



## La télédétection 3D pour le monitoring régional des cours d'eau et des bandes riveraines associées en Wallonie (Belgique)

Adrien **Michez**, Philippe **Lejeune**, Hugues **Claessens**

Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech - *Biosystem Engineering department* - Gestion des ressources forestières, 2 passage des Déportés, 5030 Gembloux (Belgique)

Hervé **Piégay**

Université de Lyon, UMR 5600 CNRS EVS, Site ENS, 15 parvis R. Descartes, 69362 Lyon Cedex 07, BP 7000 (France)

Olivier **Desteucq**

Service public de Wallonie, Direction générale opérationnelle 3, Département de la ruralité et des cours d'eau, Direction des cours d'eau non navigables, avenue Prince de Liège, 7, 5100 Jambes (Belgique)

### Résumé

Sous l'impulsion de son administration, la Wallonie a entamé un processus de révision des modalités de gestion de ses cours d'eau publics, notamment à travers le projet des Programmes d'actions sur les rivières par une approche intégrée et sectorisée (PARIS). Les PARIS ont pour but d'intégrer dans le temps et dans l'espace l'ensemble des mesures de gestion spécifiques au linéaire des cours d'eau en fonction d'enjeux prioritaires identifiés à l'échelle d'unités de gestion homogènes : les secteurs (6 185 secteurs de gestion de 2 km de long en moyenne). La mise en place et le suivi de ces plans de gestion impliquent de facto le développement d'outils de suivi efficaces, permettant d'établir les états des lieux pour la planification des actes de gestion et à terme, d'évaluer l'efficacité desdits plans de gestion. Ces opérations doivent se réaliser sur près de 12 000 km de cours d'eau et de bandes riveraines associées sur une base objective et commune à l'ensemble des gestionnaires des cours d'eau publics. Des données fines de télédétection sont disponibles et acquises de manière régulière par l'administration wallonne ; des solutions dérivées de ces sources de données permettront de répondre partiellement aux besoins réguliers en information des plans de gestion PARIS à un coût réduit.

Pour atteindre cet objectif, un protocole a été établi à partir de nuages de points lidar (*light detection and ranging* ; densité  $\approx 1$  point « sol » par  $m^2$ ) complétés par des nuages de points photogrammétriques. Ces données ont été utilisées afin de caractériser la structure spatiale des bandes riveraines du réseau hydrographique public wallon à partir de six paramètres. Ces paramètres peuvent être d'ordre hydromorphologique (hauteur des berges, largeur et sinuosité du lit mineur), ou décrire la structure des forêts riveraines (hauteur moyenne et continuité longitudinale des peuplements arborés et ombrage du lit mineur). Différentes formes de visualisations de l'information peuvent appuyer le processus décisionnel des gestionnaires, de l'échelle locale (secteurs d'une masse d'eau DCE (directive cadre sur l'eau) à l'échelle régionale (354 masses d'eau DCE). Les paramètres extraits dans le cadre de ce projet seront prochainement intégrés au sein d'une plateforme informatique permettant leur visualisation à différentes échelles ainsi que l'encodage des actions par les gestionnaires.

*Mots clés : monitoring des cours d'eau, bandes riveraines, lidar, photogrammétrie, approche régionale*

## Abstract

The Walloon administration has initiated a process of reform of river management policies, notably through the project PARIS action programs. The PARIS programs aim the integration in time and space of all specific management measures regarding public waterways based on priority issues identified at the level of homogeneous management units (6185 units, with mean length of 2 km). The implementation and monitoring of these management plans involve the development of effective monitoring tools to establish the initial state, planning acts of management and evaluating the effectiveness of such management plans. These operations must be carried out on nearly 12,000 km of streams and associated riparian area. This task must be realized on an objective and common basis for all of public waterways managers. Fine remote sensing data's are available and regularly acquired by the Walloon administration. Derived solutions of these data sources will partially meet the information needs of PARIS management plans at reduced cost.

To achieve this goal, a protocol has been established based on lidar point clouds (density  $\approx 1$  point «soil»/m<sup>2</sup>) completed by photogrammetric points clouds. These data were used to characterize the spatial structure of riparian areas associated with all of the Walloon public water system (>12,000 km) through six parameters. These parameters can be hydromorphological (height of banks, width, and sinuosity of the riverbed), or describe the structure of riparian forests (average height, longitudinal continuity, and shading of the riverbed). Different types of visualizations can support management decision-making to the local level (single river management unit) to regional (354 waterbodies of the water framework directive). Through various visualizations at different scales, the extracted parameters by the project will be integrated into a webGIS platform used by the river managers to report and plan their management actions.

