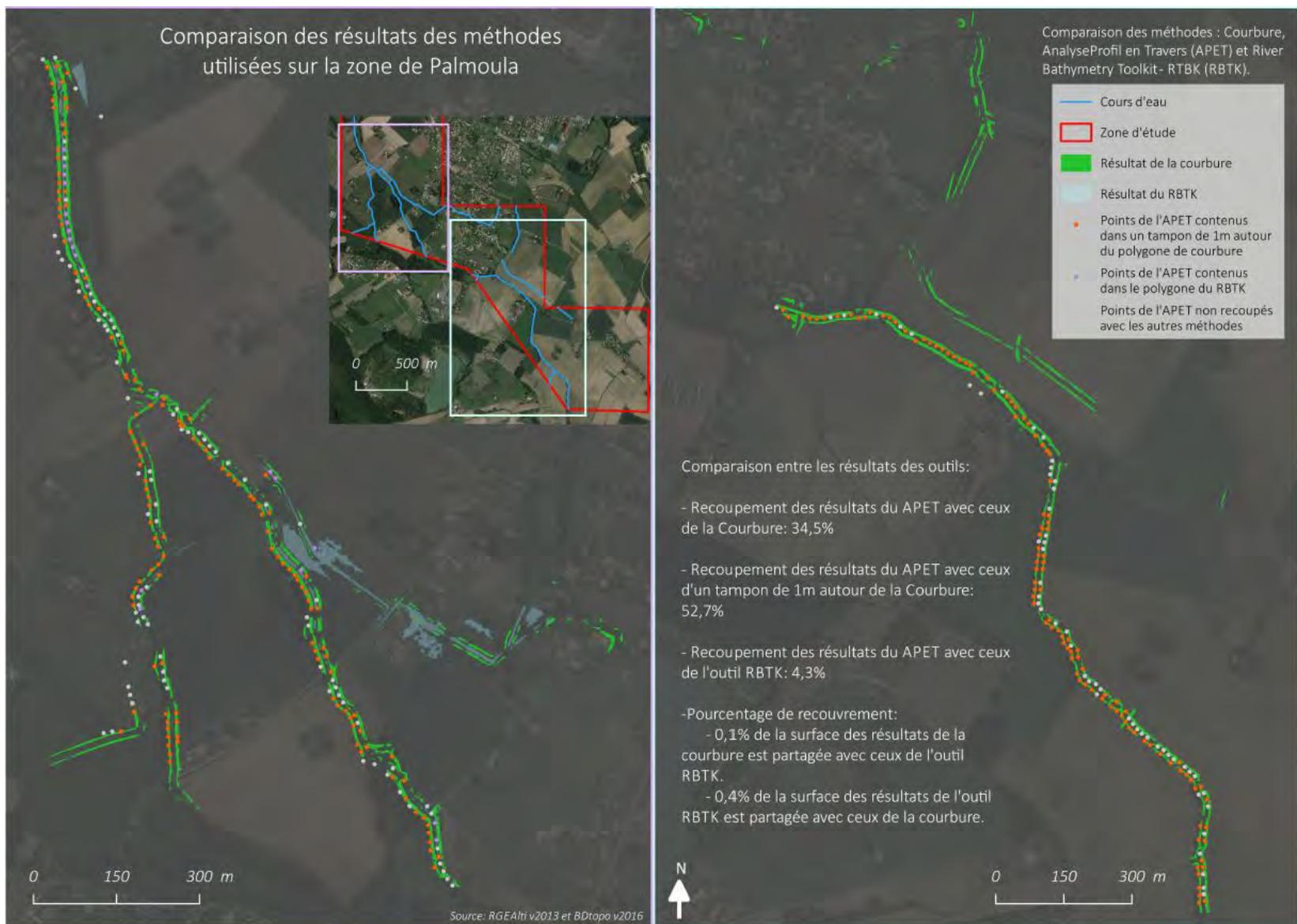


Figure 62: Comparaison des résultats des méthodes utilisées sur la zone de la Palmoula

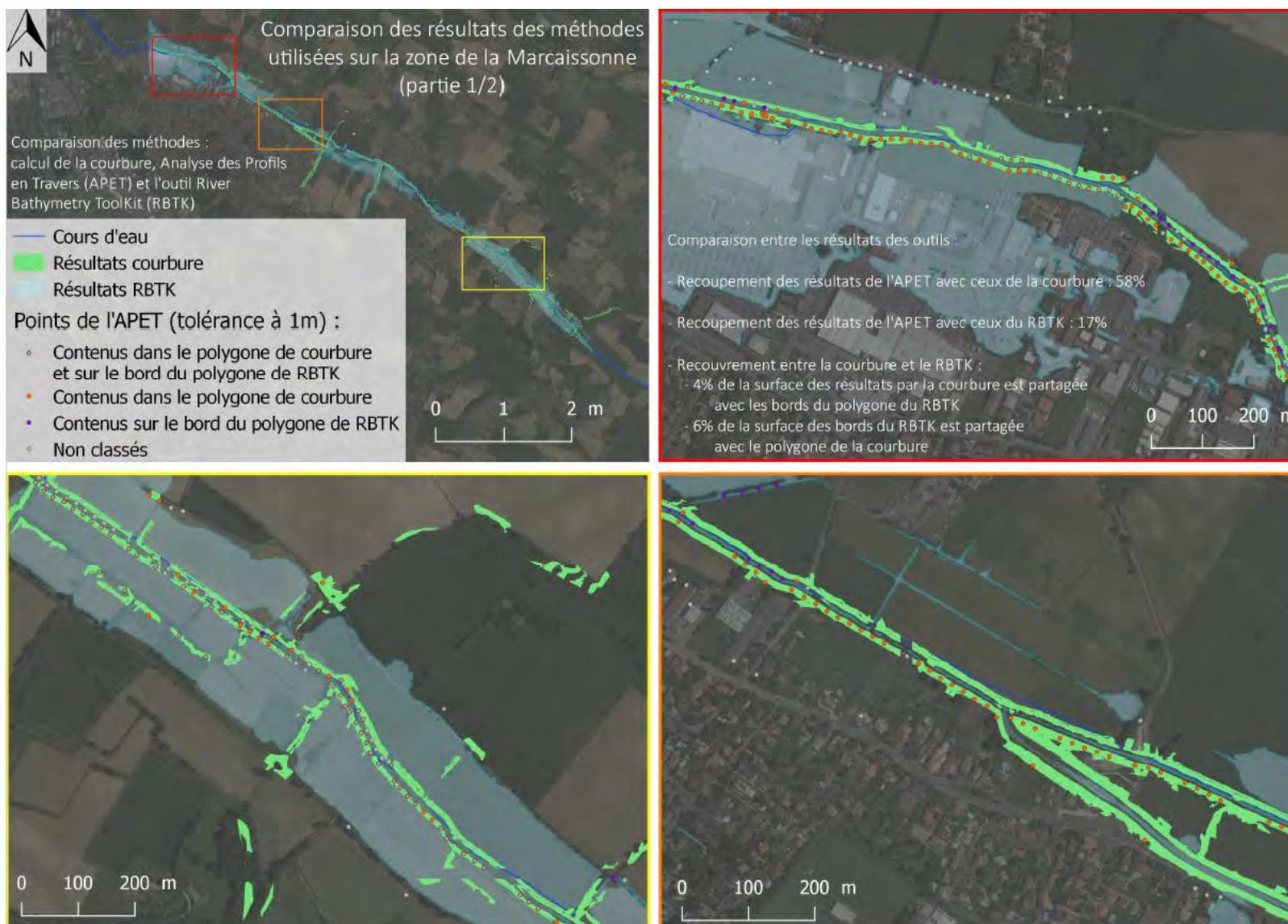


Figure 63: Comparaison des résultats des méthodes utilisées sur la zone Nord de la Marcaissonne



Figure 64: Comparaison des résultats des méthodes utilisées sur la zone Sur de la Marcaisbonne

Comparaison des résultats des méthodes utilisées sur la zone de confluence Garonne-Ariège

Comparaison des méthodes : Courbure, Analyse Profil en Travers (APET) et River Bathymetry Toolkit (RBTk).

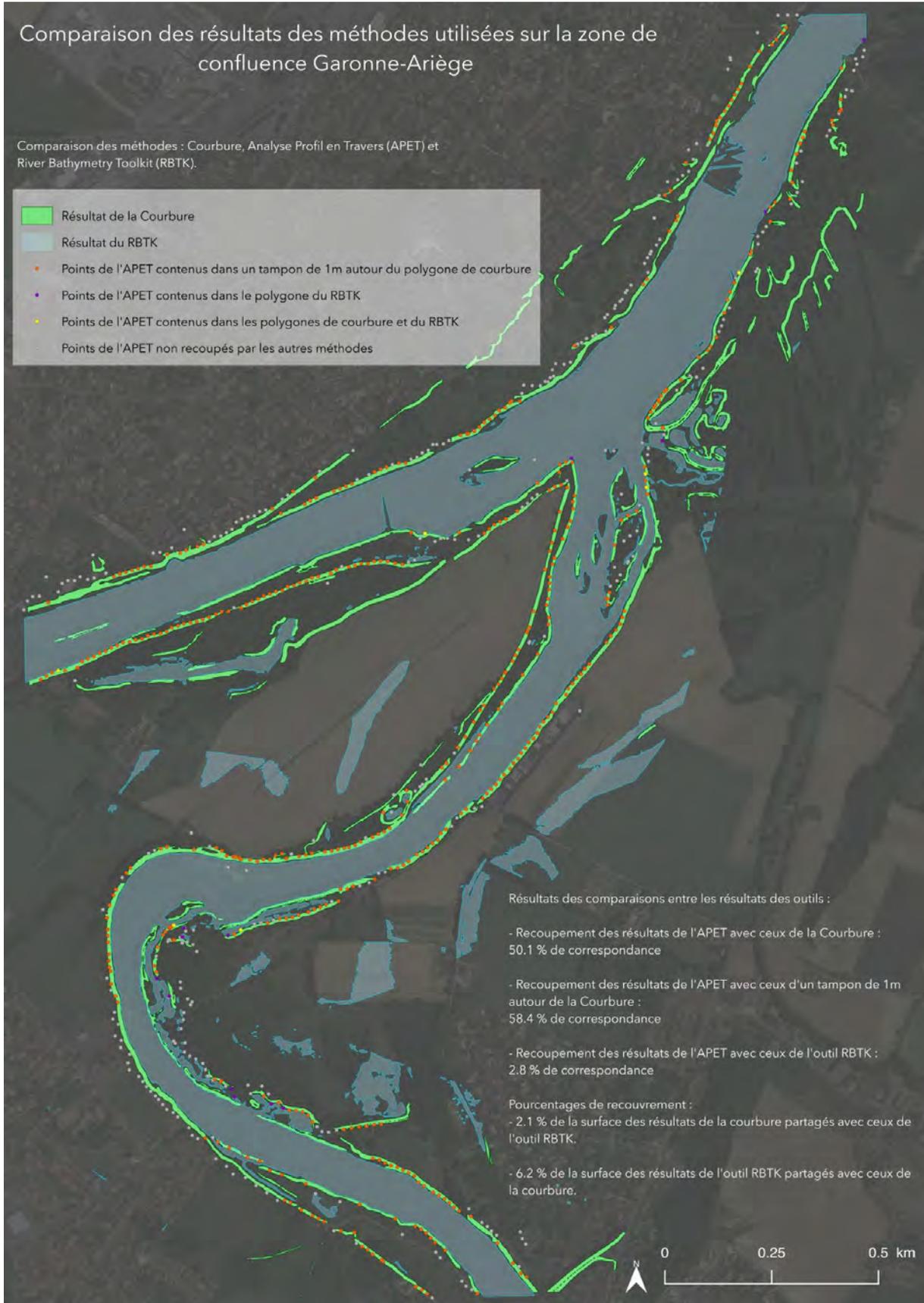
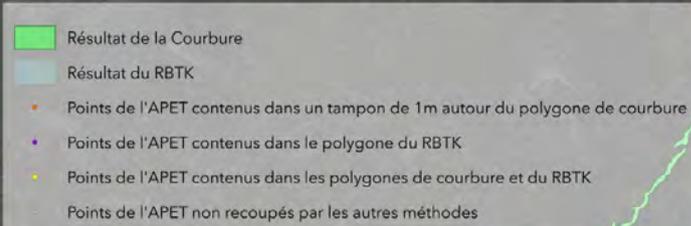


Figure 65: Comparaison des résultats des méthodes utilisées sur la zone de la confluence

A. Taux de recouvrement RBTK - Courbure

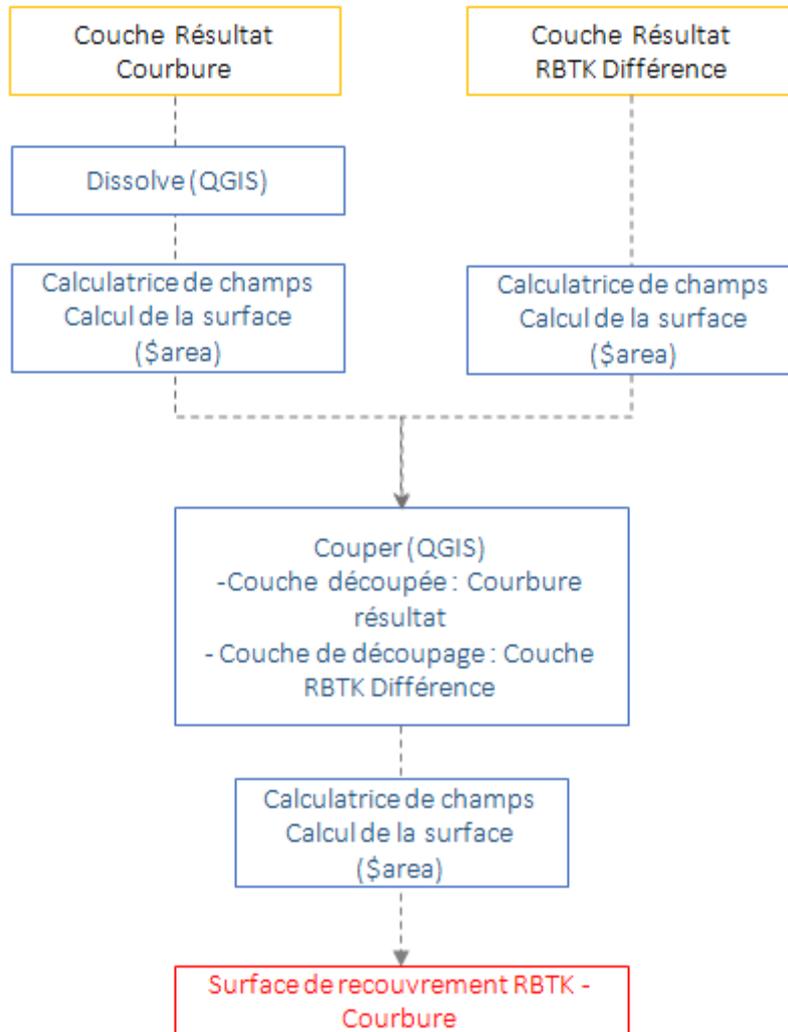


Figure 66: Diagramme de flot du taux de recouvrement RBTK - Courbure

Zone	Recouvrement Total / Courbure	Recouvrement total / RBTK
Zone de la Palmoula	0,1 %	0,4 %
Zone de la Marcaissonne	2,5 %	6,4 %
Zone de Confluence - Garonne Ariège	2,1 %	6,2 %

Tableau 4: Taux de recouvrement entre les méthodes RBTK et Courbure

Le taux de recouvrement (tableau 4) calculé est très faible pour les trois zones, et ainsi peu concluant. En effet, en contrôlant visuellement les deux couches, on constate qu'elles suivent une même tendance mais ne se chevauchent pas. Dans un cas idéal, le périmètre de la couche RBTK intersecterait sur toute sa longueur la couche de la courbure, ce qui n'est pas le cas.

