

Bilan de la TGIRT Spéciale : Adaptation des forêts gaspésiennes aux changements globaux

Voirie, Milieux humides et hydriques et faune associée



New Richmond, 23 et 24 septembre 2025

Table des matières

Mise en contexte	1
1 ^e journée de présentations – Résumé des présentations	2
Sensibilité hydrogéomorphologique en contexte de changements climatiques	2
Les chemins que nous empruntons.....	5
Estimer la dégradation des chemins forestiers par télédétection.....	7
Restauration stratégique des chemins forestiers abandonnés	9
Gestion de la voirie forestière en contexte de changements climatiques	11
2 ^e journée de présentations - Résumé des présentations.....	13
Sécheresse hydrologique dans les bassins versants forestiers : défis et perspectives	13
Cartographie hydrographique et répartition des coupes dans un contexte de changement climatique	16
Refuges thermiques dans un contexte de changements climatiques : caractérisation, modélisation et gestion	19
Améliorer la franchissabilité des ponceaux pour le libre passage du poisson	22
Restauration de la connectivité en milieu forestier et compensation écologique	24
Détection et caractérisation des ponceaux par LiDAR	26
Listes des constats	27
Listes des recommandations	30

Mise en contexte

La TGIRT spéciale – adaptation des forêts aux changements globaux – s’inscrit dans la continuité des travaux des Tables de gestion intégrée des ressources et du territoire (TGIRT). Cet événement, tenu les 23 et 24 septembre 2025 à New Richmond, avait pour objectif de rassembler des experts, des représentants gouvernementaux, des acteurs régionaux ainsi que des membres des TGIRT afin de mettre à jour certains VOIC (Valeurs, Objectifs, Indicateurs et Cibles) dans une perspective d’adaptation aux changements climatiques.

Les présentations, les discussions et l’atelier collaboratif ont permis d’explorer :

- l’évolution du portrait climatique régional, incluant les projections et tendances à long terme (retour sur le premier atelier d’adaptation aux changements climatiques avec emphase sur les projections liées aux précipitations) ;
- les impacts actuels et futurs des changements climatiques sur les milieux humides et hydriques et leur faune associée;
- la sensibilité hydrologique et hydrogéomorphologique des cours d’eau et la vulnérabilité de la voirie forestière face aux changements globaux ;

L’atelier misait également sur une démarche de concertation régionale, visant à renforcer le dialogue entre les participants et à soutenir la planification forestière, tant pour les PAFIO que pour les PAFIT. L’intention n’était pas seulement de dresser un état des lieux, mais aussi d’identifier collectivement les constats majeurs et de faire émerger des pistes d’action concrète pour favoriser une adaptation durable et cohérente avec les réalités climatiques régionales.

L’ensemble du présent bilan synthétise les contributions recueillies lors de l’atelier, présente les constats formulés par les experts et les participants et propose une série de recommandations découlant des présentations des experts et des discussions.

1^e journée de présentations – Résumé des présentations

Sensibilité hydrogéomorphologique en contexte de changements climatiques

Présenté par **Thomas Buffin-Bélanger**, professeur titulaire au Département de biologie, chimie et géographie de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR)

Thomas Buffin-Bélanger a présenté une analyse approfondie de la sensibilité hydrogéomorphologique des cours d'eau gaspésiens face aux changements climatiques. Il a mis en lumière la complexité des phénomènes hydrologiques liés aux changements climatiques, notamment les pluies sur neige, les mouvements de glace et de sols, qui rendent difficile la prédiction des impacts.

Constat 1 : Un cours d'eau c'est beaucoup de choses, mais ce n'est surtout pas seulement un débit liquide, c'est entre autres, aussi, un système complexe de transport de sédiments et de morphologie.

Changement hydrologique

Il explique l'importance des séries temporelles de débit pour anticiper et adapter les aménagements, mais souligne le manque de données prises sur de longues périodes et précises pour les petits bassins versants, qui sont pourtant les plus concernés par la voirie forestière. Il en profite aussi pour présenter l'outil d'Atlas Hydroclimatique qui permet de modéliser les débits historiques et futurs sur de nombreux tronçons, en intégrant les scénarios climatiques.

Constat 2 : Les informations hydrologiques pour les grands bassins versants sont disponibles, mais pas pour les plus petits bassins versants, là où elle serait pertinente dans le cadre de l'aménagement de la voirie forestière

Constat 3 : Les projections montrent une augmentation de la probabilité, de la précocité et de la sévérité des étiages automnales et estivales, une diminution des débits lors d'étiage en été, des pics de crues plus tôt et une augmentation des débits hivernaux (accompagné d'une augmentation des risques de débâcle à l'hiver).

Changement hydrogéomorphologie

Thomas définit l'hydrogéomorphologie comme la science à l'interface entre hydrologie et géomorphologie, qui analyse comment l'eau façonne les formes du paysage et comment ces formes influencent l'écoulement.

Thomas présente son cadre d'analyse en définissant les éléments d'un cours d'eau qui sont : la structure de l'écoulement, le transport des sédiments et la morphologie. Il insiste sur la nécessité de considérer ces trois aspects pour toute décision d'aménagement. Il détaille les unités de paysage, comme les cônes alluviaux et les plaines alluviales, et leur importance pour comprendre les risques d'inondation, d'accumulation de sédiments et de mobilité des chenaux.

Thomas présente deux paradigmes différents lorsqu'il est question de restauration soit : la restauration par les formes et la restauration par les processus. Ainsi, la restauration des cours d'eau, selon Thomas, doit privilégier les processus naturels tels que les crues et le transport de sédiments, plutôt que la simple stabilisation des formes.

Recommandation 1 : Concernant la restauration de cours d'eau : privilégier la restauration des processus naturels tels que les processus de crues et de transport de sédiments, plutôt que la simple stabilisation des formes.

Sensibilité des cours d'eau

Thomas présente différents processus et concepts hydrogéomorphologique tel que les cônes alluviaux, les aggradations, les avulsions et les plaines alluviales. Grâce à la cartographie lidar, il est possible d'identifier ces formes et d'anticiper les zones à risque. Il présente des méthodes pour évaluer la sensibilité morphologique des tronçons de rivière face aux perturbations, à l'aide d'indices, de matrices et de trajectoires historiques. Certains tronçons réagissent fortement aux événements hydrologiques, ce qui doit, au final, guider la conception et l'entretien des infrastructures. Un guide de caractérisation hydrogéomorphologique est en cours de finalisation (normalement disponible fin octobre 2025).

Constat 4 : le débit n'est pas le seul facteur explicatif de l'érosion et de la mobilité des sédiments (Maltais et al., 2022)

Outils et réflexions

Thomas a été invité à prendre connaissance du plan de gestion de voirie de la TGIRT et présente ses commentaires sur ce document.

Il critique les pratiques actuelles de dimensionnement des ponceaux, souvent basées uniquement sur le débit liquide, sans prise en compte du transport de sédiments, ce qui peut générer des problèmes d'accumulation et d'érosion. Il recommande d'intégrer la connaissance des formes et processus hydrogéomorphologiques dans la cartographie et la gestion du réseau routier, afin d'anticiper les vulnérabilités et d'adapter les pratiques. Cela implique une gestion des risques plus proactive et une révision des normes de calcul des ponceaux.

Constats 5 : les concepts hydrogéomorphologiques et les mobilités de sédiments sont souvent sous considérés lors de la planification de la voirie (RADF a. 97 par exemple).

Recommandation 2 : Adapter la planification de la voirie aux dynamiques fluviales (dont la mobilité des sédiments et la présence de processus hydrogéomorphologique) et aux projections climatiques afin de renforcer la résilience des écosystèmes et des réseaux routiers forestiers.

En conclusion, il insiste sur l'importance de croiser les données hydrologiques, morphologiques et d'usage pour une gestion adaptative et durable de la voirie forestière en contexte de changements climatiques

En bref, pour ce faire, Thomas recommande :

Recommandation 3 : De repenser la conception des traverses de cours d'eau, en tenant compte de la taille des crues futures et de la dynamique sédimentaire.

Recommandation 4 : De considérer les espaces de liberté des rivières dans la planification forestière, en particulier pour les rivières à saumon.

Recommandation 5 : D'utiliser des outils comme le LiDAR et les modèles hydroclimatiques pour améliorer la connaissance du réseau hydrographique (repérer et cartographier) et identifier les zones vulnérables (recenser l'intensité des processus).

PROJET

Les chemins que nous empruntons

Présenté par Osvaldo Valeria, professeur titulaire en écologie spatiale et aménagement forestier à l'UQAT

Osvaldo a présenté une réflexion stratégique sur la gestion des chemins forestiers dans un contexte de changements climatiques, en mettant en lumière les enjeux écologiques, techniques et socio-économiques liés à leur construction, leur usage et leur abandon. Il commence par rappeler que le réseau de chemins forestiers est immense et en croissance, avec des conséquences majeures sur la biodiversité, l'économie et l'accès au territoire.

Constats et enjeux

Le Québec compte environ 477 000 km de chemins forestiers, soit l'équivalent de 12 fois le tour de la Terre. Cette infrastructure massive soulève des questions sur le passif environnemental accumulé, notamment en termes de fragmentation des habitats, de perturbation des milieux humides et de risques accrus d'érosion et de dégradation.