*Keywords: monitoring of rivers, riparian area, lidar, photogrammetry, regional approach*

## Introduction

---

La Wallonie a entamé un processus de révision des modalités de gestion de ses cours d'eau et des milieux riverains associés, qui s'appuie notamment sur le projet des Programmes d'actions sur les rivières par une approche intégrée et sectorisée (PARIS), validé par le Gouvernement wallon en 2012. 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 bonne marche des programmes PARIS nécessite des outils de suivi multi-échelles, permettant de fournir une information objective et quantitative quant aux objectifs de gestion, voire de restauration des écosystèmes. Du fait de leur organisation linéaire en réseau, les suivis sur le terrain des cours d'eau et des bandes riveraines nécessitent de nombreux (et coûteux) déplacements qui, selon la configuration des berges, peuvent parfois représenter un danger non négligeable pour les opérateurs de terrain. La télédétection à très haute résolution (< 1 m) peut constituer une solution de qualité permettant de construire des approches « wall-to-wall », c'est-à-dire fournissant une caractérisation de l'ensemble d'un territoire donné (pays/région) et donc *a fortiori* de l'ensemble de ses bandes riveraines.

La télédétection s'est longtemps cantonnée à une caractérisation relativement grossière des ressources environnementales à l'échelle de pays entiers, voire de régions. En imagerie aérienne et satellite, les années 2000 ont vu l'émergence de données de résolution métrique, voire submétrique, permettant de décrire plus finement la ressource environnementale. Leur

accessibilité croissante facilite le développement d'outils d'acquisition toujours plus précis et dont les coûts se réduisent de manière constante. Dans le cadre des suivis des aides liées à la politique agricole commune (PAC), la plupart des pays européens mènent des campagnes régulières d'acquisition aérienne d'imagerie optique de résolution toujours plus fine ( $\leq 50$  cm). De manière concomitante à cette plus grande accessibilité de données optiques à très haute résolution, l'avènement des données de type lidar permet de combiner à cette information optique une vue en trois dimensions des surfaces analysées. En plus d'apporter une information très fine sur la topographie (modèle numérique de terrain, MNT) et ce, même sous couvert forestier, les nuages de points lidar permettent également de reconstruire la canopée forestière sous forme de modèles numériques de canopée/hauteur (MNH). L'émergence récente des technologies de la photogrammétrie dite « légère », à opposer à la photogrammétrie traditionnelle, a permis la création de chaînes de traitements facilitant grandement la génération de données 3D à partir d'images acquises avec recouvrement. Lorsqu'une couverture lidar est disponible, l'utilisation de ces données permet de générer et d'actualiser à frais réduits les MNH générés à partir de la donnée lidar seule, en réalisant le postulat que la surface du sol (MNT) est restée la même.

## 1. Enjeux et objectifs

---

La mise en place et le suivi de ces nouvelles modalités de gestion des cours d'eau et des bandes riveraines à l'aide de la télédétection impliquent *de facto* le développement d'outils de suivi efficaces, permettant d'établir et d'actualiser les états des lieux nécessaires à la planification des actes de gestion et, à terme, d'évaluer l'efficacité desdites politiques. À l'échelle de la Wallonie, la mise en place des plans PARIS se traduit par le besoin d'une caractérisation fine sur plus de 12 000 km de cours d'eau et de bandes riveraines associées, sur une base objective, reproductible et commune à l'ensemble des gestionnaires publics. Des données fines de télédétection étant disponibles et acquises de manière régulière par l'administration, le principal objectif de cette recherche est l'évaluation du potentiel des solutions dérivées de ces sources de données quant aux besoins en information des programmes PARIS.

De manière plus spécifique, ce potentiel est évalué à partir de six paramètres [cf. tableau 1]. Les patrons spatiaux sont décrits en lien avec les caractéristiques des territoires (occupation du sol, régions naturelles). Cette recherche ouvre également une réflexion quant aux différentes formes de visualisation de l'information pouvant servir à appuyer le processus décisionnel des gestionnaires à des échelles variées.

