

## Développement d'outils semi-automatisés de cartographie de cours d'eau et de zones de contraintes pour la planification forestière

### Mise en contexte et objectifs

La Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier (LADTF) revêt la protection des milieux aquatiques, riverains, humides et des sols afin de mieux protéger ces derniers. Parallèlement à ces révisions, les technologies d'acquisition et de traitement de données géospatiales ne cessent de progresser et d'évoluer. Récemment, le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) du Québec a mis sur pied un plan d'acquisition provincial de données lidar aéroportées dans le milieu forestier. L'utilisation de cette technologie permet entre autres de créer des modèles numériques de terrain (MNT) à très haute résolution spatiale, utiles notamment pour analyser la microtopographie. Il s'agit également d'une avancée majeure pour l'extraction d'attributs forestiers (hauteur des arbres, etc.) par rapport à la méthode traditionnelle de photo-interprétation (Maltamo *et al.*, 2014). Ces nouveautés ouvrent aussi la voie au développement d'outils d'aide à la décision pour la planification forestière, notamment pour la planification des chemins forestiers.

Le centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy (CERFO), avec différents organismes, a travaillé dans les dernières années sur le développement d'outils automatisés permettant la cartogra-

phie de l'hydrographie surfacique et linéaire ainsi que de sites avec contraintes de drainage aux opérations forestières (Varin *et al.*, 2017 ; Varin *et al.*, 2019 ; Drolet, 2020 ; Gadbois-Langevin *et al.*, 2020 ; Lessard, 2020). Ces travaux ont notamment montré que les modélisations répertorient plus de zones humides et de cours d'eau en milieu forestier que ceux déjà cartographiés actuellement. Les outils automatisés développés servant à cibler la présence de ces éléments permettent donc notamment de les cartographier avec une plus grande précision. Ces résultats impliquent pour l'industrie forestière une planification plus fine des chantiers ainsi que moins de corrections sur le terrain. Cependant, bien que les résultats obtenus aient permis de mettre en évidence leur pertinence et leur précision, les efforts de recherche sont à poursuivre afin de réduire le niveau d'erreurs, encore trop élevé dans le cadre d'une utilisation courante dans la pratique. Face à ces constats, l'objectif du projet était de développer des outils semi-automatisés d'aide à la planification des chemins à partir de données lidar. Cinq volets ont été étudiés : 1) la modélisation des cours d'eau linéaires, 2) l'identification des cours d'eau ayant une forte pente, 3) l'identification des chutes d'une hauteur de plus d'un mètre, 4) la cartographie des zones de contraintes humides et 5) la modélisation de chemins forestiers visant un coût de déplacement le plus faible. Le projet de recherche a été réalisé sur trois zones de test proposées par les partenaires.

Pour les quatre premiers volets, le CERFO a d'abord perfectionné le modèle d'identification des zones humides (les zones humides correspondent aux classes de drainage 5 et 6 des normes de stratification écoforestière) et des cours d'eau existants. Ensuite, des nouveaux modules ont été développés pour identifier certaines dispositions de l'article 103 du règlement sur l'aménagement durable des forêts (RADF) (voir encadré à la page suivante). Finalement, pour le cinquième volet, un nouvel outil a été développé spécifiquement pour faciliter le tracé des chemins durant la planification forestière.



Figure 1 : Mesure d'une chute verticale en forêt.

### Équipe de réalisation

Anne-Marie Dubois, B.Sc., tech. géom., [amdubois@cerfo.qc.ca](mailto:amdubois@cerfo.qc.ca)

Mathieu Varin, M.Sc., [mvarin@cerfo.qc.ca](mailto:mvarin@cerfo.qc.ca)

François Morin, ing.f., Ph. D., [fmorin@cerfo.qc.ca](mailto:fmorin@cerfo.qc.ca)

Règlement sur l'aménagement durable des forêts (RADF) : Article 103

Le RADF indique que lors de la construction, de l'amélioration ou de la réfection d'un chemin qui traverse un cours d'eau, un ponceau doit être aménagé de manière à assurer le libre passage du poisson, sauf si, à moins de 250 m en amont ou de 500 m en aval du site de traversée, l'une ou l'autre des situations suivantes se présente :