Osvaldo a souligné que les chemins forestiers sont souvent négligés et dangereux, et que leur qualité de construction influence directement leur durabilité et leur impact écologique. Il a présenté des données sur les formes de dégradation les plus fréquentes : ornières, érosion par l'eau, roulières, émergence de la sous-fondation, nids-de-poule et ondulations.

Constat 6 : la cartographie et la connaissance du réseau routier sont encore limitées, avec des bases de données incomplètes et des classifications parfois imprécises

Outils et méthodes d'analyse

Osvaldo présente plusieurs travaux de recherche menés avec ses collègues pour mieux caractériser l'état des chemins, leur dégradation et leur utilisation. Il explique comment les technologies de télédétection permettent d'identifier les routes, d'analyser leur morphologie et de suivre leur évolution dans le temps. Il détaille aussi des protocoles pour mesurer la dégradation des chemins sur le terrain et par télédétection, en combinant des indicateurs comme la végétalisation, la largeur, la pente et l'utilisation.

Plusieurs outils de télédétection ont été mis en avant, notamment l'utilisation combinée du LiDAR et des images Sentinel-2, permettant une classification précise des structures linéaires et une modélisation de la dégradation dans le temps. Ces approches permettent d'identifier les chemins les plus vulnérables et de prioriser les interventions.

Osvaldo a également présenté des modèles de flux de bois pour identifier les trajets prioritaires et les zones à fort trafic, ainsi que des grilles de classification pour orienter l'entretien selon les usages (villégiature, pourvoirie, sentiers, etc.) et la vulnérabilité des chemins afin d'optimiser les ressources et de limiter les risques d'interruption du transport.

Recommandations d'adaptation

- **Recommandation 6 : Prioriser l'entretien des chemins selon leur usage réel et leur vulnérabilité.**
- **Recommandation 7 : Optimiser la restauration en ciblant les segments stratégiques du réseau, en tenant compte du bilan carbone, de la fragmentation des habitats et des coûts logistiques.**
- **Recommandation 8 : Modéliser les risques de bris, notamment ceux causés par les castors, en intégrant des variables hydrologiques, biologiques et anthropiques.**
- **Recommandation 9 : Améliorer la connaissance du réseau routier par la cartographie fine des milieux sensibles (plaines alluviales, cônes de alluviaux, zones humides).**
- **Recommandation 10 : Développer des outils d'aide à la décision pour soutenir la planification territoriale, notamment en cas d'incendies ou d'événements climatiques extrêmes.**

Conclusion

La présentation d'Osvaldo Valeria appelle à une révision profonde des pratiques de gestion des chemins forestiers, en intégrant les dimensions écologiques, climatiques et sociales. Elle propose une approche intégrée et scientifique, fondée sur des données spatiales, des modèles prédictifs et une vision durable de l'aménagement forestier.

Estimer la dégradation des chemins forestiers par télédétection

Présenté par François Girard, professeur agrégé au département de géographie de l'université de Montréal

[Cliquer ici pour accéder à l'article scientifique sur la dégradation des chemins](#)

François Girard a présenté une étude novatrice sur l'évaluation de la dégradation des chemins forestiers gravelés à l'aide de données de télédétection.

Les chemins forestiers sont des vecteurs d'accès essentiels pour l'industrie forestière, les communautés autochtones, les chercheurs, les chasseurs et les pêcheurs. Ils jouent un rôle stratégique dans la planification de l'aménagement durable, mais leur entretien est coûteux — tant sur le plan économique qu'environnemental (fragmentation des habitats) et social (sécurité et accessibilité).

Constat 7 : La méconnaissance de l'état du réseau entraîne plusieurs risques : Perte d'accès au territoire ; Danger pour les usagers ; Hausse des coûts d'entretien ; Impacts écologiques accrus.

L'étude vise à combler le manque de connaissance en développant des méthodes pour évaluer la dégradation des routes à grande échelle, en combinant des données de terrain (mesures de dégradation, largeur, pente, ancienneté de l'entretien) et des outils de télédétection (lidar, images satellites, indices topographiques et de végétation). Plus spécifiquement il s'agit de :

1. Identifier les facteurs de dégradation des chemins forestiers gravelés.
2. Modéliser la dégradation temporelle à partir de données LiDAR et Sentinel-2.
3. Évaluer la pertinence d'indices topographiques, de rugosité et de végétation pour prédire la perte de surface de roulement.

Les résultats montrent que des variables comme la pente, la largeur du chemin, et le temps écoulé depuis la construction sont fortement corrélées à la dégradation. Des courbes de dégradation ont été établies selon la classe fonctionnelle des chemins (largeur 1 à 3), avec des pertes de surface de roulement pouvant atteindre 70 % sur 50 ans pour les chemins étroits. Il a également souligné que l'absence de données sur le trafic routier limite la précision des modèles, mais que l'approche proposée améliore la planification de l'entretien et la gestion des risques pour les usagers et l'environnement.

Constat 8 : La fréquence du trafic accélère la dégradation et la perte de surface de roulement.

L'équipe a utilisé des algorithmes d'apprentissage automatique pour analyser les données spatiales et produire des modèles prédictifs. Ces modèles permettent de : Cartographier les zones à risque ; Prioriser les interventions ; Optimiser les ressources d'entretien.

Recommandation 11 : Intégrer la télédétection dans la gestion du réseau routier forestier pour une surveillance continue et à grande échelle.

Recommandation 12 : Adapter les pratiques de construction selon les conditions du terrain pour limiter la dégradation.

Recommandation 13 : Développer des outils d'aide à la décision pour orienter les investissements en entretien et restauration.

François explique que les chemins de largeur moyenne et étroite sont particulièrement vulnérables, car leur fondation est souvent inadéquate et l'eau finit par abîmer la structure. Il recommande des entretiens réguliers, même en l'absence d'opérations forestières, pour éviter la dégradation et la végétalisation des chemins.

Constat 9 : Les modèles utilisés ne prennent pas en compte toutes les variables (trafic, précipitations, matériaux, castors), mais les indices géospatiaux sont accessibles et utiles pour les gestionnaires.

Recommandation 14 : Planifier des entretiens réguliers de la voirie afin d'éviter la dégradation, la végétalisation des chemins et les impacts sur l'environnement, et ce même si il n'y a pas d'activité de prévus.

François a conclu en insistant sur la valeur stratégique des chemins forestiers pour la recherche et l'aménagement durable, et sur la nécessité d'intégrer ces résultats dans la planification pour améliorer la sécurité, réduire les coûts à long terme et limiter les impacts environnementaux comme la sédimentation dans les cours d'eau et la fragmentation des habitats.

Restauration stratégique des chemins forestiers abandonnés

Présenté par Alejandro Vega Escobar, candidat au doctorat en aménagement forestier durable à l'Université du Québec en Abitibi Témiscamingue

[Cliquer ici pour accéder à l'article scientifique sur la restauration stratégique de chemins forestiers](#)

Alejandro Vega a présenté une approche innovante de planification stratégique de la restauration des chemins forestiers abandonnés, avec pour objectif principal la restauration des chemins forestiers afin de maximiser la séquestration de carbone tout en maintenant la connectivité spatiale des habitats et en respectant les contraintes écologiques, financières et logistiques.

Au Québec, les chemins forestiers couvrent plus de 450 000 hectares, dont une grande partie est sous-utilisée ou abandonnée, alors qu'une grande partie pourrait être convertie en zones de restauration, ce qui contribuerait de façon significative à la capture de carbone.

Constat 10 : Ces surfaces (utilisé par la voirie) représentent une opportunité écologique majeure pour le reboisement et la capture de carbone, mais la planification actuelle est souvent fragmentée, sans cadre spatial clairement défini, opportuniste et peu optimisé, ce qui limite l'efficacité des interventions

Recommandation 15 : Utiliser un modèle d'optimisation spatiale capable de guider les décisions de restauration dans un optique d'outil de planification et d'aide à la décision.

L'équipe a développé un modèle d'optimisation spatiale basé sur la programmation linéaire en nombres entiers mixtes (MILP) pour identifier les segments de chemins à restaurer en fonction de leur potentiel de séquestration de carbone ; pour intégrer des contraintes écologiques, spatiales, logistiques et financières ; et pour produire une planification spatiotemporelle sur un horizon de 25 ans, alignée avec les cycles de récolte forestière (~100 ans). Le modèle prend en compte la dégradation des chemins et la recolonisation végétale ; les coûts d'intervention, la main-d'œuvre disponible, et la hiérarchie du réseau routier ; et la cohésion spatiale, en évitant les restaurations isolées et en favorisant les unités contiguës.

Dans le cadre de l'étude de cas, la zone test est l'unité d'aménagement forestier UA02371 (Saguenay), avec un réseau de 22 000 km de chemins, réduit à 8 500 km pour l'analyse. Les chemins ciblés sont ceux les plus vulnérables à la dégradation. Neuf scénarios représentatifs de différents compromis ont été testés : certains maximisent le carbone, d'autres favorisent la connectivité spatiale, et d'autres encore minimisent les coûts opérationnels, pour un total de 27 exécutions. Les résultats montrent que :

- Une meilleure cohésion spatiale entraîne une diminution du gain carbone total ;
- Les compromis entre carbone, cohésion et faisabilité opérationnelle sont inévitables ;
- Les outils multicritères (PROMETHEE II, ELECTRE I) permettent de classer les solutions selon différents critères priorisés par les utilisateurs.