Cependant, il faut garder à l'esprit que les traitements de l'outil RBTK ont une capacité limitée à traiter plusieurs dalles, et que la définition de la limite DPF était particulièrement complexe sur l'ensemble des zones. Les graphes 'volume to area' ne sont pas satisfaisants voire inexistant sur un grand nombre de dalles, et la définition des limites du Bankfull en deviennent arbitraires. L'outil RBTK n'a d'ailleurs pas pu effectuer de calculs sur la deuxième zone de la Marcaissonne. Ainsi, il est possible que la limite du DPF calculée par l'outil RBTK soit contenue dans une incertitude supérieure aux 1m que nous avons mise en place.

De plus, malgré plusieurs filtrages pour ne conserver que les polygones contenant le DPF, la couche résultat de la courbure contient encore de nombreux artefacts et dont la surface affecte le pourcentage.

B. Pourcentage de recoupement APET – RBTK

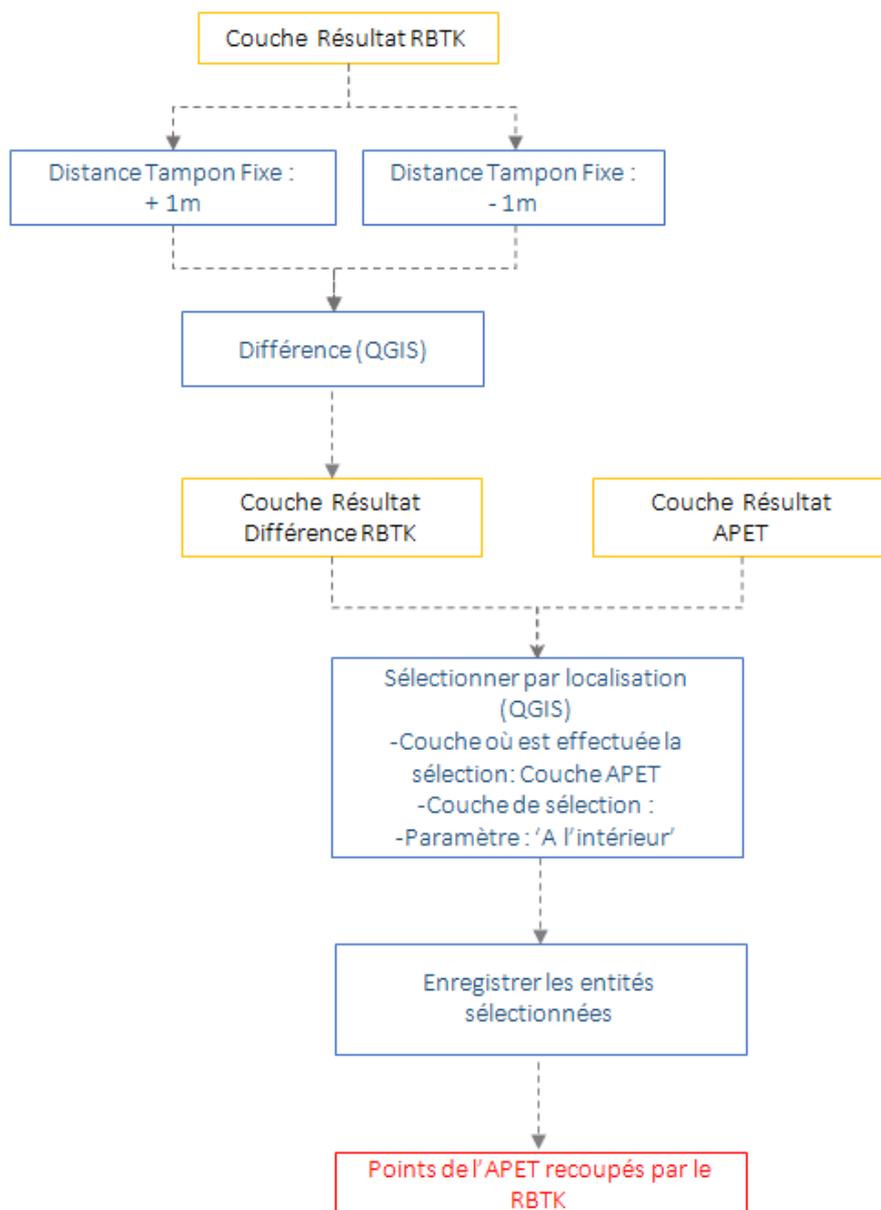


Figure 67: Diagramme de flot du pourcentage de recoupement APET-RBTK

Zone	Pourcentage de recouvrement APET - RBTK
Zone de la Palmoula	5 %
Zone de la Marcaissonne	9.6 %
Zone de Confluence - Garonne Ariège	2,8 %

Tableau 5: Taux de recouvrement entre les méthodes RBTK et Courbure

Le pourcentage de recouvrement, c'est à dire le pourcentage des points résultats de l'outil APET contenus spatialement dans la limite du RBTK (selon une incertitude de 1m), sont également faibles (Tableau 5).

Selon les zones, le problème rencontré est différent :

- Sur la zone de confluence, les limites du DPF sont proches mais ne se superposent pas, l'écart peut atteindre 65m. Ceci peut-être dû à la complexité et à la largeur de la Garonne et de l'Ariège.
- La zone de Palmoula présente le pourcentage le plus faible, l'outil RBTK n'ayant pas pu calculer les limites sur cette zone.
- La zone de la Marcaissonne est elle divisée en deux blocs : le premier bloc (zone Nord) présente le pourcentage de recouvrement le plus fort, cependant le pourcentage est biaisé par les résultats de l'outil RBTK, où le débordement dans la plaine d'inondation est important, recoupant les points de l'APET aléatoirement. Ce pourcentage ne donne donc pas d'indication pertinente sur la concordance des deux outils. Sur la deuxième zone (zone Sud), l'outil RBTK n'a pas été en mesure de calculer le DPF.

Comme pour le taux de recouvrement, les limites du DPF sont proches mais ne se superposent pas, en particulier sur la zone de confluence où l'écart peut atteindre 65m (Figure 66)

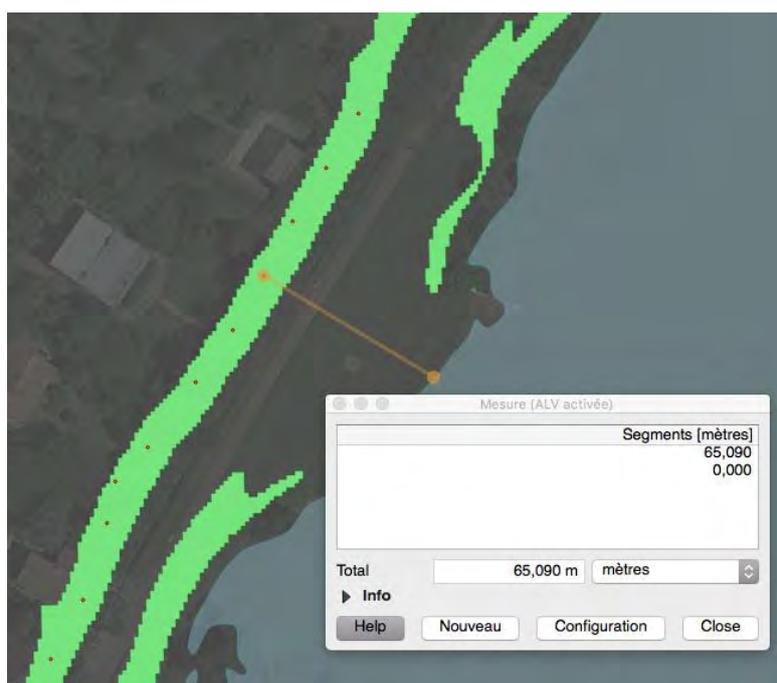


Figure 68: Exemple d'écart entre les méthodes APET et RBTK

Si l'outil APET peut aussi générer une délimitation incorrecte, l'outil RBTK reste vraisemblablement facteur principal des résultats.

C. Pourcentage de recouvrement APET – Courbure

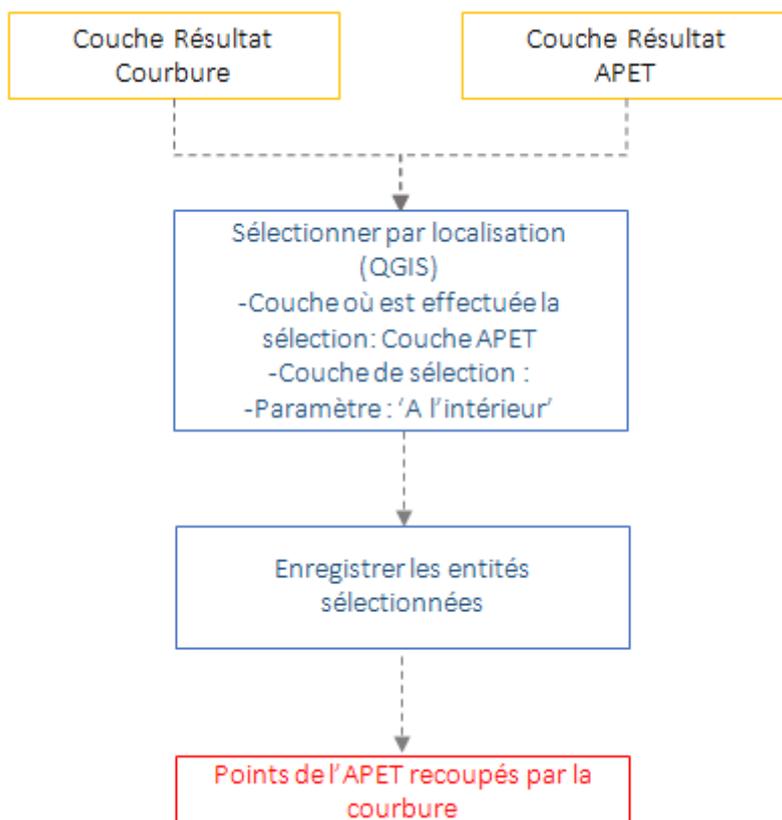


Figure 69: Diagramme de flot du pourcentage de recouvrement APET-Courbure

Zone	Pourcentage de recouvrement APET - Courbure	Pourcentage de recouvrement APET - Courbure - Tampon 1m
Zone de la Palmoula	39,8 %	60,8 %
Zone de la Marcaissonne	54.9 %	62.4 %
Zone de Confluence	50,1 %	58,4 %

Tableau 6: Taux de recouvrement entre les méthodes APET et Courbure

Le Pourcentage de recouvrement correspond au nombre de points résultant de l'outil APET situés dans le polygone de courbure (Tableau 6). Nous avons effectué deux recouvrements avec ces données, la première entre les points de l'APET et la courbure telle que nous l'avons calculée lors de nos traitements, la deuxième correspond aux points de l'APET situés dans un tampon de 1 autour du polygone de courbure.

Tout d'abord visuellement (figures 62 à 65) nous pouvons observer que les résultats des outils de l'APET et de la courbure se suivent fortement. Les calculs de recouplement confirment ces résultats qui sont très satisfaisants.

Les erreurs sont différentes selon les zones :

- Sur la zone de la Marcaissonne, où les résultats de l'APET sont moins précis, en particulier sur la zone de séparation du cours d'eau, les outils montrent néanmoins une concordance importante.
- Sur la zone de confluence, nous pouvons également observer des artefacts liés aux bâtiments et routes (Figure 67). C'est une information à prendre en compte quand des habitations ou des routes sont situés proche des cours d'eau.



Figure 70: Exemple d'artefacts sur la courbure liés aux bâtiments et route

La zone de confluence est un exemple où les outils fonctionnent de façon complémentaire. Plusieurs limites de courbures parallèles sont présentes sur la zone, ne permettant pas à elles seules de définir la limite du DPF. En revanche, les points de l'APET ne délimitent pas systématiquement le DPF sur une même ligne, mais se décalent selon des lignes parallèles qui correspondent aux enveloppes de courbures observées. Ainsi, les deux méthodes pourraient s'affiner mutuellement en fonction de leurs résultats.

Les erreurs observées restent limitées sur l'ensemble des zones, confirmant les résultats satisfaisants de chacune des méthodes.

