



# INFO FORAC

**2026**



# EXPO-CONFÉRENCE 2026

Construire la forêt  
de demain

Mercredi 28 janvier 2026  
Pavillon La Laurentienne - Salle 1334

**8 h 00** Accueil des participants

**8 h 45** **Luc LeBel**, directeur FORAC, Mot de bienvenue

**9 h 00** Annonce du renouvellement du Consortium de recherche FORAC Introduction par Luc LeBel, directeur FORAC

**9 h 10** **Prises de parole**  
Sophie D'Amours, rectrice de l'Université Laval,  
Nancy Gélinas, doyenne de la Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique,  
Frank Pons, doyen, Faculté des sciences de l'administration,  
Stéphane Boudreau, doyen, Faculté des sciences et de génie  
Nicolas Meagher, directeur de l'approvisionnement en fibre, Domtar et président, Bureau de direction de FORAC

**9 h 30** L'avenir de FORAC V, **Luc LeBel**, directeur FORAC

**9h45** PAUSE-SANTÉ

**10h 30** **Rasmus Astrup**, Chercheur, Nibio  
Smart Forestry: Leveraging Technology and Artificial Intelligence for Sustainable Forest Management

**11 h 30** **Mahsa Yadegari**, étudiante au doctorat en sciences forestières  
Hybridization in timber harvesting: advancing productivity and energy performance

**12h00** DÎNER

**13 h 00** **Bibek Bhandari & Amal Ben Amar**, étudiants au doctorat en sciences forestières  
The Impact of Mechanized Forest Operations on the Physical Environment in Northern Mixed Hardwoods

**13 h 30** **Jessica Solofonirina**, étudiante au doctorat en sciences forestière  
Analyse de la performance des opérations de récupération de bois brûlé

**14 h 00** **Bibek Subedi**, étudiant au doctorat en sciences forestière  
Exploring the use of machine learning methods to spatially delineate harvest units for rapid replanning under climate-induced uncertainty

**14 h 30** PAUSE-SANTÉ

**15 h 00** **Wissem Ayat**, étudiant à la maîtrise en génie industriel  
Prévision des prix du bois d'œuvre par apprentissage profond

**15 h 30** **William Larrivée-Hardy**, étudiant à la maîtrise en informatique, Université Laval  
Estimation de la position du grappin d'une chargeuse basé sur une image

**16 h 00** **Gabriel Jeanson**, étudiant à la maîtrise en informatique, Université Laval  
Vers un suivi automatisé de la régénération forestière par drones et IA

**16 h 30** Retour sur la journée et remerciements suivi d'un 4@6 social au Pub Universitaire

# RÉALISATIONS

mai 2019 – décembre 2025

# ACHIEVEMENTS

May 2019 – December 2025

## Recherche Research

# 120

activités de recherche en cours ou terminés  
*ongoing or completed research activities*



# 55

stages complétés  
*internships*



# 45

étudiant(e)s  
*students*

33 M. Sc., 10 Ph. D.,  
2 postdocs



# 20

autres projets  
*other projects*

# 159

contributions scientifiques  
*scientific contributions*



# 48

articles scientifiques de revues  
*scientific journal articles*



# 46

actes de conférences  
avec articles  
*conferences with refereed  
proceedings*



# 37

communications orales  
*oral communications*



# 28

autres publications  
*other publications*

## Transfert Transfer

# 1 372

rencontres avec les partenaires industriels  
*meetings with our industrial partners*



# 6

Expo-Conférence



# 6

Écoles d'été  
*Summer Schools*

# 20

FORAC

# 1

FORAC  
20<sup>th</sup>



# 17

jours de présentations  
des stages  
*internship presentation days*



# 71

Petits Déjeuners  
FORAC



# 19

Petits  
Déjeuners  
FORAC  
étudiants  
*students*

## CULTIVER L'AVENIR

---

Dans un contexte forestier marqué par l'incertitude — qu'il s'agisse des bouleversements économiques, des tensions commerciales ou des défis environnementaux — FORAC poursuit sa mission avec détermination. Les vents contraires, comme le conflit tarifaire avec les États-Unis, affectent nos partenaires industriels et la société tout entière. Pourtant, à l'image de la couverture de ce rapport, où un semis se dresse devant une forêt mature, nous choisissons de voir dans cette période troublée une urgence de renouvellement et un appel à l'action.