De plus plusieurs constats au niveau des implications écologiques et opérationnelles du modèle sont identifiés :

- La cohésion spatiale favorise la continuité écologique et la fonctionnalité des habitats.
- La dispersion des restaurations, bien que plus efficace pour le carbone, nuit à la cohésion spatiale.
- Le modèle offre une flexibilité pour adapter les priorités selon les objectifs (écologiques ou logistiques).
- Il peut être enrichi par des modèles stochastiques pour intégrer les incertitudes climatiques, comme les feux de forêt.

Afin de démontrer le type de résultantes en matière d'aide à la décision, Alejandro montre un des indicateurs (Share Top 3) dont plusieurs scénarios concentrent environ 40 % des interventions dans seulement trois unités spatiales, révélant des zones particulièrement stratégiques en termes de priorisation des interventions.

Finalement, le modèle produit une carte spatio-temporelle complète qui illustre la restauration optimale jusqu'en 2050 selon les priorités retenues.

En conclusion, Alejandro a démontré qu'il est possible de mieux planifier la restauration à grande échelle, en trouvant un équilibre entre efficacité écologique, carbone, et faisabilité réelle. Il ouvre aussi la porte à l'intégration future de modèles prédictifs liés aux changements climatiques, comme les risques d'incendie ou les impacts sur la faune, ce qui renforcerait encore la pertinence de la planification dans un contexte climatique en évolution.

Gestion de la voirie forestière en contexte de changements climatiques

Sylvain Jutras, professeur titulaire en hydrologie forestière à l'Université Laval

Sylvain Jutras a présenté une synthèse approfondie sur la gestion des chemins forestiers à faible utilisation, en lien avec les enjeux hydrologiques, climatiques et réglementaires. Sylvain a exposé les limites du cadre réglementaire actuel de gestion. Sa présentation s'appuie, entre autres, sur un projet de recherche de cinq ans (2017–2022), financé par le CRSNG, visant à développer des méthodes de mise hors service adaptées aux réalités du Québec.

Il rappelle que le Québec possède plus de 400 000 km de chemins forestiers, dont 35 % sont abandonnés et 75 % ne reçoivent aucun entretien après leur période d'utilisation intensive. Cette absence de suivi post-usage crée un problème majeur : des milliers d'ouvrages – principalement des ponceaux en tôle ondulée, dont la durée de vie est d'environ 25 à 30 ans – continuent de se dégrader, souvent jusqu'à l'effondrement. Lorsqu'un ponceau cède, l'érosion du remblai peut entraîner des apports massifs de sédiments dans les cours d'eau. Certaines études mentionnées par Sylvain documentent jusqu'à 350 tonnes de matériaux fins emportés par la défaillance d'une seule structure. Il souligne que ce phénomène n'est ni rare ni bénin : il constitue aujourd'hui l'une des sources les plus importantes de dégradation des habitats aquatiques dans les milieux forestiers.

Constat 11 : Le Québec compte plus de 400 000 km de chemins forestiers, dont 35 % sont abandonnés et 75 % non entretenus.

Constat 12 : L'absence de plan de gestion et de suivi post-utilisation entraîne des apports massifs de sédiments vers les cours d'eau, aggravés par des ponceaux défaillants ou emportés.

Les changements climatiques aggravent significativement cette situation. La hausse des épisodes de pluie hivernale, la fréquence accrue des cycles gel-dégel et le risque de crues soudaines rendent les infrastructures actuelles particulièrement vulnérables. Selon Sylvain, la capacité du réseau forestier à résister à ces nouvelles pressions est limitée, car la conception des infrastructures repose encore largement sur des scénarios hydrologiques dépassés. Il précise que « la meilleure adaptation aux changements climatiques, c'est moins de ponceaux », invitant les gestionnaires à remettre en question la présence même des ouvrages permanents lorsque ceux-ci ne sont plus nécessaires.

Constat 13 : Les changements climatiques accentuent les risques de crues soudaines, rendant les infrastructures actuelles souvent inadéquates.

Constat 14 : « la meilleure adaptation aux changements climatiques, c'est moins de ponceaux »

Pour répondre à ces enjeux, Sylvain propose une série de solutions. D'abord, il préconise l'utilisation accrue des traverses à gué aménagées (TAG) pour les petits cours d'eau peu encaissés. Peu coûteuses, durables, simples à entretenir et démontrées comme écologiquement acceptables, les TAG constituent une alternative efficace aux ponceaux. Toutefois, leur usage demeure illégal sur terres publiques québécoises (pas prévu au RADF), une situation que Sylvain critique ouvertement, soulignant que ces structures sont pourtant considérées comme des

bonnes pratiques ailleurs au Canada et aux États-Unis. Entre 2018 et 2021, douze TAG ont été suivies dans le cadre d'un projet d'étude et elles ont montré une grande stabilité, une revégétalisation rapide et un besoin d'entretien minimal.

Recommandation 16 : Demander une dérogation au RADF afin d'utiliser des traverses à gués.

Il aborde ensuite les ouvrages amovibles, qui permettent de maintenir un passage temporaire pour le transport lourd tout en laissant une traverse à gué en place pour les usages à faible impact. Ceux-ci sont toutefois autorisés seulement si une fermeture est prévue dans un délai de trois ans selon le RADF, ce qui limite leur application réelle.

Recommandation 17 : Demander une dérogation au RADF afin de permettre l'utilisation d'ouvrage amovible conditionnelle aussi à la mise hors service et non seulement si la fermeture est prévue dans les 3 ans tel que prévu au RADF.

Sylvain examine également les méthodes de fermeture des chemins : désactivation temporaire, semi-permanente ou permanente, incluant le retrait des ponceaux, le refaçonnage du chemin et la revégétalisation. Ces méthodes évitent les abandons problématiques et réduisent massivement les risques de sédimentation.

Concernant la gestion de l'eau, Sylvain suggère d'adapter les structures de drainage, surtout lors de la mise hors service, par exemple par l'utilisation des barres d'eau.

Recommandation 18 : Élaborer un plan de gestion de la voirie forestière qui est cartographié et qui prévoit les entretiens, la désactivation ou la fermeture avec un horizon de temps défini.

Recommandation 19 : Élaborer une cartographie de réseau prioritaire dans un premier temps, afin de prendre dans un second temps des décisions sur les chemins à faible fréquentation (utiliser les schémas du Guide de saines pratiques).

Recommandation 20 : Arrêter de tolérer l'abandon du réseau routier

Recommandation 21 : Se doter d'orientation afin de gérer les chemins à faible fréquentation, si possible par l'utilisation de traverses à gué aménagées ; d'ouvrages amovibles ; de différents scénarios de fermeture de chemins et par une gestion de l'écoulement des eaux surtout concernant les chemins mis hors service.

Pour accompagner les gestionnaires, Sylvain et son équipe ont produit un guide de saines pratiques pour les chemins à faible utilisation, qui comprend des schémas décisionnels selon l'état du chemin et son usage futur, un outil d'aide à la décision pour choisir entre entretien, adaptation (désactivation/mise hors service) ou fermeture, ainsi que des recommandations pour la planification de nouveaux chemins. Il insiste sur la nécessité de connaître l'usage à long terme d'un chemin avant d'en déterminer la vocation : sans plan de gestion territoriale, les choix techniques restent fragmentaires et inefficaces.

Pour conclure, Sylvain Jutras affirme qu'une modernisation des pratiques et du cadre réglementaire est indispensable. La gestion durable de la voirie forestière est aujourd'hui l'un des leviers les plus importants pour protéger les milieux aquatiques et réduire la vulnérabilité des forêts aux changements climatiques.

2^e journée de présentations- Résumé des présentations

Sécheresse hydrologique dans les bassins versants forestiers : défis et perspectives

Présenté par **Audrey Maheu**, professeure au Département des sciences naturelles et directrice scientifique de l'Institut des sciences de la forêt tempérée.

Audrey Maheu a ouvert sa présentation en soulignant l'importance croissante des sécheresses hydrologiques dans les bassins versants forestiers, particulièrement en Gaspésie, où les changements climatiques modifient profondément les régimes hydriques. Elle a expliqué que la sécheresse hydrologique se distingue des sécheresses météorologiques et agronomiques (sol) par ses impacts directs sur les cours d'eau : des niveaux d'eau de surface largement en deçà des moyennes historiques, entraînant des conséquences pour la biodiversité et la qualité de l'eau.

À partir d'une analyse couvrant la période 1970 à 2022, elle explique que les sécheresses hydrologiques durent en moyenne huit mois et présentent une sévérité importante, avec des débits moyens inférieurs pour chaque mois de sécheresse d'un écart-type à la normale. Ces événements ne sont pas uniformes : certains touchent presque tout le réseau hydrographique, tandis que d'autres restent très localisés. En moyenne, 61 % du réseau est affecté lors d'un événement, mais près d'un tiers des sécheresses passent inaperçues si l'on se fie à une seule station hydrométrique. Ce constat souligne la nécessité d'un suivi spatial plus complet.