## 2. Matériels et méthodes

---

### 2.1 Zone d'étude

La Wallonie représente une superficie de 16 902 km<sup>2</sup> ( $\approx 55$  % du territoire belge), pour un réseau hydrographique géré publiquement de 12 581 km (rivières avec un bassin versant  $> 1$  km<sup>2</sup>) situé au sein de contextes environnementaux variés. Les bassins hydrographiques de l'Escaut et de la Meuse occupent la majorité du territoire. Ce dernier peut être divisé en cinq régions naturelles qui reflètent bien la diversité des configurations des paysages [figure 1, page suivante]. Du nord au sud, on distingue :

- **la région limoneuse** qui est un bas plateau essentiellement agricole recouvert d'une épaisse couche de limon présentant le climat le plus doux de Wallonie ;
- **le Condroz** est un plateau au relief plus marqué où alternent cultures et forêts. Il est fortement incisé par de grandes rivières (Meuse, Sambre, basses vallées de leurs affluents) autour desquelles sont installées les trois villes les plus peuplées du territoire (Charleroi, Liège et Namur) ;
- **la Famenne** (dénommée **Fagne** à l'ouest de la botte de Givet) est une large dépression fortement boisée (38 %) au sol argilo-schisteux, imperméable et peu profond ;
- **l'Ardenne** est la région qui présente à la fois la plus faible densité de population (44 hab/km<sup>2</sup>) et les plus forts taux de boisement (57 %), en raison de sols pauvres et d'un climat à tendance submontagnard très arrosé (> 1 000 mm) ;
- **la Lorraine belge**, prolongement de la Lorraine française, possède un taux de boisement de 38 % sur substrat majoritairement calcaire ou marneux pour une faible densité de population (107 hab/km<sup>2</sup>).

## 2.2 Données et capteurs

La principale source de données utilisée dans le cadre de cette étude régionale correspond à une couverture lidar du territoire. L'acquisition a été réalisée durant les hivers 2012-2013 et 2013-2014, avec une densité moyenne d'un point « sol »/m<sup>2</sup>. La donnée lidar est principalement valorisée à travers un MNT, un MNH ainsi que différentes variables dérivées de la structure du nuage de points, telles que la densité de points classés « sol ». Lorsque la densité du nuage de points lidar est trop faible, celui-ci est localement complété par un nuage de points photogrammétrique.

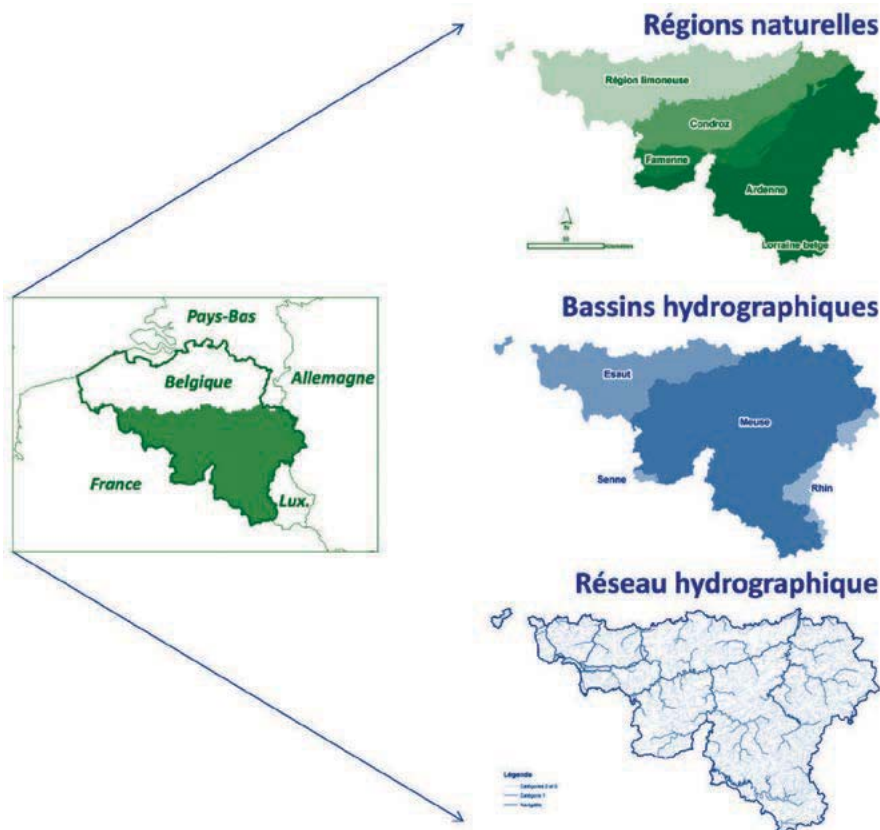


Figure 1. Régions naturelles, bassins hydrographiques et réseau hydrographique de la Wallonie. Le réseau hydrographique wallon représente près de 12 581 km de cours d'eau gérés par le pouvoir public. 6 185 secteurs homogènes de gestion (longueur moyenne de 2 km) ont été identifiés.