L'année 2025 marquait la fin d'un cycle de recherche pour FORAC. Un cycle fécond, qui a permis à plus de 35 étudiantes et étudiants d'obtenir une maîtrise, un doctorat ou un postdoctorat sur des thèmes couvrant l'approvisionnement forestier, la transformation en usine, la logistique et l'intelligence d'affaires. Ensemble, nous avons semé des idées, cultivé des expertises et renforcé les liens entre la recherche universitaire et les besoins concrets de l'industrie.

Cette année, FORAC entame un nouveau cycle, porté par des ambitions renouvelées : former une relève encore plus en phase avec les besoins de la société, développer et déployer des solutions de pointe avec nos partenaires, et contribuer activement à la compétitivité du secteur forestier. Ce renouveau est aussi méthodologique : nous resserrons les liens entre les étudiantes, étudiants et les partenaires industriels pour une recherche davantage ancrée dans la réalité du terrain, tout en continuant de repousser les frontières du savoir.

FORAC renouvelle enfin sa structure de gestion, avec l'arrivée d'une équipe qui viendra m'appuyer dans le leadership du consortium. Cet Info-FORAC met de l'avant des professeures, professeurs, étudiantes et étudiants qui ont choisi de s'investir dans un FORAC tourné vers l'avenir, prêt à faire germer de nouvelles idées pour un secteur forestier innovant et durable.

## CULTIVATING THE FUTURE

---

In a forestry context characterized by uncertainty, whether related to economic upheaval, trade tensions, or environmental challenges, FORAC is continuing its mission with determination. Headwinds such as the tariff dispute with the United States are affecting our industry partners and society. Like the cover of this report, where a seedling stands before a mature forest, we are choosing to see this troubled period as an urgent call for renewal and action.

The year 2025 marked the end of a research cycle for FORAC. It was a fruitful cycle that enabled more than 35 students to obtain a master's, doctoral, or postdoctoral degree in topics covering forest supply, mill processing, logistics, and business intelligence. Together, we have sown ideas, cultivated expertise, and strengthened the links between university research and concrete needs of the industry.

This year, FORAC is embarking on a new cycle, driven by renewed ambitions such as training a new generation of researchers who are more in line with societal needs, developing and implementing cutting-edge solutions with our partners, and contributing actively to the competitiveness of the forestry sector. This renewal is also methodological—we are strengthening links between students and industrial partners to conduct research that is more grounded in the reality on the ground, while continuing to expand the boundaries of knowledge.

In addition, FORAC is renewing its management structure with the arrival of a team that will support me in leading the consortium. This Info-FORAC is putting forward professors and students who have chosen to invest themselves in a forward-looking FORAC, ready to nurture new ideas for an innovative and sustainable forestry sector.



**Luc LeBel**

Directeur  
Director  
[luc.lebel@sbf.ulaval.ca](mailto:luc.lebel@sbf.ulaval.ca)

## DÉVELOPPER ENSEMBLE : LA NOUVELLE CODIRECTION DE FORAC AU SERVICE DE L'AVENIR FORESTIER

---

Mon parcours m'a permis de développer une vision internationale et intégrée de la chaîne de valeur forestière. Fort de mon expérience comme professeur à la Technical University of Munich et à l'Université Laval, j'apporte une perspective complémentaire qui favorise les collaborations interdisciplinaires et internationales — un atout majeur pour renforcer le réseau de recherche et d'innovation de FORAC.