Constats 15 : Les stations hydrométriques ne peuvent pas être les seuls indicateurs pour décrire une sécheresse ; Il y a plusieurs facteurs inconnus qui peuvent expliquer une variabilité spatiale.

Recommandation 22 : Ne pas se fier à un seul site de suivi pour évaluer les sécheresses, mais plutôt se baser sur un portrait plus complet

Audrey Maheu a ensuite abordé les déterminants météorologiques des sécheresses. Le déficit de pluie est le facteur explicatif le plus fréquent en Gaspésie, mais la neige et la fonte (le moment de la fonte, entre autres) jouent un rôle crucial, notamment pour les sécheresses estivales dont environ 1/4 sont liées à la neige. Un peu plus de la moitié des sécheresses météorologiques se transforment en sécheresses hydrologiques, ce qui ouvre la porte à la prédiction. Toutefois, elle insiste : prévoir ne suffit pas, il faut des plans d'intervention adaptés.

Constat 16 : Le quart des sécheresses estivales sont associées à des processus de gel ou de fonte ; Seulement 53 % des sécheresses météorologiques se transforment en sécheresses hydrologiques ; Plus de la moitié des sécheresses hydrologiques sont liées à la neige.

En climat futur, les projections montrent une tendance annuelle vers des conditions plus humides, mais avec une amplification des épisodes secs sévères, surtout au printemps et en été. Selon les projections, les sécheresses seront plus fréquentes, plus intenses, mais une petite tendance vers des sécheresses légèrement plus courtes. Ces changements sont fortement influencés par la fonte et l'évapotranspiration. Malgré cette complexité, il est clair que les forêts gaspésiennes devront composer avec des épisodes de sécheresse plus marqués.

Recommandation 23 : Les bandes riveraines ont un rôle important à jouer. Les bandes riveraines sont importantes afin de venir mitiger les impacts des changements climatiques. Toutefois, leur effet sur la température de l'eau est moindre sur les grands cours d'eau comme les rivières à saumon en Gaspésie. Pour avoir une efficience en Gaspésie, les bandes riveraines devraient se concentrer sur les petits cours d'eau et les ruisseaux intermittents pour contrer les hausses des températures de l'eau.

Les impacts des sécheresses sont multiples : hausse de la température de l'eau, concentration des polluants, perte de connectivité aquatique. Les milieux humides peuvent atténuer les extrêmes hydrologiques (inondations et sécheresses), mais leur efficacité pour réduire les sécheresses est limitée. Selon les travaux cités, il faudrait augmenter leur superficie de 20 à 150 % pour un effet significatif. Les barrages de castors offrent aussi une solution naturelle pour retenir l'eau. Quant au reboisement ses effets sur le débit sont variables et ne peuvent être généralisés.

Constat 17 : En Gaspésie, il y a une faible densité de milieux humides et de par ce fait, leurs protections, bien qu'importantes pour les bénéfices que ces milieux apportent, n'auront que peu d'effet d'atténuation sur les étiages, les sécheresses et les autres phénomènes associés aux changements climatiques.

Recommandation 24 : Considérant qu'il y a une faible densité de milieux humides en Gaspésie, il est important de bien les protéger afin de protéger les services écosystémiques qui leur sont associés.

Constat 18 : Les cours d'eau sont majoritairement alimentés par l'eau souterraine et lors des périodes d'étiage cette proportion augmente.

Constat 19 : Dans les cours d'eau de tête, la température de l'eau semble corrélée à l'apport d'eau provenant de l'eau souterraine ; tandis que plus le bassin versant devient grand, plus la température atmosphérique devient un facteur déterminant de la température de l'eau. Les seuils doivent être établis par rivière ou par région. À Kenauk en Outaouais, on parle d'environ un bassin versant de 10km² pour que ce soit la température atmosphérique qui devient significative.

Recommandation 25 : Faire des études régionales afin de comprendre les dynamiques thermiques des rivières de la Gaspésie

Audrey Maheu aborde rapidement la voirie forestière sur laquelle elle a aussi travaillé avec une étudiante. Elle présente les résultats de l'étude qui démontre une majorité de ponceaux problématiques sur le territoire.

Constat 20 : le surdimensionnement des ponceaux augmente les risques de perte de connectivité lors de période d'étiage.

Recommandation 26 : Éviter la tendance visant le surdimensionnement des ponceaux

Constat 21 : L'état des routes est habituellement corrélé à l'état des ponceaux, ainsi il peut être parfois plus facile de caractériser l'état des routes que ceux des ponceaux. Cette problématique se retrouve aussi en forêt privée et il est important aussi d'adresser cet enjeu.

En conclusion, Audrey Maheu rappelle quatre constats :

1. Les sécheresses hydrologiques sont très variables spatialement et mal comprises.
2. Elles peuvent être prédites à partir des conditions météorologiques, mais cela n'a de sens que si des plans d'action sont prêts.
3. Les changements climatiques accentueront leur sévérité, avec des impacts sur la qualité de l'eau et la connectivité.
4. Accroître la rétention d'eau par la protection des milieux humides, conserver les barrages de castors et protéger les sols est essentiel, mais le débit d'étiage dépendra surtout des eaux souterraines.

Cartographie hydrographique et répartition des coupes dans un contexte de changement climatique

Présenté par **Sylvain Jutras**, professeur titulaire en hydrologie forestière à l'Université Laval.

Sylvain Jutras a centré sa présentation sur l'importance des milieux humides et hydriques dans la gestion forestière et sur les défis posés par les changements climatiques. Il a rappelé que ces milieux jouent des rôles hydrologiques essentiels, entre autres : rétention d'eau, réduction des inondations, recharge des nappes phréatiques, filtration des sédiments et séquestration du carbone. Ces fonctions sont désormais reconnues par la Loi sur la conservation des milieux humides et hydriques (LCMH), qui impose une règle d'« aucune perte nette » et qui valorise leurs bénéfices écologiques. Toutefois, ce ne sont pas tous les milieux humides qui jouent ces fonctions qui sont identifiées dans la loi.

Constat 22 : Tous les milieux humides ne sont pas équivalents en termes de fonctions écologiques et de services écosystémiques.

Sylvain présente la diversité de services écosystémiques nommée dans la loi concernant les marécages inondables, les marécages non inondables et les tourbières. Chacun réagit différemment aux perturbations forestières. Par exemple, les marécages inondables peuvent atténuer l'érosion, atténuer les effets des inondations et permettre le dépôt des sédiments lors des crues. Les marécages non inondables n'ont pas toutes ces vertus, bien qu'elles maintiennent certaines fonctions écologiques, dont certaines fonctions régulières d'une forêt, telles que favoriser la recharge de nappes phréatiques. La récolte d'arbres n'affectant pas cette fonction, elle est donc propice à ces milieux. Quant aux tourbières, elles sont reconnues pour contenir beaucoup d'eau et de carbone. Elles sont toutefois sensibles à l'orniérage et au drainage. Elles peuvent, contrairement à la croyance populaire, favoriser les débits de pointe.

Constat 23 : les milieux humides riverains inondables sont ceux qui sont importants pour atténuer les effets des inondations.

Au niveau du bilan hydrologique, Sylvain présente l'effet des coupes sur le cycle de l'eau. Les coupes forestières viennent diminuer les effets d'interception, d'évaporation et de transpiration et ainsi provoquent une remontée de la nappe phréatique. Au niveau hydrique, c'est une bonne nouvelle pour aider à lutter contre les étiages et la sécheresse. Au niveau de la récolte forestière, la faible perturbation des sols varie selon l'orientation des ornières et le type de sol, ce qui exige des pratiques adaptées afin de maximiser les effets bénéfiques.

Concernant les étangs vernaux forestiers, le plus important est d'éviter l'apport de sédiments dans ces milieux.

Enfin, Sylvain Jutras a insisté sur les saines pratiques forestières : favoriser les coupes partielles, éviter l'orniérage et le drainage, maintenir des bandes riveraines, et assurer une régénération rapide après coupe. Il a aussi souligné l'importance de régler les problèmes liés à la voirie forestière, notamment les chemins abandonnés et les ponceaux non conformes, qui nuisent à la connectivité aquatique.

Constat 24 : La récolte forestière dans des milieux humides boisés peuvent avoir des effets bénéfiques au niveau des fonctions écologiques concernant la mitigation des effets des changements climatiques, comme la sécheresse et la mitigation des étiages.

Recommandation 27 : Identifier les bonnes pratiques à mettre en place au niveau de la planification forestière et des opérations forestières afin de maximiser les effets bénéfiques sur le cycle de l'eau.

Un autre point de la présentation concerne la cartographie des milieux humides et hydriques. Les données historiques sont souvent imprécises, mais l'arrivée du LiDAR a révolutionné la précision des modèles numériques de terrain (MNT) et des indices d'humidité topographique. Ces outils permettent de détecter les lits d'écoulement potentiels, d'améliorer la délimitation des milieux humides et de planifier, à terme, les interventions forestières en tenant compte des fonctions hydrologiques. En Gaspésie, il y a beaucoup de dépôt infiltrant qui demande des analyses complémentaires, c'est pourquoi les seuils pour les dépôts infiltrant pour la Gaspésie ne sont toujours pas diffusés. Sylvain présente des projets où le LiDAR a permis d'identifier des cours d'eau intermittents et permanents, ainsi que des zones sensibles à protéger. Il y propose un nouveau lexique pour décrire les milieux humides riverains.