4. Bilan des méthodes

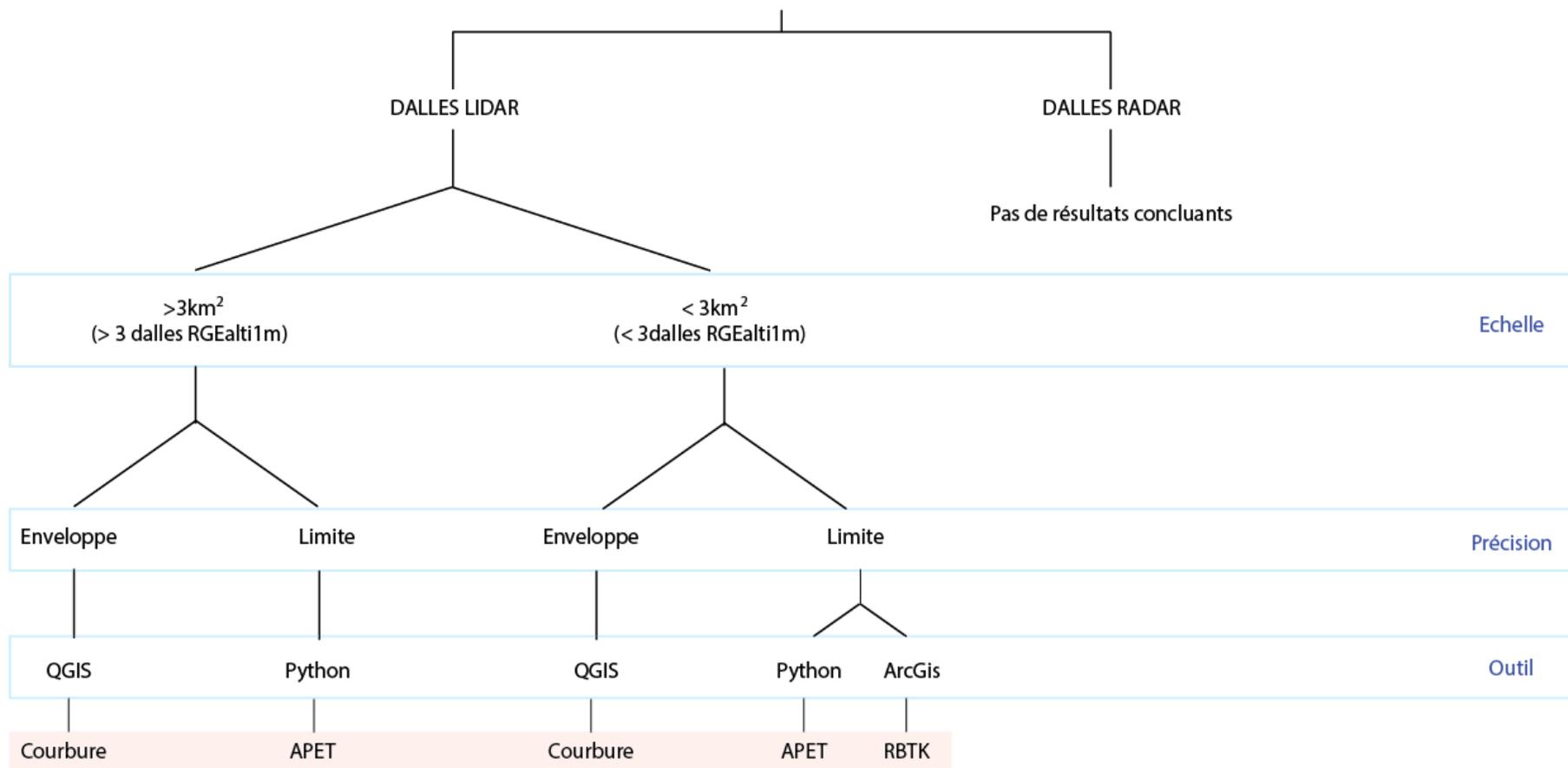
La concordance entre les résultats de la courbure et de l'APET valide que les deux méthodes sont équivalentes mais produisent un résultat sous un format résultant différent. Le choix entre ces deux méthodes doit ainsi se faire selon les besoins de l'utilisateur : une limite nette nécessitera l'utilisation à l'APET, tandis qu'un calcul de surface fera appel à la courbure.

Toutefois, le DPF doit-être défini sur le terrain afin de confirmer que les limites communes entre les deux méthodes correspondent en effet au DPF *in situ*.

L'outil RBTK n'est manifestement pas adapté pour des calculs sur un grand nombre de dalles, mais il a cependant montré des résultats acceptables sur un nombre restreint de dalles. Il pourrait ainsi être utilisé en complément des deux autres méthodes, sur des zones problématiques ou l'intervention d'un autre outil pourrait être nécessaire.

Toutefois son intégration sous ArcGIS soulève la question suivante : est-il nécessaire de le conserver, impliquant de conserver les licences ArcGIS, alors que deux méthodes fonctionnelles sur plusieurs échelles sont disponibles sur QGIS, qui est le logiciel principal utilisé à la DDT ?

Il est difficile d'être catégorique sur ce sujet, ainsi nous avons établi un arbre de décision afin d'orienter l'utilisateur vers l'outil le plus adapté à sa situation et à ses besoins (Figure 68).



APET : Analyse des Profils En Travers
 RBTK: River Bathymetry ToolKit

Figure 71: Arbre de décision vers l'outil le plus adapté en fonction des situations et besoins

IX. Conclusion

Ce projet sur la délimitation du Domaine Public Fluvial nous a permis de travailler sur un sujet en lien avec l'actualité et les besoins des collectivités territoriales. Durant cet atelier nous avons exploré plusieurs pistes afin de proposer à nos commanditaires des solutions. Ces solutions permettent de présenter des pistes plus ou moins fiables, qui donnent des premiers résultats discutables mais prometteurs.

Ce projet a été l'occasion de travailler en équipe afin de proposer un prototype qui permet à notre maître d'ouvrage d'avoir un point de vue sur le sujet et d'entamer un processus de réflexion sur la problématique et notamment sur les questions soulevées durant cet atelier.

A l'issue de cet atelier, une étude des métadonnées et de l'état de l'art pour faciliter le travail des commanditaires a été réalisée ainsi que l'exploration de plusieurs méthodes permettant d'avoir plusieurs points de vue sur un même territoire et donc d'améliorer la qualité de l'étude. Nous proposons deux méthodes fonctionnelles aux spécifications différentes permettant de délimiter le DPF : La courbure et l'Analyse Profil en Travers (Script Python). Néanmoins, si ces méthodes fonctionnent et produisent des résultats satisfaisants, des points d'amélioration sont envisageables:

- Analyse Profils en Travers
 - o Projection de la limite basse sur l'autre rive; le script calcule les points avant débordement de chaque rive. Or en pratique, l'eau ne débordera jamais jusqu'au point le plus haut entre les deux rives. Il faut donc réaliser une projection de la limite basse sur l'autre rive. Cela n'a pas été réalisé car dans le but d'analyser le comportement de la méthode, nous avons fait le choix de ne pas "supprimer" des points décrivant correctement la réalité ;
 - o Optimisation du paramétrage pour trouver les points de débordement, mais également trouver des paramétrages pour chaque type de cours d'eau selon sa morphologie (cours d'eau larges, ruisseaux, reliefs marqués ou non) ;
 - o Adaptation au formalisme de QGIS pour son intégration dans celui-ci.
- Méthode de la Courbure et modeleur graphique :
 - o Optimisation du paramétrage et son adaptation selon la morphologie du cours d'eau permettant d'affiner l'enveloppe.
 - o Utilisation d'autres critères morphologiques tel que le TPI, l'orientation de la pente ou encore la concavité/convexité.
 - o Filtrage supplémentaire pour supprimer les polygones ne correspondant pas au DPF.

Il est également important pour affiner ces résultats de mener une étude directement sur le terrain pour confronter ces 2 méthodes. Pour cela il est impératif d'effectuer des tests sur des données beaucoup plus récentes que les dalles sur lesquelles nous avons fait les tests, car la morphologie du DPF à pu être modifiée entre ces deux dates.

Cet atelier fût pour nous trois une opportunité de travailler sur une problématique faisant appel à de nombreux enseignements suivis pendant cette année SIGMA. Nous avons pu pendant ces 5 semaines, appliquer et associer les connaissances acquises au cours de cette année pour répondre efficacement au problème posé en faisant appel à du SIG, de la Télédétection, de la programmation ou encore de la gestion de projet. Cette expérience a été une réelle opportunité de nous préparer au mieux au stage que nous devons réaliser.

X. Références

Alvarez Arnaud, « *Utilisation et traitement des données MNT LiDAR pour la modélisation hydraulique et l'étude hydrogéomorphologique dans le cadre de la Directive Européenne 2007/60/CE relative aux risques d'inondation* », 2012

http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/images/3/36/Utilisation_MNT_LiDAR_pour_la_DI_-_Pr%C3%A9sentation.pdf

Army Corps of Engineers, « *Stream Assessment June 2013* », 2013

<http://www.swg.usace.army.mil/Portals/26/docs/regulatory/Streams/Terminology%20June%202013.pdf>

Chabard Jean-Paul et Esposito Pascal, « *Mécanique des fluides appliquée : écoulements incompressibles*, Paris, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées », 2003, 367 p.(ISBN 2859783725), p. 276

CEREMA, « *Exploitation des données LIDAR pour la cartographie des hauteurs d'eau dans les zones potentiellement inondables* », 2014

http://www.cotita.fr/IMG/pdf/02_AtelierGeo-2014-07-02_DREAL-PC_CEREMA-DTSO.pdf

Indiana Fluvial Erosion Hazard Program, « *Bankfull Terminology* »

<http://feh.iupui.edu/tools/determining-Bankfull-stage/terminology/>

Legifrance, « *Article L2111-9* », 2006

https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=4C7E1C33646A8EC97613AC4F6F8042B5.tpdila09v_2?idArticle=LEGIARTI000006361187&cidTexte=LEGITEXT000006070299&dateTexte=20160112

Pier Luigi De Rosa, « *Bankfull Detection* », 2014

<https://github.com/pierluigiderosa/BankfullDetection>

RiverGIS, « *Welcome to RiverGIS* », 2015

<http://rivergis.com/>

Support ArcGIS, « *Courbure* », 2016

<http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/curvature-function.htm>

Support ArcGIS, « *Délimitation d'une plaine inondable à partir de points LiDAR* », 2016

<http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/floodplain-modeling-using-LiDAR-in-arcgis.htm>

Support ArcGIS, « *Fonctionnement de l'outil Pente* », 2017

<https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-slope-works.htm>

US Forest Service, « *River Bathymetry Toolkit* »

https://www.fs.fed.us/rm/boise/AWAE/projects/river_bathymetry_toolkit.shtml

Vermont Agency of Natural Resources, « *Identification of Bankfull stage* », 2014

http://dec.vermont.gov/sites/dec/files/wsm/rivers/docs/rv_identification_of_Bankfull_stage.pdf

Weiss Andrew, « *Topographic Position Index (TPI)* », 2006

http://www.jennessent.com/downloads/tpi_documentation_online.pdf

Wikihydro, « *Notice de DICARTO* », 2013

http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Notice_de_DICARTO

Wikipédia, « *River wampool* », 2004

https://en.wikipedia.org/wiki/River_Wampool

Liens complémentaires :

Télécharger DI-CARTO

<http://cete-aix.fr/dwld/cartino-dicarto/inscription-dicarto.php>

Télécharger River Bathymetry Toolkit

https://www.fs.fed.us/rm/boise/AWAE/projects/RBT/downloads/2015_10_21_RBTDesktop_4_0_01.zip

Aide sur River Bathymetry Toolkit

<https://sites.google.com/a/essa.com/rbt/home/rbt-user-interface/installing-the-rbt-1>

Annexe 1: Les métadonnées

Dalles utilisées selon les 4 zones d'étude (tableau 1)

Zone étudiée	Dalles correspondantes
Marcaissonne	RGEALTI_FXX_0580_6275_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0580_6276_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0581_6275_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0581_6276_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0582_6274_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0582_6275_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0583_6274_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0583_6275_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0584_6273_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0584_6274_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0585_6272_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0585_6273_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0586_6272_MNT_LAMB93_IGN69 -- RGEALTI_FXX_0586_6271_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0587_6270_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0587_6271_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0588_6269_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0588_6270_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0589_6269_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0589_6270_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0590_6268_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0590_6269_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0591_6268_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0591_6269_MNT_LAMB93_IGN69
De Palmoula	RGEALTI_FXX_0585_6301_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0586_6300_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0586_6301_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0587_6299_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0587_6300_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0587_6301_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0588_6298_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0588_6299_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0588_6300_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0588_6301_MNT_LAMB93_IGN69

Garonne	RGEALTI_FXX_0511_6203_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0512_6201_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0512_6202_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0512_6203_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0513_6201_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0513_6202_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0513_6200_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0514_6198_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0514_6199_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0514_6200_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0514_6201_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0515_6198_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0515_6199_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0515_6200_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0516_6199_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0516_6200_MNT_LAMB93_IGN69
Confluence Garonne-Ariège	RGEALTI_FXX_0570_6269_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0570_6270_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0570_6271_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0571_6269_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0571_6270_MNT_LAMB93_IGN69 RGEALTI_FXX_0571_6271_MNT_LAMB93_IGN69

Tableau A7-1: Dalles utilisées dans le projet de DPF.

ANNEXE 2 : Description des métadonnées de la table d'assemblage Lidar

- NOM_DALLE : Nom de la dalle selon la nomenclature de diffusion ;
- Z_MIN : Altitude minimale présente sur la dalle ;
- Z_MAX : Altitude maximale présente sur la dalle ;
- DATE_DEBUT : Date de début d'acquisition, c'est à dire du début de l'enregistrement de la donnée terrain (prise de vue, LIDAR, RADAR,...) ;
- DATE_FIN : Date de fin d'acquisition, c'est à dire la fin de l'enregistrement de la donnée terrain ;
- NB_CORREL : Nombre de nœuds de type corrélation présents dans la dalle. De 0 à 1 000 000 ;
- NB_LIDAR_T : Nombre de nœuds de type "LIDAR topographique" ou "LIDAR mixte topo/bathy" présents dans la dalle. De 0 à 1 000 000 ;
- NB_LIDAR_B : Nombre de nœuds de type "LIDAR Bathymétrique" présents dans la dalle. De 0 à 1 000 000 ;
- NB_SMF : Nombre de nœuds de type "Scanner Multi faisceaux" présents dans la dalle. De 0 à 1 000 000 ;
- NB_RADAR : Nombre de nœuds de type "RADAR" présents dans la dalle;
- NB_NODATA : Nombre de nœuds sans valeur ou de type « NO DATA » présents dans la dalle; Il s'agit des nœuds sans altitude ou no data : Z = -99999.00, S = 0 ;
- PARTENAIRE : Organisme partenaire de la constitution des données ;

Les champs utiles à l'identification du LIDAR, ayant une valeur de 0 à 1 000 000, spécifient le nombre de nœuds de chaque type sur la dalle :

- NB_CORREL: Nombre de nœuds de type corrélation présents dans la dalle ;
- NB_LIDAR_T : Nombre de nœuds de type 'LIDAR topographique' ou 'Lidar mixte' présents dans la dalle ;
- NB_LIDAR_B : Nombre de nœuds de type 'LIDAR Bathymétrique' présents dans la dalle ;
- NB_RADAR : Nombre de nœuds de type 'Radar' présents dans la dalle.

