

EXPLOITATION DES DONNEES AEROPORTEES (LIDAR ET DRONE) DANS
LE CADRE DES PROGRAMMES D'ACTIONS SUR LES RIVIERES PAR UNE
APPROCHE INTEGREE ET SECTORISEE (PARIS)
"IMAGEAU 2"

Rapport final

Mars 2014

EXPLOITATION DES DONNEES AEROPORTEES (LIDAR ET DRONE) DANS
LE CADRE DES PROGRAMMES D'ACTIONS SUR LES RIVIERES PAR UNE
APPROCHE INTEGREE ET SECTORISEE (PARIS)
"IMAGEAU 2"

Rapport final

Mars 2014

Encadrement scientifique : Hugues Claessens

Personnel sous contrat : Frédéric Henrotay
Adrien Michez

0.	Préambule	3
1.	Introduction.....	4
2.	Développement d'outils pour la surveillance des cours d'eau au niveau local à l'aide de drones	5
3.	Exploitation de données tridimensionnelle à l'échelle du territoire wallon pour la caractérisation des bandes riveraines	5
3.1.	Génération d'un Modèle Numérique de Surface photogrammétrique	6
3.1.1.	Méthodologie	6
	Zone d'étude.....	6
	Données disponibles	7
	Couverture LiDAR « basse densité »	7
	Couverture ortho	8
	Chaîne de traitement photogrammétrique	8
	Evaluation de la qualité du Modèle Numérique de photogrammétrique	11
3.1.2.	Résultats	13
3.2.	Génération d'un Modèle Numérique de Hauteur	14
3.3.	Cartographie du lit mineur à l'aide des données LiDAR basse densité	14
3.3.1.	Méthodologie	14
	Analyse orientée objet (OBIA) : cas des cours d'eau de première catégorie.....	14
	Tracé dérivé du MNT LiDAR : cas des cours d'eau de 2 ^{ème} et 3 ^{ème} catégorie.....	16
	Validation des résultats.....	17
	Cas de la vallée de la Houille 1 ^{ère} catégorie	17
	Cas de la vallée de la Viroin	18
3.3.2.	Résultats.	18
	Vallée de la Houille 1 ^{ère} catégorie	18
	Vallée du Viroin	19
3.4.	Caractérisation des secteurs PARIS	19
3.4.1.	Méthodologie	20
	Caractérisation des secteurs : procédure de désagrégation et réagrégation.....	20
	Extraction de variables dérivées du MNT	23
	Extraction de variables dérivées du MNH.....	24
	Continuité longitudinale	25
	Enrésinement	25
	Hauteur des ripisylves	25
	Extraction de variables dérivées de données vectorielles	26
	Polygones forestiers « Ferraris »	26
	Accessibilité des secteurs	26
3.4.2.	Résultats	26

4.	Comparaison au LiDAR haute densité (vallée de la Houille)	34
5.	Conclusions.....	37
6.	Publications scientifiques.....	39
7.	Colloques, voyages d'études	40
8.	Collaborations	41
9.	Bibliographie	42

0. PRÉAMBULE

Le présent rapport est le rapport final du projet Imageau 2, reprenant l'ensemble des résultats acquis lors de ce projet (01/07/2013 au 28/02/2014). Les recherches ont été menées par Adrien Michez, bioingénieur, avec l'appui technique de Frédéric Henrotay, gradué, tous deux financés par le projet. Elles bénéficient de l'encadrement scientifique du Professeur Hugues Claessens et sont placées sous la direction du Professeur Philippe Lejeune. La convention s'inscrit dans une suite logique de collaborations entre la DCENN et la Faculté Gembloux Agro Bio-Tech (Ulg) en matière de caractérisation des cours d'eau à l'aide de la télédétection. Après une première phase prospective¹, le premier projet Imageau² a évalué, sur différents sites pilotes, le potentiel de la télédétection pour la caractérisation des bandes riveraines, tant à l'échelle locale (usage des drones) qu'à l'échelle régionale (LiDAR aérien). La présente convention s'inscrit donc dans la continuité des précédents projets, en mettant toutefois l'accent sur la caractérisation régionale des bandes riveraines.

¹ Marché de services « *Potentialités de l'analyse d'images pour la sectorisation des cours d'eau wallons : cas des données de type LIDAR aéroporté* » (01/01/2012 - 15/04/2012).

² Convention « *Potentialités de l'outil « analyse d'images » dans le cadre de la gestion intégrée des cours d'eau wallons : PROJET IMAGEAU* » (01/06/2012 – 01/07/2013)

1. INTRODUCTION

La Région wallonne a entériné (séance du 8 mars 2012 du Gouvernement wallon) la future application des **Programmes d'Actions sur les Rivières** par une approche **Intégrée et Sectorisée (PARIS)**. Les PARIS ont pour but l'intégration dans le temps et dans l'espace, de l'ensemble des mesures de gestion spécifiques du linéaire de cours d'eau en fonction d'enjeux prioritaires identifiés à l'échelle d'unités de gestion homogènes ("secteurs"). La mise en place et le suivi de ces plans de gestion implique le développement d'outils de suivi efficaces, permettant d'établir les états des lieux nécessaires à la planification des actes de gestion et à terme, d'évaluer l'efficacité desdits plans de gestion. Les outils de suivi des PARIS devront permettre des évaluations répétitives et standardisées afin de pouvoir être appliqués à l'ensemble des cours d'eau classés wallons (12700 km).

Dans ce contexte, plusieurs collaborations ont été initiées entre Gembloux Agro Bio-Tech et la DCENN afin d'évaluer la potentialité de la télédétection, notamment comme source efficace et économique d'informations sur les secteurs de gestion. Le premier projet Imageau a permis de mettre en évidence le potentiel de la télédétection pour la gestion de cours d'eau à travers l'évaluation en différentes zones de test de deux types de données : les données produites à partir d'images acquises avec un micro-drone ainsi que les données extraites d'un nuage de point « LiDAR ». Les résultats engrangés ont permis de mettre en évidence le potentiel des données LiDAR pour la caractérisation des cours d'eau à l'échelle régionale (plusieurs milliers de km de cours d'eau) ainsi que le potentiel des drones pour des caractérisations au niveau local (quelques dizaines de km). A travers les informations cruciales qu'elle fournit à l'échelle de l'ensemble du réseau surveillé (continuité et hauteur des cordons rivulaires, distribution, enrésinement, proximité de l'eau, ...), l'exploitation de l'information fournie par les données LiDAR pourrait constituer un élément essentiel du suivi des PARIS, et d'une manière générale de l'impact des politiques de gestion.

Vu qu'une couverture régulière de la Wallonie avec une donnée de type LiDAR haute densité n'est pas à l'ordre du jour malgré un intérêt indéniable, l'objectif principal de la présente recherche est le développement d'alternatives méthodologiques au LiDAR haute densité. Selon une approche pragmatique et pour garantir une plus grande transférabilité des résultats, les méthodes envisagées seront dérivées de données en cours d'acquisition ou dont l'acquisition est garantie dans un futur proche.

2. DÉVELOPPEMENT D'OUTILS POUR LA SURVEILLANCE DES COURS D'EAU AU NIVEAU LOCAL À L'AIDE DE DRONES

Cet axe secondaire a été envisagé comme une veille scientifique sur la question de l'apport des drones pour la gestion des cours d'eau. Deux principaux aspects ont été abordés durant ce projet :

- Apport des drones pour la cartographie des zones inondables
- Cartographie des plantes invasives (*Fallopia japonica*)

Dans le cadre de la **cartographie des zones inondables**, un travail administratif important a débouché sur l'obtention d'une autorisation de vol sur l'ensemble du territoire wallon, contre quelques dizaines communes lors de l'hiver précédent. Toutefois, cette autorisation n'a à ce jour toujours pas été valorisée, faute d'épisode de débordements conséquent à survoler.

Dans le cadre de la **cartographie des plantes invasives**, le premier projet Imageau ayant investigué les potentialités du drone en matière de cartographie de la balsamine de l'Himalaya et de la berce du Caucase, le présent projet s'est attelé à une troisième espèce ayant fortement colonisé le réseau hydrographique wallon : la renouée du Japon (*Fallopia japonica*). Un jeu de données de référence a été acquis sur l'ensemble du linéaire de l'Orneau (9 vols nécessaires), avec une acquisition simultanée de données de références au sol. Pour des raisons de choix stratégiques (rédaction d'une proposition commune SPW-DCENN UGRFMN pour l'appel à projet « STEREO III » de la politique scientifique fédérale), les analyses n'ont pu être menées mais feront l'objet d'une analyse globale (intégration des données berces et balsamine - Imageau 1) lors d'une prochaine collaboration avec la DCENN.

3. EXPLOITATION DE DONNÉES TRIDIMENSIONNELLE À L'ÉCHELLE DU TERRITOIRE WALLON POUR LA CARACTÉRISATION DES BANDES RIVERAINES

La disponibilité en données issues de la télédétection est importante en Wallonie, avec notamment une couverture LiDAR (0.8 point / m²) en cours d'acquisition. Cette couverture étant de type « basse densité » (0.8 point / m²), une réplique « à l'identique » de la méthode développée lors du premier projet Imageau ne peut pas être envisagée. Le principal objectif de cette campagne d'acquisition sera la couverture de l'ensemble du territoire wallon avec un Modèle Numérique de Terrain (1m de résolution) de grande qualité. Toutefois, les progrès récents en matière de photogrammétrie, notamment grâce à l'émergence des technologies de vision par ordinateur, ont permis le développement de nouvelles solutions logicielles permettant l'extraction d'information tridimensionnelle dérivées d'images prises avec un recouvrement spatial. En Wallonie, grâce à une initiative conjointe de l'IGN et du SPW, les couvertures ortho sont acquises avec un recouvrement entre images depuis 2006. Cette caractéristique permet d'envisager la reconstruction de Modèles Numériques de Surface pour les différentes « campagnes orthos » depuis cette date.

La combinaison des Modèles Numériques de Surface (photogrammétriques) au Modèle Numérique de Terrain (LiDAR basse-densité) permettra la génération à l'échelle régionale de Modèles Numériques de Hauteur (Figure 1).

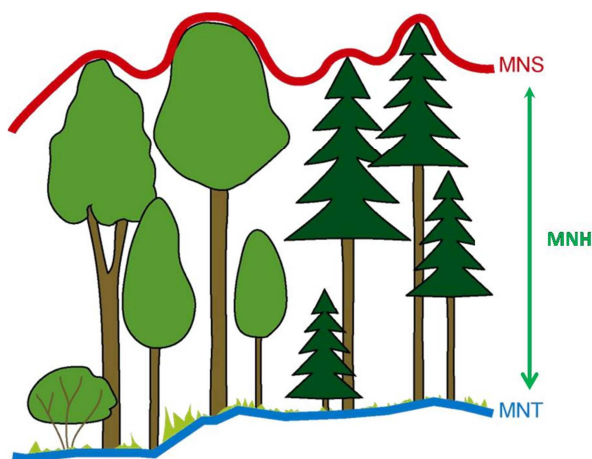


FIGURE 1 : CALCUL D'UN MODÈLE NUMÉRIQUE DE HAUTEUR DÉRIVÉ D'UN MODÈLE NUMÉRIQUE DE SURFACE ET D'UN MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN

A partir de ces données qui couvriront à court terme (cas du LiDAR) ou qui couvrent potentiellement (cas des MNS photogrammétriques) l'ensemble du territoire wallon, plusieurs variables descriptives des abords des secteurs de cours d'eau sont extraites et viendront compléter le travail de description déjà réalisé lors des précédentes conventions « sectorisation ». Qui plus est, les approches développées étant intégralement intégrées dans des scripts (plateforme « R stat »), les actualisations seront facilement mises en œuvre lors de la mise à jour des données sources.

3.1. GÉNÉRATION D'UN MODÈLE NUMÉRIQUE DE SURFACE PHOTOGRAMMÉTRIQUE

3.1.1. MÉTHODOLOGIE

ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude choisie correspond aux bassins versant du Viroin et de la Houille. En termes de secteurs analysés (Tableau 1 et Tableau 2), l'accroissement du linéaire analysé est considérable en comparaison avec le premier projet Imageau. Près de 500 km de secteurs de cours d'eau ont été analysés dans le cadre de la présente convention contre une vingtaine de km lors du premier projet Imageau, représentant une étape importante au niveau méthodologique. En terme géomatique, ce saut est considérable vu qu'il implique une automatisation intégrale des opérations de géotraitement nécessaires à la caractérisation des secteurs. Les routines développées (principalement sous forme de script dans le logiciel R) sont déjà conçues pour être utilisées lors du passage à l'échelle du réseau hydrographique wallon (12.000 km).

TABLEAU 1 : SECTEURS PARIS - BASSIN DU VIROIN

Catégorie principale	Linéaire (km)	Nombre de secteurs PARIS
1 ^{ère} catégorie	81	21
2 ^{ème} catégorie	199	74
3 ^{ème} catégorie	67	49
Total général	347	144

TABLEAU 2 : SECTEURS PARIS - BASSIN DE LA HOUILLE

Catégorie principale	Linéaire (km)	Nombre de secteurs PARIS
1 ^{ère} catégorie	23	6
2 ^{ème} catégorie	95	31
3 ^{ème} catégorie	22	20
Total général	140	57

DONNÉES DISPONIBLES

COUVERTURE LIDAR « BASSE DENSITÉ »

Le SPW a initié lors de l'hiver 2012-2013 une campagne d'acquisition d'un jeu de donnée LiDAR basse densité sur l'ensemble du territoire wallon (Figure 2). Le principal objectif de cette acquisition est la résolution d'un Modèle Numérique de Terrain d'une résolution d'1 m.

Les données fournies sont constituées de deux jeux au format "las" :

- les données LiDAR proprement dites, disponibles en tuiles de 4km de coté (fusion de 4 tuiles ortho-image);
- un jeu qualifié de "rebut".

Une étude un peu plus approfondie montre que les points "rebut" correspondent à des échos sur les lignes à haute tension, sur certains plans d'eau, au sein d'espaces boisés feuillus ainsi que des points résultant de la superposition de différentes lignes de vols. Ces points semblent avoir été éliminés du jeu original intentionnellement. De plus, à surface égale, le jeu "rebut" contient 600 fois moins de points que le jeu original. Bien que les points filtrés au niveau des zones boisées puissent être intéressants, un test visant à fusionner les points "rebut" aux données "normales" a montré que les points « rebut » n'apportent aucune nouvelle information. Ce jeu a donc été complètement négligé dans la suite de l'étude.

Les jeux de données acquis dans le cadre de ce projet sont caractérisés par une faible densité de points (0.8 pts/m² au sol). Chaque point du nuage est caractérisé par les attributs suivants :

- la position géographique projetée (x, y, z),
- l'intensité du signal réfléchi par la surface,
- le nombre total de retours de l'impulsion,
- le numéro d'ordre du retour,
- une pré-classification des points opérée par le producteur (Tableau 3).

TABLEAU 3 : CLASSES UTILISÉES LORS DE LA CLASSIFICATION AUTOMATIQUE DES POINTS LIDAR.