Constat 25 : L'indice d'humidité topographique est très utile pour déterminer les sols secs

Constat 26 : Les nouvelles données sur les milieux humides offrent une meilleure caractérisation du type de zones humides et de leur limite. À terme, cela permet aussi une meilleure capacité à cartographier les fonctions écologiques.

Constat 27 : Les cours d'eau permanents sont sous-estimés (deux à trois fois) et les cours d'eau intermittents sont sous-estimés (environ 4 fois)

Recommandation 28 : Mettre à jour les cartographies des fonctions écologiques afin d'adopter les mesures nécessaires à remplir adéquatement les objectifs d'aménagement des forêts.

Finalement, Sylvain aborde également la question de la répartition des coupes dans les bassins versants. Une planification fine est nécessaire pour limiter les impacts cumulés sur le régime hydrique. Les coupes doivent être réparties pour éviter la concentration des perturbations dans un même bassin, ce qui pourrait accentuer les risques d'érosion et de modification des débits. Il a recommandé de calculer les aires équivalentes de coupe (AEC) pour mieux gérer la proportion de territoire récolté et préserver les sites critiques comme les refuges thermiques et les zones de reproduction.

Recommandation 29 : Pour le calcul de l'AEC, cibler des points d'intérêt sur le territoire qu'on veut protéger, même si les bassins versants sont petits.

Constat 28 : La priorité en termes de mesure d'atténuation pour les points d'intérêt reste d'adresser les enjeux de sous-entretien de la voirie forestière.

Recommandation 30 : Lorsqu'il y a des problématiques de voirie en amont des points d'intérêt, il faudrait d'abord permettre les interventions forestières conditionnellement à corriger les problèmes de voirie forestière en retirant les infrastructures problématiques et en procédant à une fermeture adéquate du chemin problématique.

En conclusion, il a rappelé que les milieux humides ont des fonctions hydrologiques diversifiées et qu'il est impossible de maximiser toutes ces fonctions simultanément. L'adaptation passe par une approche intégrée : cartographie fine, planification par bassin versant, amélioration des pratiques de récolte et gestion proactive des infrastructures forestières. Selon lui, le LiDAR et les outils numériques offrent une opportunité majeure pour mieux protéger les milieux hydriques dans un contexte de changements climatiques.

BROUILLON

Refuges thermiques dans un contexte de changements climatiques : caractérisation, modélisation et gestion

Présenté par **André St-Hilaire**, professeur à l'INRS et expert en hydrologie et dynamique fluviale.

André St-Hilaire a introduit sa présentation en soulignant l'impact des changements climatiques sur les régimes thermiques des rivières. Le réchauffement des eaux entraîne un stress thermique important pour les salmonidés, notamment le saumon atlantique et l'omble de fontaine, dont les seuils critiques sont bien connus : une température supérieure à 22 °C limite l'alimentation, et au-delà de 28 °C, la survie est compromise (voir image ci-dessous [tirée de la présentation](#)). Ces conditions extrêmes, accentuées par les vagues de chaleur, menacent la pérennité des habitats aquatiques.

Température critique (°C)		
	Salmo Salar	Salvelinus fontinalis
Croissance optimale	16	14
Létale initiale	27.8	25.3
Limite supérieure d'alimentation	22-28	22
Létale ultime	30-33	29
Réaction comportementale observée	22-24	

Table 1 : Température limite critique supérieur pour la survie et l'alimentation du Saumon Atlantique et l'omble fontaine (Elliott and Elliott (2010), Jonsson and Jonsson (2009) and Breau et al. (2011)).

André St-Hilaire présente les analyses et les résultats issus du modèle CEQuEAU. Les intensités des vagues de chaleur augmentent depuis le début des années 2000. Selon les projections, les fréquences d'occurrence de dépassement des températures critiques augmentent fortement pour la majorité des rivières gaspésiennes modélisées. À partir de 2020, les tendances des vagues de chaleur sont en augmentation en termes de fréquence, de durée et de durée totale annuelle. Ceux-ci atteignent environ 5 Celsius en 2100, pour une durée moyenne d'environ 20 jours et une durée annuelle totale cumulée moyenne d'environ 80 jours.

Constat 29 : Les vagues de chaleur augmentent en intensité, en durée et en durée annuelle cumulée. Ainsi, les températures des habitats aquatiques sont, elles aussi, vouées à augmenter et ainsi, perdre leur capacité de jouer leur rôle.

Dans ce contexte, les **refuges thermiques** deviennent des zones vitales. Ils se définissent comme des parcelles d'eau plus froide que le cours principal, souvent créées par des affluents, des suintements latéraux ou des résurgences souterraines. Ces refuges permettent aux poissons de se

regrouper pour éviter le stress thermique. André a présenté des images thermiques illustrant ces zones et leur rôle crucial pour la survie des salmonidés en période de chaleur. Il existe plusieurs types de refuges thermiques ([Dugdale, 2014](#) ; [Sullivan et coll., 2021](#)), le défi reste de les identifier et de les catégoriser. Le plus simple, pour agir concrètement, est de localiser et protéger les « panaches d'eau froide » et d'assumer qu'ils sont propices à servir de refuges thermiques.

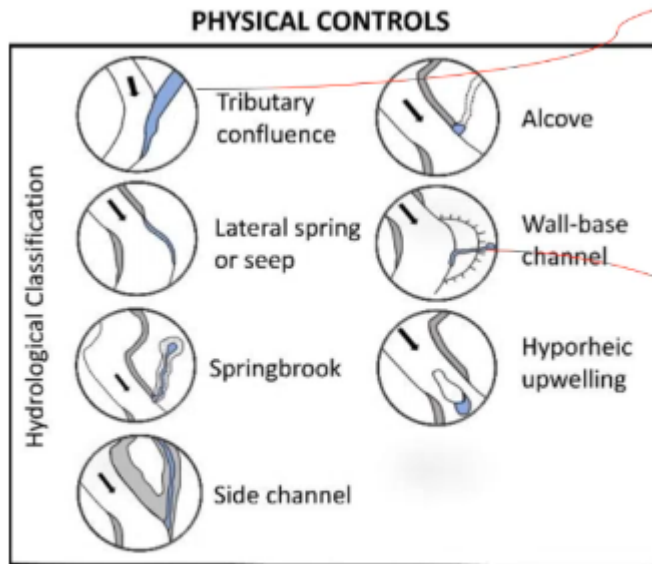


Figure 2 : Classification des refuges thermiques (Sullivan et al., 2021)

Constat 30 : Les refuges thermiques offrent des oasis pour les salmonidés lors des épisodes de vagues de chaleur. Dans le contexte d'augmentation des vagues de chaleur, les refuges thermiques sont portés à jouer un rôle prépondérant.

La présentation a ensuite abordé la modélisation des refuges thermiques. Des approches locales et régionales ont été développées pour prédire la température et la dynamique des refuges en fonction de variables comme le débit, la température de l'air, le rayonnement solaire et les caractéristiques du bassin. Les modèles multivariés et les techniques avancées (GAM, MARS, SVM, Random Forest) offrent des performances élevées pour estimer la surface et la persistance des refuges. Ces outils permettent non seulement de comprendre la variabilité saisonnière et diurne, mais aussi d'anticiper les effets des changements climatiques sur la disponibilité des refuges. Les résultats montrent que l'ombrage est un facteur déterminant sur la température de l'eau : une canopée de plus de 18 mètres peut réduire la température de 2 à 3 °C, ce qui est significatif pour la survie des salmonidés. Une canopée de 23 mètres permettrait le gain d'un degré supplémentaire. L'intégration des données LiDAR et des SIG permet de cibler les zones les plus exposées et de planifier des interventions efficaces. Inversement, les coupes forestières et les petites canopées occasionnent une hausse des températures.

André a insisté sur l'importance de la gestion et de l'aménagement pour protéger ces habitats critiques. Plusieurs recommandations ont été évoquées :

- **Recommandation 31 : Maintien et restauration des bandes riveraines pour fournir de l'ombrage et réduire le rayonnement solaire.**
- **Recommandation 32 : Simulation de scénarios d'ombrage à l'aide de données LiDAR pour évaluer l'effet d'une végétation riveraine plus haute sur la température des cours d'eau afin de cibler les endroits à prioriser.**
- **Recommandation 33 : Les refuges thermiques doivent être identifiés, caractérisés et protégés. Pour aller plus loin, il serait possible de développer un modèle et de tester un modèle régional pour estimer la superficie et le volume des refuges thermiques.**

En conclusion, André St-Hilaire a rappelé que les températures des rivières sont en hausse et que les refuges thermiques deviendront des habitats critiques pour les espèces sensibles. Leur protection passe par l'identification, la caractérisation et la conservation des zones froides, ainsi que par des aménagements ciblés pour renforcer leur résilience. Les outils de modélisation et de cartographie sont essentiels pour guider ces actions et anticiper les impacts des changements climatiques.