Le MNT est majoritairement utilisé pour l'extraction de paramètres strictement physiques des cours d'eau et des bandes riveraines, tandis que le MNH est, quant à lui, utilisé pour une description de la forêt riveraine.

## 2.3 Extraction des paramètres descripteurs

### 2.3.1 Échelle d'analyse

L'extraction des paramètres descripteurs [tableau 1] est basée sur un processus de désagrégation/agrégation [Alber et Piégay, 2011]. Les paramètres sont initialement calculés à l'échelle de linéaires élémentaires de 50 m le long des plaines alluviales considérées, avant d'être ré-agrégés à différentes échelles, allant du secteur de gestion à la région entière, en passant par les masses d'eau DCE et les régions naturelles.

Les secteurs de gestion correspondent à des tronçons considérés comme homogènes sur la base de différentes informations (hydromorphologie, occupation des sols, régions naturelles...). L'ensemble du réseau a été divisé en près de 6 185 secteurs de gestion, d'une longueur moyenne de  $2 \pm 2,6$  km et ce pour l'ensemble du linéaire de cours d'eau géré par les institutions publiques ( $> 12\ 000$  km). Lorsque leur structure spatiale le permet, les paramètres sont calculés à différentes distances du lit mineur (enveloppes + 6 m et + 12 m). Les paramètres sont évalués sur deux réseaux hydrographiques se superposant. Ceux-ci correspondent d'une part à l'ensemble du réseau hydrographique de gestion publique (bassin versant, BV  $> 1$  km<sup>2</sup>) et d'autre part, au réseau hydrographique associé aux principales rivières de la région (BV  $> 50$  km<sup>2</sup>).

**Tableau 1 : Paramètres évalués à l'échelle régionale sur base d'un réseau hydrographique reprenant les cours d'eau de plus de 50 km<sup>2</sup> (2 307 km) et sur l'ensemble du réseau hydrographique classé (12 054 km).**

Paramètres	Superficie du bassin versant		Potentiel indicatif	Intérêt pour la gestion opérationnelle
	< 50 km <sup>2</sup>	≥ 50 km <sup>2</sup>		
Hauteur émergée des berges	✓	✓	Altération morphologique, fréquence d'inondation, indicateur du caractère ripicole	Appui à la localisation de forêt riveraine fonctionnelle
Largeur du cours d'eau		✓	Altération morphologique, qualité de l'habitat riverain	Mise en évidence de tronçons à restaurer / à préserver Localisation de section potentiellement altérée par l'action humaine
Sinuosité	✓	✓	Altération morphologique, diversité des écoulements et des habitats aquatiques	
Continuité longitudinale de la forêt riveraine	✓	✓	Qualité des corridors écologiques pour les migrations	
Hauteur moyenne de la forêt riveraine	✓	✓	Localisation des individus matures, niveau de développement de la forêt riveraine (intérêt pour le gestionnaire)	Objectivation / planification / priorisation de la gestion des forêts riveraines
Caractère surplombant de la forêt riveraine		✓	Indicateur de la fonction d'ombrage, présence d'habitats aquatiques liés à la proximité de la forêt riveraine (sous berge, branchages, chevelus racinaires...)	

*En vert, des indicateurs physiques de qualité de l'habitat ; en bleu, des indicateurs biologiques de qualité des écosystèmes aquatiques et riverains. Plus d'informations sur la construction de ces indicateurs sont disponibles au sein de Michez et al. (2017).*

### 3. Résultats et perspectives

#### 3.1 Validation

La validation des paramètres et des données nécessaires à leur évaluation est décrite plus en détails par Michez *et al.* (2017).

#### 3.2 Visualisation multi-échelle des paramètres descripteurs

L'évaluation des paramètres pour les deux réseaux hydrographiques tests (2 307 et 12 054 km) peut être visualisée selon différentes modalités. La figure 2 propose une représentation des paramètres physiques sur le linéaire hydrographique mettant en évidence de manière opposée les principaux cours d'eau de la région (largeur importante, sinuosité faible) ainsi que les sections situées en amont (largeur faible, sinuosité forte).