1. Il y a présence d'une chute d'une hauteur de plus de 1 m, mesurée à partir de la surface de l'eau, et aucune frayère identifiée sur le terrain ou indiquée dans les données géospatiales servant à la planification forestière n'est présente entre la chute et le site de traversée ;
2. Le lit du cours d'eau présente une section de roche-mère lisse dont la pente moyenne est de 5 % ou plus sur une distance minimale de 3 m et où la profondeur d'eau s'écoulant sur l'ensemble de cette section est de moins de 100 mm ;
3. Une section du cours d'eau présente une pente égale ou supérieure à 20 %, évaluée à l'aide de cartes topographiques du ministère ou observée sur le terrain sur une distance de plus de 20 m.

Un ponceau n'a pas non plus à être aménagé de manière à assurer le libre passage du poisson si, à moins de 250 m en amont du site de traversée, le lit du cours d'eau disparaît sur une distance de plus de 5 m. À la demande des partenaires, des portions des paragraphes 1 et 3 ont été étudiées dans le cadre de ce projet de recherche. Les notions de distance (250 m en amont et 500 m en aval du site de traversée) ont quant à eux été considérées pour le développement du 5e outil.

1) Cours d'eau : écoulement

La modélisation des cours d'eau est basée sur une analyse permettant de déterminer la direction d'écoulement de chaque pixel du MNT par rapport à ses voisins immédiats. Ensuite, une analyse est réalisée visant à cumuler la superficie drainée par chaque pixel. Ce type d'approche est tributaire de prétraitements appliqués sur les données lidar pour gérer les obstacles à l'écoulement (p. ex. pont) et les ponceaux par différentes techniques (filtrage, brûlage et brèchage automatique). La Figure 2 montre un exemple de prétraitement.

Le Tableau 1 présente les résultats pour l'analyse de l'écoulement des cours d'eau. Le résultat global de confirmation par le modèle est de 62 %, tous types de cours d'eau confondus. Cette performance est partiellement expliquée par le fait que le site 2 est principalement constitué d'un dépôt fluvioglaciaire (Figure 3). Ce type de dépôt, composé d'une matrice relativement perméable, a tendance à favoriser un écoulement souterrain, ce qui n'est pas considéré par le modèle. Des travaux à venir

se penchent par ailleurs sur ces questions. Le Tableau 1 détaille la performance par site.

À retenir des résultats de l'écoulement des cours d'eau :

- Presque aucun écoulement n'a été omis.
- En excluant le site 2, la précision moyenne est d'environ 88 %.
- Le type de dépôt aura une très grande influence sur la modélisation. Par exemple, les dépôts organiques (7T, 7E) et fluvioglaciaires (2BE) favoriseront plutôt un écoulement souterrain alors que les dépôts glaciaires sont plus imperméables (1AM, 1A). La modélisation est plus performante dans les dépôts glaciaires.
- L'intégration de données de ponceaux augmentera grandement la qualité de la modélisation. En effet, afin d'assurer un MNT hydrologiquement cohérent et une modélisation fidèle à la réalité du terrain, il faut être en mesure d'identifier les ponceaux sur le territoire. Ces structures ne sont malheureusement pas visibles directement sur les données lidar, mais peuvent être déduites par la microtopographie près des chemins. Il faut alors les intégrer manuellement aux prétraitements. Pour ce faire, nous utilisons une technique appelée « brûlage », c'est-à-dire que le MNT est creusé aux endroits où il y a un ponceau identifié pour limiter les obstacles à l'écoulement. La Figure 2 montre l'impact du brûlage sur la modélisation de l'écoulement ainsi que l'importance d'intégrer les ponceaux au modèle afin d'obtenir une meilleure précision.