Une valeur à 1 000 000 signifie que l'ensemble des nœuds de la dalle proviennent d'une seule méthode, mais il est possible qu'une même dalle ait été construite à partir de plusieurs méthodes (corrélation et Lidar par exemple).

ANNEXE 3 : Méthode de la Courbure

Cette annexe présente pour la méthode de la courbure les étapes de la chaîne de traitement et les paramètres utilisés, afin que cette méthode puisse être reproduite. Elle fait également office de tutoriel.

Les essais ont été conduits sur la version 2.18 de QGIS équipé de GRASS.

1. Fonctionnement Général

Le diagramme de flot (figure A3-1) détaille la chaîne de traitement et les paramètres utilisés.

Il est la transcription du contenu du modèleur "courbure_modelleur" rendu avec ce rapport afin de reproduire les traitements. La partie Post traitement étant optionnelle, elle n'est pas intégrée dans le modèleur.

Le principe général de cette méthode consiste à calculer la courbure sur une dalle MNT. Ceci calcule des enveloppes autour des reliefs sur la dalle, mettant en valeur le DPF mais aussi d'autres éléments non souhaitables. Avec un seuillage, on extrait les valeurs de courbures caractérisant le DPF, éliminant une partie des faux-positifs. Cela ne suffisant généralement pas, la couche de résultat est coupée selon une zone tampon autour du cours d'eau considéré pour ne garder au possible que l'enveloppe contenant le DPF. La couche résultat, au format raster, doit au préalable être vectorisée pour être découpée par la zone tampon.

Enfin, les couches résultats des différentes dalles d'une zone peuvent être assemblées en une seule couche finale (figure A3-1).

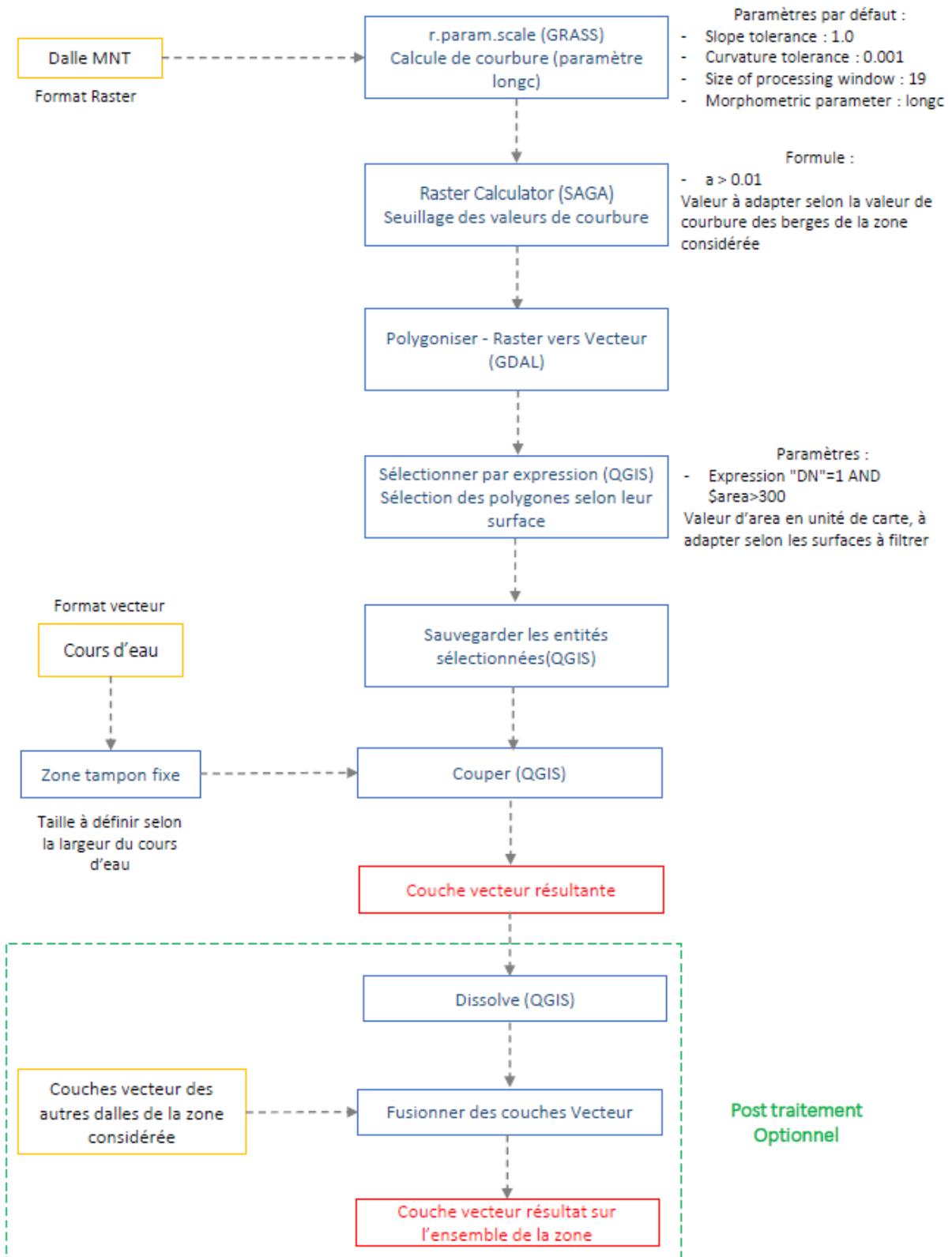


Figure A3-1: Diagramme de Flow de la méthode de la courbure

2. Fonctionnement détaillé:

Données en entrée

- Dalles altimétriques MNT au format raster. Ici ont été utilisées les dalles de la RGE ALTI 2015.
- Données de cours d'eau au format vecteur. Ici sont utilisées les cours d'eau de la BD TOPO 2016. Elles serviront à calculer la zone tampon autour des cours d'eau.

Calcul de la courbure

A partir de la dalle MNT en entrée, la courbure est calculée avec l'outil `r.param.scale` de GRASS. Cet outil permet d'extraire différents paramètres d'un MNT (figure A3-2).

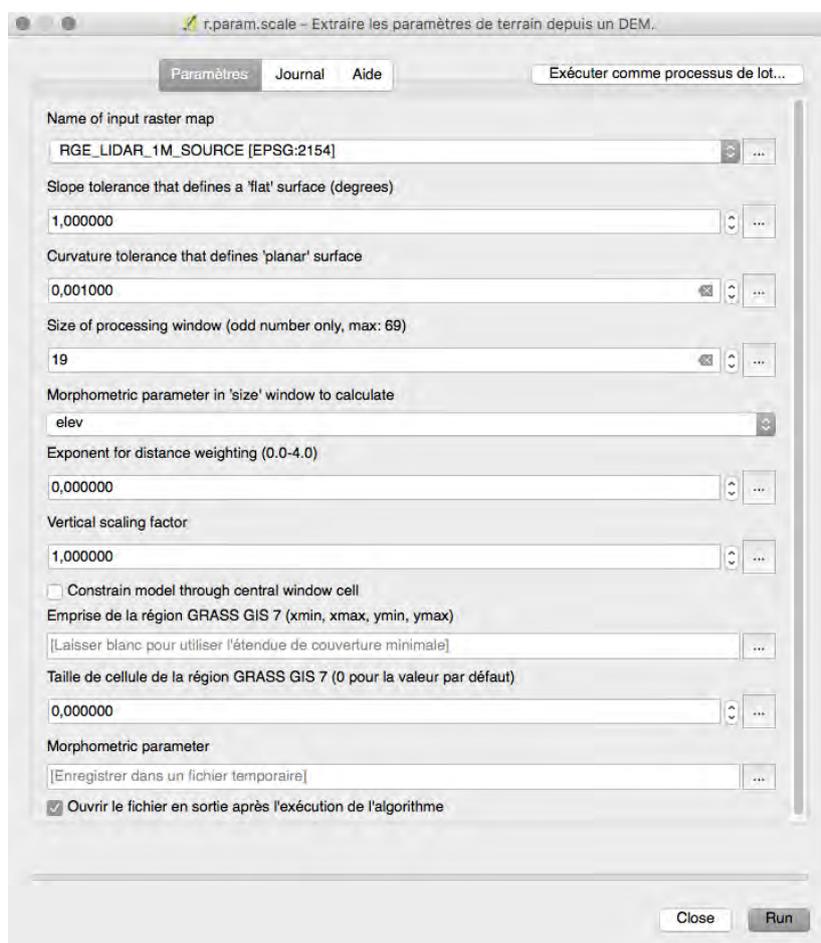


Figure A3-2: L'outil `r.param.scale` de GRASS

Cet outil présente l'avantage de pouvoir paramétrer les calculs de manière assez précise. Les paramètres que nous avons modifiés au cours des tests sont les suivants :

- Slope tolerance : Valeur de tolérance pour définir en degré une surface plate. Cette valeur peut-être ajustée ou laissée par défaut, comme dans notre cas. Nous avons constaté que modifier cette valeur n'influence pas de façon importante la courbure calculée.
- Curvature tolerance : Tolérance de courbure pour définir une surface plane. Comme pour le paramètre précédent, nous laissons les valeurs par défaut, leur modification ne produisant pas de changements majeurs.

- Size of processing window : Taille en pixels de la fenêtre de calcul, c'est à dire le nombre de pixels, entourant le pixel considéré, qui seront pris en compte lors du calcul. Cette valeur doit impérativement être impaire. Exemple d'une fenêtre de traitement part 9 (figure A3-3).

3	6	8
4	1	8
5	5	9

Figure A3-3: Exemple de fenêtre de traitement

- Morphometric Parameter : **Impérativement spécifier longc pour calculer la courbure.** D'autres paramètres sont disponibles, notamment la pente.

Les autres paramètres de la fenêtre ont été laissés par défaut.

Note : Bien s'assurer que le Système de Coordonnées des dalles est bien défini (RFG 93 - EPSG 2154), sinon l'outil peut mal s'exécuter.

Une fois le processus complété, la couche raster produite présente pour chaque pixel la valeur de courbure (figure A3-4) :

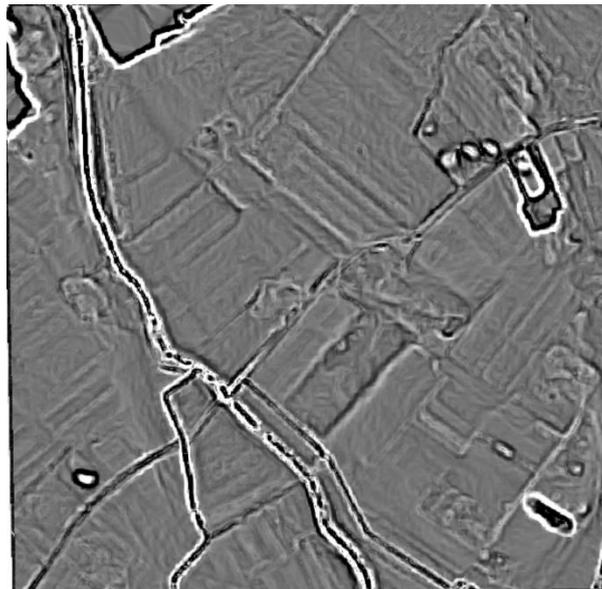


Figure A3-4: Courbure sur une dalle de Palmoula

Seuillage

C'est lors de cette étape qu'est extraite l'enveloppe autour des cours d'eau contenant le DPF. Le seuillage va extraire les valeurs de courbure que nous considérons comme correspondant au DPF. Ceci est effectué à partir de l'outil **Raster Calculator de SAGA** (figure A3-5).

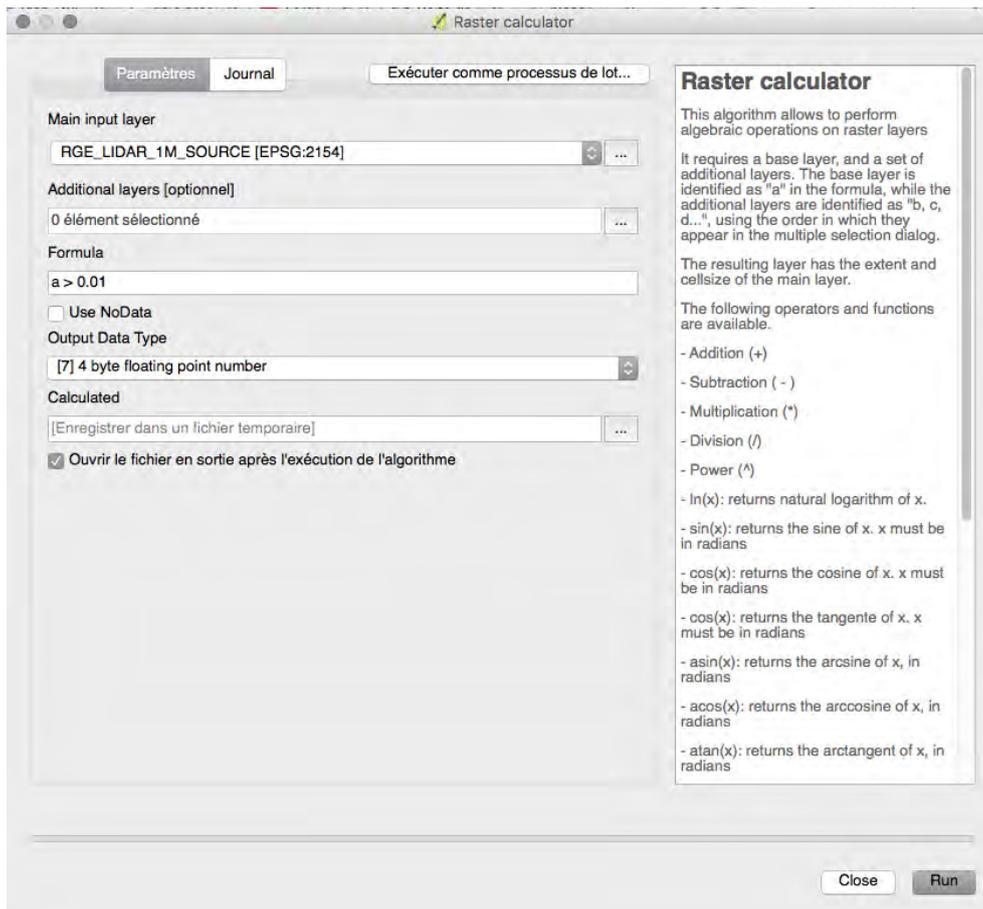


Figure A3-5: Raster Calculator de SAGA

La formule à spécifier est du type : $a > \text{Valeur de seuillage}$.