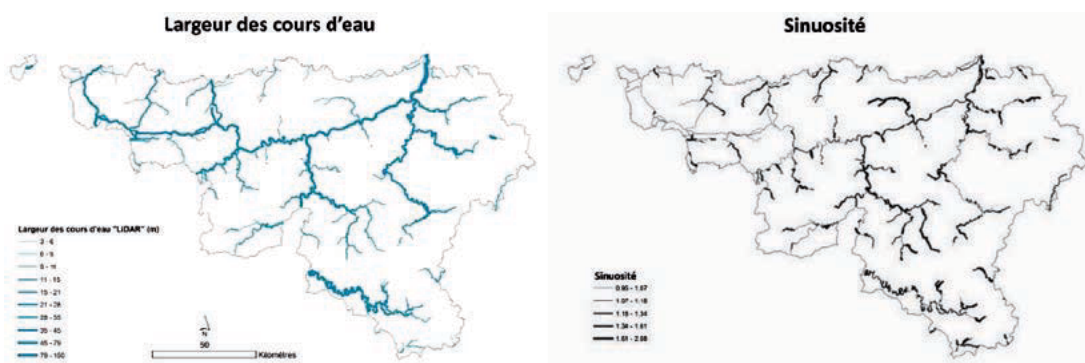


Figure 2. Cartographie de paramètres physiques à l'échelle régionale (2 307 km de cours d'eau) : cas de la largeur et de la sinuosité du lit mouillé.

À l'échelle régionale, la visualisation de paramètres issus de la télédétection peut mettre en évidence des différences pouvant être liées notamment aux activités humaines ou au contexte physiographique. La figure 3 met en évidence une autre forme de visualisation des paramètres physiques. Les boîtes à moustaches permettent ainsi d'observer la distribution des valeurs des paramètres étudiés à l'échelle des secteurs des cinq régions naturelles. Cette analyse montre que la région limonaise se distingue significativement des autres régions pour deux de ses trois paramètres physiques (largeur et hauteur émergée). Elle présente des sections fluviales plutôt

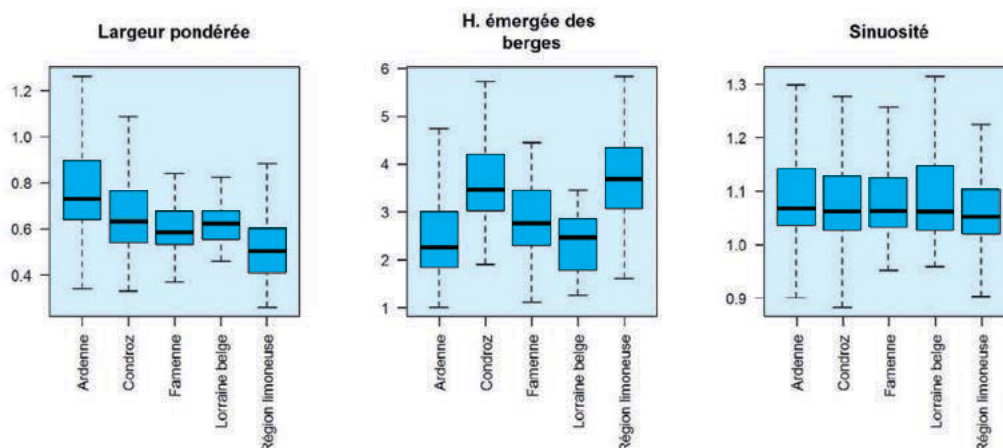


Figure 3. Distribution statistique des paramètres physiques des bandes riveraines de Wallonie agrégés par région naturelle. La pondération de la largeur et de la hauteur émergée des berges par la superficie du bassin versant limite l'impact de la taille des cours d'eau dans les comparaisons (cf. Michez *et al.*, 2017).

plus étroites et plus profondes que celles des autres régions qui peuvent résulter de berges plus cohésives. Ces différences physiographiques inter-régionales permettent de comprendre que les écarts à ces valeurs qui sont potentiellement des indicateurs d'altération doivent toujours être calculés par ensemble physiographiquement homogène.

La visualisation sous forme cartographique [figure 4] peut également être réalisée sur une base non pas linéaire, mais cette fois surfacique ; chaque polygone représentant les aires contributives spécifiques des masses d'eau identifiées par l'administration dans le cadre de la DCE. On voit alors que la continuité longitudinale des forêts riveraines présente une organisation régionale similaire à celle de la hauteur moyenne. Les masses d'eau situées dans les zones agricoles intensives (plateau herbager ardennais et région limoneuse) se démarquent par de faibles valeurs de continuité et de hauteur des boisements, à l'inverse des zones plus bocagères ou forestières des bas-plateaux mosans et des piémonts de l'Ardenne. À l'instar des paramètres physiques, une synthèse à l'échelle des régions naturelles peut être réalisée pour les paramètres forestiers [figure 5]. Cette figure confirme le constat selon lequel le développement des forêts riveraines est le plus faible dans l'ouest de la région limoneuse (Escaut-Lys et Dendre).