Tableau 1

Site	Confirmation (%)	Omission (%)	Commission (%)
1	93	0	8
2	35	1	64
3	83	0	17
Global	62	1	37

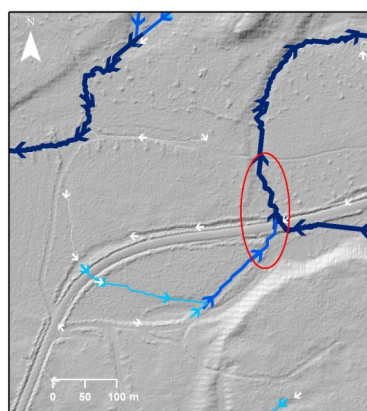
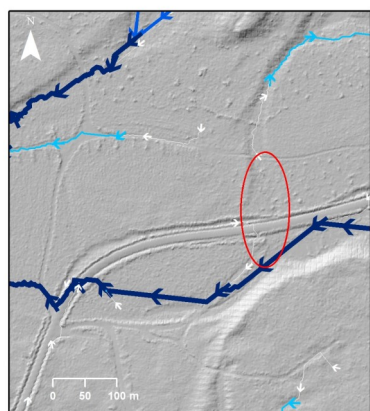
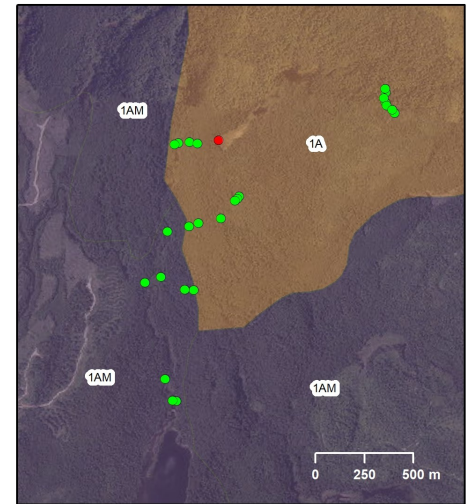
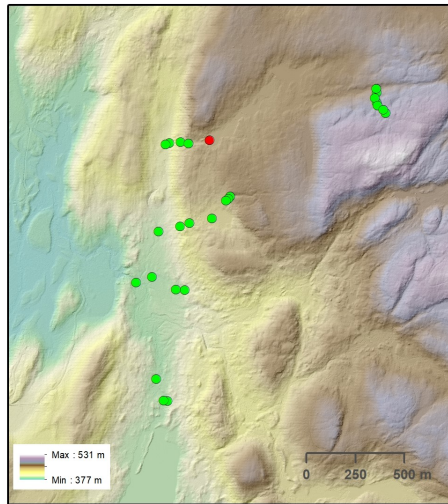
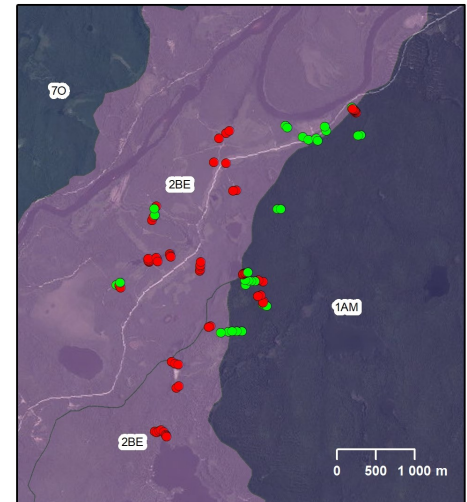
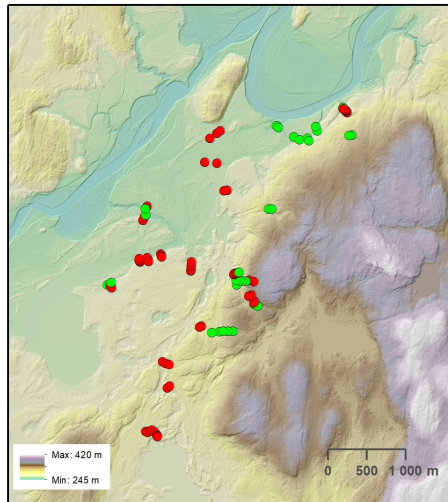


Figure 2 : Brûlage de ponceaux. (Flèches : direction de l'écoulement. Lignes blanches : zone d'intermittence. Lignes bleu pâle : cours d'eau intermittents. Lignes bleues foncées : cours d'eau permanents.)  
Figure de gauche : Un cours d'eau permanent modélisé sans traitement de brûlage préalable. Malgré sa classe d'écoulement permanent, ce cours d'eau n'a pas été confirmé sur le terrain.  
Figure de droite : L'ajout d'une étape d'identification manuelle des ponceaux les plus évidents aide à corriger les erreurs de modélisation. Le cercle rouge montre la déviation du cours d'eau modélisé une fois le prétraitement effectué.