La valeur de seuillage à appliquer reste arbitraire. Une méthode que nous avons appliquée a été de repérer visuellement le cours d'eau et ses berges, et de noter la valeur de courbure associée aux pixels correspondant à cette zone. La valeur de seuillage entrée est inférieure aux valeurs notées afin de les extraire.

Nous avons généralement appliqué sur les dalles étudiées les valeurs suivantes :

- Zone de la Garonne - Pyrénées : 0.001, 0.005 ;
- Zone de la Marcaisssonne : 0.003, 0.005 ;
- Zone de la Palmoula : 0.01, 0.005 ;
- Zone de confluence : 0.01.

Ces valeurs restent des indicateurs, la valeur à appliquer variant selon la morphologie des cours d'eau et son environnement. Ceci peut changer d'une dalle à l'autre, aussi fixer un paramètre général sur un ensemble de dalles (processus par lot) est difficile.

Selon l'environnement, c'est à dire selon la présence d'éléments ayant des valeurs de courbures similaires, le nombre de faux-positifs sélectionnés lors du seuillage sera plus ou moins important (figure A3-6).

NB : Une solution proposée par le CEREMA pour palier à ce problème consistait à appliquer un filtre de lissage avec l'outil `r.neighbors` en première étape de la chaîne de traitement (avant le calcul de courbure). Des essais ont été effectués avec des valeurs de filtre 3x3 et 9x9. L'effet du filtre 3x3 était

négligeable, tandis que le filtre 9x9, qui filtrait effectivement certains reliefs localisés, n'améliorait pas les résultats du seuillage. Nous avons donc choisi de ne pas l'utiliser.



Figure A3-6: Seuillage sur une dalle de la Palmoula

Sur la figure A2-6, on observe la forme de l'enveloppe contenant le DPF, et des éléments ayant des valeurs de courbure similaires. Les pixels ayant une valeur supérieure à celle du seuillage sont affectés de la valeur 1, les autres sont affectés de la valeur 0.

Vectorisation

La couche raster résultante de l'étape précédente est ensuite vectorisée avec l'outil **Polygoniser - Raster vers Vecteur de GDAL**.

Il n'y a pas de paramètres particuliers pour cette étape. La couche vecteur résultante contient des polygones possédant l'attribut 0 ou 1 selon la valeur attribuée lors du seuillage (figure A3-7) :



Figure A3-7: Vectorisation sur une dalle de la Palmoula. En vert les valeurs, en bleu les valeurs 0.

Sélection des polygones souhaités

La couche vecteur va maintenant être filtrée pour ne conserver que les polygones d'une certaine surface et correspondant à la courbure supérieure au seuillage (figure A3-8).

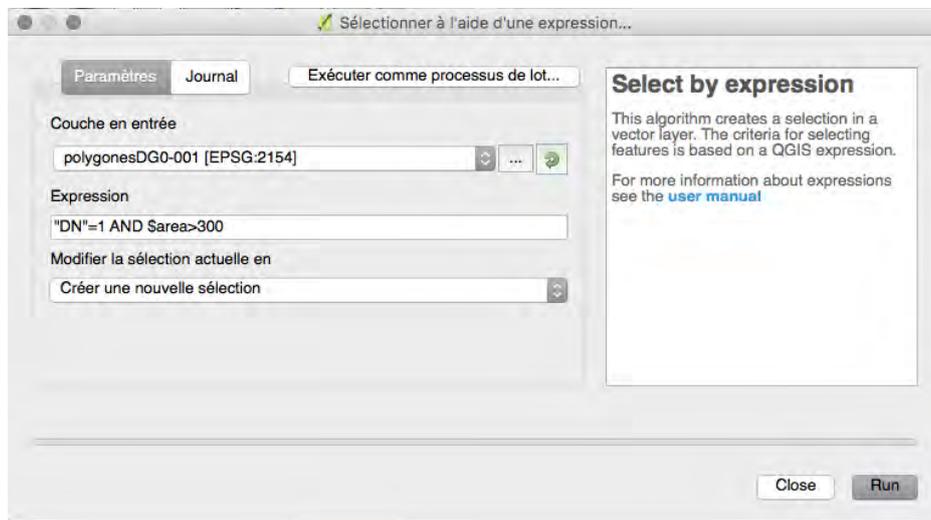


Figure A3-8: Sélectionner à l'aide d'une sélection de QGIS.

L'expression entrée dans le modèleur est la suivante : *"DN"*=1 AND \$area>300.

La valeur 300 est en unité de carte, soit en mètres pour du Lambert 93. Cette valeur doit cependant être adaptée, voire supprimée selon la zone. En effet, un filtrage surfacique n'était pas nécessaire sur la zone de Palmoula, le filtrage supprimant de nombreux polygones correspondant à l'enveloppe du PDF. En revanche, la valeur 300 a été nécessaire pour filtrer la zone de confluence et la zone de la Marcaissonne.

La sélection est ensuite sauvegardée dans une nouvelle couche vecteur (figure A3-9):



Figure A3-9: Sélection par expression, sans filtrage surfacique dans ce cas.

Découpage de la couche résultante selon une zone tampon

Comme expliqué dans la "Seuillage", de nombreux faux positifs subsistent à l'issue des traitements. Pour ne conserver que les polygones correspondants à l'enveloppe du DPF, la couche vecteur résultante est découpée selon une zone tampon avec l'outil **Couper de QGIS**.

Cette zone tampon est construite autour des cours d'eau considérés.

Voici un exemple des valeurs appliquées selon les zones (valeur de part et d'autre) :

- Zone de la Garonne - Pyrénées : 100m ;
- Zone de la Marcaisonne : 20m ;
- Zone de la Palmoula : 25m ;
- Zone de confluence : 300 m

Ces valeurs ont été déterminées en mesurant en moyenne la largeur du cours d'eau considéré et de ses berges (figure A3-10).

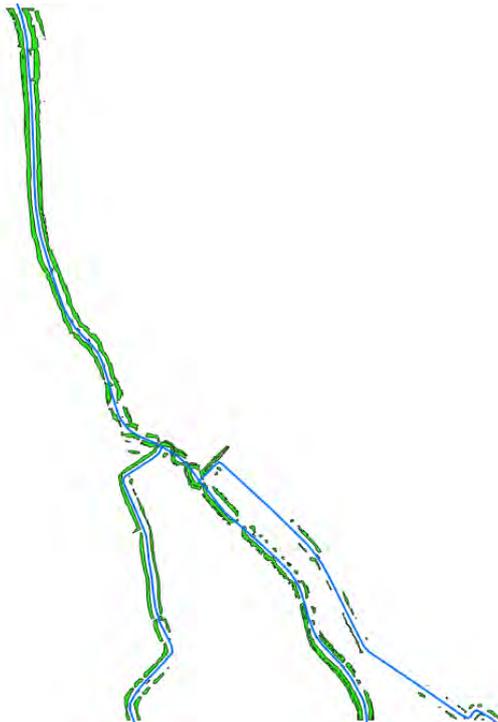


Figure A3-10: Couche Vecteur après découpage

Découpage de la couche résultante selon une zone tampon

La couche est ensuite dissoute avec l'outil Dissolve de QGIS, afin de fusionner les polygones en un seul. Ceci permet de faciliter notamment les calculs de surfaces (figure A3-11).

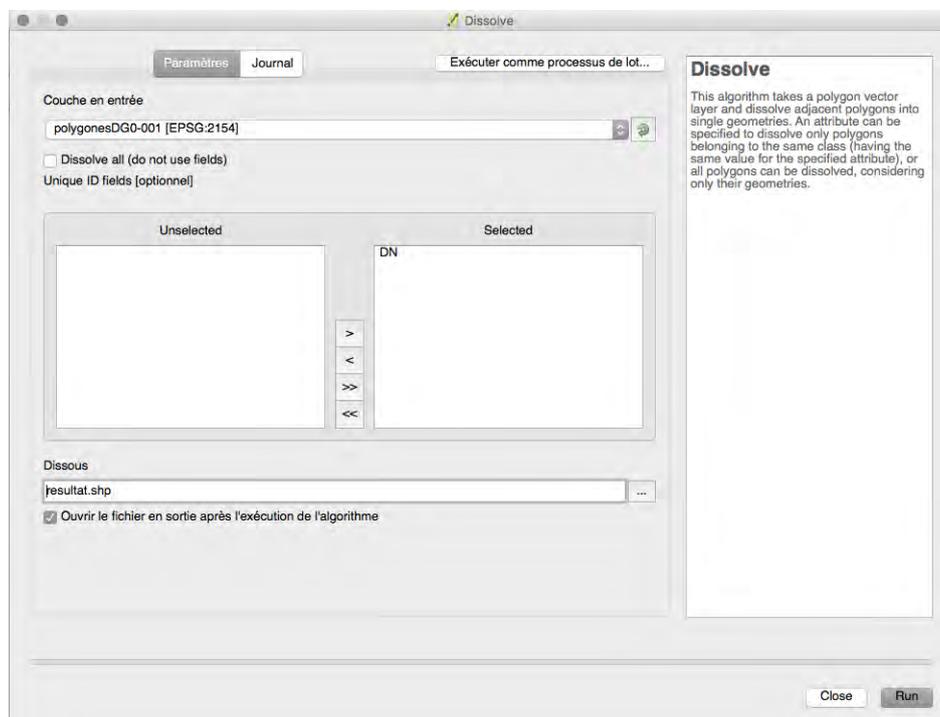


Figure A3-11: L'outil Dissolve de QGIS

A l'issu de ce processus, la couche produite correspond à la couche finale, prête pour interprétation et analyse. Cependant des traitements peuvent lui être appliqués, pour l'assembler avec les résultats des autres dalles notamment.

Post-Traitement

Les dalles issues d'un traitement par processus de lot peuvent-être fusionnées ensemble afin de constituer une seule couche, avec l'outil **Fusionner des Couches Vecteur de QGIS**.

Conclusion

Cette chaîne de traitement est celle que nous avons sélectionnée pour effectuer les calculs de courbure. Etant disponible en Modeleur QGIS, elle est reproductible, notamment en processus de lot, et peut servir de support au développement d'une méthode équivalente.

L'étude des résultats de cette méthode et la comparaison avec les autres méthodes sont présentées dans les chapitre "VI.1.Méthode de la Courbure" et "VIII. Comparaison des résultats" du rapport.

ANNEXE 4 : Méthode du “river Bathymetry Toolkit”(RBTK)

L'objectif de cet outil est de caractériser la géomorphologie dans les cours d'eau. Concernant nos traitements, la partie qui nous a intéressé et celle permettant de délimiter le Bankfull qui correspond à la limite du lit mineur et donc du DPF.

Installation du Addin

Pour installer le “river Bathymetry Toolkit”(RBTK) il faut aller sur la page "https://www.fs.fed.us/rm/boise/AWAE/projects/RBT/RBT_lidar_hydro_downloads.shtml" puis cliquer sur “Download RBT ESRI Addin”.

En cliquant sur l'installateur “2015_10_21_RBDesktop_4_0_01.esriAddIn”, celui ci va s'installer et ouvrir l'outil directement sur ArcGis.

Données requises/Prétraitements

Des informations sur les prétraitements sont disponibles sur : <https://sites.google.com/a/essa.com/rbt/home/rbt-command-line/data-requirements>

Nous avons remarqué lors de nos tests, certains paramètres à prendre en compte avant de débiter les traitements:

- Besoin de définir le système de coordonnées de référence.
- Il faut travailler avec des fichier .tif et non des fichiers . asc.
- Il faut également fusionner les dalles MNT entre elles, car le traitement ne peut s'effectuer que sur un seul fichier à la fois.
- Il est mieux de couper les rasters à l'aide d'un tampon autour des cours d'eaux pour avoir une zone de traitement plus faible comme nous l'avons fait dans nos tests (figureA4-1).

RGEALTI_FXX_0588_6270_MNT_LAMB93_IGN69

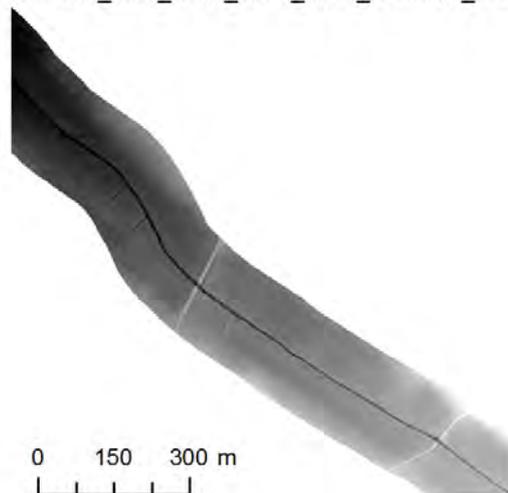


Figure A4-1: Découpe d'un raster en fonction du cours d'eau à traiter.

Lors de nos tests, le buffer correspond à un tampon effectué sur les cours d'eau de la BDtopo. Celui-ci est plus ou moins large en fonction de la zone d'étude et du cours d'eau étudié.

Un conseil pour effectuer ce découpage et d'utiliser QGIS. En effet pour découper une dalle, l'utilisation de QGIS et de l'outil 'Clip raster with polygon' (SAGA), le découpage dure quelques seconde. Alors qu'en utilisant ArcGis, celui-ci a tourné pendant plus de 30mn sans réussir à finir le découpage.

Utilisation

Pour expliquer notre méthodologie sur l'utilisation du Bankfull, nous allons partir du diagramme de flot qui correspond à ce que nous avons effectué lors de nos tests sur cet outil (figureA4-2).