Recommandation 34 – issue d'une question : Adapter la largeur et la qualité des bandes riveraines en fonction de l'orientation et des besoins thermiques des cours d'eau et de leurs tributaires

Améliorer la franchissabilité des ponceaux pour le libre passage du poisson

Présenté par **Normand Bergeron**, professeur en géomorphologie et habitat fluvial à l'INRS .

Normand Bergeron a présenté le rôle de la géomorphologie et de l'habitat fluvial dans le passage des poissons, en particulier les saumons, dans les rivières de la Gaspésie. Selon lui, il est essentiel de considérer une chaîne d'habitats successifs pour le cycle de vie complet des poissons, incluant la reproduction, l'alimentation, les refuges et les déplacements, et non de se limiter à un habitat unique. La connectivité entre ces habitats est fondamentale pour la survie et la reproduction, car les déplacements entre habitats dépendent de la mobilité des poissons à chaque stade de vie et de la distance et de la résistance au déplacement, qui peuvent être influencées par le courant, les obstacles, la température ou la prédation.

Constat 31 : il ne s'agit pas de l'habitat du poisson, mais bien des habitats du poisson. Ceux-ci doivent être présent, de qualité et connectés entre eux afin que les poissons puissent y accéder à chacun de leur stade de vie respectif.

Normand a illustré l'impact de la connectivité sur la densité de juvéniles, montrant que la proximité et l'accessibilité des habitats augmentent la qualité et la densité des populations. Il a ensuite détaillé les obstacles naturels (chutes, barrages de castors) et anthropiques (ponceaux, barrages, ruptures de pente) qui entravent le déplacement des poissons. Il a expliqué que la capacité des poissons à franchir un obstacle dépend de leur vitesse de nage par rapport à la vitesse du courant. Si le courant est trop fort, le poisson ne peut progresser et finit par s'épuiser. Les modèles classiques basés sur le « temps à l'épuisement » prédisent souvent des échecs de passage, mais les observations sur le terrain montrent que les poissons réussissent mieux que prévu, notamment grâce à des comportements adaptatifs.

Recommandation 35 : Réaliser une analyse approfondie de la connectivité entre les différents habitats requis pour chaque stade de vie du saumon et formuler des recommandations pour assurer leur préservation.

Les ponceaux, bien que petits, sont très nombreux et peuvent isoler des populations. Il a expliqué que la conception des ponceaux vise d'abord à évacuer les crues, et non à faciliter le passage des poissons, ce qui entraîne souvent des vitesses de courant trop élevées, des profondeurs insuffisantes, des chutes à l'aval et une érosion du lit. Il a présenté des exemples de ponceaux bien conçus (simulation de cours d'eau) et d'autres problématiques, comme les ponceaux suspendus, trop longs, trop lisses, trop sombres ou obstrués par des débris ou des barrages de castors. Sur le terrain, par exemple dans trois rivières de la baie de Gaspé, 72 tributaires ont été échantillonnés et 38 contenaient des juvéniles de saumon. 80% des obstacles identifiés étaient naturels, 19% artificiels, dont les ponceaux étaient les plus fréquents parmi les obstacles anthropiques.

Recommandation 36 : Toujours utiliser des ponceaux à simulation de cours d'eau.

Recommandation 37 : Recenser les ponceaux problématiques, dont les problématiques pour le poisson (longueur excessive, vitesse excessive, noirceur, faible profondeur, l'accumulation de

débris et chute), et proposer des interventions pour restaurer la connectivité des habitats aquatiques.

Normand a aussi abordé les effets des changements climatiques, il s'en dégage ces constats

- **Constat 32 : les étiages estivaux plus fréquents réduisent la profondeur d'eau, tout comme certains tronçons chauds peuvent devenir des obstacles thermiques et donc briser la connectivité. Ainsi, l'importance des refuges thermiques et des tributaires froids augmente.**
- **Constat 32 : De plus, le régime hydrique va être affecté et il devient alors nécessaire d'adapter les infrastructures (ponceaux) aux nouvelles conditions hydrologiques (étiages et crues).**

Pour améliorer le passage des poissons, il a présenté des solutions comme l'enfouissement de la base du ponceau, les ponceaux à simulation de cours d'eau, l'ajout de cloisons ou de déversoirs (peu appréciés des ingénieurs puisque les débris s'y accumulent et bloquent le ponceau), le rétrofit d'obstacles pour ralentir l'écoulement, et une attention particulière lors de l'utilisation de gaines lisses qui augmentent la vitesse du courant (ce qui n'est pas souhaitable). Son équipe et lui travaillent sur des projets avec le ministère des Transports pour tester l'installation de saillies profilées et de dispositifs flexibles (flexibaffle) dans des ponceaux expérimentaux, afin d'améliorer le libre passage du poisson tout en minimisant la résistance à l'écoulement.

Constat 33 : les poissons utilisent les ondulations et abris dans les ponceaux pour se reposer, ce qui améliore leur succès de passage par rapport aux prédictions des modèles classiques.

Recommandation 38 : créer des zones de vitesse faible dans les ponceaux (lire installer des ponceaux présentant ces caractéristiques), non seulement pour diminuer la vitesse du courant, mais aussi pour offrir des refuges aux poissons

En conclusion, la présentation a mis en avant l'importance de la connectivité des habitats, la nécessité d'adapter les infrastructures pour préserver le libre passage des poissons, et l'impact croissant des changements climatiques sur la mobilité et la survie des populations de saumon en Gaspésie.

Constat 34 – issu d'une question : Les bandes riveraines jouent un rôle clé dans la protection thermique des cours d'eau et des refuges thermiques, mais leur largeur et leur qualité ne sont pas toujours adaptées.

Restauration de la connectivité en milieu forestier et compensation écologique

Présenté par Mathieu Oreiller, biologiste au MELCCFP, à la direction des territoires fauniques et des habitats

Mathieu Oreiller a présenté un projet pilote visant à intégrer la restauration de la connectivité aquatique dans les mécanismes de compensation écologique. Il a rappelé le cadre légal : la Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune impose la séquence « éviter, minimiser, compenser » pour tout impact permanent sur un habitat faunique. Or, il est souvent difficile de trouver des projets de restauration d'habitats piscicoles, ce qui limite les options de compensation.

Constat 35 : Il n'existe pas d'obligation légale de restaurer les anciens ponceaux non conformes, ce qui crée une opportunité pour les projets de compensation.

Le projet s'appuie sur une opportunité en forêt publique : de nombreux ponceaux historiques ne permettent plus le libre passage du poisson, sans qu'il existe d'obligation légale de les restaurer. Ces infrastructures représentent donc un potentiel considérable pour des projets volontaires de compensation. Les interventions peuvent varier : retrait de ponceaux sur des chemins abandonnés, installation de traverses à gué sur des chemins peu fréquentés (si permis), ou remplacement par des ponceaux conformes. Ces projets sont réalisables dans la majorité des régions du Québec et offrent une source de financement pour la voirie forestière.

Mathieu a souligné plusieurs enjeux : absence de méthode intuitive pour calculer les gains écologiques, nécessité d'une planification à l'échelle des bassins versants, et manque de références scientifiques pour ce type de pratique. Le projet pilote en Gaspésie vise donc à :

- Développer une méthode de calcul des gains écologiques liés à la restauration de la connectivité.
- Établir une méthode de priorisation des sites à l'échelle des bassins versants.
- Produire un guide méthodologique pour la planification et la réalisation des projets.

Constat 36 : Il est complexe d'établir une équivalence entre les pertes d'habitat (ex. stabilisation de berges) et les gains de connectivité (ex. Restauration de ponceaux)

Deux sites ont été ciblés dans le bassin de la rivière Cascapédia : le ruisseau Lynn (6,5 km d'habitat reconnecté) et le ruisseau Rouge (9,3 km). Les ponceaux y présentent des problématiques classiques : sous-dimensionnement, enfouissement insuffisant, présence de fosses en aval. Leur remplacement par de nouvelles traverses permettra de compenser quatre projets de stabilisation de berges sur la Cascapédia. La méthode de calcul et la priorisation sont déjà en place, mais la réalisation des travaux et la production des guides sont prévues pour les prochaines étapes. Mathieu a insisté sur la nécessité de clarifier les rôles des intervenants et de structurer la gouvernance pour faciliter la mise en œuvre.

Constat 37 : La réalisation des projets de compensation nécessite une meilleure coordination entre les ministères, les régions et les acteurs locaux

Recommandation 39 : Profiter de la compensation réglementaire pour financer des projets de restauration de la connectivité en forêt publique

Recommandation 40 : Favoriser la coordination entre les ministères, les régions et les acteurs locaux pour la réalisation des projets de compensation

BROUILLON

Détection et caractérisation des ponceaux par LiDAR

Présenté par **Jean-François Bourdon**, ingénieur forestier au MRNF, à la Direction des inventaires forestiers

Jean-François Bourdon a présenté une approche innovante pour localiser et caractériser les ponceaux en utilisant des données LiDAR aéroportées. L'objectif est double : améliorer la connaissance du réseau de voirie forestière et faciliter la priorisation des interventions pour restaurer la connectivité aquatique.