Code Classe	Nom	Description
1	Non classé	Tous les points ne correspondant pas aux autres classes
2	Sol nu	Excluant les tas de terre provisoires
4	Végétation	Excluant la végétation basse (< 1.5 m)
9	Eau	Incluant les points en surface d'eau
10	?	Pas d'information disponible sur ces classes
11	?	(ouvrages d'art)

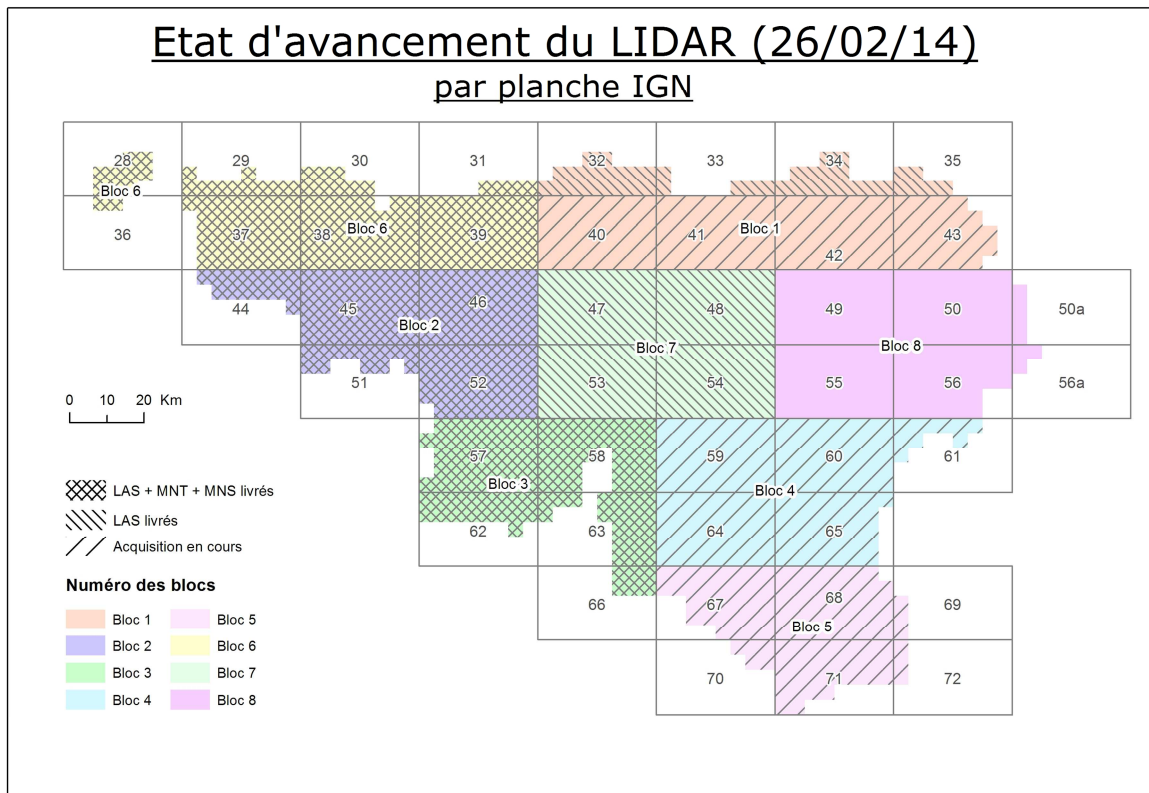


FIGURE 2 : ACQUISITION DES DONNÉES LIDAR BASSE DENSITÉ - SPW DGO4 SITUATION AU 26/02/2014

COUVERTURE ORTHO

Trois couvertures ortho (Tableau 4) ont été acquises par le SPW en collaboration avec l'IGN et dont les images individuelles brutes peuvent être utilisées pour la génération de MNS. Dans le cadre du projet Imageau, seules les images provenant de la campagne ortho 2012-2103 ont été valorisées pour la zone correspondant au bloc 3 (cf. Figure 2) où les données LiDAR basse densité et haute densité (BV Houille) sont également disponibles.

TABLEAU 4 : CAMPAGNE ORTHO - RÉGION WALLONNE

Référence	Période d'acquisition	Capteur	Résolution (m)
Orthophotos 2006 - 2007	10/06/2006 - 22/04/2007	RGB-NIR	0.5
Orthophotos 2009 - 2010	23/05/2009 - 07/07/2010	RGB-NIR	0.25
Orthophotos 2012 - 2013	01/04/2012 - 30/06/2013	RGB-NIR	0.25

Dans le cadre de la génération des orthomosaïques, le prestataire de service a également mis à disposition de l'administration les orientations externes (positions exactes de l'avion lors de l'acquisition) ainsi que les informations relatives à la calibration de l'appareil utilisé. Ces informations serviront de base pour le processus d'orientation des images lors de la génération du Modèle Numérique de Surface photogrammétrique (cf. ci-dessous).

CHAÎNE DE TRAITEMENT PHOTOGRAMMÉTRIQUE

L'approche développée pour la gestion de projets photogrammétriques dérivés des images brutes acquises lors des couvertures « orthos » de l'administration wallonne s'inscrit dans une approche novatrice de la photogrammétrie. Cette "nouvelle photogrammétrie" ("*sfm*" - *Structure From Motion*) se base sur une gestion et une analyse entièrement automatisées de chantiers photogrammétriques importants (dans notre cas, plus de 600 photographies aériennes). Dans le cadre du projet, la suite open source « MicMac » a été utilisée en

raison de son caractère « open source » qui facilitera le transfert de compétence auprès de l'administration. Développée par l'IGN France sous environnement Linux, MiMac présente des possibilités de paramétrages très poussées mais n'offre toutefois actuellement aucune interface graphique. Celle-ci nécessite donc une utilisation exclusive à travers le terminal de Linux où les différents outils s'exécutent en ligne de commande.

La chaîne de production du Modèle Numérique de Surface peut être résumée au sein de la Figure 3. Celle-ci synthétise la chaîne de traitement photogrammétrique classique, qui a été appliquée, à quelques détails près, lors de la reconstruction du MNS photogrammétrique.

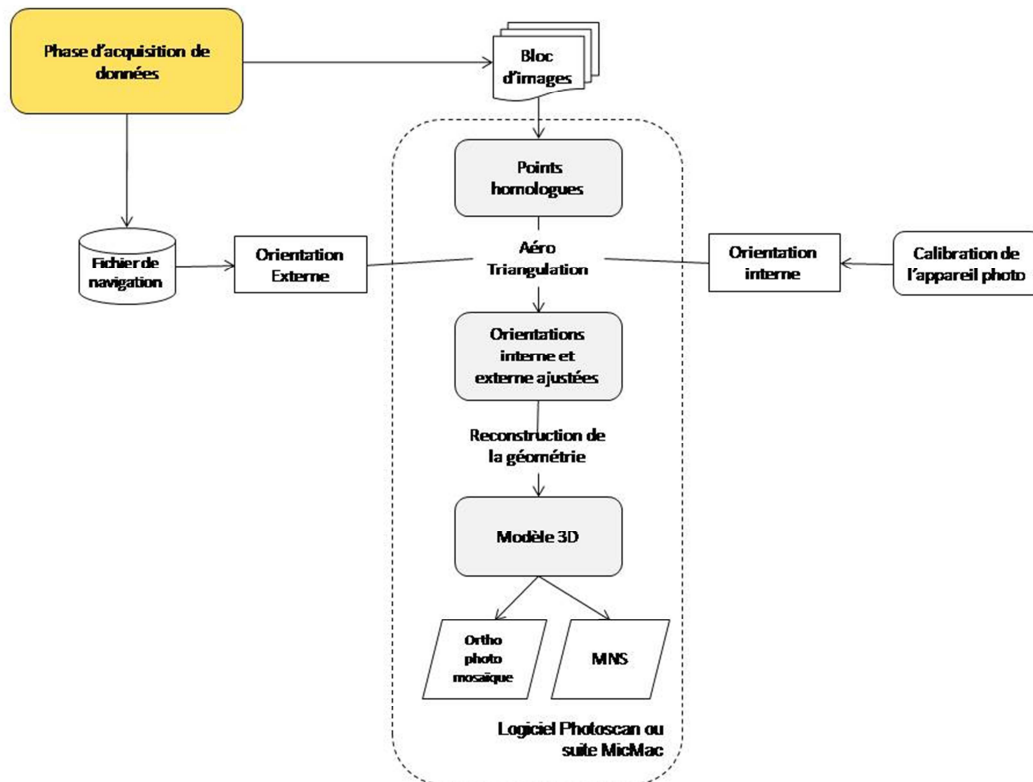


FIGURE 3 : CHAÎNE CLASSIQUE DE TRAITEMENT PHOTOGRAMMÉTRIQUE

Les images acquises lors des vols d'acquisition sont assemblées et positionnées les unes par rapport aux autres lors du processus d'**aérottriangulation** (Figure 4). Celui-ci détermine pour chaque photo la position exacte de la caméra au moment de la prise de vue aérienne. Ce calcul est réalisé notamment sur base des informations enregistrées lors des prises de vue individuelles, à savoir la position GPS de l'appareil ainsi que son inclinaison (selon les axes de tangages et de roulis, cf. Figure 5) mais également sur base de la détermination de points homologues (points caractéristiques sur différentes images et correspondant au même point sur le terrain).

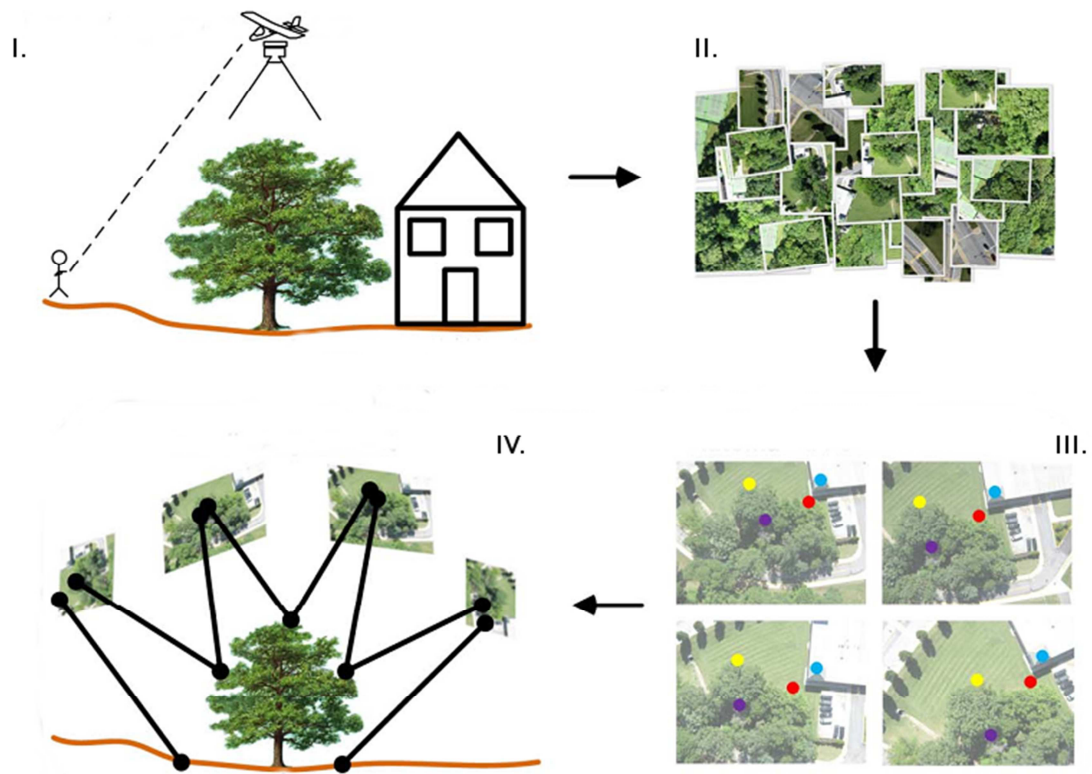


FIGURE 4 : RECONSTRUCTION 3D D'UNE SURFACE À PARTIR D'IMAGES AÉRIENNES (ADAPTÉ DE DANDOIS AND ELLIS, 2013)

I. ACQUISITION D'IMAGES II. ENSEMBLE DES IMAGES BRUTES (SUPERPOSITION) III. RECHERCHE DE POINTS CARACTÉRISTIQUES (POINTS HOMOLOGUES) IV. ALIGNEMENT DU BLOC D'IMAGES

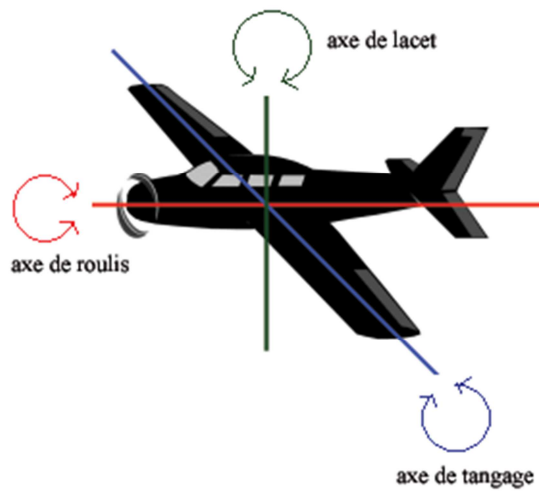


FIGURE 5 : AXES DE TANGAGE, DE ROULIS, DE LACET

Cette première étape permet donc d'obtenir un premier résultat constitué d'un nuage de points caractéristiques partagés sur plusieurs images (points homologues - Figure 6). Ce premier résultat est peu dense car constitué de points caractéristiques qui ont été repérés par l'algorithme sur plusieurs images avec une très grande certitude relative. Dans le cadre du projet, cette phase d'aérotriangulation a été fortement limitée car les images avaient déjà été orientées par le prestataire de service ayant réalisé la couverture ortho. L'évaluation de la qualité du travail réalisé s'est limitée à une évaluation de la précision altimétrique, la précision planimétrique étant considérée comme suffisante telle qu'elle a été évaluée lors de la réception de la couverture ortho par le SPW (< 1m).

Une fois cette étape réalisée, le relief de la surface peut alors être reconstruit grâce à la superposition entre les images, obtenue grâce à un recouvrement des différentes lignes de vol. Lors de cette étape, dite de **corrélation dense**, l'algorithme va calculer la position dans l'espace de l'ensemble des éléments constitutifs du projet analysés, dans notre cas, l'ensemble des pixels de la scène analysée. Une fois triangulé, le nuage de points dense ainsi obtenu permet le calcul de Modèles Numériques de Surface (Figure 6) qui dans notre cas, aura une résolution spatiale finale de 0,5 m.



FIGURE 6 : NUAGE DE POINTS HOMOLOGUES (OBTENU EN FIN DE PHASE D'ORIENTATION/AÉROTRIANGULATION) ET MODÈLE NUMÉRIQUE DE SURFACE (DÉRIVÉ DU NUAGE DE POINTS DENSE)

EVALUATION DE LA QUALITÉ DU MODÈLE NUMÉRIQUE DE PHOTOGRAMMÉTRIQUE

Afin d'évaluer la qualité altimétrique du MNS photogrammétrique, une évaluation a été réalisée sur base du levé LiDAR basse densité, considéré comme référence. Ce choix du MNT LiDAR comme référence est également guidé par le fait que le MNS photogrammétrique est précisément généré dans le but d'être combiné au MNT LiDAR afin de réaliser un Modèle Numérique de Hauteur.

Cette évaluation se fera sur base de comparaison de surfaces supposées homogènes et simples, afin que l'erreur liée à la reconstruction photogrammétrique du relief soit minimisée. L'évaluation en forêt de la qualité des MNS photogrammétriques sera réalisée ultérieurement (notamment à l'aide de données d'inventaire terrain), lors d'une prochaine collaboration avec la DCENN. Des collaborations avec d'autres projets en cours de l'unité GRFMN faciliteront également cette future tâche.

En plus des problèmes liés à l'influence des choix stratégiques en termes de corrélation dense, la faible densité du jeu de données LiDAR en cours d'acquisition empêche d'envisager une évaluation de la qualité du MNS en zone forestière. En effet, la faible densité du nuage de points LiDAR entraîne une restitution peu fidèle de surface complexe telle que la canopée forestière. Avec la perspective de réaliser ces mêmes analyses pour les couvertures de 2009-2010 voire 2006-2007, une attention particulière doit être portée à la stabilité dans le temps des surfaces comparées.

Le choix s'est donc porté sur deux types de surface occupée par une végétation maintenue basse et dont le relief est peu susceptible d'être modifié, à savoir les prairies permanentes et les terrains de football. Qui plus est, ces éléments sont des éléments récurrents dans nos paysages, faciles à repérer sur images aériennes (terrain de football) ou référencées dans des bases de données vectorielles (cas des prairies dans le SIGEC). Ils permettent donc d'envisager une évaluation ponctuelle mais bien répartie sur l'ensemble des zones étudiées (Figure 7 et Figure 8) et reproductibles sur les autres blocs d'images.