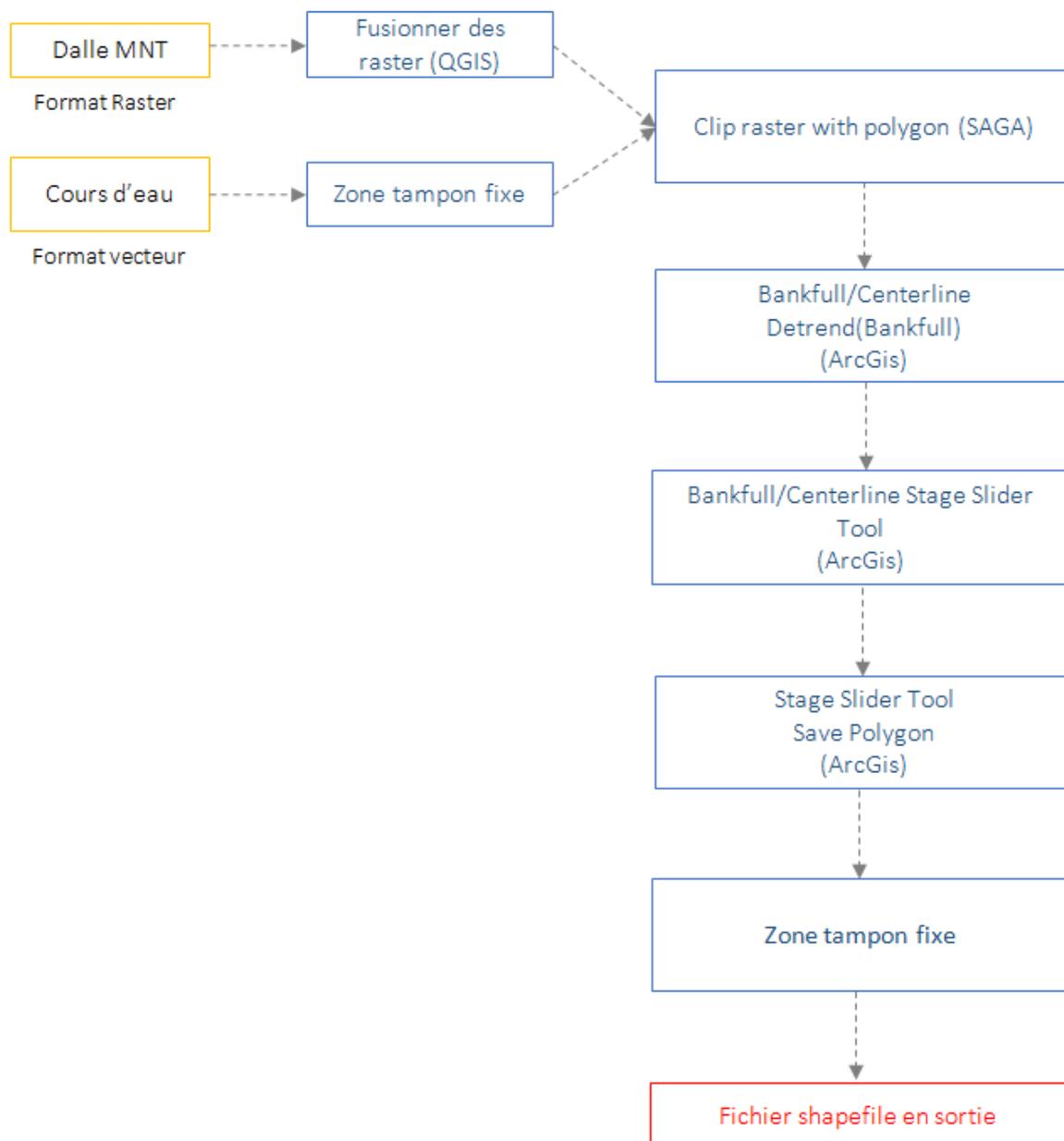


Figure A4-2: Diagramme de flot pour la méthode du RBTK

Les premières étapes correspondent à la fusion des dalles MNT dans le cas où on travaille sur plusieurs dalles, le tampon à effectuer sur les cours d'eau et le découpage du raster MNT par le tampon des cours d'eau. Cela correspond au prétraitement que nous avons dans le paragraphe "Données requises/Prétraitements" de cette annexe.

Bankfull/Centerline Detrend(Bankfull)

L'étape qui suit se fait directement sur l'outil RBTK sur ArcGIS. Elle consiste à utiliser la fonction Detrend du plugin (figureA4-3). Faire cela permet de prendre une valeur globale du MNT en supprimant l'effet lié à la perte d'altitude d'amont jusqu'en aval sur la zone d'étude.

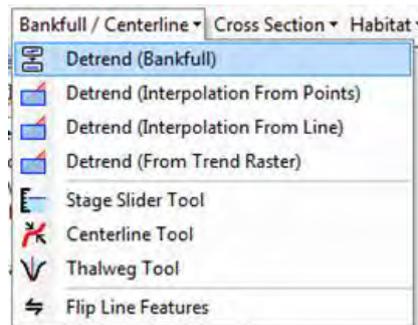


Figure A4-3: L'outil Detrend (Bankfull)

Pour cela il y a des paramètres à prendre en compte (figure A4-4):

- Le fichier pour effectuer le traitement (pour cet exemple la dalle 'RGEALTI_FXX_0588_6270_MNT_LAMB93_IGN69' située dans la zone d'étude de Saint-Orens).
- Le 'channel type' qui a trois possibilités: 'Step pool', 'Pool riffle' et 'Plan bed'. Le but étant d'essayer de concentrer les algorithmes pour capturer le Bankfull de la rivière étudiée.
- L'épaisseur approximative du cours d'eau.
- La profondeur d'eau si celle-ci est connue, dans le cas contraire, elle prendra la valeur de -1.
- Le 'flow accumulation threshold' permet de contrôler si l'on veut ou non exclure des affluents. La valeur par défaut est de 7000 pixels. Lors des tests il est possible de diminuer ou d'augmenter cette valeur pour contrôler la diminution ou l'augmentation du nombre d'affluents. Augmenter cette valeur amènera à une diminution du nombre d'affluent. Il est conseillé de commencer avec la valeur par défaut de 7000 pixels, puis de l'augmenter ou de la diminuer par variation de 1000 pixels.
- Enfin il faut indiquer quels sont les fichiers en sortie.

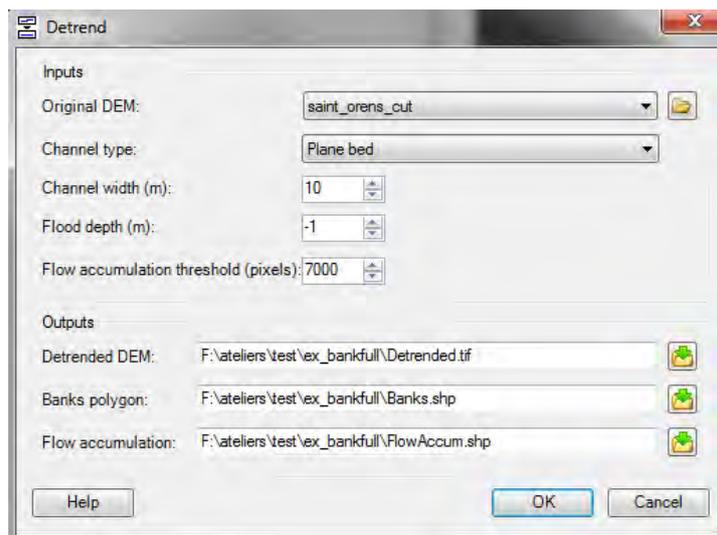


Figure A4-4: Paramètres à renseigner pour l'outil 'Detrend'

Les résultats obtenues sont le raster Detrended qui correspond au fichier dont nous avons besoin pour la suite, ainsi que 2 shapefiles représentant le polygone lié aux berges du cours d'eau et celui du 'Flow accumulation' (Figure A4-5).

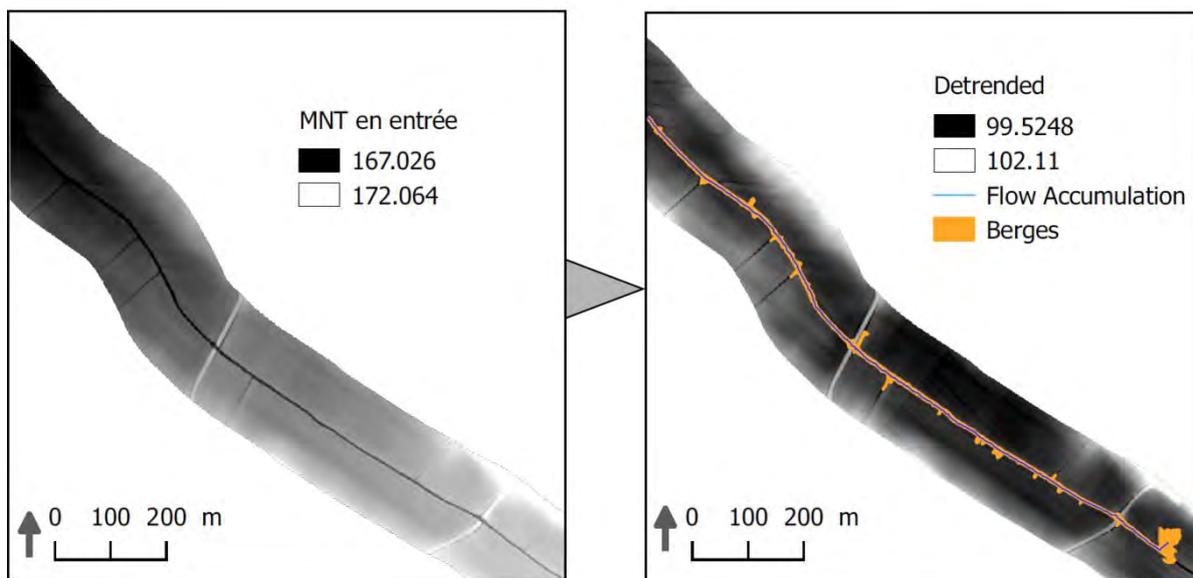


Figure A4-5: Résultat après l'utilisation de l'outil 'Detrend'

Bankfull/Stage Slider Tool

Les traitements de cette partie doivent être effectuée à partir du fichier en sortie du traitement 'Detrend' (Figure A4-6).

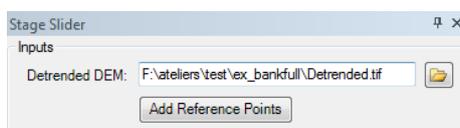


Figure A4-6: Utilisation de l'outil 'Detrend'

Après ce traitement, deux histogrammes vont ressortir:

Le premier, correspondant à l'histogramme d'élévation (Figure A4-7) qui permet de représenter la fréquence avec laquelle chaque élévation est représentée dans les données du 'Detrend'.

Le second 'Volume to area' (Figure A4-7), représente un ratio qui a une tendance qui augmente au fur et à mesure que l'eau remplit le chenal et diminue ensuite légèrement à mesure que l'eau se répandra hors du chenal et à travers la plaine inondable. Grâce à cela il est possible d'avoir une délimitation du chenal qui sera lors d'une rupture au niveau de ce graphe (Figure A4-7). Le curseur situé à gauche des graphes permet de modifier les résultats et ainsi pouvoir bien choisir la limite du Bankfull. Lors des tests qui ont été effectués, cette limite n'est pas toujours identifiable sur le graphe 'volume to area', surtout lorsque les traitements sont fait sur des zones composées de plusieurs dalles.

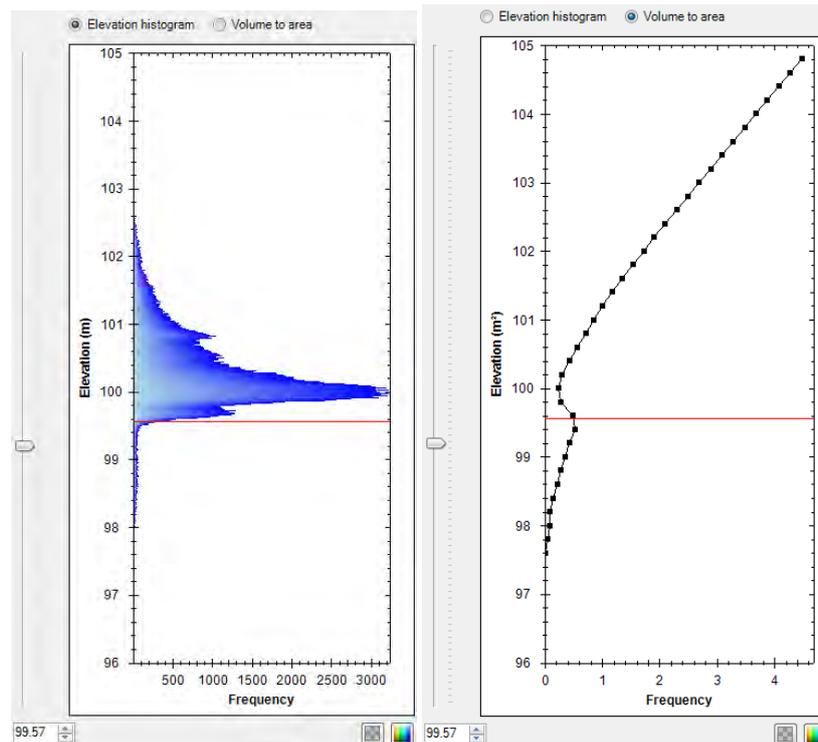


Figure A4-7: Histogrammes en sortie de l'utilisation de l'outil 'Stage Slider'.

Il est possible de voir directement sur le raster 'detrend' les résultats liés au choix de la limite du Bankfull (Figure A4-8).

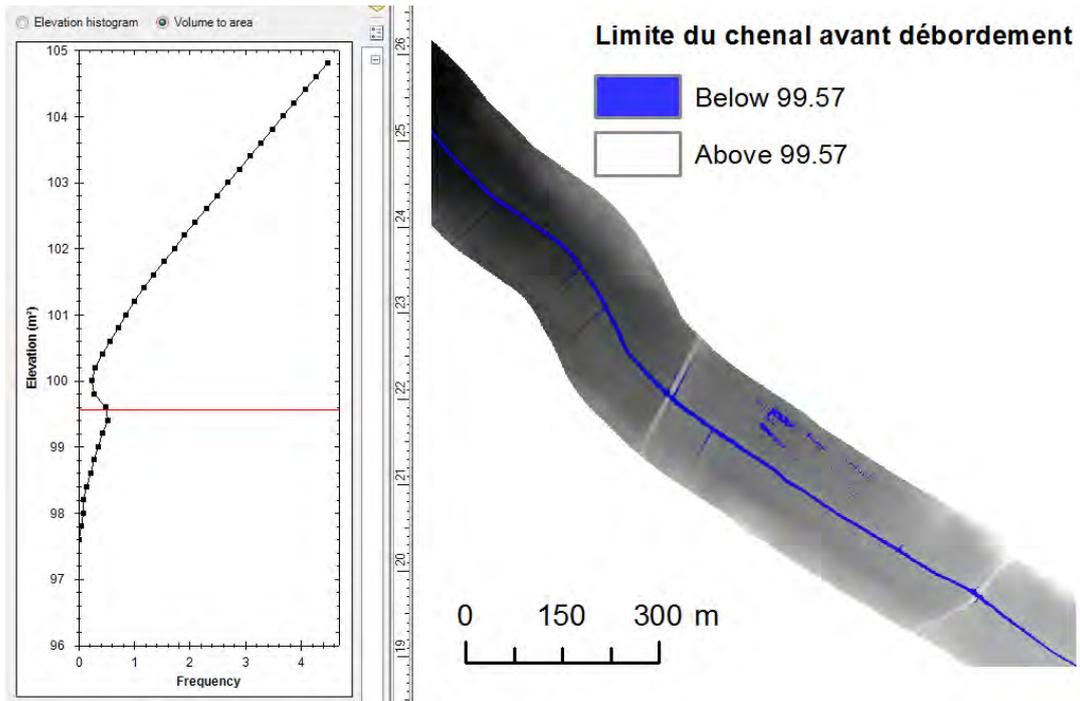


Figure A4-8: Limite du chenal avant débordement à partir du graphe 'Volume to area'.