Outre l'identification des portions du territoire régional présentant des forêts riveraines particulièrement réduites, la base de données permet d'évaluer leur connexion potentielle à la nappe phréatique et donc indirectement le caractère ripicole de ces boisements à partir de l'étude de la hauteur émergée des berges calculée au sein de l'enveloppe des forêts riveraines [figure 6]. Le caractère perché des forêts riveraines de la région limoneuse y est mis en évidence. Ce dernier résultat pourrait en partie expliquer la très faible présence de l'aune glutineux (favorisé par une nappe phréatique proche de la surface du sol) sur les stations riveraines de cette région qui avait été mise en évidence par le suivi des bandes riveraines mené au cours des années 2000 sur le terrain [Claessens, et al., 2009 ; Debruxelles, et al., 2009].

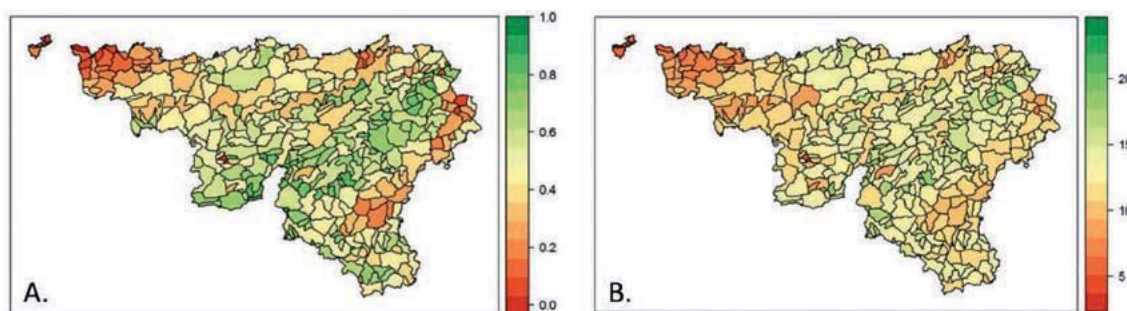


Figure 4. Continuité longitudinale (A) et hauteur moyenne (B) des forêts riveraines (lit mineur + 12 m). Information agrégée à l'échelle des masses d'eau (moyenne pondérée par la longueur des secteurs).

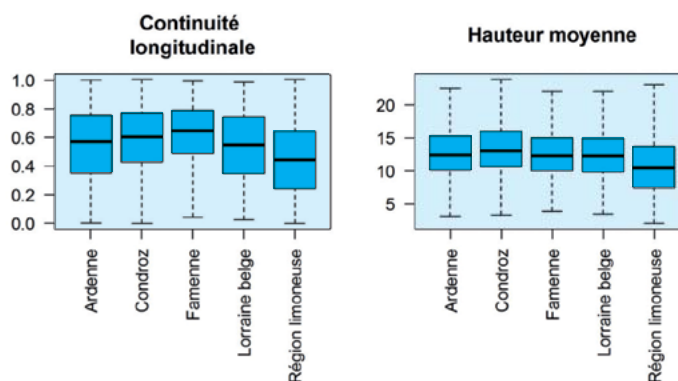


Figure 5. Continuité longitudinale et hauteur moyenne des forêts riveraines (lit mineur + 12 m) à l'échelle des régions naturelles de Wallonie.