Mes travaux de recherche se structurent autour de deux axes : l'interaction machine/sol en contexte forestier et la numérisation des opérations forestières. Ces axes s'inscrivent pleinement dans la vision de FORAC en misant sur l'exploitation et la valorisation des données pour mieux comprendre, modéliser et optimiser les opérations.

Enfin, ma démarche scientifique vise à adapter les technologies et les stratégies d'opération aux réalités changeantes des forêts.

### **Eric R. Labelle**

Directeur général adjoint

Je suis spécialisée dans la gestion de la production et de la logistique, les chaînes d'approvisionnement orientées client ainsi que la valorisation des données industrielles pour une meilleure prise de décision.

Ma recherche se concentre sur le développement de systèmes d'aide à la décision combinant simulation, apprentissage automatique et optimisation, afin d'aligner efficacement les décisions de production, de logistique et de vente et de rendre les processus plus performants et durables.

Dans le cadre de FORAC V, mes projets visent à aider les entreprises forestières à être plus orientées client et à doter les décideurs d'outils permettant de réagir efficacement aux fluctuations du marché en coordonnant les décisions de prix, de ventes et de production.

### **Maha Ben Ali**

Codirectrice partenariats & évènements

Ma première introduction à FORAC remonte à 2010, en tant que doctorant. Après mes études, j'ai enseigné à l'étranger où j'ai observé FORAC de l'extérieur et découvert des valeurs aujourd'hui plus essentielles que jamais.

La force de FORAC réside dans sa capacité à unir partenaires industriels et chercheurs qui travaillent souvent en silo. Dans le contexte actuel, nous avons une occasion unique de comprendre les problèmes des uns et des autres et de proposer des solutions concrètes.

En tant que codirecteur adjoint, responsable des partenariats et des événements, mon objectif est de créer un environnement propice aux échanges et de bâtir des relations solides entre praticiens et chercheurs. Cette collaboration sera la base pour renforcer la chaîne d'approvisionnement, soutenir les communautés et assurer la durabilité de nos pratiques de gestion forestière.

### **Shuva Gautam**

Codirecteur partenariats & évènements

Les chercheurs, comme les entrepreneurs, doivent saisir les opportunités. Les opportunités de liquidités et d'effectifs des entrepreneurs sont comme nos opportunités de financement et d'équipe. Les tendances de la recherche et les besoins industriels déterminent nos opportunités de marché. Nos résultats sont nos produits.

Aujourd'hui, nous pourrions penser que nous avons saisi ces opportunités. Nous avons des fonds, une équipe et un programme de recherche : il suffit de suivre ce programme pour mettre nos nouveaux produits sur le marché ce qui signifie publier et transférer les connaissances. Détrompez-vous ! C'est toujours le moment de saisir de nouvelles opportunités. Nous avons également l'opportunité de développer une communauté de partage, diversifiée, productive et ouverte. Oui, nous avons déjà les professionnels, les professeurs et les partenaires industriels, mais il faut recruter des étudiants.

Pour saisir les opportunités, le programme de FORAC V peut s'inspirer de l'approche du « rolling release ». Ceci signifie que l'équipe de recherche est disponible et qu'il n'est pas nécessaire d'attendre FORAC VI pour proposer de nouveaux projets excitants.

En conclusion, oui, le programme de recherche est planifié, mais c'est le moment de le mettre en œuvre et de saisir les opportunités.

### **Michael Morin & Rémi Georges**

Co-directeurs scientifiques

## **GROWING TOGETHER: NEW FORAC COLEADERSHIP TEAM WORKING TO BUILD THE FUTURE OF FORESTRY**

---

My career path has enabled me to develop an international and integrated vision of the forestry value chain. On the basis of my experience as a Technical University of Munich and Université Laval professor, I'm bringing a complementary perspective that promotes interdisciplinary and international collaboration—a major asset for strengthening the FORAC research and innovation network.

My research is putting emphasis on two areas: machine/soil interaction in forestry and forestry operation digitization. These areas are fully in line with the FORAC vision that puts emphasis on the use and exploitation of data to better understand, model, and optimize operations.