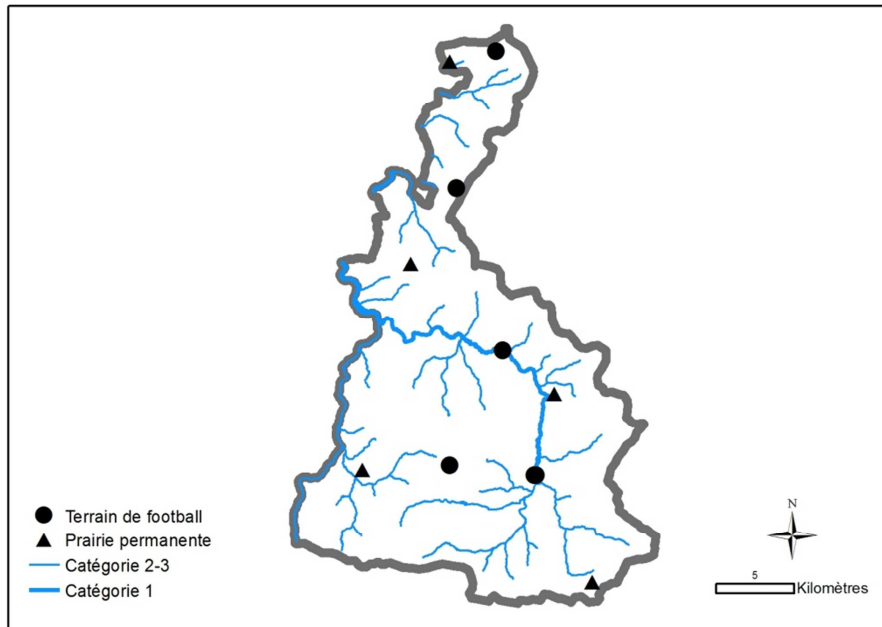


FIGURE 7: RÉPARTITION DES SURFACES DE RÉFÉRENCE POUR L'ÉVALUATION DE LA PRÉCISION ALTIMÉTRIQUE DU MNS PHOTOGRAMMÉTRIQUE - CAS DE LA VALLÉE DE LA HOUILLE

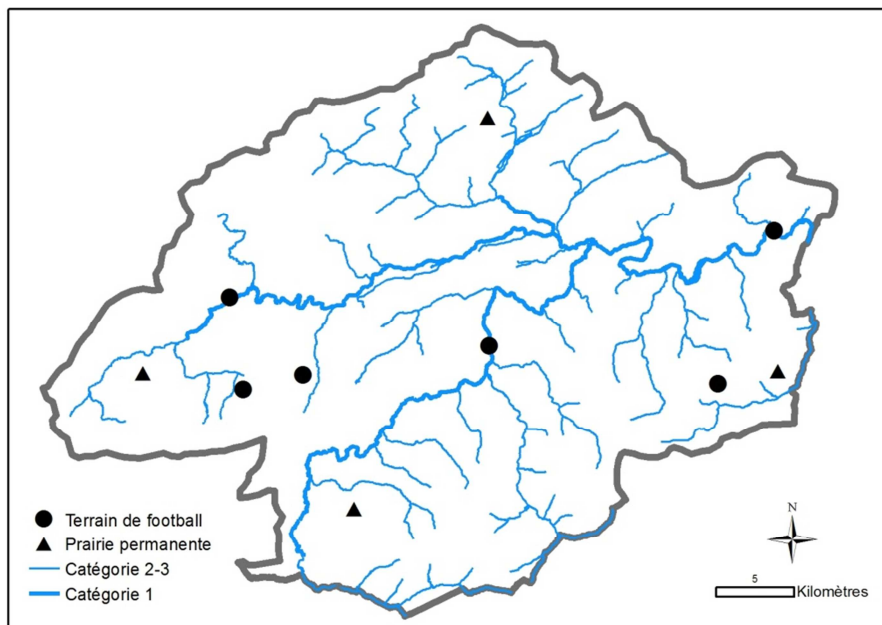


FIGURE 8: RÉPARTITION DES SURFACES DE RÉFÉRENCE POUR L'ÉVALUATION DE LA PRÉCISION ALTIMÉTRIQUE DU MNS PHOTOGRAMMÉTRIQUE - CAS DE LA VALLÉE DU VIROIN

3.1.2. RÉSULTATS

Le Modèle Numérique de Surface a été produit pour l'ensemble du bloc 3, soit près de 1600 km², à l'aide de l'analyse de plus de 600 images aériennes. Avec une résolution finale de 50 cm, le processus de calcul à lui seul représente près de 10 jours de calcul sur un PC de traitement (6 cores i7, 64 Go de RAM). Le résultat final a été découpé en tuiles de 4*4 km, pour correspondre au découpage de la couverture LiDAR basse densité en cours d'acquisition.

Une première évaluation de la qualité altimétrique a été réalisée sur base des orientations fournies par le prestataire de service ayant réalisé la couche ortho 2012 (Tableau 5).

TABLEAU 5 : EVALUATION DE LA PRÉCISION ALTIMÉTRIQUE - COMPARAISON AU MNT LIDAR BASSE DENSITÉ (ORIENTATIONS ORIGINALES)

	Différence moyenne (m)	Ecart-type (m)	BV	Type de surface
	-2,67	0,55	Viroin	Terrain de football
	-2,57	0,56	Houille	Terrain de football
	-2,57	1,08	Viroin	Terrain de football
	-2,54	0,22	Houille	Terrain de football
	-2,52	0,14	Viroin	Prairie
	-2,52	0,13	Houille	Prairie
	-2,52	0,13	Houille	Prairie
	-2,52	0,13	Houille	Prairie
	-2,51	0,19	Houille	Terrain de football
	-2,49	0,41	Houille	Terrain de football
	-2,48	0,15	Houille	Terrain de football
	-2,48	0,51	Houille	Terrain de football
	-2,44	0,19	Viroin	Terrain de football
	-2,42	0,26	Viroin	Terrain de football
	-2,41	0,35	Houille	Terrain de football
	-2,22	0,10	Viroin	Prairie
	-2,17	0,19	Viroin	Prairie
	-2,13	0,12	Houille	Prairie
	-2,11	1,70	Viroin	Terrain de football
	-2,08	0,09	Houille	Prairie
	-2,02	0,18	Viroin	Prairie
	-2,02	0,15	Houille	Prairie
Moyenne	-2,38	0,34		

Cette évaluation met en évidence un biais négatif entre les deux couches. Ce biais a été utilisé pour calculer une nouvelle orientation des images, fournissant des résultats bien plus probants (Tableau 6).

TABLEAU 6 : EVALUATION DE LA PRÉCISION ALTIMÉTRIQUE - COMPARAISON AU MNT LIDAR BASSE DENSITÉ (ORIENTATIONS CORRIGÉES)

	Différence moyenne (m)	Ecart-type (m)	BV	Type de surface
	-0,43	0,55	Viroin	Terrain de football
	-0,33	0,57	Houille	Terrain de football
	-0,33	1,08	Viroin	Terrain de football
	-0,30	0,22	Houille	Terrain de football
	-0,28	0,14	Viroin	Prairie
	-0,28	0,13	Houille	Prairie
	-0,27	0,19	Houille	Terrain de football
	-0,25	0,41	Houille	Terrain de football
	-0,24	0,15	Houille	Prairie
	-0,24	0,51	Houille	Terrain de football
	-0,20	0,19	Viroin	Terrain de football
	-0,18	0,26	Viroin	Terrain de football
	-0,17	0,35	Houille	Terrain de football
	0,02	0,10	Viroin	Prairie
	0,07	0,19	Viroin	Prairie
	0,11	0,12	Houille	Prairie
	0,14	1,71	Viroin	Terrain de football
	0,16	0,09	Houille	Prairie
	0,22	0,18	Viroin	Prairie
	0,22	0,15	Houille	Prairie
Moyenne	-0,13	0,36		

Avec une différence moyenne de 13 cm (< 1 pixel) avec les données LiDAR, la précision du MNS photogrammétrique généré a été jugée suffisante pour démarrer la réalisation du Modèle Numérique de Hauteur sur ce même bloc 3. Il est à noter que des améliorations seront encore apportées à ce processus de génération de MNS photogrammétrique lors des futures collaborations avec la DCENN qui devraient voir la méthodologie appliquée à l'ensemble de la Wallonie.

3.2. GÉNÉRATION D'UN MODÈLE NUMÉRIQUE DE HAUTEUR

Un Modèle Numérique de Hauteur a été calculé pour l'ensemble du bloc 3, à une résolution de 50 cm sur base de la soustraction du MNS photogrammétrique préalablement calculé au MNT LiDAR. Le résultat a été stocké en tuile 4*4 (123 tuiles), avec une résolution de 50 cm. Le MNH n'a pas été validé en tant que tel mais les résultats en termes de caractérisation des ripisylves ont été comparés à ceux obtenus avec le LiDAR haute-densité dans la vallée de la Houille (voire section 7).

3.3. CARTOGRAPHIE DU LIT MINEUR À L'AIDE DES DONNÉES LIDAR BASSE DENSITÉ

3.3.1. MÉTHODOLOGIE

ANALYSE ORIENTÉE OBJET (OBIA) : CAS DES COURS D'EAU DE PREMIÈRE CATÉGORIE

Similaire à la méthode développée lors du premier projet Imageau, la méthodologie développée pour la cartographie du lit mineur exploite la très forte absorption du rayonnement LiDAR par l'eau. En effet, la

technologie LIDAR émettant en infrarouge proche, son rayonnement est quasi intégralement absorbé par les zones en eau.

A partir d'un raster dérivé du nuage de point LiDAR basse densité qui représente à l'échelle de chaque pixel le nombre de points LiDAR classé « sol », une chaîne de traitement (*rule set*) a été développée dans eCognition developer (Figure 9). L'approche est de type « orientée objet », c'est-à-dire que l'unité de base d'analyse n'est pas le pixel mais un objet, constitué d'un groupe de pixels jugés homogènes. Ce logiciel utilise un algorithme de segmentation de type *Region Growing*, multi-résolution (c'est-à-dire qui permet d'intégrer diverses sources d'information) et multi-échelle (qui permet de mettre en œuvre plusieurs échelles de segmentations hiérarchisées sur une même image, ce qui offre la possibilité d'exploiter le niveau le plus adéquat selon l'élément à cartographier). Le *Region Growing* démarre d'un pixel source et va l'agréger au pixel voisin le plus similaire, pour former un segment ou objet qui va grandir au fur et à mesure, jusqu'à atteindre la limite d'homogénéité définie par un seuil fixé par l'utilisateur (Baatz and Schäpe, 2000). Le traitement d'une image dans eCognition developer est organisé sous forme d'un *Process Tree*, ou *Rule set*. Il s'agit de l'ensemble des étapes de travail structurées pas à pas, selon le principe d'un organigramme.

Le principal défi relevé avec eCognition consiste à distinguer les absences de points sols relatives à la présence d'une rivière de celles liées à d'autres occupations de sols (massifs forestiers denses, maison, ...). En comparaison à l'approche développée lors du précédent projet, la tâche est rendue plus compliquée par la faible densité de points ($16 \text{ pts/m}^2 \rightarrow 0.8 \text{ pt/m}^2$) qui entraîne de plus nombreuses zones d'absence de point et donc de plus nombreux cas de figure à analyser.

L'analyse se limitera aux secteurs de premières catégorie, la méthodologie ne fonctionnant actuellement que pour les cours d'eau dépassant le mètre de largeur.

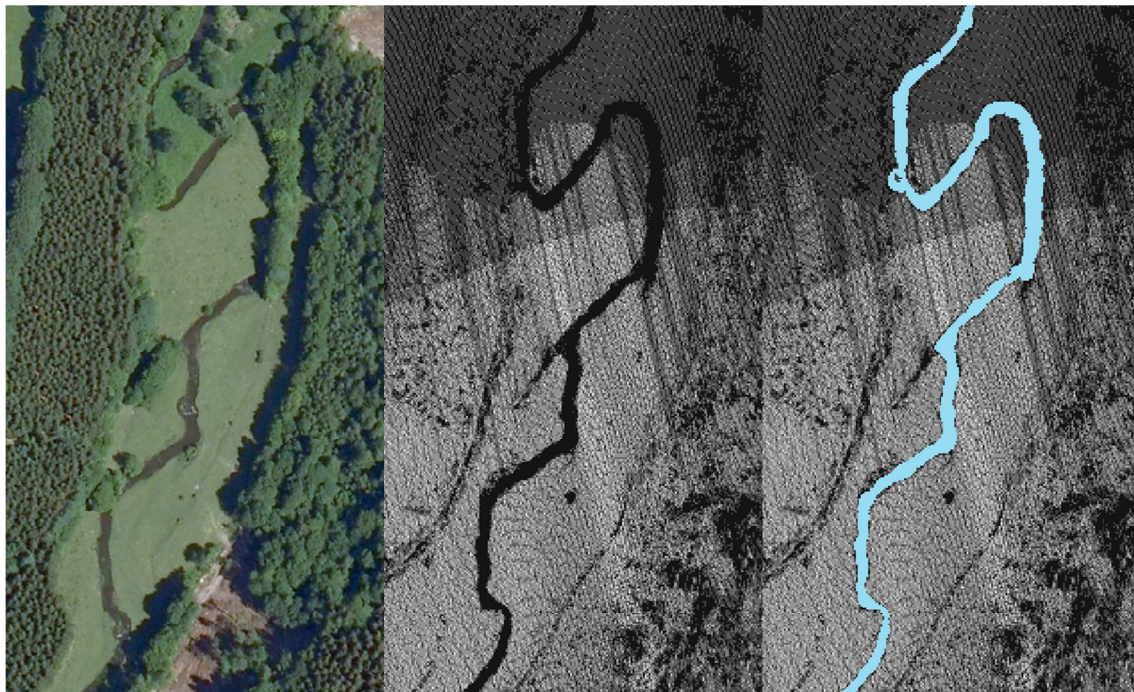


FIGURE 9 : DE GAUCHE À DROITE - ORTHO 2012 ; RASTER NOMBRE DE POINTS "SOLS" ; POLYGONE "LIT MINEUR" EXTRAIT AVEC ECOGNITION DEVELOPPER – VALLÉE DE LA HOUILLE

TRACÉ DÉRIVÉ DU MNT LIDAR : CAS DES COURS D'EAU DE 2^{ÈME} ET 3^{ÈME} CATÉGORIE

Les fonctions « hydro » de la toolbox *Spatial Analyst* de ArcGIS ont été utilisées pour dériver à partir du MNT des axes de ruissellement présentant une aire contributive au seuil de classement (Figure 10). Le MNT a été dégradé à une résolution de 2 m afin de pouvoir gérer en un seul bloc les deux zones d'étude considérées.

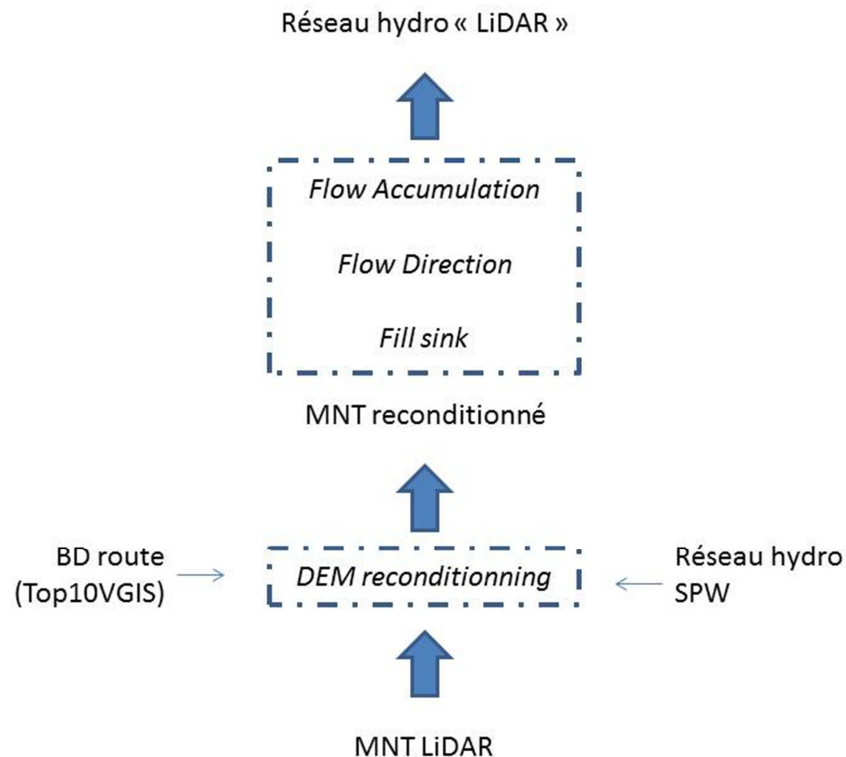


FIGURE 10 : PRODUCTION D'UN RÉSEAU HYDRO À PARTIR DU MNT LIDAR - CHAÎNE DE TRAITEMENT (EN ENCADRÉ, LES TOOLBOX "ARCHYDRO" UTILISÉES)

Le MNT reflétant le niveau du sol, il ne permet pas de gérer les passages où l'eau passe sous la surface identifiée, notamment au niveau des ponts, qui représentent alors des digues artificielles interrompant les axes calculés. L'outil « DEM reconditionning » de la toolbox « ArchHYDRO » a été utilisé afin de modifier le MNT afin d'appliquer une soustraction définie par l'utilisateur (Figure 11) dans les zones identifiées. L'utilisation de cet outil revient littéralement à « creuser » dans le MNT, afin de considérer que l'eau peut effectivement passer au milieu de cette structure.