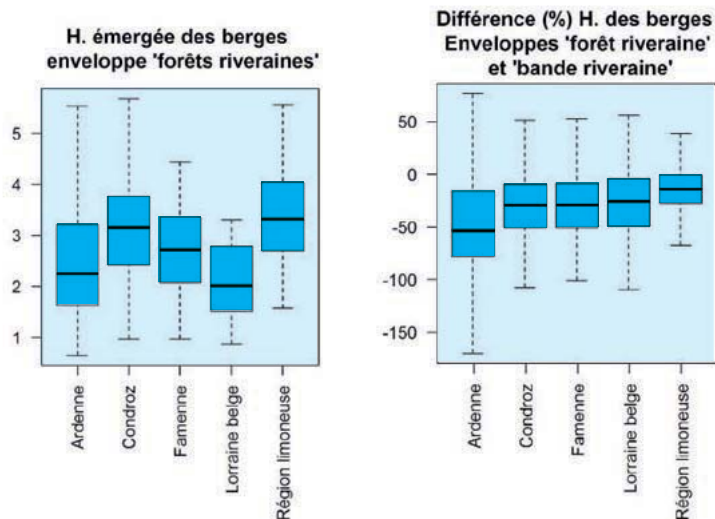


Figure 6. Hauteur émergée moyenne des berges pondérée par la sup. du bassin versant calculée pour la sous-enveloppe « forêt riveraine » et différence entre la hauteur émergée moyenne des berges calculée pour l'ensemble de l'enveloppe lit mineur +06 m et pour la sous-enveloppe « forêt riveraine ». Les observations sont relatives aux cours d'eau les plus importants du territoire (2 307 km, BV > 50 km<sup>2</sup>).

L'étude de la différence entre les valeurs de hauteur émergée moyenne des berges obtenues à l'échelle des bandes riveraines dans leur ensemble et celles obtenues pour le territoire associé aux seules forêts riveraines [figure 6] met en évidence la position plus basse des forêts riveraines dans la majorité des situations. Cette information souligne ainsi l'intérêt de mener une politique conservatoire et de restauration des bandes riveraines et des éléments relictuels de forêt riveraine associés. En effet, au-delà des bénéfices potentiels directement liés à la présence d'éléments arborés en bordure de cours d'eau (fourniture et amélioration des habitats terrestres et aquatiques, bio-filtre...), ces résultats mettent en évidence qu'à l'échelle régionale, la présence d'une forêt riveraine est associée à des portions relativement plus basses et donc potentiellement plus fonctionnelles de l'écosystème rivulaire.

### 3.3 De la télédétection à l'indication pour la gestion opérationnelle ?

Les paramètres descripteurs des bandes riveraines des cours d'eau à l'échelle régionale ont été choisis en raison de leur potentiel en tant qu'indicateur de l'état des bandes riveraines et des cours d'eau, tant en termes de niveau de fonctionnalité de l'écosystème qu'en termes de gestion opérationnelle. Toutefois, un travail de contextualisation et de calibration est nécessaire. La valeur absolue d'un paramètre n'a d'intérêt que lorsqu'un seuil est défini en relation avec le fonctionnement de l'écosystème et la gestion de celui-ci. À titre d'exemple, l'objectif ne peut être de maximiser la continuité de la forêt riveraine en tout point du territoire car celle-ci n'a pas le même intérêt selon le contexte socio-environnemental, ni selon certains enjeux locaux en matière de gestion (par exemple, en présence d'espèces typiques de milieux rivulaires ouverts, telles que l'hirondelle de rivage, *Riparia riparia*).

Pour la gestion des forêts riveraines, les paramètres extraits peuvent constituer un support précieux en matière de planification et de priorisation des interventions. À titre d'exemple, la figure 7 présente une visualisation sous forme de cartes de différents paramètres liés à l'importance de la présence des forêts riveraines. Cette visualisation met l'accent sur les secteurs de gestion présentant une forte densité urbaine sur les rives des cours d'eau. La gestion des forêts riveraines y est généralement plus active en raison d'un enjeu de sécurisation plus important et une volonté de limiter les hauteurs d'eau en période de crue au sein de ces zones.



## Importance de la forêt riveraine en zone bâtie (+12m)

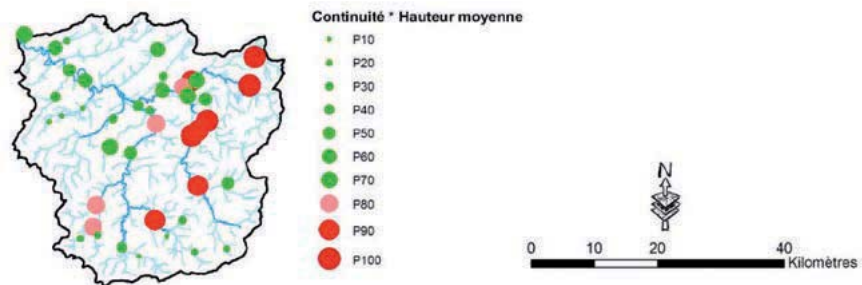


Figure 7. Exemple de spatialisation de paramètres issus de la télédétection en tant que support à la planification de la gestion : niveau de développement de la forêt riveraine (longitudinal et vertical, enveloppe lit mineur + 12 m) au sein des secteurs situés majoritairement à proximité directe d'habitations, cas de la vallée de la Lesse (366 secteurs de gestion,  $\approx 1\,030$  km).