Par la suite il est possible d’enregistrer le résultat choisi en polygones, pour cela il faut cliquer sur “save polygon” en bas des histogrammes (Figure A4-9).

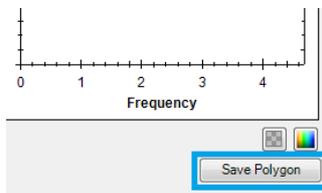
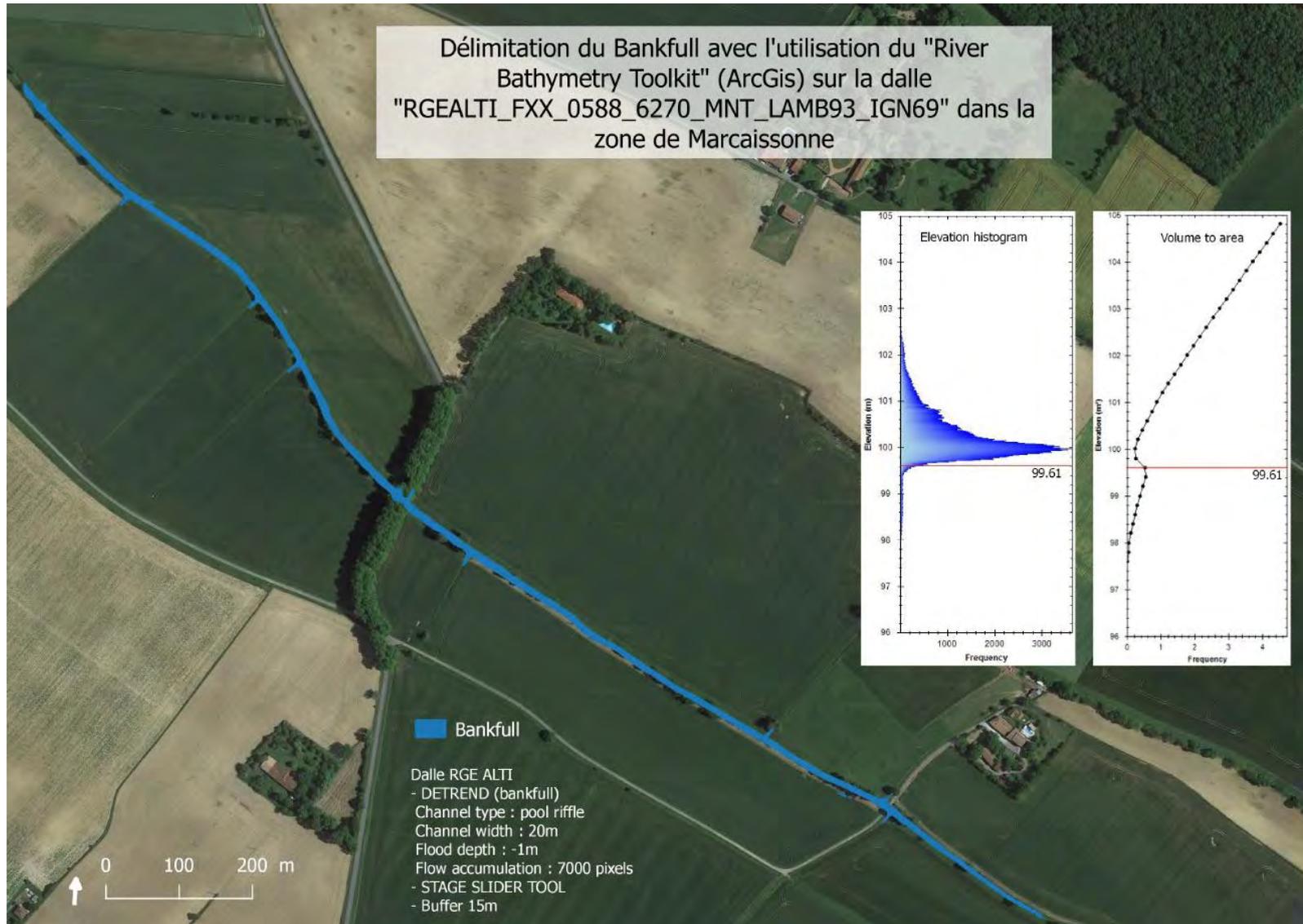


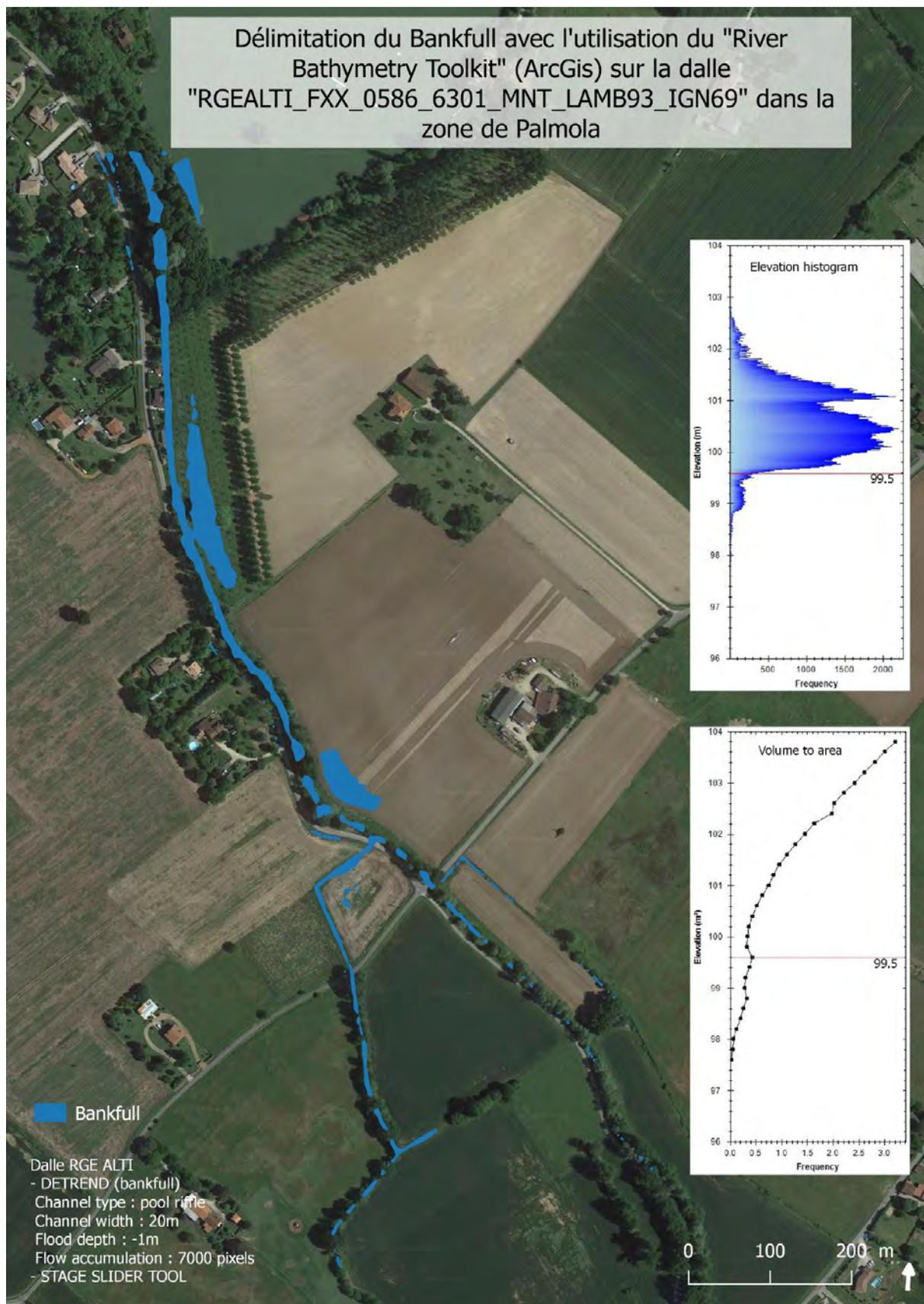
Figure A4-9: Sauvegarde des polygones du chenal avant débordement.

Pour finir si il y a des artefacts autour du cours d’eau il est possible en fonction des résultats de faire un tampon fixe plus étroit que le celui fait en début de traitement. L’étude des résultats de cette méthode et la comparaison avec les autres méthodes sont présentées dans les chapitre "VI.2.River Bathymetry Toolkit" et "VIII. Comparaison des résultats" du rapport.

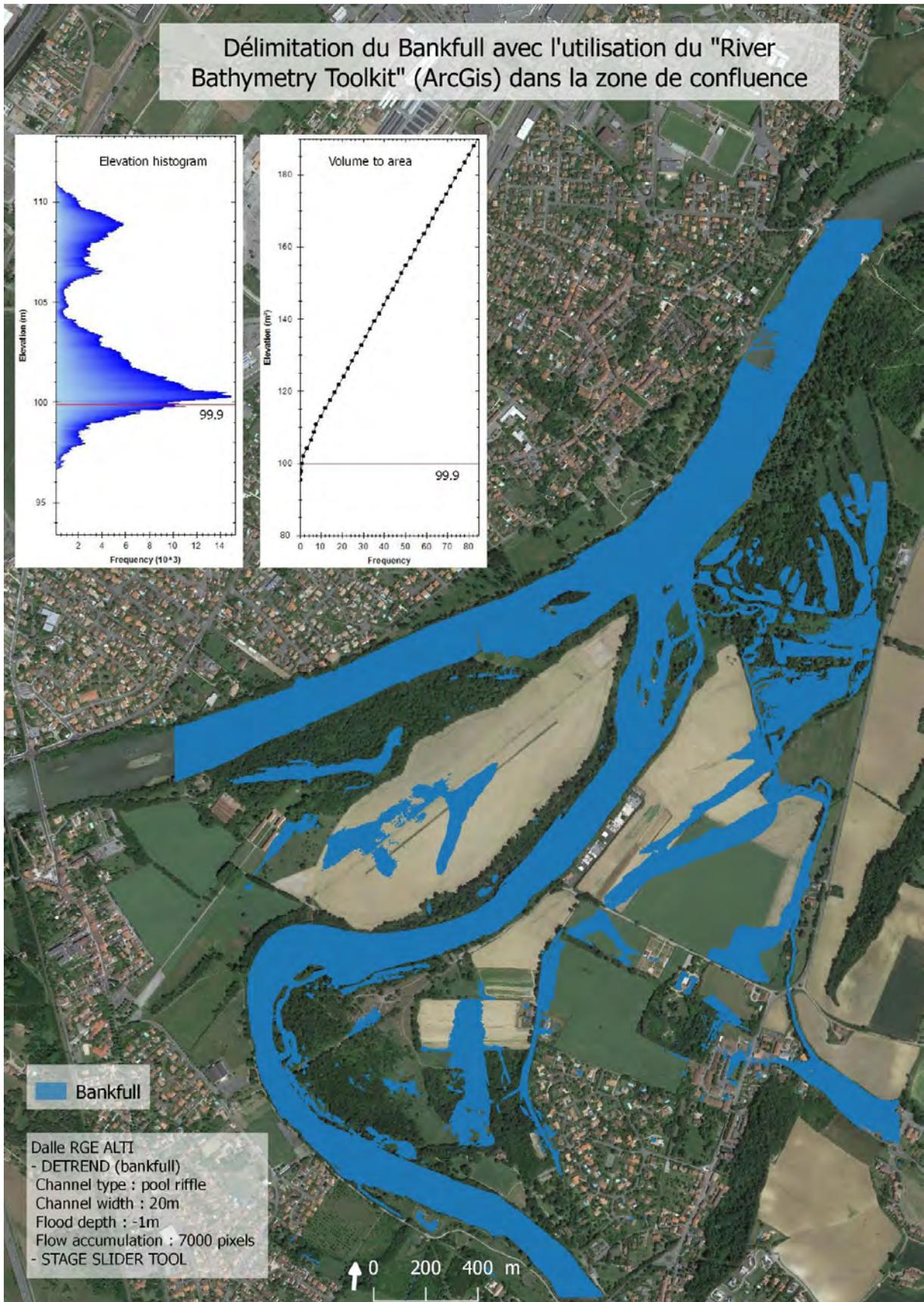
ANNEXE 5



ANNEXE 6



ANNEXE 7



ANNEXE 8

Cette annexe présente pour la méthode de la courbure les étapes de la chaîne de traitement et les paramètres utilisés, afin que cette méthode puisse être reproduite. Elle fait également office de tutoriel.

Les essais ont été conduits sur la version 2.18 de QGIS équipé de SAGA. Le script Python nécessite d'avoir Python 3.4 équipé de la bibliothèque NumPy. Le fichier Batch pour exécuter le script Python nécessite d'être sur un environnement Windows.