FIGURE 11 : "DIGUE" ARTIFICIELLE DANS LE MNT LIDAR - CAS DU VIROIN (OLLOY-SUR-VIROIN)

VALIDATION DES RÉSULTATS

Les résultats obtenus ont été validés d'une part sur les résultats obtenus avec le LiDAR haute densité et les données terrain (carto du lit mineur au théodolite) acquises lors du premier projet Imageau dans le cas de la vallée de la Houille et d'autre part, avec des données acquises récemment au DGPS dans la vallée du Viroin.

CAS DE LA VALLÉE DE LA HOUILLE 1^{ÈRE} CATÉGORIE

Lors du premier projet Imageau, une campagne terrain avait permis d'obtenir un relevé précis du lit mineur en 7 sections, sur une longueur d'approximativement 6 km de cours d'eau (Figure 12). Le tracé dérivé du jeu de données LiDAR basse densité obtenu à l'aide d'eCognition a été validé à l'aide de ces levés ainsi qu'à l'aide du lit mineur dérivé du jeu de données LiDAR haute densité lors du premier projet Imageau.

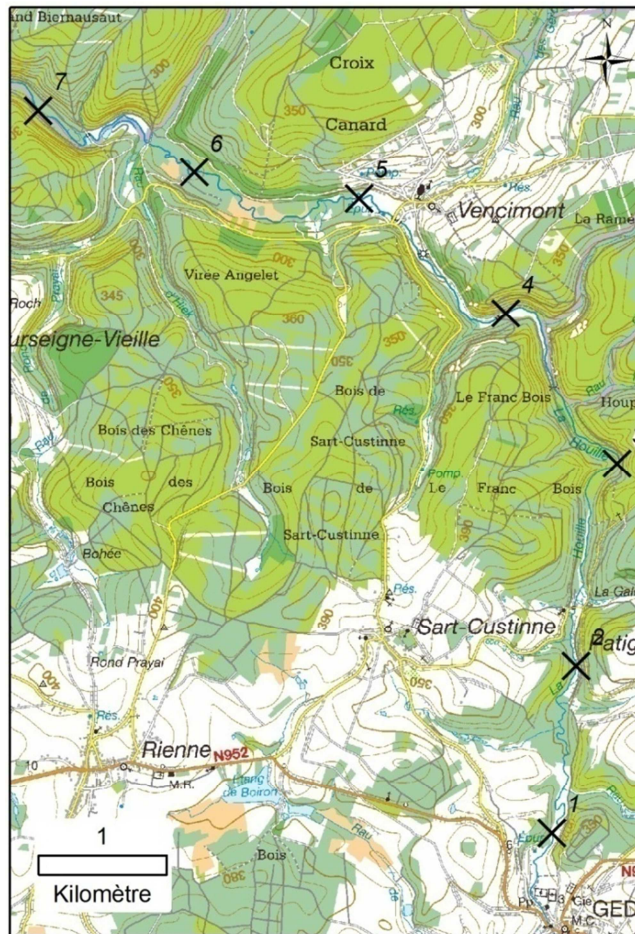


FIGURE 12 : LOCALISATION DES TRONÇONS DE LA HOUILLE CARTOGRAPHIÉS LORS DU PREMIER PROJET IMAGEAU

La comparaison entre le lit mineur obtenu à l'aide d'eCognition et les deux jeux de données de validation se fait via l'évaluation de la plus courte distance entre le point relevé sur le terrain et le polygone calculé. Une valeur négative est attribuée à cette distance lorsque le point relevé sur le terrain se trouve à l'extérieur du polygone calculé (sous-estimation du lit mineur par la méthode) tandis qu'une valeur positive est attribuée lorsque le point relevé sur le terrain se trouve à l'intérieur du polygone calculé (surestimation du lit mineur par la méthode).

En comparaison à la chaîne de traitement développée lors du premier projet, la cartographie du lit mineur n'a pas été poussée jusqu'à la dérivation d'un axe de cours d'eau à partir des polygones cartographiés. En effet, la densité d'information (directement proportionnelle à la densité en points) étant trop faible, on ne peut dériver un polygone que sur une fraction du lit mineur (80 %). Toutefois, obtenir une bonne cartographie du lit mineur, même sur une fraction du linéaire, reste un objectif important, vu qu'il peut permettre d'extraire des

paramètres importants tels que la largeur moyenne de lit mineur pour un secteur donné (variable qui sera utilisée par après, cf. section 3.4.1).

CAS DE LA VALLÉE DE LA VIROIN

A l'aide d'un jeu de données terrain acquis en février 2014 constitué de points correspondant à limite « terre-eau », à l'aide d'un DGPS Leica. Il est à noter que le matériel a connu certaines difficultés au niveau de la correction en temps réels RTK, une partie de l'erreur constatée peut donc être attribuée à la précision du GPS au moment du levé. Pour le cas de la première catégorie, étant donné que la comparaison se fait sur la base d'un « polygone lit mineur », la même approche a été adoptée pour l'estimation du signe de la distance calculée (négative si l'algorithme sous-estime, positive si l'algorithme surestime).

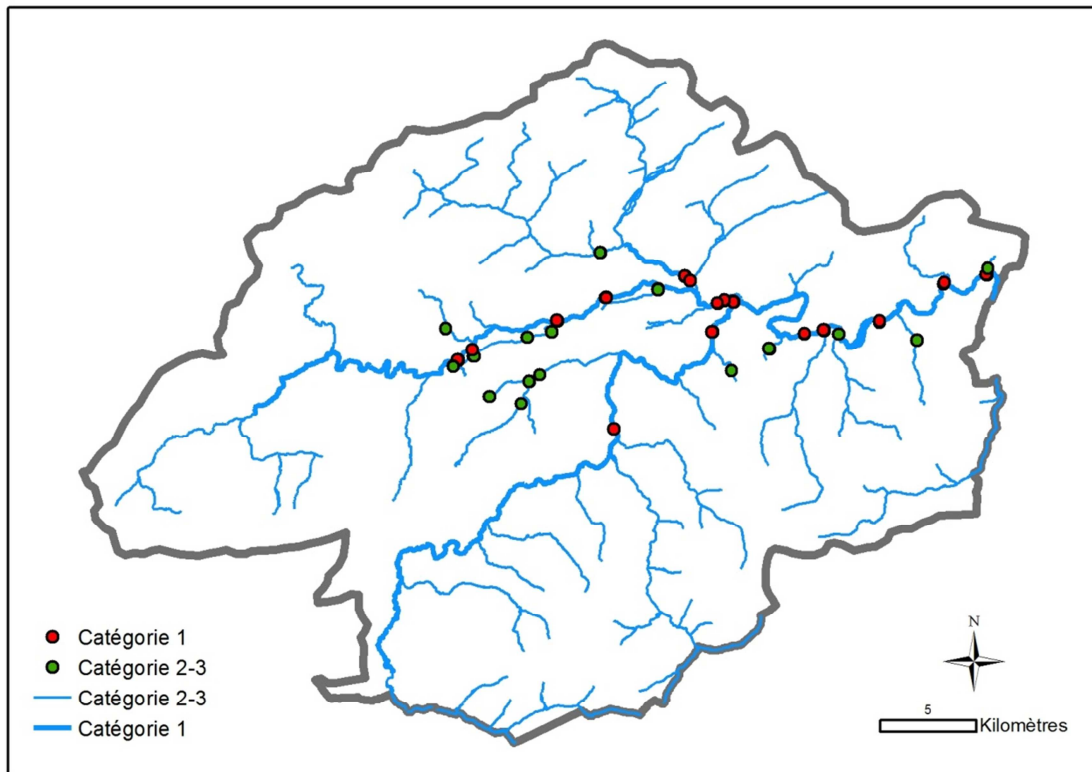


FIGURE 13 : RÉPARTITION DES POINTS DE VALIDATION DANS LA VALLÉE DU VIROIN

3.3.2. RÉSULTATS.

L'ensemble des résultats sont joints au présent rapport, au sein du dossier « tracé_LiDAR »

VALLÉE DE LA HOUILLE 1^{ÈRE} CATÉGORIE

Le polygone « lit mineur » obtenu à partir du jeu de données LiDAR basse densité a été comparé à 6 polygones de référence cartographiés en février 2012. Un polygone a dû être exclu de la validation car il se situait dans une zone où la chaîne de traitement n'a pu parvenir à un résultat. On constate dans le Tableau 7 que lorsque le lit mineur est cartographié, la précision est comparable à celle obtenue avec le LiDAR haute densité dans la vallée de la Houille. Le résultat confirme également la tendance de la méthode à sous-estimer l'étendue du lit mineur.

TABLEAU 7 : EVALUATION DE LA QUALITÉ DU LIT MINEUR CARTOGRAPHIÉ À PARTIR DU JEU DE DONNÉES LIDAR BASSE DENSITÉ

- VALLÉE DE LA HOUILLE

Couche de référence	Différence moyenne +/- écart-type (m)
Validation terrain théodolite (février 2012) – 6 sections	- 0,31 +/- 1,01
Polygone lit mineur LiDAR HD mars 2011	1,32 +/- 2,18

VALLÉE DU VIROIN

Les résultats dans la vallée du Viroin sont obtenus à partir d'une base de données de 64 points (Figure 13) relevés au DGPS, à la limite « terre-eau » en février 2014 et donc, dans des conditions de hauteurs d'eau relativement similaires à celles connues lors de l'acquisition LiDAR basse densité (hiver 2012-2013). Les résultats sont repris au sein du Tableau 8, avec en comparaison et à titre indicatif, les résultats de la même analyse réalisée à partir de la couche « secto » (dérivées de l'atlas DCENN).

TABLEAU 8 : EVALUATION DE LA QUALITÉ DU LIT MINEUR CARTOGRAPHIÉ À PARTIR DU JEU DE DONNÉES LIDAR BASSE DENSITÉ

VALLÉE DU VIROIN

Couche de référence	Différence Moyenne +/- écart-type (m) lit mineur LiDAR	Différence Moyenne +/- écart-type (m) axes couche « secto »
Pieds de berge relevés au DGPS C1	-0,75 +/- 1,17	6,28 +/- 4,48
Pieds de berge relevés au DGPS C2-C3	2,74 +/- 2,28	21,07 +/- 40,07

Concernant le lit mineur cartographié pour les secteurs de 1^{ère} catégorie, les résultats sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus dans la vallée de la Houille, avec cette même tendance, inhérente à la méthode, à la sous-estimation de l'étendue du lit mineur. Pour les catégories 2 et 3, les résultats peuvent sembler moins concluants. Toutefois, il est important de rappeler que cette comparaison n'est non plus faite à partir d'un polygone « lit mineur », mais bien d'axes identifiés à partir du MNT LiDAR. Les points relevés étant au niveau de la limite terre/eau et non pas au centre du cours d'eau, l'erreur enregistrée est donc systématiquement biaisée de la largeur du cours d'eau. Autre élément important, les apports en comparaison des données actuellement en usage (atlas DCENN) sont importants et démontrent l'apport potentiel de ces résultats.

3.4. CARACTÉRISATION DES SECTEURS PARIS

Les produits précédemment dérivés d'une part du jeu de données LiDAR basse densité (cas de la largeur de lit mineur) et des images brutes de la couverture ortho 2012 d'autre part (Modèle Numérique de Surface photogrammétrique) voir d'une combinaison des deux (cas du Modèle Numérique de Hauteur) ont été utilisés comme données source afin d'améliorer la caractérisation des secteurs de gestion dans l'optique de la planification ainsi que le suivi-évaluation des PARIS. Les variables descriptives des secteurs de gestion ont principalement trait à la ripisylve et à la morphologie du relief des abords du secteur étudié. Des variables issues de données vectorielles ont également été proposées, telle que la distance moyenne du secteur au réseau routier le plus proche et la présence du secteur dans de vieux massifs forestiers, tels que délimités par Ferraris au 18^{ème} siècle. L'ensemble des variables dont la construction sera évoquée par après est présenté dans le Tableau 9.

TABLEAU 9 : PROPOSITION DE VARIABLES DESCRIPTIVES DES SECTEURS PARIS

Variable	Echelles d'analyse	Description	Données sources	Fréquence de mise à jour potentielle
H_{mean}		Hauteur moyenne de la ripisylve	MNH_Hyb	Trisannuelle (annuelle en 2017)
MeanCont	Lit mineur +6m, +12m ; Lit majeur	Continuité longitudinale moyenne	MNH_Hyb	Trisannuelle (annuelle en 2017)
MeanCont _{global}		Continuité longitudinale globale	MNH_Hyb	Trisannuelle (annuelle en 2017)
CV_ripi		Coefficient de variation de la hauteur	MNH_Hyb	Trisannuelle (annuelle en 2017)
Dist _{road}	Lit majeur	Distance moyenne au réseau routier	Base de données Top10VGIS	Inconnue (mise à jour BD routière) mais peu nécessaire
H_{rel_glob}	Lit mineur +6m, +12m ; Lit majeur	Hauteur relative globale	MNT LiDAR	Inconnue (nouvelle acquisition LiDAR)
Largeur _{c1}	Lit mineur	Largeur indicative (1 ^{ère} catégorie uniquement)	Nuage de points LiDAR	Inconnue (nouvelle acquisition LiDAR)
H_{rel_ripi}	Lit mineur +6m, +12m ; Lit majeur	Hauteur relative de la ripisylve	MNT LiDAR / MNH_Hyb	Inconnue (nouvelle acquisition LiDAR)
Ferraris _{prop}	Lit majeur	Portion du linéaire faisant partie de massifs forestiers sur la carte de Ferraris (18 ^{ème} siècle)	Carto des polygones forestiers de la carte de Ferraris (SPW-DEMNA)	Sans objet, donnée historique

3.4.1. MÉTHODOLOGIE

La méthode proposée est basée sur celle utilisée lors de la caractérisation des secteurs de première catégorie dans la vallée de la Houille (premier projet Imageau). La principale modification réside dans l'automatisation et l'intégration de l'ensemble du processus (y compris la grande majorité des géo-traitements) dans R, permettant l'application de la procédure sur un grand nombre de secteurs. Ce « saut méthodologique » étant réalisé, les outils méthodologiques en termes de traitement de la donnée de base sont dès aujourd'hui implémentables sur l'ensemble du réseau hydrographique wallon, pour peu que les données de base (MNT LiDAR et MNS photogrammétrique) soient disponibles.

CARACTÉRISATION DES SECTEURS : PROCÉDURE DE DÉSAGRÉGATION ET RÉAGRÉGATION

La **FIGURE 14** représente les principales étapes qui vont permettre d'identifier les unités spatiales élémentaires à l'échelle desquelles les analyses seront effectuées. Sur base d'une simplification de l'axe du cours d'eau pour le secteur donné, des points sont générés à une distance minimale de 50m dans le but d'échantillonner longitudinalement la plaine alluviale. Les polygones de Voronoï sont générés sur base de ces points et permettent de diviser l'espace tout en intégrant la complexité liée au caractère méandrique de la vallée. Se surimposant à l'échantillonnage longitudinal, un découpage latéral est également réalisé, afin d'analyser l'évolution des variables analysées à différentes distances par rapport à l'axe principal du secteur étudié. Les différentes échelles d'analyses latérales (Figure 15) ont été fixées à 6 et 12m (par rapport au lit mineur) ainsi qu'au lit majeur tel que délimité lors des conventions « sectorisations ».