Site 1.  
MNT (gauche) et dépôt de surface (droite).  
Points verts : Écoulements modélisés confirmés sur le terrain.  
Points rouges : Écoulements modélisés non confirmés sur le terrain.



Site 2.  
MNT (gauche) et dépôt de surface (droite).  
Points verts : Écoulements modélisés confirmés sur le terrain.  
Points rouges : Écoulements modélisés non confirmés sur le terrain.



Site 3.  
MNT (gauche) et dépôt de surface (droite).  
Points verts : Écoulements modélisés confirmés sur le terrain.  
Points rouges : Écoulements modélisés non confirmés sur le terrain.

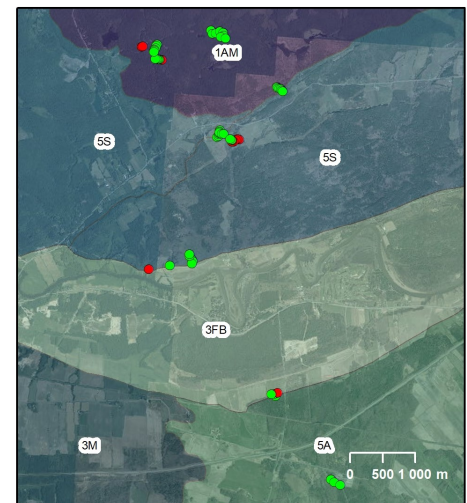
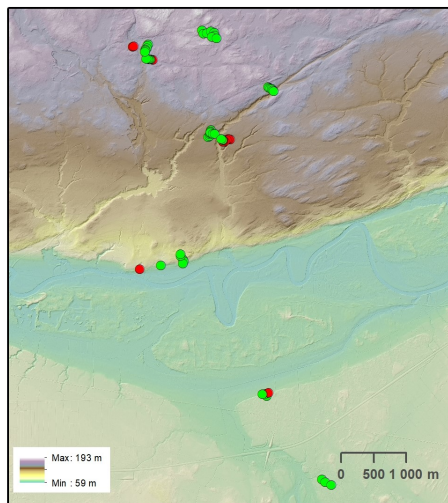


Figure 3 : Les figures ci-dessus présentent les résultats de la validation effectuée par les partenaires pour les trois sites. On peut constater sur ces figures que la majorité des points de validation du site 2 sont localisés sur une plaine d'épandage (2be). Comme mentionné plus haut, le modèle ne considère pas les propriétés du sol, ce qui impacte négativement la performance de celui-ci dans les secteurs composés de ce type de dépôt.

## 2) Pente sur cours d'eau

La modélisation des zones de pentes fortes et des chutes sur les cours d'eau repose sur un calcul itératif basé sur les données lidar rendues disponibles par le MFFP. Une campagne de validation terrain a été menée par les partenaires du projet en se servant des méthodes habituellement utilisées par ceux-ci. Cette campagne de validation a permis d'établir que le modèle prédisait la présence d'une zone de pente forte avec une précision moyenne (tous partenaires confondus, ce qui correspond également aux trois sites du projet) de 74 %. Les méthodes utilisées pour effectuer les mesures sur le terrain variaient néanmoins d'un partenaire à l'autre et impliquaient généralement des GPS de marque Garmin dont la précision en hauteur (coordonnées en Z) est plutôt limitée. Il est intéressant de noter que les résultats obtenus lors d'une campagne réalisée pour un autre projet en cours et utilisant une méthode précise de calcul de dénivelée à l'aide d'une mire télescopique et d'un clinomètre (voir encadré sur le sujet) suggèrent toutefois une précision supérieure (de l'ordre d'environ 20 % selon les analyses préliminaires).

Finalement, il est important de mentionner que la détection des zones de pentes fortes s'appuie sur la localisation des cours d'eau modélisés. La précision est donc dépendante de la précision du réseau d'écoulement linéaire généré.