Etape 1 : Calcul des profils en travers

Cette phase a pour but de créer les profils le long de l'axe théorique du cours d'eau à partir des dalles raster qui représentent la topographie du terrain à analyser. Pour cela, on utilise l'outil "cross profiles" de SAGA qui demande plusieurs paramètres (Figure A7-1) :

- Couche raster (DEM) : correspond aux dalles MNT de la topographie du terrain. Il peut s'agir de fichier Geotiff ou bien de raster virtuel selon les besoins de l'étude.
- Couche vecteur (Lines) : correspond à l'axe du cours d'eau sur lequel sera calculé les profils.
- Distance entre les profils (Profile distance) : représente le pas des profils le long de l'axe du cours d'eau, ce paramètre varie selon le niveau de détail souhaité.
- Longueur des profils (Profile length) : la valeur correspond ici à un rayon, elle sera donc reportée de part et d'autre de l'axe. Ne pas hésiter à mettre des longueurs dépassant la largeur du cours d'eau afin d'être certain que les points limites sont bien présents sur le profil calculé.
- Pas d'échantillonnage du profil (Profile Samples) : correspond au nombre de points qui vont constituer le profil en travers. Le script Python a été développé avec l'hypothèse que les raster utilisés ont une résolution de 1m. On impose donc de garder cette même résolution de 1m pour cet échantillonnage. Ce paramètre est donc égal au double de la longueur des profils rentrée précédemment.

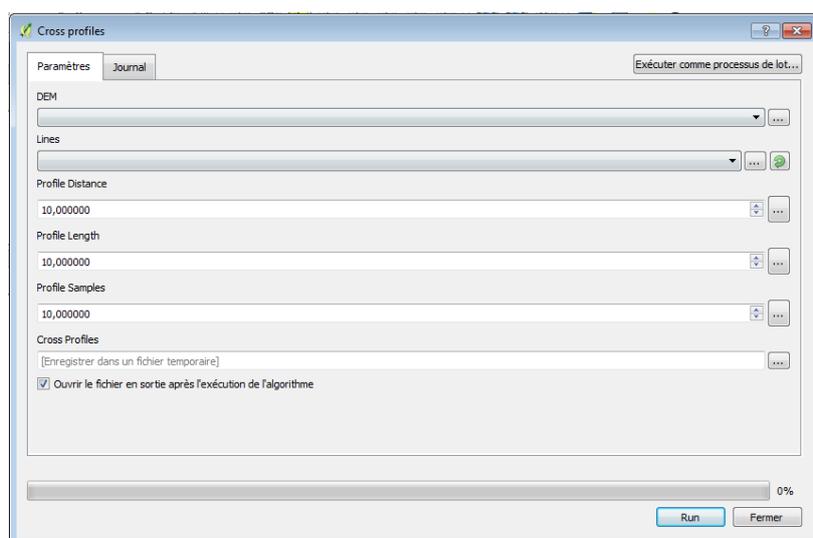


Figure A7-1: Paramètres du 'cross profiles' à renseigner.

Etape 2 : Enregistrement des résultats

La couche des résultats sera enregistrée au format CSV avec la géométrie des lignes en WKT et un point-virgule comme séparateur des colonnes (Figure A7-2):

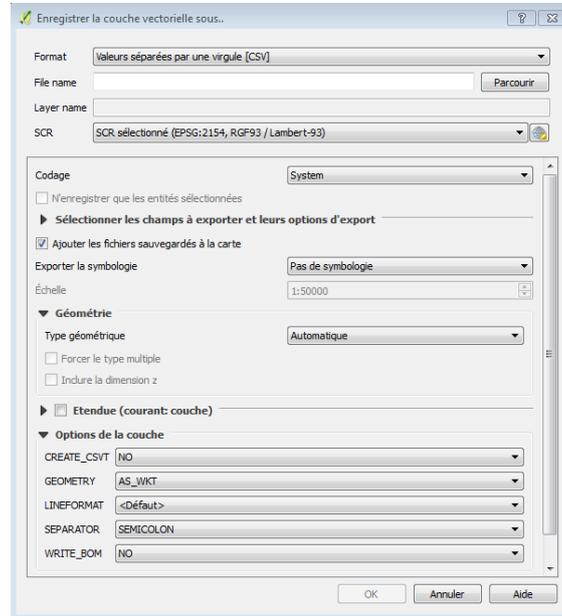


Figure A7-2: Enregistrement de la couche vectorielle.

Le fichier enregistré est construit de la manière suivante (Tableau A7-1):

WKT	ID	Ensemble de paramètres	X1	X2;X3; etc...
"LINESTRING (X Y, X' Y)'"	1	...	105.213	104.123;102.563;...
...

Tableau A7-1: Exemple d'une ligne d'un fichier CSV en sortie de l'outil "cross profiles" de SAGA

Chaque ligne du tableau correspond à un profil en travers avec les coordonnées du point de début et de fin (en WKT), un numéro d'identifiant et l'ensemble des valeurs d'altitude (en mètre), pour les points sur le profil. Chaque colonne est séparée par un point-virgule. Ce formalisme est important à respecter afin que le script Python puisse lire correctement le fichier.

Etape 3 : Paramétrage du script Python

Cette étape consiste à paramétrer le fichier Batch qui sert à lancer le script Python. L'objectif est de renseigner les différentes informations nécessaires pour que le script s'exécute correctement telle que le chemin de l'espace de travail ou encore le nom du fichier CSV.

Pour cela, il faut ouvrir le fichier "lancement_script.bat" (Figure A7-3) dans un éditeur de texte. Ensuite, il suffit de renseigner les champs suivant :

- *workspace* : correspond au chemin de l'espace de travail. Il s'agit de l'endroit où se trouve le script Python, le fichier des profils et où sera enregistré le fichier CSV résultat.
- *fichier_input* : nom du fichier CSV qui contient les profils en travers

- *fichier_output* : nom du fichier CSV où seront enregistrés les points correspondant aux rives du cours d'eau analysé.

```

1 SET workspace="J:/SIGMA/atelier_dp/est/"
2 SET fichier_input="pyrenees_profil.csv"
3 SET fichier_output="pyrenees_bords2.csv"
4
5 cd %workspace%
6 python cross_section_final.py %workspace% %fichier_input% %fichier_output%
7 pause

```

Figure A7-3: Fichier de lancement "lancement_script.bat"

Etape 4 : Lancement du script Python

Lorsque l'étape 3 est réalisée, il est possible de lancer le script Python. Pour cela, il suffit de faire un double-clic sur le fichier "lancement_script.bat" afin de lancer la commande Batch pour faire fonctionner le script Python sur l'Invite de Commande Windows. Le script va alors afficher la progression des calculs (Figure A7-4) en donnant un pourcentage d'avancement. A la fin du processus, un fichier CSV sera créé avec les résultats.

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
J:\SIGMA\atelier_dp\est>SET workspace="J:/SIGMA/atelier_dp/est/"
J:\SIGMA\atelier_dp\est>SET fichier_input="pyrenees_profil.csv"
J:\SIGMA\atelier_dp\est>SET fichier_output="pyrenees_bords2.csv"
J:\SIGMA\atelier_dp\est>cd "J:/SIGMA/atelier_dp/est/"
J:\SIGMA\atelier_dp\est>python cross_section_final.py "J:/SIGMA/atelier_dp/est/" "pyrenees_profil.csv" "pyrenees_bords2.csv"
C:\Python34\lib\site-packages\numpy\core\_methods.py:59: RuntimeWarning: Mean of empty slice.
  warnings.warn("Mean of empty slice.", RuntimeWarning)
C:\Python34\lib\site-packages\numpy\core\_methods.py:70: RuntimeWarning: invalid value encountered in double_scalars
  ret = ret.dtype.type(ret / rcount)
Traitement des profils à 0 %
Traitement des profils à 10 %
Traitement des profils à 20 %
Traitement des profils à 30 %
Traitement des profils à 40 %
Traitement des profils à 50 %
Traitement des profils à 60 %
Traitement des profils à 70 %
Traitement des profils à 80 %
Traitement des profils à 90 %
J:\SIGMA\atelier_dp\est>pause
Appuyez sur une touche pour continuer...

```

Figure A7-4: Progression des calculs après le lancement du script

Le script Python est articulé entre 2 fonctions :

- La première a pour objectif de lire le fichier CSV et de le transformer afin de récupérer les informations importantes et de les ranger dans des tableaux différents (c'est-à-dire, la géométrie des lignes, le numéro d'identifiant et les valeurs d'altitude). Puis, la fonction va parcourir chaque profil en travers et va rechercher les index des rives (droite et gauche) à l'aide d'une seconde fonction. Ces index des rives sont ensuite transformés en coordonnées planimétriques (en RGF93 - Lambert 93) à partir de la géométrie de la ligne. Enfin, ces coordonnées sont insérées dans un fichier résultat au format CSV (tableau A7-2).
- La seconde fonction permet de calculer les rives droite et gauche sur un profil en travers donné. Cette fonction part du centre théorique du cours d'eau (point ayant l'altitude la plus faible sur le profil) puis parcourt le profil vers la droite ou vers la gauche. Cette fonction est articulée en 3 temps :
 - Elle teste si le point analysé se situe sur la berge. Pour cela, la fonction teste s'il y a une hausse significative de l'altitude (par rapport aux points précédents et aux points suivants). Si ce test est vrai alors la fonction passe au test suivant;
 - Dans le cas où le point étudié est sur la berge avec une limite avant débordement proche, la fonction va tester en même temps les 3 cas possibles de rebords. Un

maximum local (une baisse significative de l'altitude après le point limite), une rupture de pente avec un replat après le point limite et une rupture de pente avec une montée après le point limite (mais une pente moins forte que celle qui précède). Si pour ce test, l'un des cas est réalisé, alors la fonction passe au test suivant;

- Dans le cas où la limite du cours d'eau avant son débordement a été trouvée, la fonction va chercher à savoir si le point de débordement trouvé est bien réel en parcourant les points qui suivent le point de débordement enregistré. En effet, si le point limite est suivi par une descente non significative (une pente négative non significative) alors la fonction retourne au premier test. De plus, si la montée qui suit cette descente est elle aussi significative alors on prend l'hypothèse que le point de débordement est plus loin et donc, on reprend le deuxième test.

WKT	ID	BORD
"POINT (X Y)"	1	"gauche" ou "droite"
...

Tableau A7-2: Fichier en sortie comprenant les coordonnées des bords droits et gauches.

Etape 5 : Insertion des résultats sur QGIS

Le script Python s'est exécuté correctement, le fichier CSV des résultats est créé. Il est alors possible d'intégrer ces résultats sur QGIS puisque les coordonnées des rives sont écrites en WKT. Par un glissé-déposé du fichier des résultats sur QGIS, il est possible de visualiser les résultats du processus de calcul des rives à partir des profils en travers.

Le fonctionnement de la méthode est résumé sur la figure A7-5.

L'étude des résultats de cette méthode et la comparaison avec les autres méthodes sont présentées dans les chapitre "VII. Développement de l'Analyse Profil en Travers" et "VIII. Comparaison des résultats" du rapport.

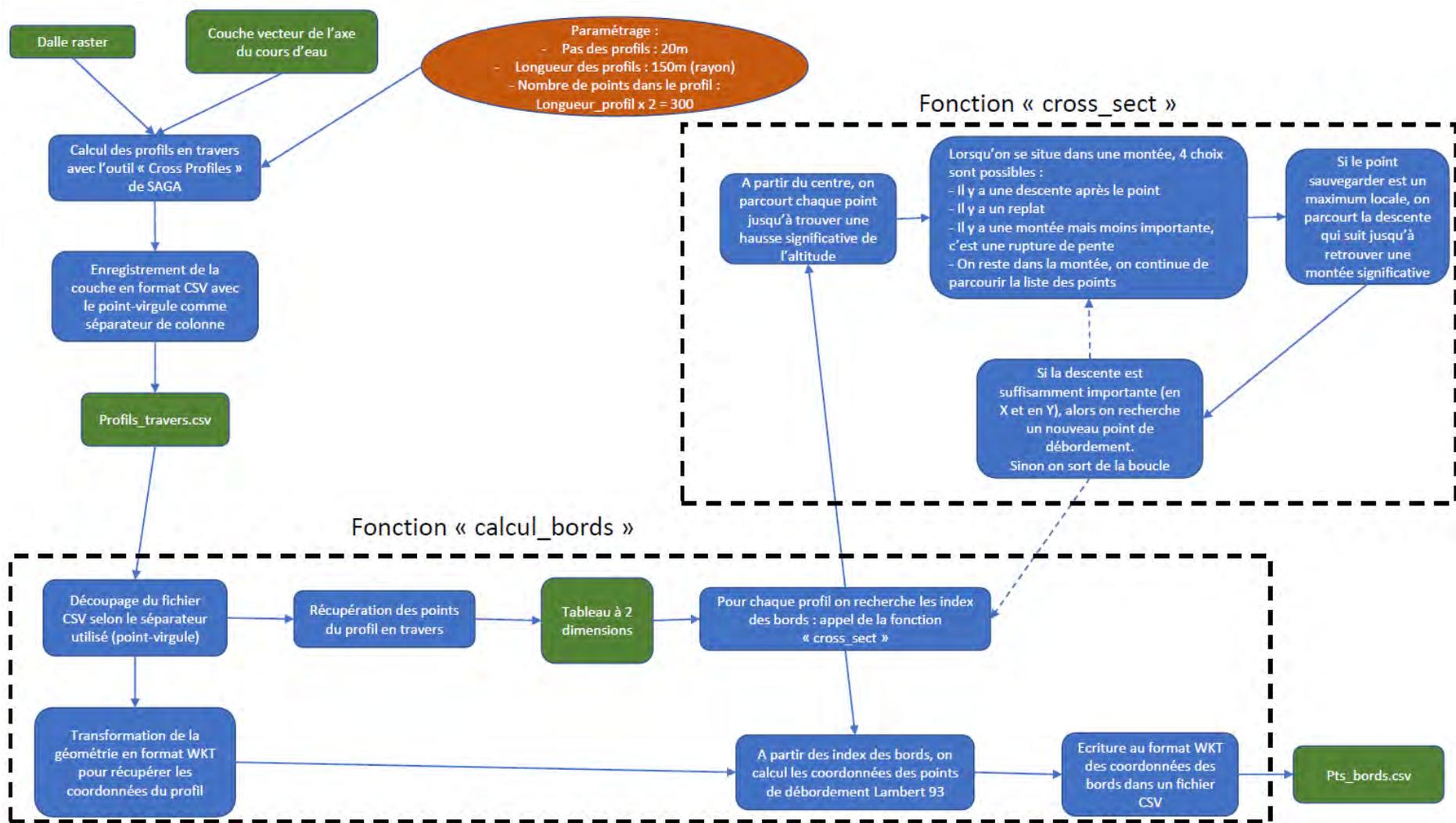


Figure A7-5: Fonctionnement de la méthode du script python

- FIN DU DOCUMENT -