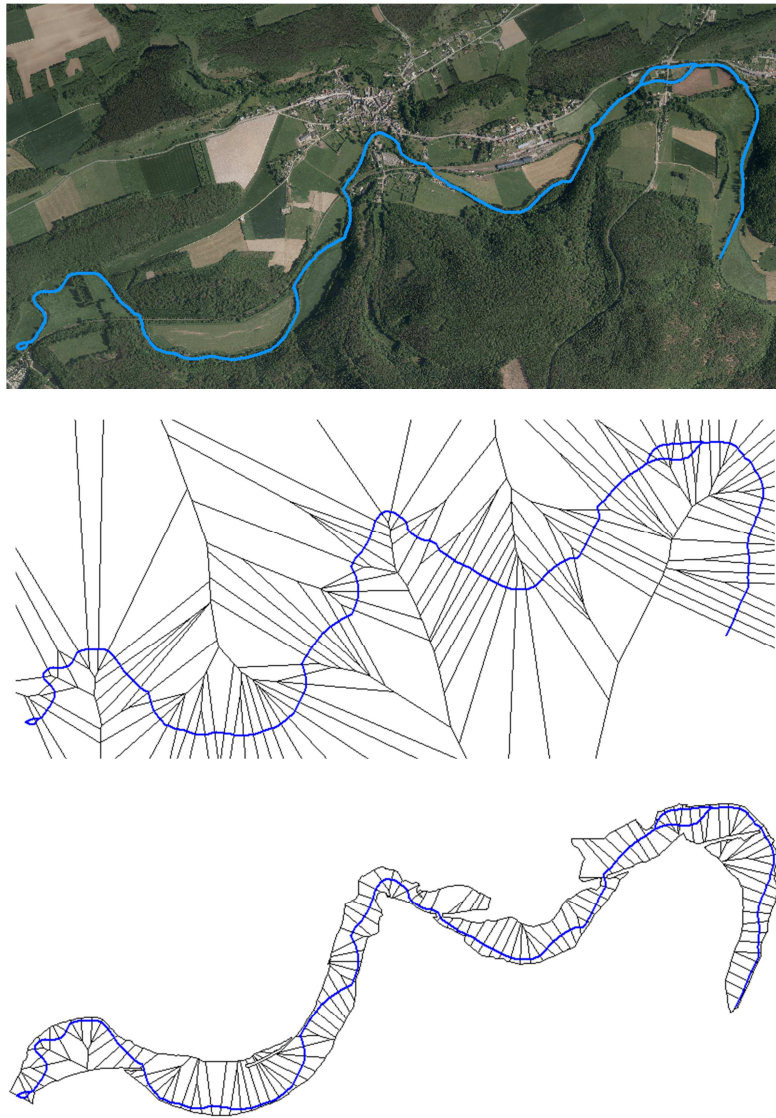


FIGURE 14 : ÉCHANTILLONAGE LONGITUDINAL DE LA PLAINE ALLUVIALE À L'AIDE DES POLYGOUES DE VORONOÏ DE HAUT EN BAS : VUE AÉRIENNE DU SECTEUR « VIROIN 021 » (ORTHO 2012) ; POLYGOUE DE VORONOÏ GÉNÉRÉS (ÉCHANTILLONNAGE LONGITUDINAL) ; ÉCHANTILLONNAGE LATÉRAL (« LIT MAJEUR »)

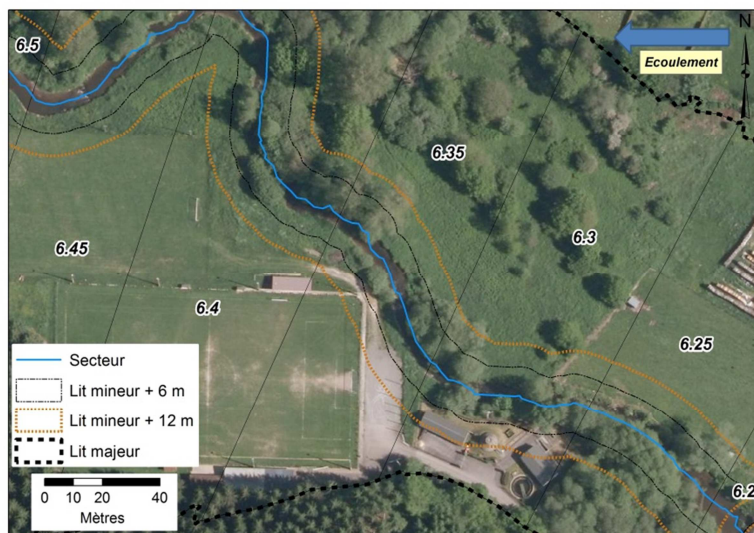


FIGURE 15 : ÉCHANTILLONNAGE LONGITUDINAL ET LATÉRAL – LA HOUILLE EN AVANT DE VENCIMONT

Pour les secteurs de première catégorie où une cartographie du lit mineur a été réalisée à l'aide d'eCognition et sur base du jeu de données LiDAR basse densité (cf. 3.3.1), une largeur médiane est calculée et est ajoutée à ces deux premiers buffers afin de limiter les différences entre secteurs dues à la largeur du lit mineur proprement dit. Cette largeur est calculée via une intersection entre les polygones de Voronoï préalablement générés et le polygone « lit mineur » extrait du jeu de données LiDAR basse densité (Figure 16). La médiane est utilisée pour sa plus grande robustesse aux valeurs parfois aberrantes pouvant être obtenues lors de l'extraction automatique du lit mineur.

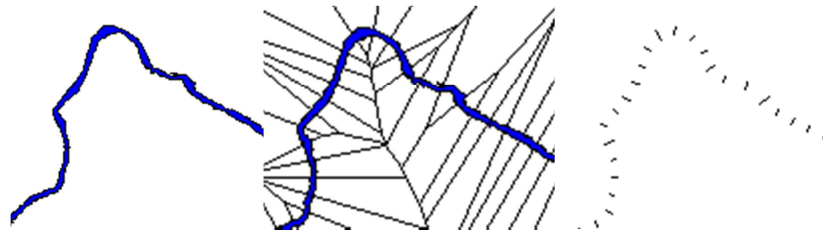


FIGURE 16 : EXTRACTION DE SECTIONS TRANSVERSALES DU LIT MINEUR (CALCUL D'UNE LARGEUR)

Une fois les variables calculées à l'échelle de chaque segment de plaine alluviale (≈ 50 m selon l'axe de la vallée), une procédure de réagrégation (Figure 17) va permettre de synthétiser l'information à une échelle supérieure (secteur de gestion < masse d'eau < sous-bassins).

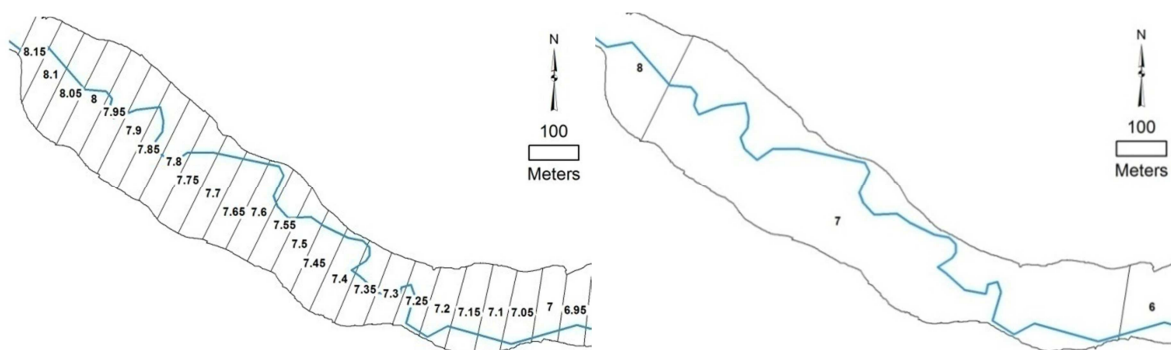


FIGURE 17 : PROCÉDURE DE RÉAGRÉGATION

EXTRACTION DE VARIABLES DÉRIVÉES DU MNT

La principale variable dérivée du Modèle Numérique de Terrain LiDAR basse densité est la hauteur relative au pied de berge. Déjà testée lors du premier projet Imageau, celle-ci permet d'étudier la morphologie du relief à proximité du cours d'eau et notamment d'identifier des zones d'incisions du cours d'eau (Figure 18).

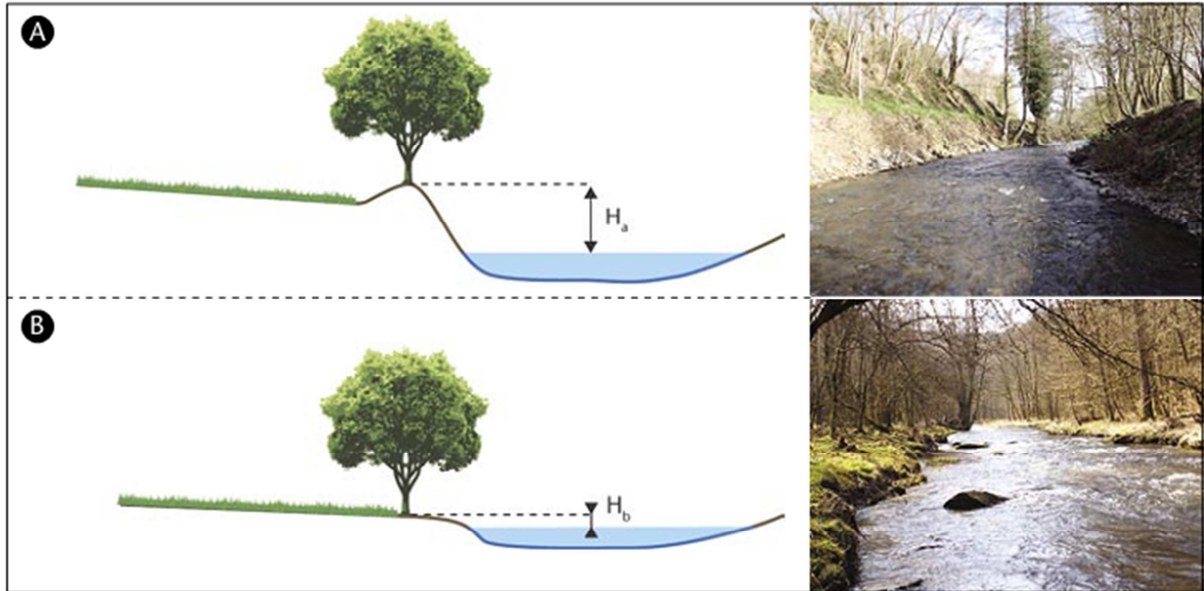


FIGURE 18 : DEUX CAS DE FIGURE DE HAUTEUR RELATIVE AU PIED DE BERGE : $H_A > H_B$

A : LA HOUILLE À FLOHIMONT (GIVET) ; B : LA HOUILLE EN AVAL DE VENCIMONT

Cette hauteur relative est calculée à partir d'un MNT relatif, donnant pour chaque pixel une hauteur par rapport à une référence, ici, l'altitude minimale à l'échelle de la zone d'analyse, que l'on approxime à l'altitude du pied de berge pour le tronçon considéré.

La méthode de construction du MNT relatif consiste à construire un plan de référence altimétrique dans le but d'évaluer les hauteurs rapportées au fond de vallée en tout point des sections orthogonales à l'axe médian des vallées (Figure 19). Les sections orthogonales à l'axe médian sont obtenues à partir des polygones de Voronoï préalablement délimités à partir de points répartis le long de cet axe médian (FIGURE 14). Pour chaque échantillon de plaine alluviale (Figure 19 - B), l'altitude de chaque pixel est soustraite à l'altitude minimale de l'échantillon considéré (\approx altitude minimale du pied de berge pour le tronçon donné). Le raster-résultat est donc un MNT relatif, donnant pour chaque pixel une hauteur relative à la surface de l'eau (Figure 19 - C).

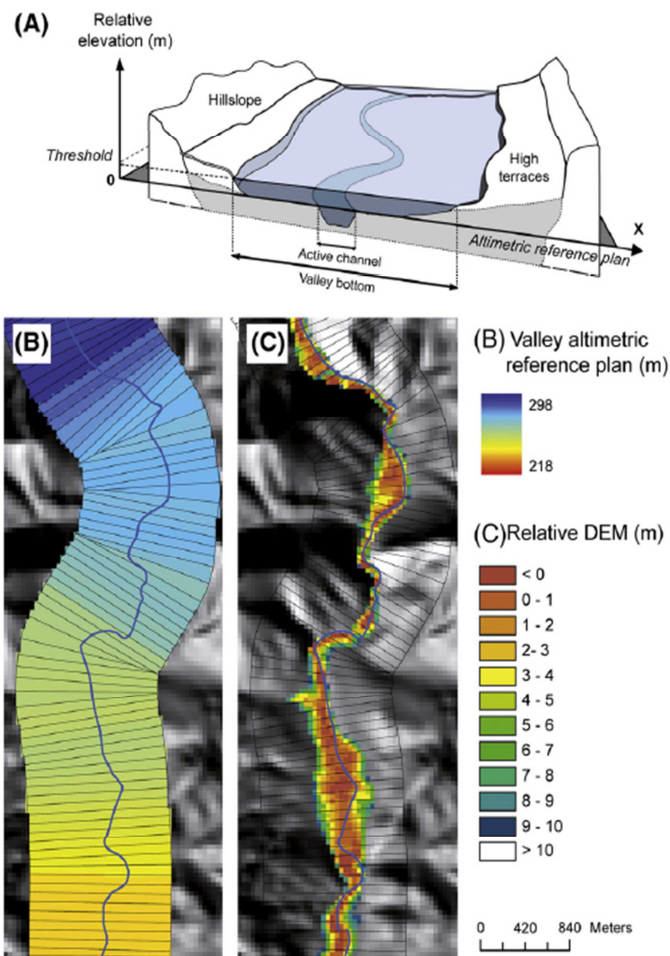


FIGURE 19 : A) PLAN DE RÉFÉRENCE ALTIMÉTRIQUE B) DÉCOUPAGE D'UN FOND DE VALLÉE THÉORIQUE (BUFFER THÉORIQUE AUTOUR DU CHENAL) C) CONSTRUCTION DU MNT RELATIF - D'APRÈS (ALBER AND PIÉGAY, 2011)

Pour un échantillon de plaine alluviale X_i , la hauteur relative globale correspond à la hauteur relative moyenne calculée pour l'ensemble de l'échantillon X_i tandis que la hauteur relative de la ripisylve se rapportera à cette même hauteur, mais cette fois moyennée uniquement pour les pixels classés en tant que « ripisylve ».

EXTRACTION DE VARIABLES DÉRIVÉES DU MNH

Le Modèle Numérique de Hauteur peut fournir des informations précieuses pour le gestionnaire de cours d'eau, notamment en termes d'état d'entretien des ripisylves occupant le domaine géré. Avec la perspective de pouvoir actualiser ces MNH lors de chaque vol ortho sur base trisannuelle, voir sur base annuelle d'ici 2017, ces outils sont de nature à changer radicalement la gestion des ripisylves, notamment en améliorant la planification des entretiens via une objectivation de l'état des peuplements présents.

Pour une plus grande automatisation et pour limiter les échanges entre plateformes (un maximum de processus sont développés dans R), l'approche « objet » développée lors du premier projet Imageau a été remplacée par une approche « pixel ». L'approche pixel délimite les éléments « ripisylve » sur base d'un seuil sur la hauteur, fixé à 2 m, afin d'éviter un maximum la végétation herbacée basse. Afin de limiter les « faux positifs » liés aux bâtiments, le MNH est « nettoyé » sur base des informations issues de la TOP10VGIS de l'IGN en approximant ces zones à 0.

Les secteurs sous-terrains ont été exclus de l'analyse pour des raisons évidentes de cohérence de résultat.

CONTINUITÉ LONGITUDINALE

La continuité de la ripisylve est d'une importance majeure pour de nombreuses espèces mais également dans l'accomplissement du rôle de tampon pour plusieurs effluents agricoles. Elle est une composante fondamentale de la fonctionnalité des ripisylves, notamment en tant que réseau écologique, tant pour la dispersion des végétaux que pour le maintien et la migration d'espèces animales.

La cartographie de la continuité longitudinale revient à localiser, pour une zone d'intérêt donnée, les zones de présence et d'absence de la ripisylve. La méthodologie développée est donc construite autour de ces deux éléments : la définition d'une zone d'intérêt (plusieurs cas de figure étudiés dans l'approche développée) et la cartographie de la ripisylve et de ses trouées.