## À retenir des résultats de l'écoulement des pentes sur cours d'eau :

- Précision globale : 74 %
- Considérant les résultats d'analyses préliminaires d'un autre projet, il est possible de penser que le modèle est en fait plus performant que les résultats actuels.
- On observe en effet une amélioration d'environ 20 % par rapport aux méthodes traditionnelles employées (avec GPS peu précis en Z).
- Autrement dit, l'outil développé améliore de 20 % la précision de l'identification d'une pente sur cours d'eau comparativement à la méthode utilisée actuellement par les professionnels sur le terrain.

Tableau 2

Site	Confirmation (%)	Omission (%)	Commission (%)
1	64	3	22
2	72	0	28
3	82	8	10
Global	74	4	19

### RAPPEL

- **Confirmation** : L'écoulement modélisé a été confirmé sur le terrain
- **Omission** : La modélisation n'a pas prédit d'écoulement, mais il y en avait sur le terrain. L'omission est un faux négatif.
- **Commission** : La modélisation a prédit un écoulement, mais il n'y en avait pas sur le terrain. La commission est un faux positif.

### Méthode de mesure de la pente avec mire télescopique et clinomètre

Description de la méthode utilisée par le CERFO pour valider l'identification des pentes sur cours d'eau :

1. Localiser la pente et identifier le point correspondant au bas de pente.
2. L'utilisateur à gauche de l'image (bas de pente) demeure à ce point.
3. À partir du bas de pente établi, le second utilisateur mesure 20 m à la chaîne en suivant le cours d'eau.
4. Une fois à la marque de 20 m, le second utilisateur se dirige vers le centre latéral du cours d'eau pour effectuer la mesure au clinomètre. Il doit s'installer pour que le viseur indique un angle de 0° et être au-dessus de la position de l'utilisateur qui demeure au point le plus bas.
5. Pendant ce temps, l'utilisateur du point le plus bas déploie la mire télescopique jusqu'à ce que l'utilisateur du clinomètre lui indique que le haut de la mire est visible dans le viseur du clinomètre.
6. L'utilisateur du clinomètre relève la hauteur de la mire.
7. S'il y a une courbe ou que la mire n'est pas visible, il est conseillé de réaliser deux mesures à 10 m d'intervalle.

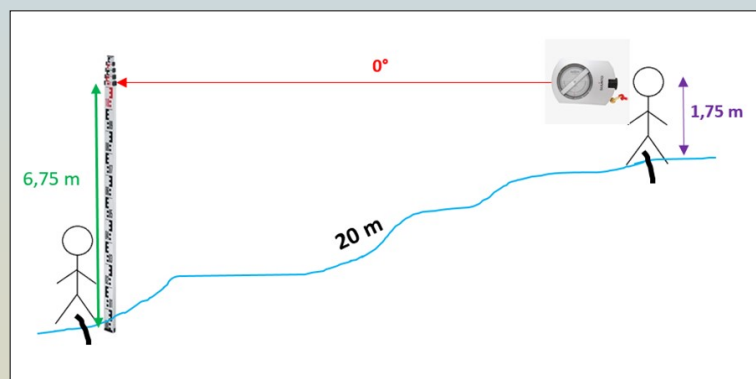


Figure 4 : À gauche, le premier utilisateur tenant la mire télescopique. Le second manipule le clinomètre et prend la mesure.

### 3) Chute d'une hauteur de plus de 1 m

Pour ce volet du projet de recherche, les jeux de données utilisés n'ont pas été suffisants pour permettre de tirer des conclusions intéressantes. De plus, le calcul effectué pour déterminer la présence d'une chute (cassé d'au moins 1 m sur un maximum de 2 m) correspond essentiellement à la marge d'erreur des données lidar. Une grande partie des erreurs observées s'explique par conséquent entre autres par la façon dont les données lidar sont filtrées au moment de leur rasterisation par le MFFP. La modélisation des chutes offre tout de même une précision de 73 %. Les résultats pour tous les sites sont présentés au Tableau 3.

Tableau 3

Site	Confirmation (%)	Omission (%)	Commission (%)
1	83	3	3
2	47	44	9
3	82	16	2
Global	73	20	4

Ajoutons que la modélisation des chutes, comme celle des pentes sur cours d'eau, s'appuie sur la localisation des cours d'eau modélisés. La précision est donc encore une fois dépendante de la précision du réseau d'écoulement linéaire généré précédemment.