La méthodologie repose sur l'intersection des vecteurs d'écoulement et des chemins, suivie d'une analyse des profils topographiques pour détecter les extrémités des ponceaux, évaluer la pente et identifier la présence probable de chutes à l'aval. Les résultats sont présentés sous forme de tableaux et de profils visuels, permettant d'estimer la longueur des ponceaux et la dénivellation.

Cette approche présente des limites : sensibilité aux erreurs de positionnement des tracés, précision réduite en zones de végétation dense, et données parfois désuètes (acquisition LiDAR datant de 2020). Malgré cela, les bénéfices sont majeurs : détection massive de ponceaux (508 très probables sur 6 355 intersections), possibilité de prioriser les interventions selon des critères (taille du bassin, potentiel de restauration, confiance de la détection), et amélioration de la qualité des données hydrographiques. Jean-François a conclu en soulignant que la validation terrain reste essentielle pour confirmer les résultats et optimiser la planification des projets.

Recommandation 41 : Utiliser les données lidar et les outils de télédétection pour cartographier et caractériser les ponceaux à grande échelle.

Listes des constats

Constat 1 : Un cours d'eau c'est beaucoup de choses, mais ce n'est surtout pas seulement un débit liquide, c'est entre autres, aussi, un système complexe de transport de sédiments et de morphologie.

Constat 2 : Les informations hydrologiques pour les grands bassins versants sont disponibles, mais pas pour les plus petits bassins versants, là où elle serait pertinente dans le cadre de l'aménagement de la voirie forestière

Constat 3 : Les projections montrent une augmentation de la probabilité, de la précocité et de la sévérité des étiages automnales et estivales, une diminution des débits lors d'étiage en été, des pics de crues plus tôt et une augmentation des débits hivernaux (accompagné d'une augmentation des risques de débâcle à l'hiver).

Constat 4 : le débit n'est pas le seul facteur explicatif de l'érosion et de la mobilité des sédiments (Maltais et al., 2022)

Constats 5 : les concepts hydrogéomorphologiques et les mobilités de sédiments sont souvent sous considérés lors de la planification de la voirie (RADF a. 97 par exemple).

Constat 6 : la cartographie et la connaissance du réseau routier sont encore limitées, avec des bases de données incomplètes et des classifications parfois imprécises

Constat 7 : La méconnaissance de l'état du réseau entraîne plusieurs risques : Perte d'accès au territoire ; Danger pour les usagers ; Hausse des coûts d'entretien ; Impacts écologiques accrus.

Constat 8 : La fréquence du trafic accélère la dégradation et la perte de surface de roulement.

Constat 9 : Les modèles utilisés ne prennent pas en compte toutes les variables (trafic, précipitations, matériaux, castors), mais les indices géospatiaux sont accessibles et utiles pour les gestionnaires.

Constat 10 : Ces surfaces (utilisé par la voirie) représentent une opportunité écologique majeure pour le reboisement et la capture de carbone, mais la planification actuelle est souvent fragmentée, sans cadre spatial clairement défini, opportuniste et peu optimisé, ce qui limite l'efficacité des interventions

Constat 11 : Le Québec compte plus de 400 000 km de chemins forestiers, dont 35 % sont abandonnés et 75 % non entretenus.

Constat 12 : L'absence de plan de gestion et de suivi post-utilisation entraîne des apports massifs de sédiments vers les cours d'eau, aggravés par des ponceaux défaillants ou emportés.

Constat 13 : Les changements climatiques accentuent les risques de crues soudaines, rendant les infrastructures actuelles souvent inadéquates.

Constat 14 : « la meilleure adaptation aux changements climatiques, c'est moins de ponceaux »

Constats 15 : Les stations hydrométriques ne peuvent pas être les seuls indicateurs pour décrire une sécheresse ; Il y a plusieurs facteurs inconnus qui peuvent expliquer une variabilité spatiale.

Constat 16 : Le quart des sécheresses estivales sont associées à des processus de gel ou de fonte ; Seulement 53 % des sécheresses météorologiques se transforment en sécheresses hydrologiques ; Plus de la moitié des sécheresses hydrologiques sont liées à la neige.

Constat 17 : En Gaspésie, il y a une faible densité de milieux humides et de par ce fait, leurs protections, bien qu'importantes pour les bénéfices que ces milieux apportent, n'auront que peu d'effet d'atténuation sur les étiages, les sécheresses et les autres phénomènes associés aux changements climatiques.

Constat 18 : Les cours d'eau sont majoritairement alimentés par l'eau souterraine et lors des périodes d'étiage cette proportion augmente.

Constat 19 : Dans les cours d'eau de tête, la température de l'eau semble corrélée à l'apport d'eau provenant de l'eau souterraine ; tandis que plus le bassin versant devient grand, plus la température atmosphérique devient un facteur déterminant de la température de l'eau. Les seuils doivent être établis par rivière ou par région. À Kenauk en Outaouais, on parle d'environ un bassin versant de 10km² pour que ce soit la température atmosphérique qui devient significative.

Constat 20 : le surdimensionnement des ponceaux augmente les risques de perte de connectivité lors de période d'étiage.

Constat 21 : L'état des routes est habituellement corrélé à l'état des ponceaux, ainsi il peut être parfois plus facile de caractériser l'état des routes que ceux des ponceaux. Cette problématique se retrouve aussi en forêt privée et il est important aussi d'adresser cet enjeu.

Constat 22 : Tous les milieux humides ne sont pas équivalents en termes de fonctions écologiques et de services écosystémiques.

Constat 23 : les milieux humides riverains inondables sont ceux qui sont importants pour atténuer les effets des inondations.

Constat 24 : La récolte forestière dans des milieux humides boisés peuvent avoir des effets bénéfiques au niveau des fonctions écologiques concernant la mitigation des effets des changements climatiques, comme la sécheresse et la mitigation des étiages.

Constat 25 : L'indice d'humidité topographique est très utile pour déterminer les sols secs

Constat 26 : Les nouvelles données sur les milieux humides offrent une meilleure caractérisation du type de zones humides et de leur limite. À terme, cela permet aussi une meilleure capacité à cartographier les fonctions écologiques.

Constat 27 : Les cours d'eau permanents sont sous-estimés (deux à trois fois) et les cours d'eau intermittents sont sous-estimés (environ 4 fois)

Constat 28 : La priorité en termes de mesure d'atténuation pour les points d'intérêt reste d'adresser les enjeux de sous-entretien de la voirie forestière.

Constat 29 : Les vagues de chaleur augmentent en intensité, en durée et en durée annuelle cumulée. Ainsi, les températures des habitats aquatiques sont, elles aussi, vouées à augmenter et ainsi, perdre leur capacité de jouer leur rôle.

Constat 30 : Les refuges thermiques offrent des oasis pour les salmonidés lors des épisodes de vagues de chaleur. Dans le contexte d'augmentation des vagues de chaleur, les refuges thermiques sont portés à jouer un rôle prépondérant.

Constat 31 : il ne s'agit pas de l'habitat du poisson, mais bien des habitats du poisson. Ceux-ci doivent être présent, de qualité et connectés entre eux afin que les poissons puissent y accéder à chacun de leur stade de vie respectif.

Constat 32 : les étiages estivaux plus fréquents réduisent la profondeur d'eau, tout comme certains tronçons chauds peuvent devenir des obstacles thermiques et donc briser la connectivité. Ainsi, l'importance des refuges thermiques et des tributaires froids augmente.

Constat 32 : De plus, le régime hydrique va être affecté et il devient alors nécessaire d'adapter les infrastructures (ponceaux) aux nouvelles conditions hydrologiques (étiages et crues).

Constat 33 : les poissons utilisent les ondulations et abris dans les ponceaux pour se reposer, ce qui améliore leur succès de passage par rapport aux prédictions des modèles classiques.

Constat 34 – issu d'une question : Les bandes riveraines jouent un rôle clé dans la protection thermique des cours d'eau et des refuges thermiques, mais leur largeur et leur qualité ne sont pas toujours adaptées.

Constat 35 : Il n'existe pas d'obligation légale de restaurer les anciens ponceaux non conformes, ce qui crée une opportunité pour les projets de compensation.

Constat 36 : Il est complexe d'établir une équivalence entre les pertes d'habitat (ex. stabilisation de berges) et les gains de connectivité (ex. Restauration de ponceaux)

Constat 37 : La réalisation des projets de compensation nécessite une meilleure coordination entre les ministères, les régions et les acteurs locaux

Constats issus des panels et des périodes de questions

Constat 38 : La réduction des dommages au sol est la saine pratique qui a l'effet le plus direct pour limiter l'augmentation de la température de l'eau.

Constat 39 : les coupes d'hiver, même si réputé bénéfique pour la protection des sols, seront de plus en plus difficile à réaliser et à planifier en Gaspésie.

Constat 40 : L'AEC n'influence pas le dimensionnement des ponceaux. Pour le dimensionnement on utilise les débits de récurrence sur 25 ans ou 50 ans, qui sont plus élevés que ceux causés par le déboisement du bassin versant.