Pour un échantillon de plaine alluviale X_i , la continuité longitudinale sera évaluée à travers le rapport entre la superficie de la ripisylve présente dans l'échantillon X_i et la superficie totale de l'échantillon X_i :

$$\text{Continuité moyenne } X_i (\%) = 100 * S_{\text{ripisylve } X_i} / S_{\text{tot } X_i}$$

avec $S_{\text{ripisylve } X_i}$: superficie occupée par la ripisylve pour l'échelle d'analyse considérée

$S_{\text{tot } X_i}$: superficie de l'échantillon considéré

On définira la **continuité longitudinale moyenne** pour une unité d'analyse donnée comme la moyenne pondérée via le nombre d'échantillons élémentaires constitutif de l'élément considéré. La **continuité longitudinale globale** sera quant à elle exprimée par le rapport entre la superficie de la ripisylve à l'échelle de l'ensemble de la zone considérée et la superficie totale de ladite zone. La **continuité longitudinale moyenne** reflétera mieux les ruptures dans la continuité longitudinale tandis que la **continuité longitudinale globale** reflétera la situation d'ensemble de la ripisylve et son importance en termes de surface dans la zone considérée.

ENRÉSINEMENT

L'enrésinement, tel que calculé lors du premier projet Imageau n'a provisoirement pas fait l'objet d'analyse mais sera intégré dans les analyses futures. En effet, dans le cadre d'une autre collaboration entre le SPW et l'unité GRFMN, les peuplements forestiers résineux feront l'objet d'une cartographie détaillée à l'échelle wallonne³. Cet aspect pourra donc bénéficier de ces résultats lors d'une collaboration ultérieure.

HAUTEUR DES RIPISYLVES

L'étude de la hauteur des ripisylves a pour vocation la localisation d'éléments favorables à la qualité des ripisylves en tant qu'habitat telle la présence d'individus matures et sénescents, voire la diversité structurelle liée à la présence de différents stades de développement des ripisylves. La hauteur des ripisylves peut également être un bon indicateur dans la planification des coupes et des interventions sur celle-ci dans le cadre des PARIS.

La hauteur des ripisylves sera abordée via deux variables simples : la hauteur moyenne et le coefficient de variation à l'échelle de l'unité spatiale analysée. Les données de hauteur ne permettant pas une mesure directe de la circonférence des arbres, la présence d'individus matures peut être envisagée via l'étude de la hauteur moyenne des ripisylves. Tandis que la diversité structurelle de la ripisylve peut quant à elle être abordée via le calcul du coefficient de variation de la hauteur pour un échantillon donné.

³ Etude des possibilités de mise à jour de la composante forestière de la carte d'occupation du sol de Wallonie à l'aide de données LiDAR aérien à faible densité de point. Convention ULg – Gembloux ABT / DGO3

EXTRACTION DE VARIABLES DÉRIVÉES DE DONNÉES VECTORIELLES

Deux nouvelles variables ont été ajoutées à celles déjà proposées lors des précédentes conventions « sectorisation ».

POLYGONES FORESTIERS « FERRARIS »

Les polygones forestiers de la carte de Ferraris ont récemment été digitalisés par l'équipe du DEMNA. Cette cartographie, datant de la fin du 18^{ème} siècle, permet de mettre en évidence avec une précision à mettre en perspective avec les outils disponibles à cette époque, les bandes riveraines situées au sein de massifs forestiers anciens. Cette variable, quoiqu'indicative, est de nature à compléter les informations par secteurs, et notamment en matière d'intérêt en termes de biodiversité et de conservation pouvant justifier des mesures de gestions particulières.

ACCESSIBILITÉ DES SECTEURS

Cette dernière variable est proposée à titre provisoire, actuellement calculée sur une distance euclidienne moyenne du secteur par rapport au réseau routier, cette variable donne une indication sur l'accessibilité du secteur pour l'entretien de celui-ci. Pareille réflexion ont déjà été menée par l'unité GFRMN pour les questions de voiries forestières et d'accessibilités pour les machines d'exploitation (Colson et al., 2011). Cette distance peut notamment être pondérée en fonction d'obstacle qui peuvent se trouver entre la zone à desservir et le réseau routier : jardins, zones de fortes pentes, rivière elle-même (selon gabarit), ...

3.4.2. RÉSULTATS

Les résultats relatifs aux 192 secteurs caractérisés (Tableau 10) sont transmis à la DCENN sur le support DVD joint au présent rapport, au sein du dossier « caractérisations_secteurs ». Pour une plus grande lisibilité et afin de démontrer le potentiel des outils développés en termes de planification de la gestion des cours d'eau et de leurs bandes riveraines, une analyse conjointe des deux bassins versants est réalisée de manière descendante (bassin versant > masse d'eau > secteur de gestion) et ce, sur une sélection de sites et de variables descriptives. Ces visualisations pourraient à terme être intégrées aux futurs outils « PARIS » (application PARIS et/ou atlas des secteurs).

Une analyse par typologie de variables liées au développement des ripisylves (e.g. continuité longitudinale moyenne, hauteur moyenne, Figure 20 & Figure 21) voire de la hauteur relative par secteur (Figure 22) à une distance de 12 mètres du lit mineur permet de mettre en évidence la cohérence entre les résultats obtenus de manière automatique et ceux obtenus par avis d'expert lors du premier travail de sectorisation. Ces deux figures permettent de visualiser les grandes caractéristiques des typologies, telles qu'une plus grande hauteur moyenne et continuité longitudinale pour les secteurs forestiers, que l'on peut opposer aux secteurs bâtis (discontinus et continus), témoignant d'une hauteur moyenne et d'une continuité longitudinale plus faibles. De manière logique, les secteurs classés en « Zones humides » témoignent également d'une hauteur relative moyenne plus faible que celle des autres typologies.

Au-delà de ces caractéristiques qui se retrouvent dans l'ensemble de la zone d'étude, il est également intéressant de constater des éléments qui diffèrent entre les bassins versants et qui pourraient être de nature à prioriser les actions du gestionnaire en matière de gestion du cordon rivulaire. Par exemple, les secteurs « prairies » de la vallée de la Houille semblent témoigner d'une ripisylve moins fournie que ceux de la vallée du Viroin avec des valeurs de continuités plus faibles, témoignant d'un cordon plus régulièrement interrompu.

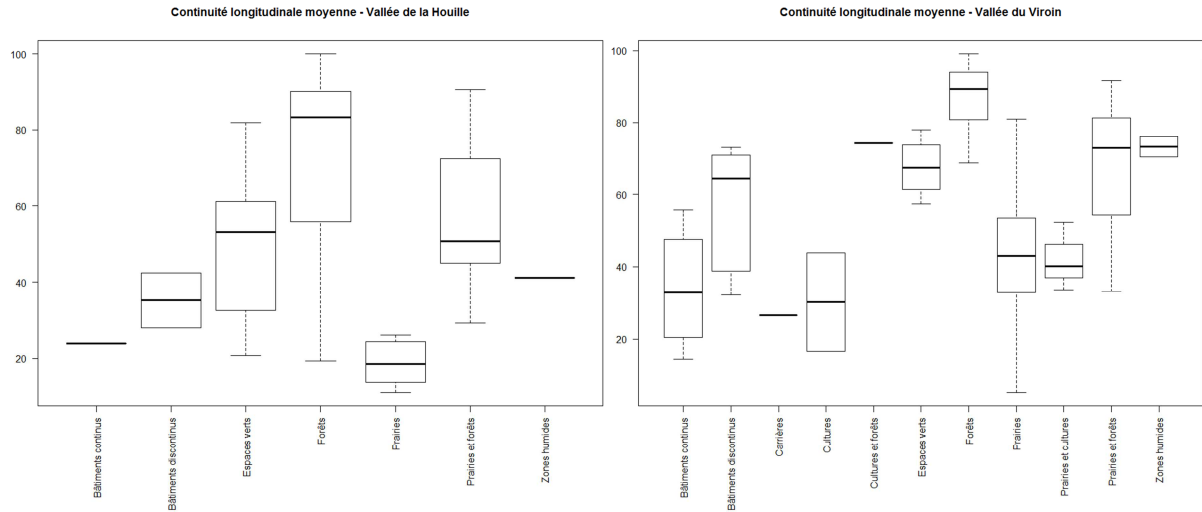


FIGURE 20 : CONTINUITÉ LONGITUDINALE MOYENNE (%) PAR TYPOLOGIE DE SECTEUR À L'ÉCHELLE DU BASSIN VERSANT – LIT MINEUR +12 M ; la différence est importante entre secteurs « prairies » des deux bassins

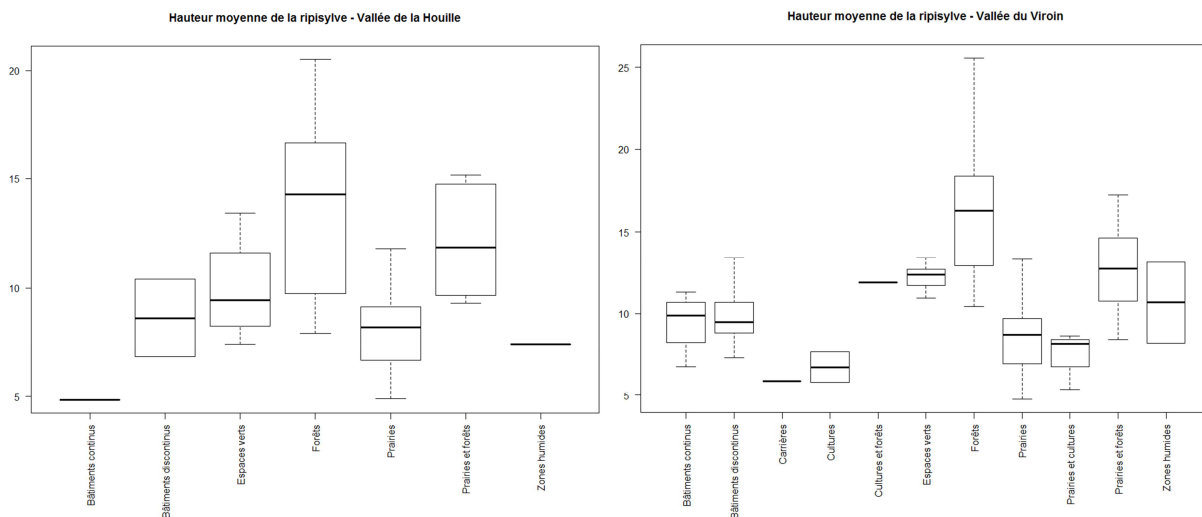


FIGURE 21 : HAUTEUR MOYENNE DE LA RIPISYLVE (M) PAR TYPOLOGIE DE SECTEUR À L'ÉCHELLE DU BASSIN VERSANT

- LIT MINEUR +12 M

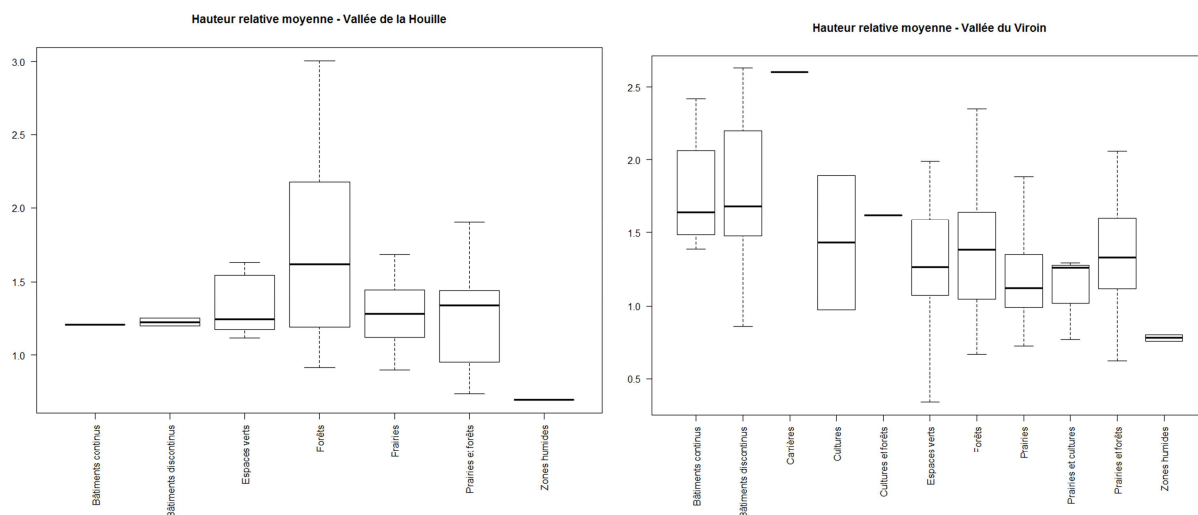


FIGURE 22 : HAUTEUR RELATIVE MOYENNE PAR TYPOLOGIE DE SECTEUR - LIT MINEUR +12 M

TABLEAU 10: TYPOLOGIE DES SECTEURS

Typologie	Nombre de secteurs (Viroin)	Nombre de secteurs (Houille)
Bâtiments continus	4	1
Bâtiments discontinus	14	2
Carrières	1	/
Cultures	2	/
Cultures et forêts	1	/
Espaces verts	11	6
Forêts	39	22
Prairies	26	12
Prairies et cultures	3	/
Prairies et forêts	36	9
Zones humides	2	1
Total général	139	53

Les secteurs comportant à leurs abords une concentration en zones d'habitat sont d'une importance majeure pour le gestionnaire, notamment en terme d'enjeux liés à la protection des biens et des personnes, tels que décrit par la méthodologie des PARIS. Ces zones font en général l'objet d'interventions plus régulières, notamment au niveau des bandes riveraines, afin de maximiser l'écoulement et diminuer les risques d'embâcles au sein de ces zones. Les Tableau 11 et Tableau 12 reprennent par secteur bâti (continu et discontinu) les hauteurs moyennes de ripisylves à différentes échelles d'analyse. Cette information permet de mettre en évidence la diversité en termes de hauteur moyenne par secteur bâti, pouvant être le reflet d'« efforts d'entretien » différenciés. Elle pourrait être utilisée comme outil de planification, pour notamment prioriser les interventions sur les ripisylves à l'intérieur de ces zones.

TABLEAU 11 : HAUTEUR MOYENNE DE LA RIPISYLVE DANS LES SECTEURS "BÂTIS" - VALLÉE DE LA HOUILLE (* VALEURS MAXIMALES)

	Typologie	H _{mean} (6m)	H _{mean} (12m)	H _{mean} (lit majeur)
Houille 003	Bâtiments discontinus	9,5 *	10,4 *	9,26 *
Houille 001	Bâtiments discontinus	6,7	6,8	6,8
Mam213	Bâtiments continus	5,25	4,8	4,6

TABLEAU 12 : HAUTEUR MOYENNE DE LA RIPISYLVE DANS LES SECTEURS "BÂTIS" - VALLÉE DU VIROIN (* VALEURS MAXIMALES)

	Typologie	H _{mean} (6m)	H _{mean} (12m)	H _{mean} (lit majeur)
Mam140	Bâtiments discontinus	14,1 *	13,4 *	12,5*
Viroin 006	Bâtiments discontinus	13,0	12,9	11,0
Viroin 016	Bâtiments discontinus	11,4	11,5	12,0
Viroin 005	Bâtiments continus	11,2	11,3	9,1
Mam096	Bâtiments discontinus	11,1	10,5	10,0
Mam025	Bâtiments discontinus	11,1	10,7	10,3
Mam031	Bâtiments discontinus	10,3	10,5	9,7
Mam112	Bâtiments continus	10,1	9,7	7,5
Viroin 018	Bâtiments discontinus	10,1	9,8	8,8
Viroin 007	Bâtiments continus	9,9	10,1	11,1
Mam118	Bâtiments discontinus	9,1	9,1	6,9
Mam141	Bâtiments discontinus	8,8	9,2	9,2
Mam127	Bâtiments discontinus	8,8	8,8	12,9
Mam124	Bâtiments discontinus	8,7	8,9	8,9
Mam143	Bâtiments discontinus	8,6	8,2	7,6
Viroin 020	Bâtiments discontinus	8,3	8,1	7,2
Mam018	Bâtiments discontinus	7,1	7,3	6,4
Viroin 013	Bâtiments continus	6,1	6,8	8,1

Une autre analyse de l'ensemble de la zone d'étude peut être menée avec des regroupements réalisés cette fois non pas à l'échelle de secteur mais à l'échelle des masses d'eau DCE constitutives des bassins versants étudiés (Figure 23).