### 4) Zone de contraintes

Une campagne d'échantillonnage terrain a été réalisée afin de récolter 160 points sur un territoire à cheval sur le Bouclier canadien et les Basses-Terres-du-Saint-Laurent, dans la région de Lanaudière. À l'aide d'un algorithme de classification CART (*Classification And Regression Trees*) basé sur des méthodes d'intelligence artificielle, ce jeu de données a été utilisé pour entraîner et valider une modélisation permettant de classer le territoire en deux catégories, soient les milieux avec contraintes (classes de drainage 5-6, donc des sols plus perméables qui correspondent généralement à des zones humides ayant plus d'impact sur les opérations) et sans contraintes (classes de drainage 1-2-3, donc des sols plus imperméables qui correspondent généralement à des zones sèches ayant peu d'impact sur les opérations). La classe de drainage 4 (imparfait) n'a pas été retenue pour les fins de la classification puisque cette classe représente généralement des zones de transition des milieux secs vers humides (ou vice-versa), ce qui aurait eu pour effet de confondre le modèle. Ce classificateur est une technique d'apprentissage automatique fondée sur une approche par arbre de décision permettant d'établir plusieurs seuils en fonction de variables explicatives et des classes utilisées. Un total de 15 variables a été utilisé, incluant entre autres des produits dérivés hydrographiques et topographiques.

Finalement, une deuxième campagne terrain a permis de tester indépendamment le modèle pour la prédiction des zones de contraintes humides avec une précision globale de 88 %. Ces deux campagnes d'inventaire ont été réalisées par le CERFO.

### 5) Outils pour la modélisation des chemins

Le dernier outil développé visait à automatiser la considération de cer-

tains facteurs importants pour la planification des chemins forestiers et fournir un tracé préliminaire. Plus spécifiquement, l'outil considère les sept critères suivants :

1. Présence de chemins existants
2. Classe de pente (en pourcentage)
3. Proximité des plans d'eau surfaciques ou cours d'eau permanents
4. Proximité des cours d'eau intermittents
5. Proximité des zones sensibles ou non productives
6. Présence des zones de contraintes humides
7. Classe de dépôts de surface

Chaque critère est d'abord classé. Ensuite, chaque classe créée est marquée afin d'établir si elle représente une contrainte de déplacement : plus la marque (ou *score*) est élevée, plus la contrainte de déplacement est importante. Les critères, représentés par des couches de données matricielles, sont ensuite additionnés pour créer une matrice caractérisant le coût de déplacement pour chaque pixel du territoire d'intérêt. Cette matrice est finalement utilisée pour déterminer le chemin (entre une origine et une destination déterminée par l'utilisateur) dont le coût cumulé est le plus faible. Il s'agit donc d'une approche multicritère classique utilisant des outils basés sur l'analyse de réseaux : les chemins de moindre coût et les matrices de résistance.

La Figure 5 présente un exemple de tracé obtenu pour l'une des zones d'étude. En plus de tenir compte des critères énumérés plus haut, ces tracés évitent les bandes de protection prévues autour des zones sensibles. Il est possible d'autoriser manuellement le franchissement d'un cours d'eau si celui-ci est assujéti aux exclusions du RADF. Ces tracés, ainsi que les points d'intersection avec les cours d'eau où des ponceaux sont à prévoir, constituent des données contribuant, dans une certaine mesure, à une planification des chemins forestiers plus efficace et efficace.

### Principales limites et pistes d'amélioration

Un premier point à mentionner concerne les données géospatiales fournies par le MFFP. Ce dernier fournit des produits dérivés d'hydrographie issus du lidar qui fournissent de l'information sur la position géographique des lits d'écoulements sur le territoire ainsi que leur nature (cours d'eau permanent ou intermittent). La méthode utilisée par le MFFP est très similaire à celle du CERFO puisque le CERFO et l'Université Laval ont collaboré à son développement. Le MFFP l'applique toutefois à une échelle plus large, où la localisation de tous les ponceaux n'est pas connue. De plus, il a été relevé que les ponceaux ne sont pas encore brulés systématiquement lorsque connus (Varin, M., 2021). La précision s'avère donc moindre que le résultat d'analyses réalisées avec l'outil de modélisation des cours d'eau développé dans le cadre de ce projet.