Le classement sous forme de percentile des valeurs associées à un paramètre composite (continuité longitudinale \* hauteur moyenne de la forêt riveraine) permet de visualiser les secteurs où une intervention doit être planifiée en priorité parmi les 366 secteurs publics de gestion ( $\approx 1\,030$  km). Les points de taille importante et de couleur rouge représentent les secteurs associés aux valeurs les plus élevées ( $> 70\%$  des secteurs) des variables liées à l'importance de la présence des forêts riveraines.

## Conclusion

Les outils développés à une échelle régionale ( $> 12\,000$  km) présentent un niveau d'application qui permet d'envisager leur utilisation en routine pour définir des stratégies d'évaluation des plans de gestion des cours d'eau et prioriser les interventions. Pour assurer une plus grande transférabilité, les paramètres descripteurs développés sont exclusivement basés sur des données d'ores et déjà récoltées (cas des indicateurs dérivés de nuages de points photogrammétriques), ou sur le point d'être récoltées (cas des données lidar) de manière régulière par l'administration. Une première exploration de ces indicateurs à l'échelle régionale a été réalisée et a permis d'obtenir une caractérisation fine des bandes riveraines ainsi que des espaces forestiers associés. Cette caractérisation est centrée sur la description de la structure tridimensionnelle obtenue à partir des nuages de points lidar et photogrammétriques. Lors d'agrégations permettant des visualisations à l'échelle régionale, les résultats obtenus reflètent la connaissance a priori des cordons rivulaires et sont conformes aux descriptions réalisées dans le cadre des différents suivis des bandes riveraines [Claessens et al., 2009]. À l'échelle locale, les indicateurs peuvent permettre de détecter l'effet de certaines pressions anthropiques tant au niveau des caractères des forêts riveraines qu'au niveau de la morphologie du cours d'eau et des milieux riverains.

L'intégration de ces données et de ces procédures de calcul d'indicateurs dans le suivi régional des bandes riveraines nécessitera des mises à jour répétées en phase avec les cycles des programmes PARIS. Si la mise à jour régulière des indicateurs relatifs aux forêts riveraines est garantie par l'acquisition annuelle des couvertures ortho du territoire, la mise à jour de la couverture lidar n'est actuellement pas planifiée et sa fréquence de renouvellement n'est pas définie. Une fréquence de mise à jour de la couverture régionale lidar devrait donc idéalement être calquée sur la périodicité des PARIS (six années). L'acquisition d'une couverture lidar selon ces modalités permettrait une mise à jour des paramètres physiques liés à l'hydromorphologie des cours d'eau tous les six ans tandis que les paramètres liés aux forêts riveraines pourraient être mis à jour à mi-parcours selon une périodicité inférieure en utilisant des modèles numériques de hauteurs mixtes (lidar / photogrammétrie) construits à partir des campagnes ortho annuelles.

## Références bibliographiques

- **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, pp. 343-360. doi:10.1016/j.geomorph.2010.09.009.
- **Claessens, H., Rondeux, J., Debruxelles, N., Burton, C., Lejeune, P.**, 2009, « *Le suivi des bandes riveraines des cours d'eau de Wallonie* », *Revue Forestière Française*, 61(6), pp. 595-610.
- **Décamps, H., Fortuné, M., Gazelle, F., Pautou, G.**, 1988, « *Historical influence of man on the riparian dynamics of a fluvial landscape* », *Landscape Ecol* 1, pp. 163-173. doi:10.1007/BF00162742.
- **Michez, A., Piégay, H., Lejeune, P., Claessens, H.**, 2017, « *Multi-temporal monitoring of a regional riparian buffer network (>12,000 km) with lidar and photogrammetric point clouds* ». *Journal of Environmental Management*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.034>.
- **Naiman, R., Décamps, H., McClain, M.E.**, 2005, *Riparia: Ecology, Conservation, And Management Of Streamside Communities*. Academic Press.
- **Naiman, R., Decamps, H., Pollock, M.**, 1993, « *The Role of Riparian Corridors in Maintaining Regional Biodiversity* », *Ecological Applications*, 3, pp. 209-212. doi:10.2307/1941822.
- **Tockner, K., Stanford, J.A.**, 2002, « *Riverine flood plains: Present state and future trends* », *Environmental Conservation*, 29, pp. 308-330. doi:10.1017/S037689290200022X.