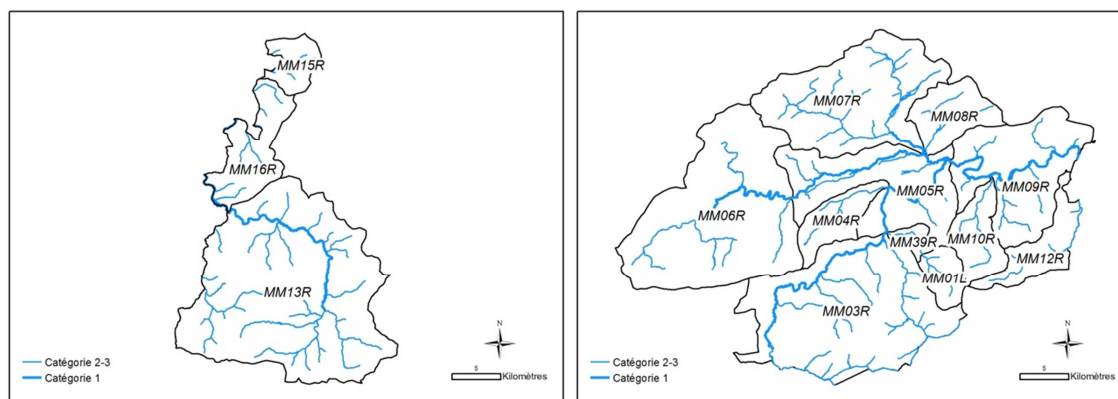


FIGURE 23 : MASSE D'EAU DCE - BASSINS VERSANT DE LA HOUILLE ET DU VIROIN

Pour simplifier la visualisation, une partie des résultats (pour l'échelle d'analyse latérale « lit mineur + 6 m ») ont été agrégés à l'échelle des différentes masses d'eau constitutives des bassins versants étudiés (Tableau 13 et Tableau 14).

TABLEAU 13 : RÉSULTATS PAR MASSE D'EAU DCE (* VALEUR MINIMALE) - VALLÉE DU VIROIN

	MeanCont (%)	CV_ripi (%)	H _{mean} (m)	H _{rel_glob} (m)	Ferraris _{prop} (%)	Dist _{road} (m)
Masses d'eau	<i>Lit mineur + 6 m</i>				<i>Lit majeur</i>	
MM06R	69	34	13.5	1.0	29	121
MM03R	78	30	13.4	1.0	64	113
MM04R	31 *	30 *	9.5 *	1.0	0 *	123
MM39R	79	33	15.3	1.2	45	60 *
MM05R	57	35	10.4	1.1	5	137
MM07R	73	30	12.8	1.1	48	153
MM08R	75	29	11.9	0.7 *	53	235
MM09R	77	34	12.9	1.5	38	159
MM10R	86	22	17.8	1.2	74	254
MM12R	81	30	14.1	1.2	61	203
MM01L	81	31	11.9	0.9	100	105

TABLEAU 14 : RÉSULTATS PAR MASSE D'EAU DCE (* VALEUR MINIMALE) - VALLÉE DE LA HOUILLE

	MeanCont (%)	CV_ripi (%)	H _{mean} (m)	H _{rel_glob} (m)	Ferraris _{prop} (%)	Dist _{road} (m)
Masses d'eau	<i>Lit mineur + 6 m</i>				<i>Lit majeur</i>	
MM13R	63 *	33	12.8	1.1 *	41 *	136 *
MM16R	81	26 *	16.4	1.8	77	140
MM15R	75	29	11.9 *	1.3	84	140

Le faible nombre de masses d'eau dans la vallée de la Houille complique les éventuelles comparaisons entre masses d'eau. Le cas du Viroin présente une plus grande diversité de masses d'eau et quelques requêtes

permettent d'identifier certains enjeux liés à la gestion des masses d'eau et plus spécifiquement du cordon rivulaire.

A titre d'exemple, la masse d'eau « MM04R » regroupe les valeurs minimales quant aux variables liées à la présence de la ripisylve (Tableau 13). Cette différence peut également être mise en évidence via une comparaison de type « boxplot » (Figure 24) ciblée sur la continuité longitudinale moyenne (lit mineur + 6 m).

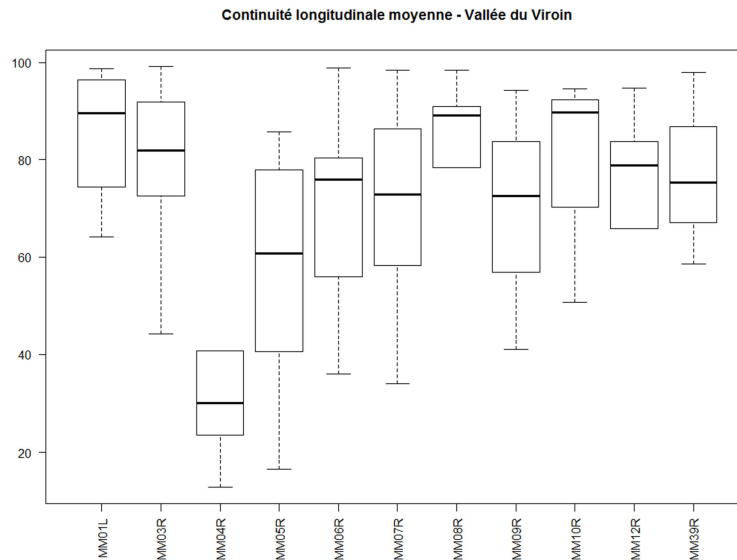


FIGURE 24 : CONTINUITÉ LONGITUDINALE MOYENNE (LIT MINEUR + 6 M) - VALLÉE DU VIROIN - la masse d'eau "MM04R" présente une continuité longitudinale moyenne nettement inférieure à celle des autres masse d'eau du bassin

Ces informations sont donc de nature à attirer l'attention du gestionnaire des linéaires de cours d'eau concernés (la province de Namur dans ce cas-ci) sur l'importante pression subie par le cordon rivulaire au sein de cette masse d'eau.

L'état des ripisylves au sein de cette masse d'eau peut s'expliquer par une forte pression liée à la présence de grandes cultures dans cette zone entièrement dédiée à l'agriculture aux abords de Couvin (Figure 25). Le cas du secteur "MAM114" est évocateur (Figure 26) et présente un cordon extrêmement « resserré » sur l'axe principal du cours d'eau.

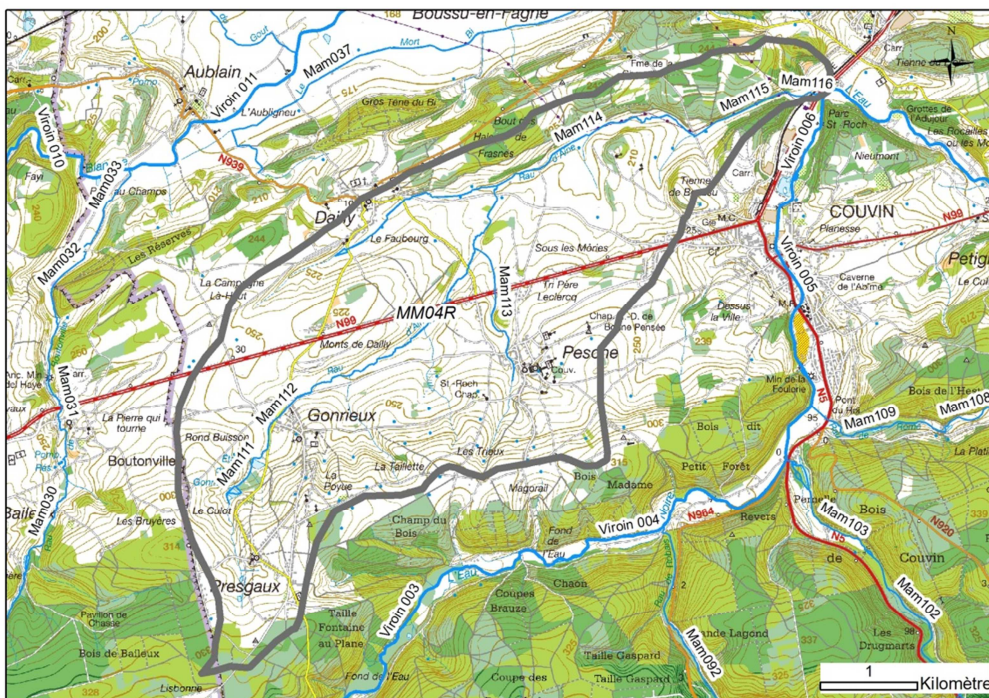


FIGURE 25 : MASSE D'EAU "MM04R" - VALLÉE DU VIROIN



FIGURE 26 : VUE AÉRIENNE (ORTHO 2012) DU SECTEUR "MAM114" AU SEIN DE LA MASSE D'EAU "MM04R" PRÉSENTANT UNE RIPISYLVE TRÈS CLAIRESEMÉE ET CONCENTRÉE SUR LES ABORDS DIRECTS DU COURS D'EAU

A titre d'exemple, la Figure 27 représente une visualisation de l'évolution de la ripisylve à l'échelle d'un secteur individuel (cas du secteur « Viroin 021 », Figure 28). Ce genre d'outil pourrait permettre d'établir certaines priorités, notamment à l'échelle du secteur lui-même. Les portions de cours d'eau où l'on observe une diminution de la continuité longitudinale à l'échelle du lit majeur sont par exemple des portions où il est important de veiller au maintien d'un cordon, qui peut servir d'élément de liaison entre des zones plus boisées. Dans le cas du secteur « Viroin 021 », on observe notamment ce cas de figure aux abords de Treignes (3000 m en aval du point amont du secteur).

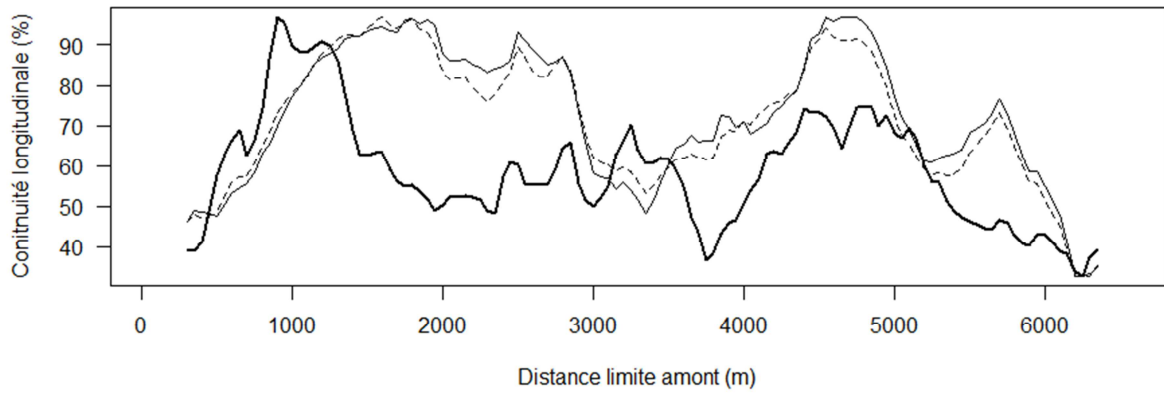


FIGURE 27 : ÉVOLUTION DE LA CONTINUITÉ LONGITUDINALE À DIFFÉRENTES ÉCHELLES LATÉRALES : CAS DU SECTEUR "VIROIN 021" – TRAIT CONTINU ÉPAIS : LIT MAJEUR ; TRAITS FINS : LIT MINEUR +12 M /+6 M

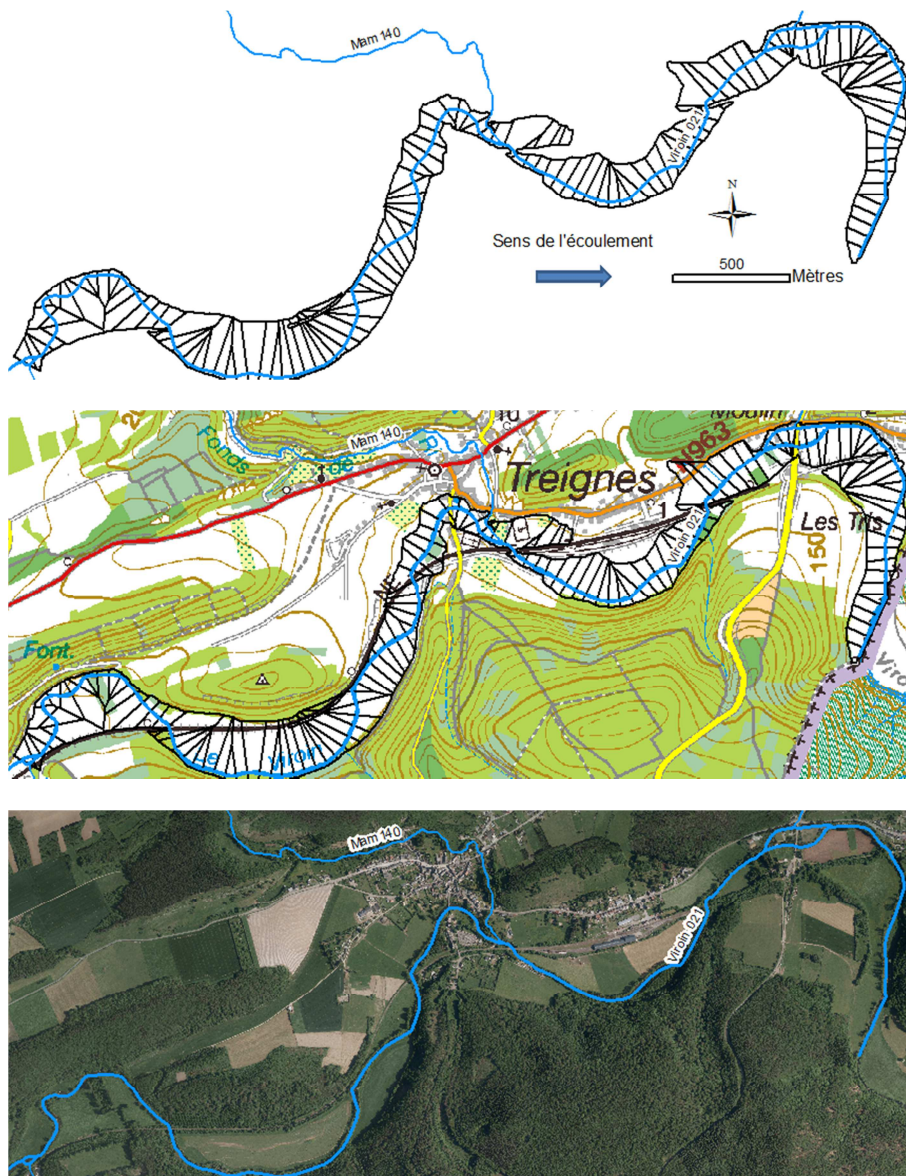


FIGURE 28 : LE VIROIN À TREIGNES AVANT SON PASSAGE EN FRANCE (SECTEUR "VIROIN 021")

4. COMPARAISON AU LIDAR HAUTE DENSITÉ (VALLÉE DE LA HOUILLE)

La quasi intégralité des variables dérivées du MNH LiDAR haute densité dans le cadre du premier projet Imageau ont été adaptées au MNH hybride (LiDAR/photogrammétrie) avec succès (Tableau 15).

TABLEAU 15 : COMPARAISON DES INDICATEURS DES BANDES RIVERAINES OBTENUS À L'AIDE DU LIDAR HD ET LIDAR BD + PHOTOGRAMMÉTRIE

Paramètre de la ripisylve dérivé du LiDAR HD (Imageau 1)	Calcul possible avec le LiDAR BD (Imageau 2)	Commentaire
Continuité longitudinale	X	
Ripisylve en surplomb	/	Impossibilité (carto partielle du lit mineur)
Enrésinement	(X)	Possible mais différé (collaborations autres projets de l'unité GFMN)
Hauteur relative au pied de berge	X	
Hauteur (moyenne, coefficient de variation.)	X	

Dans la vallée de la Houille, la superposition d'un jeu de données LiDAR haute densité et basse densité quasi contemporain permet d'évaluer la qualité des données obtenues à l'aide du jeu de données LiDAR haute densité. Afin de réaliser des comparaisons à l'échelle de secteurs entiers, chaque secteur a été analysé suivant une approche identique, à la différence près que le Modèle Numérique de Hauteur utilisé était dans un cas le MNH « hybride » (MNS photogramétrique – MNT LiDAR BD) et dans l'autre, le MNH dérivé du jeu de données LiDAR haute densité (été 2011).