Listes des recommandations

Recommandation 1 : Concernant la restauration de cours d'eau : privilégier la restauration des processus naturels tels que les processus de crues et de transport de sédiments, plutôt que la simple stabilisation des formes.

Recommandation 2 : Adapter la planification de la voirie aux dynamiques fluviales (dont la mobilité des sédiments et la présence de processus hydrogéomorphologique) et aux projections climatiques afin de renforcer la résilience des écosystèmes et des réseaux routiers forestiers.

Recommandation 3 : De repenser la conception des traverses de cours d'eau, en tenant compte de la taille des crues futures et de la dynamique sédimentaire.

Recommandation 4 : De considérer les espaces de liberté des rivières dans la planification forestière, en particulier pour les rivières à saumon.

Recommandation 5 : D'utiliser des outils comme le LiDAR et les modèles hydroclimatiques pour améliorer la connaissance du réseau hydrographique (repérer et cartographier) et identifier les zones vulnérables (recenser l'intensité des processus).

Recommandation 6 : Prioriser l'entretien des chemins selon leur usage réel et leur vulnérabilité.

Recommandation 7 : Optimiser la restauration en ciblant les segments stratégiques du réseau, en tenant compte du bilan carbone, de la fragmentation des habitats et des coûts logistiques.

Recommandation 8 : Modéliser les risques de bris, notamment ceux causés par les castors, en intégrant des variables hydrologiques, biologiques et anthropiques.

Recommandation 9 : Améliorer la connaissance du réseau routier par la cartographie fine des milieux sensibles (plaines alluviales, cônes de alluviaux, zones humides).

Recommandation 10 : Développer des outils d'aide à la décision pour soutenir la planification territoriale, notamment en cas d'incendies ou d'événements climatiques extrêmes.

Recommandation 11 : Intégrer la télédétection dans la gestion du réseau routier forestier pour une surveillance continue et à grande échelle.

Recommandation 12 : Adapter les pratiques de construction selon les conditions du terrain pour limiter la dégradation.

Recommandation 13 : Développer des outils d'aide à la décision pour orienter les investissements en entretien et restauration.

Recommandation 14 : Planifier des entretiens réguliers de la voirie afin d'éviter la dégradation, la végétalisation des chemins et les impacts sur l'environnement, et ce même si il n'y a pas d'activité de prévus.

Recommandation 15 : Utiliser un modèle d'optimisation spatiale capable de guider les décisions de restauration dans un optique d'outil de planification et d'aide à la décision.

Recommandation 16 : Demander une dérogation au RADF afin d'utiliser des traverses à gués.

Recommandation 17 : Demander une dérogation au RADF afin de permettre l'utilisation d'ouvrage amovible conditionnelle aussi à la mise hors service et non seulement si la fermeture est prévue dans les 3 ans tel que prévu au RADF.

Recommandation 18 : Élaborer un plan de gestion de la voirie forestière qui est cartographié et qui prévoit les entretiens, la désactivation ou la fermeture avec un horizon de temps défini.

Recommandation 19 : Élaborer une cartographie de réseau prioritaire dans un premier temps, afin de prendre dans un second temps des décisions sur les chemins à faible fréquentation (utiliser les schémas du Guide de saines pratiques).

Recommandation 20 : Arrêter de tolérer l'abandon du réseau routier

Recommandation 21 : Se doter d'orientation afin de gérer les chemins à faible fréquentation, si possible par l'utilisation de traverses à gué aménagées ; d'ouvrages amovibles ; de différents scénarios de fermeture de chemins et par une gestion de l'écoulement des eaux surtout concernant les chemins mis hors service.

Recommandation 22 : Ne pas se fier à un seul site de suivi pour évaluer les sécheresses, mais plutôt se baser sur un portrait plus complet

Recommandation 23 : Les bandes riveraines ont un rôle important à jouer. Les bandes riveraines sont importantes afin de venir mitiger les impacts des changements climatiques. Toutefois, leur effet sur la température de l'eau est moindre sur les grands cours d'eau comme les rivières à saumon en Gaspésie. Pour avoir une efficacité en Gaspésie, les bandes riveraines devraient se concentrer sur les petits cours d'eau et les ruisseaux intermittents pour contrer les hausses des températures de l'eau.

Recommandation 24 : Considérant qu'il y a une faible densité de milieux humides en Gaspésie, il est important de bien les protéger afin de protéger les services écosystémiques qui leur sont associés.

Recommandation 25 : Faire des études régionales afin de comprendre les dynamiques thermiques des rivières de la Gaspésie

Recommandation 26 : Éviter la tendance visant le surdimensionnement des ponceaux

Recommandation 27 : Identifier les bonnes pratiques à mettre en place au niveau de la planification forestière et des opérations forestières afin de maximiser les effets bénéfiques sur le cycle de l'eau.

Recommandation 28 : Mettre à jour les cartographies des fonctions écologiques afin d'adopter les mesures nécessaires à remplir adéquatement les objectifs d'aménagement des forêts.

Recommandation 29 : Pour le calcul de l'AEC, cibler des points d'intérêt sur le territoire qu'on veut protéger, même si les bassins versants sont petits.

Recommandation 30 : Lorsqu'il y a des problématiques de voirie en amont des points d'intérêt, il faudrait d'abord permettre les interventions forestières conditionnellement à corriger les

problèmes de voirie forestière en retirant les infrastructures problématiques et en procédant à une fermeture adéquate du chemin problématique.

Recommandation 31 : Maintien et restauration des bandes riveraines pour fournir de l'ombrage et réduire le rayonnement solaire.

Recommandation 32 : Simulation de scénarios d'ombrage à l'aide de données LiDAR pour évaluer l'effet d'une végétation riveraine plus haute sur la température des cours d'eau afin de cibler les endroits à prioriser.

Recommandation 33 : Les refuges thermiques doivent être identifiés, caractérisés et protégés. Pour aller plus loin, il serait possible de développer un modèle et de tester un modèle régional pour estimer la superficie et le volume des refuges thermiques.

Recommandation 34 – issue d'une question : Adapter la largeur et la qualité des bandes riveraines en fonction de l'orientation et des besoins thermiques des cours d'eau et de leurs tributaires

Recommandation 35 : Réaliser une analyse approfondie de la connectivité entre les différents habitats requis pour chaque stade de vie du saumon et formuler des recommandations pour assurer leur préservation.

Recommandation 36 : Toujours utiliser des ponceaux à simulation de cours d'eau.

Recommandation 37 : Recenser les ponceaux problématiques, dont les problématiques pour le poisson (longueur excessive, vitesse excessive, noirceur, faible profondeur, l'accumulation de débris et chute), et proposer des interventions pour restaurer la connectivité des habitats aquatiques.

Recommandation 38 : créer des zones de vitesse faible dans les ponceaux (lire installer des ponceaux présentant ces caractéristiques), non seulement pour diminuer la vitesse du courant, mais aussi pour offrir des refuges aux poissons

Recommandation 39 : Profiter de la compensation réglementaire pour financer des projets de restauration de la connectivité en forêt publique

Recommandation 40 : Favoriser la coordination entre les ministères, les régions et les acteurs locaux pour la réalisation des projets de compensation

Recommandation 41 : Utiliser les données lidar et les outils de télédétection pour cartographier et caractériser les ponceaux à grande échelle.

Recommandation issue des panels et périodes de questions

Recommandation 42 : Produire un inventaire des ponceaux et une caractérisation des problématiques potentielles, par exemple en réalisant des inventaires des formes et des processus hydrogéomorphologiques

Recommandation 43 : Faire une étude d'optimisation afin d'éliminer les chemins moins utiles.

Recommandation 44 : Produire une priorisation des routes d'accès et y associer des éléments d'un plan de gestion (à chacune des catégories de chemin)

Recommandation 45 : dans un plan de gestion de la voirie, il faut élaborer une stratégie pour être proactif dans l'entretien du réseau prioritaire plutôt que réactif.

Recommandation 46 : Avoir un inventaire de la voirie et ses composantes ainsi qu'un inventaire des utilisations et des utilisateurs de celle-ci (base de données évolutive et exhaustive).

Recommandation 47 : identifier les cours d'eau avec transport de charge de fond pour connaître ce risque et tenir compte du débit solide dans le calcul de débit.

Recommandation 48 : Il faut éviter (réduire au maximum) tous les dommages au sol (orniérage par exemple) qui diminuerait les fonctions écologiques des sols (infiltration, ruissellement, filtration ...) afin d'éviter le réchauffement de l'eau.

Recommandation 49 : Maintenir un ombrage des cours d'eau par une protection des bandes riveraines.

Recommandation 50 : Cibler des points d'intérêt (par exemple des sites d'intérêt fauniques) peu importe la taille du bassin versant, il n'y a pas de minimum.

Recommandation 51 : Évaluer la densité de la voirie (par COS ou par km² par exemple).

Recommandation 52 : Les efforts de protection des milieux humides devraient être orientés vers les marécages inondables et les marais, pour lesquelles il faut maintenir leur fonction d'atténuation des inondations.

Recommandation 53 : la protection des refuges thermiques doit d'abord passer par les bandes riveraines sur les petits cours d'eau.

Recommandation 54 : Il faut éviter toute intervention qui aurait pour effet d'abaisser les nappes phréatiques.