Concernant les chutes d'une hauteur de plus de 1 m, comme mentionné précédemment, la hauteur d'un mètre correspond à la marge d'erreur des données lidar. Après analyses, nous avons constaté que le modèle offre une précision limitée. Il est proposé de retenter cette expérimentation avec des données lidar plus denses (p. ex. > 8 pts/m<sup>2</sup>), et de limiter cette analyse aux cours d'eau plus proches du seuil de permanence.

Finalement, concernant le tracé des chemins, l'outil est en mesure de

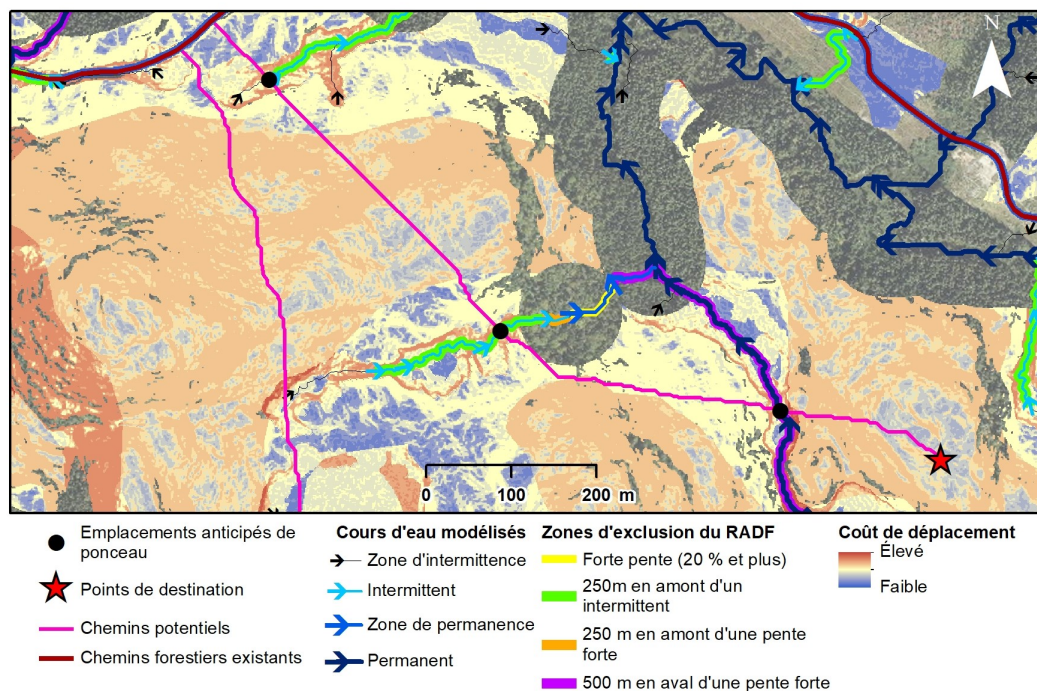


Figure 5 : Exemple de modélisation d'un tracé de chemin avec l'outil développé. On observe sur la figure un point d'arrivée (étoile rouge), les chemins existants (ligne continue rouge) et les cours d'eau modélisés par l'outil #1. L'outil génère des chemins potentiels (ligne continue rose) qui sont le résultat d'un calcul cherchant le tracé le moins « coûteux » en termes de poids associés aux facteurs, entre les chemins existants et les points de destination. Il génère aussi des points d'intersection (rond noir) entre les chemins potentiels et les cours d'eau, où les planificateurs doivent anticiper la nécessité d'installer des ponceaux. Les zones qui ne sont pas couvertes par la matrice de coût de déplacement représentent soit des zones où la construction de chemin est interdite (p. ex. zone de protection de 60 m autour d'un cours d'eau permanent) ou proscrite (p. ex. pente de plus de 30 %).