Le Tableau 16 reprend le résultat de l'analyse par paire des différents secteurs de la vallée de la Houille. Les résultats de ce tableau confirment l'hypothèse d'égalité des moyennes pour la seule hauteur moyenne.

TABLEAU 16 : COMPARAISON DES RÉSULTATS OBTENUS À L'AIDE DU MNH HYBRIDE (MNS PHOTOGRAMMÉTRIQUE - MNT LIDAR BD) À CEUX OBTENUS À L'AIDE DU MNH LIDAR HD – TEST T DE STUDENT (* HYPOTHÈSE D'ÉGALITÉ DES MOYENNES REJETÉE)

Variable	Lit mineur +6m		Lit mineur +12m		Lit majeur	
	P value	Moyenne des différences (m)	P value	Moyenne des différences (m)	P value	Moyenne des différences (m)
H _{mean}	0.6325	-0.46	0.6534	-0.43	0.8654	-0.18
MeanCont	0.01656 *	4.48	0.0175 *	4.60	0.01546 *	5.14
MeanCont _{global}	0.01925 *	4.34	0.02047 *	4.48	0.01486 *	4.94
CV_ripi	0.01607 *	-2.44	0.07366 *	-1.78	0.3838	-0.97

Une partie importante des différences observées peut être expliquée par le phénomène de « drapage » inhérent à la production du Modèle Numérique de Surface photogramétrique (Figure 29). Les biais négatifs constatés au niveau de la hauteur moyenne des ripisylves et du coefficient de variation provient de la sous-estimation par le MNH hybride des hauteurs d'une part et par la régularisation entraînée par le drapage d'autre part. La surestimation des continuités peut également être expliquée par la régularisation entraînée par

le drapage, qui peut occasionner la non reconstruction de petites surfaces plus basses (p. ex sols nus), qui sont alors confondues avec la végétation avoisinante.

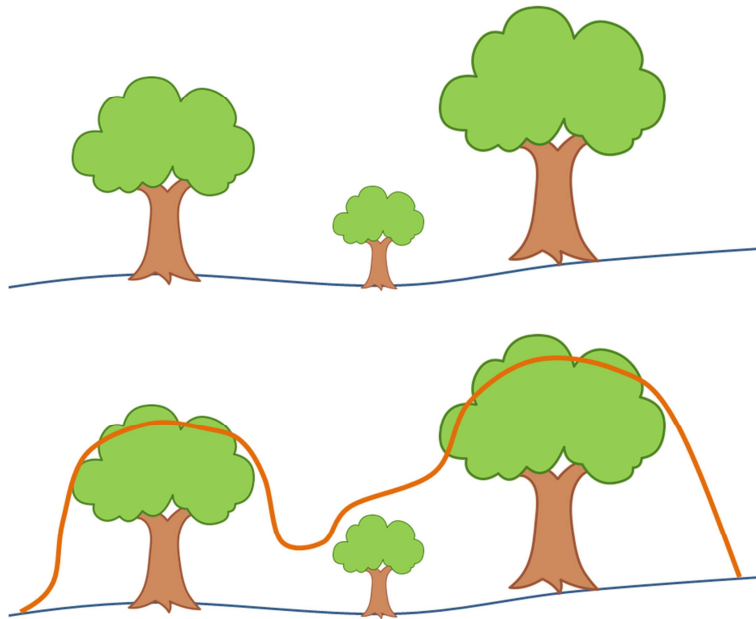


FIGURE 29 : EFFET DE DRAPPAGE INDUIT LORS DE LA GÉNÉRATION DU MODÈLE NUMÉRIQUE DE SURFACE PHOTOGRAMMÉTRIQUE

- EN ORANGE, LE MNS « COUPE » LES APEX DES ARBRES DOMINANT ET « REMONTE » LES DOMINÉS

D'une manière générale, les écarts moyens entre les valeurs obtenues avec un MNH hybride et un MNH issu d'un jeu de données LiDAR HD permettent d'envisager l'utilisation du MNH hybride dans le cadre de caractérisation globale, telle que celle des secteurs de gestion. Localement, le MNH hybride « loupe » régulièrement quelques arbres, pour des raisons qui vont de la nature du peuplement forestier dont la reconstruction photogrammétrique reste problématique (peuplement clairs à deux strates, tel que pinèdes) à la date de prise de vue des images individuelles. Le cas de la vallée de la Houille est par ailleurs problématique pour la campagne 2012, qui a été initiée dans cette zone à une date où de nombreux arbres n'avaient pas encore débourré, entraînant des difficultés supplémentaires pour les algorithmes utilisés (Figure 30).

L'équipe de l'unité GRFMN travaille à l'amélioration des techniques de production de cette donnée et il est fort probable que des améliorations sensibles seront apportées dans les prochains mois.

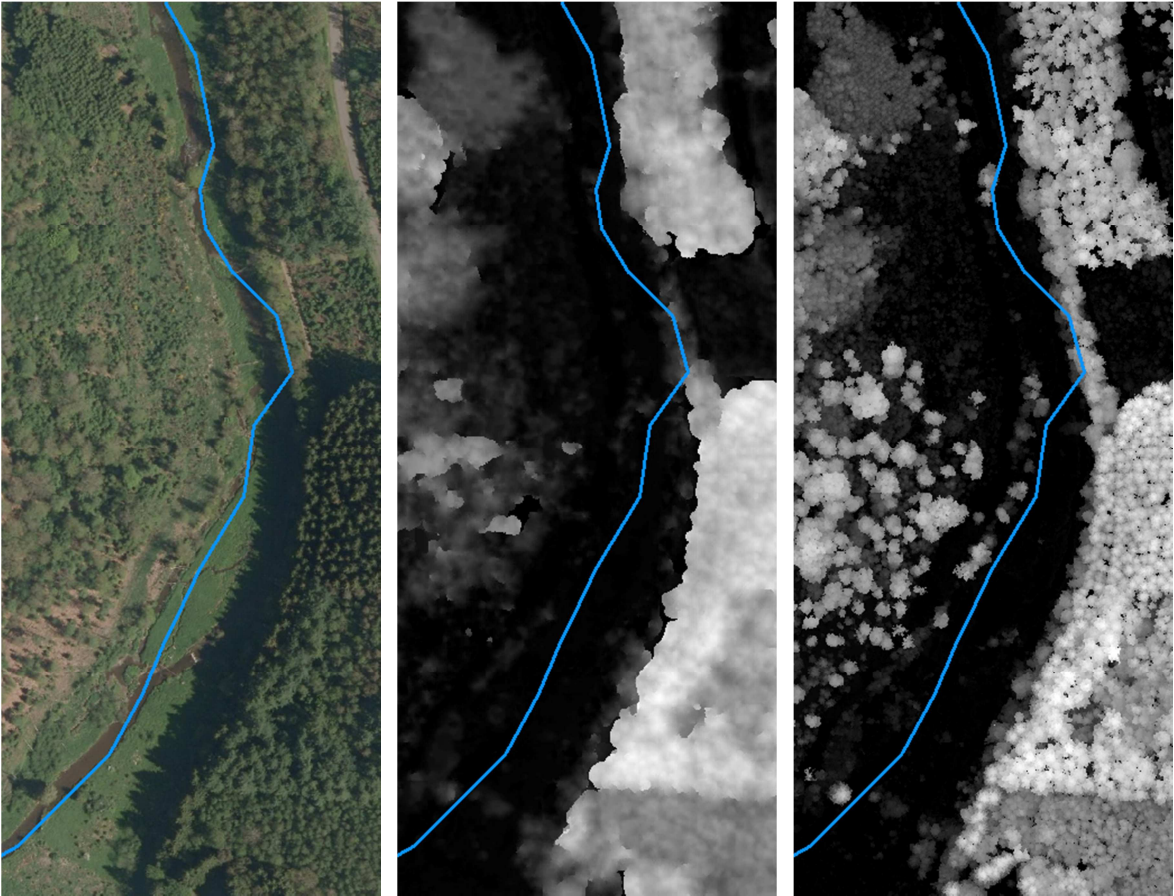


FIGURE 30 : ORTHO 2012 - MNH HYBRIDE (MNS PHOTOGRAMMÉTRIQUE - MNT LIDAR BD) - MNH LIDAR HD

5. CONCLUSIONS

A l'heure actuelle, même si une couverture régulière de la Wallonie avec une donnée de type LiDAR haute densité n'est pas à l'ordre du jour, le projet Imageau 2 démontre l'existence d'alternatives méthodologiques. Via une approche pragmatique, les techniques développées lors du projet valorisent des données d'ores et déjà disponibles (Modèle Numérique de Terrain LiDAR basse densité) et dont l'acquisition futures à intervalles régulières est garantie (images brutes des campagnes ortho).

En termes de qualité intrinsèque de la donnée, l'acquisition en cours d'un jeu de donnée LiDAR basse densité ne peut être valorisée que sous la forme quasi exclusive d'un Modèle Numérique de Terrain. Toutefois, le Modèle Numérique de Terrain LiDAR fournit une donnée altimétrique globale d'une précision jamais atteinte à l'échelle régionale. Ce Modèle Numérique de Terrain LiDAR a été combiné avec succès à un Modèle Numérique de Surface photogrammétrique (dérivé des images individuelles de la couverture ortho 2012-2013) pour générer un Modèle Numérique de Hauteur (50 cm de résolution).

Le passage à l'automatisation quasi-totale des traitements a permis de passer d'une vingtaine de kilomètres de linéaire de cours d'eau à près de 500 km. Ce saut méthodologique étant réalisé, le passage à l'intégralité du réseau hydrographique wallon n'est plus qu'une question de temps de traitement. Les routines quasi intégralement automatisées et la couverture globale des données utilisées permettent d'envisager non seulement le passage à l'ensemble du réseau hydrographique classé, voire même d'intégrer dans les analyses des cours d'eau non-classés, pour peu qu'un linéaire soit délimité. Dans cette optique, les outils dérivés du Modèle Numérique de Terrain LiDAR (cf. section 3.3.1) en matière d'extraction de tracés pourront également être utilisés pour obtenir un tracé des secteurs non classés, où l'information vectorielle est peu précise.

L'automatisation des routines confère au processus de caractérisation des secteurs une plus grande souplesse, notamment pour sa mise à jour où l'ajout de nouvelles variables descriptives. Le lancement prochain du satellite « Sentinel-2 » permettra d'obtenir gratuitement des séries temporelles d'images optiques à une résolution de 10 m et ce, avec une fréquence de revisite inférieure à la semaine. La caractérisation des ripisylves pourra alors être poussée plus loin (e.g. composition spécifique et état sanitaire).

Avec la perspective d'une mise à jour annuelle des campagnes ortho et donc des images individuelles dérivées en un MNS photogrammétrique et MNH « hybride » (MNS photo - MNT LiDAR BD), la dimension temporelle devra également être envisagée. Par exemple, la comparaison des variables liées au développement des ripisylves (hauteur moyenne, continuité longitudinale) à différentes dates permettra d'identifier, via éventuellement un système d'alerte, les zones où des modifications majeures (non répertoriées dans le cadre des PARIS) ont été apportées au cordon rivulaire.

Les outils proposés pourraient également permettre de mesurer l'impact sur les bandes riveraines des mesures des politiques de gestion mises en place. Par exemple, la pose généralisée de clôture à proximité des cours d'eau va nécessairement entraîner des modifications sur la structure des bandes riveraines qui pourront être mise en évidence à l'échelle globale à l'aide de ces outils.

Les variables dérivées du Modèle Numérique de Hauteur « hybride » pourraient notamment permettre une meilleure planification de l'entretien des ripisylves, via une meilleure connaissance du potentiel sur pied, ouvrant la possibilité à une meilleure planification des marchés d'entretien et une éventuelle plus grande professionnalisation des acteurs. L'évaluation du potentiel d'exploitabilité à grande échelle peut se faire via une donnée sur le développement des peuplements (fournie par le MNH hybride), mais également via l'évaluation de l'accessibilité des sites à exploiter. Une estimation de l'accessibilité moyenne a été proposée (cf. section 3.4.1). Cette distance doit toutefois être considérée comme indicative et un approfondissement des

analyses est encore nécessaire pour pondérer celle-ci en fonction de contraintes qui se surimposent à une distance euclidienne (présence de zones habitées, fortes pentes, cours d'eau infranchissables, ...).

Les outils proposés lors du présent projet permettent d'envisager à moyen, voir court terme, l'implémentation des procédures développées lors des différentes collaborations pour suivre de manière régulière et objective l'ensemble des bandes riveraines wallonnes et ce, en valorisant des données existantes et acquises de manière régulière. L'implémentation des outils proposés, notamment dans la future application PARIS, pourraient donc se faire sans entraîner de coûts budgétaires supplémentaires.

Une importante étape d'interaction avec les gestionnaires est maintenant nécessaire pour dégager les paramètres d'intérêt quant à la gestion des bandes riveraines et ce, en relation avec les orientations et législations relatives à la gestion des cours d'eau.

6. PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

"Classification of riparian forest species (individual tree level) using UAV-based Canopy Height Model and multi-temporal orthophotos (Vielsalm, Eastern Belgium)"

Poster présenté dans le cadre d'un workshop « UAV-based Remote Sensing Methods for Monitoring Vegetation », Université de Cologne, Allemagne.

"Utilisation des drones comme outil de suivi de travaux de restauration : génération de séries temporelles d'orthomosaïques à très haute résolution et de modèles numériques de surface"

Poster présenté dans le cadre du colloque de clôture du projet Walphy

"The division of watercourses in the Wallonia region: definition of management units for action programmes on watercourses and their riparian zones"

Article scientifique soumis à la revue « Water Policy » sur la méthodologie des PARIS et de la sectorisation des cours d'eau. *En attente de l'avis des relecteurs*

7. COLLOQUES, VOYAGES D'ÉTUDES

Participation au Workshop « UAV-based Remote Sensing Methods for Monitoring Vegetation », Université de Cologne, Allemagne (09 au 10 septembre 2013), présentation d'un poster (cf. section 6)

Participation au colloque de clôture du projet Walphy, Namur, Belgique (15 au 16 octobre 2013), présentation d'un poster (cf. section 6)

8. COLLABORATIONS

Le projet Imageau a bénéficié de plusieurs collaborations :

Unité de Gestion de Ressources Forestières et des Milieux Naturels :

En dehors du personnel directement impliqué par le projet, différents chercheurs ont appuyé ponctuellement les recherches développées, à savoir :

Stéphanie Bonnet, Jonathan Lisein, François Toromanoff : appui pour le traitement des données LIDAR et utilisation d'*eCognition*, génération du Modèle Numérique de Hauteur « hybride »

Cédric Geerts, Alain Monseur : appui pour l'utilisation et le traitement des données obtenues avec le drone X100

Université de Lyon :

Le Dr Hervé Piégay a appuyé l'équipe dans le cadre de la rédaction du dossier « RiReMo » ayant été soumis à la politique scientifique fédérale (BELSPO).

9. BIBLIOGRAPHIE

Alber, A., Piégay, H., 2011. Spatial disaggregation and aggregation procedures for characterizing fluvial features at the network-scale: Application to the Rhône basin (France). *Geomorphology* 125, 343–360.

Baatz, M., Schäpe, A., 2000. Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation, in: *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge Zum AGIT-Symposium Salzburg 2000*, Karlsruhe, Herbert Wichmann Verlag. pp. 12–23.

Colson, V. and Braun, M., Debaty, J. and Lejeune, P. Identification des zones déficitaires en desserte forestière à l'échelle d'un territoire communal. *Forêt wallonne*, 2011, (114), 26-36.

Dandois, J.P., Ellis, E.C., 2013. High spatial resolution three-dimensional mapping of vegetation spectral dynamics using computer vision. *Remote Sens. Environ.* 136, 259–276.

Mouchet, F., 2010. Guides entretien ripisylve. 42p. SPW, DGARNE

Piégay, H., Pautou, G., Ruffinoni, C., 2003. Les forêts riveraines des cours d'eau: écologie, fonctions et gestion. *Forêt privée française*.