Concernant le volet 4 (zones de contraintes), l'outil développé à l'aide de l'intelligence artificielle offre une bonne précision (88 %).

fournir certaines indications, mais la portée demeure à améliorer. Par exemple, des considérations relevant des opérations forestières elles-mêmes sont à ajouter dans le modèle. Bien que l'outil considère déjà sept facteurs, plusieurs autres critères, dont par exemple la distance de débardage, sont à considérer durant ce travail de planification. Ce projet constitue donc une première étape dans le développement d'un outil automatisé de planification de chemin et des améliorations sont encore nécessaires afin de le rendre véritablement opérationnel dans le contexte de la pratique.

## Conclusion

Les résultats du projet ont permis de répondre à l'objectif principal, soit de développer des outils semi-automatisés d'aide à la planification des chemins à partir de données lidar. Cinq volets ont été retenus en collaboration avec les partenaires : 1) la modélisation des cours d'eau, 2) l'identification des cours d'eau ayant une forte pente, 3) l'identification des chutes d'une hauteur de plus d'un mètre, 4) la cartographie des zones de contraintes humides, et 5) le développement d'une matrice de coût pour un tracé de chemin optimal. Le projet de recherche a été réalisé sur trois zones de test proposées par les partenaires.

Pour le volet 1 (modélisation de cours d'eau), le modèle n'omet aucun cours d'eau. De plus, en excluant les points de validation situés sur la plaine d'épandage, la précision moyenne est de 88 %. Rappelons également que la considération des ponceaux constitue un élément déterminant pour la position de l'écoulement.

Ensuite, pour le volet 2 (pente sur cours d'eau), il est à retenir que la méthode de validation actuellement utilisée avec GPS offre une précision limitée contrairement à une méthode plus robuste utilisant un clinomètre et une mire télescopique. Concernant le volet 3 (chute d'une hauteur de plus d'un mètre), malheureusement les résultats n'ont pas pu amener de conclusions intéressantes.

Finalement, l'outil pour la modélisation de chemins (volet 5) constitue une première étape encourageante. Néanmoins, des améliorations sont nécessaires afin de pouvoir cerner le maximum de contraintes à la planification et de considérer leurs impacts de façon adéquate avec l'outil.

- Drolet, Emilie.** 2020. Identification des zones de contrainte de drainage aux opérations forestières à l'aide des données lidar (mémoire de maîtrise). Repéré à <https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/67511/1/36692.pdf>
- Gadbois-Langevin, R., Dubois, A.-M. et M. Varin.** 2020. Développement d'une méthode de modélisation des patrons d'écoulement de l'eau - cas du bassin versant de la rivière Lorette. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO), Rapport 2019-05, 64 pages.
- Lessard, Francis.** 2020. Optimisation cartographique de l'hydrographie linéaire fine (mémoire de maîtrise). Repéré à <https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/66887/1/36268.pdf>
- Maltamo, M., Jari Vauhkonen, Næsset, E.** 2014. Forestry Applications of Airborne Laser Scanning - Concepts and Case Studies, Managing Forest Ecosystems. Springer, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8663-8>
- Varin, M., Bournival, P., Dupuis, M., Fink, J.** 2016. Développement d'une méthode de cartographie d'étangs vernaux à l'aide du LIDAR et d'images multispectrales. Rapport 2016-12. 35 pages.
- Varin, M., Bournival, P., Blanchot, C., Boulfroy, E.** 2017. Identification du réseau hydrologique potentiel à partir du lidar aéroporté. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Technote 2017-02. 9 pages.
- Varin, M., Chalhaf, B., Dubois, A.-M. et Painchaud, L.** 2019. Développement d'une méthode de modélisation des milieux humides à partir de données lidar et satellitaires (Sentinel) – territoire de la MRC de Portneuf. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Rapport 2019-12. 62 pages + 51 annexes.
- Varin, M.** 2021. Analyse de l'efficacité de l'indice d'humidité topographique (TWI) à cartographier les milieux humides, Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Rapport 2021-13. 28 pages.

## Financement et remerciements

Ce projet a été financé par le conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) dans le cadre d'une subvention d'engagement partenarial (SEP). Nous tenons à remercier les partenaires du projet, soit Terra-Bois — coopérative de propriétaires de boisés, Groupe Crête et Louisiana Pacific. Il faut également souligner le soutien de Signature Bois Laurentides dans la réalisation du projet. Merci à Justine Quenneville-Ethier et Benoit Bisaillon.