I have based my scientific approach on adapting technologies and operational strategies to the changing forest realities.

### **Eric R. Labelle**

Assistant General Director  
Eric.Labelle@sbf.ulaval.ca

I specialize in production and logistics management, customer-oriented supply chains, and the use of industrial data to improve decision-making.

My research is putting emphasis on developing decision support systems that combine simulation, machine learning, and optimization to align production, logistics, and sales decisions effectively and make processes more efficient and sustainable.

In the context of FORAC V, my projects are helping forestry companies become more customer-oriented and provide decision-makers with tools to respond effectively to market fluctuations by coordinating decisions related to pricing, sales, and production.

### **Maha Ben Ali**

Partnership & Events Codirector  
maha.ben-ali@polymtl.ca

I was first introduced to FORAC when I was a doctoral student in 2010. I taught abroad after completing my studies, where I observed FORAC on the sidelines; I discovered values that are now more essential than ever.

FORAC's strength lies in its ability to bring together industry partners and researchers who often work independently. Currently, we have a unique opportunity to understand each other's problems and propose concrete solutions.

As assistant codirector in charge of partnerships and events, my goal is to create an environment conducive to dialogue and build strong relationships between practitioners and researchers. This collaboration will be the basis for strengthening the supply chain, supporting communities, and ensuring the sustainability of our forest management practices.

### **Shuva Gautam**

Partnership & Events Codirector  
shuva-hari.gautam@sbf.ulaval.ca

Like entrepreneurs, researchers need to seize opportunities. Entrepreneur cashflow and workforce opportunities are our funding and teamwork opportunities. Research trends and industrial needs define our market opportunities. Our products are the result.

Today, we might think we have already seized these opportunities because we have funding; we have a team; we have a research program. All we have to do is follow the FORAC V program and market new products, i.e., publish and transfer knowledge. Think again. You can still seize new opportunities.

We also need to further develop our productive, diverse, open, and sharing community. Although we already have a team of professionals, professors, and industrial partners, we need to recruit graduate students.

The FORAC V program can be inspired from the rolling release approach to seize opportunities. In other words, the research team is open for business; there is no need to wait for FORAC VI to propose exciting new projects.

Though the research program has been planned, it's time to implement it and seize opportunities.

### **Michael Morin & Rémi Georges**

Scientific Codirectors  
michael.morin@fsa.ulaval.ca  
remi.georges@sbf.ulaval.ca

## CONCEPTION DE ROUTES RÉSILIENTES POUR LA CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT FORESTIER

Les routes forestières sont essentielles pour mener à bien les activités de gestion, notamment l'exploitation forestière et pour permettre l'accès aux multiples utilisateurs qui dépendent des forêts pour leur subsistance et leurs loisirs. Cependant, les réseaux routiers forestiers sont de plus en plus affectés par le changement climatique. L'augmentation des températures, des précipitations et la fréquence des cycles de gel-dégel accélèrent la dégradation des routes, menaçant la qualité de l'environnement. Cela entraîne également une perturbation des opérations forestières et une augmentation des coûts de livraison du bois compromettant la viabilité économique du secteur forestier.

De manière générale, ce projet vise à renforcer la résilience de la chaîne d'approvisionnement forestière dans un contexte de changement climatique. Les principaux objectifs sont : (i) évaluer l'impact du changement climatique sur la dégradation physique des routes forestières, (ii) estimer ses effets sur les coûts de construction et d'entretien et (iii) concevoir un réseau routier résilient aux futurs scénarios climatiques.

D'abord, un modèle sera élaboré à partir d'une revue documentaire exhaustive afin de prédire la dégradation des routes selon différents scénarios climatiques. Ensuite, un modèle estimera le coût du cycle de vie des routes forestières, intégrant les activités de construction et d'entretien aux projections climatiques pour évaluer leur influence sur les coûts futurs. Enfin, une approche heuristique sera appliquée pour concevoir un réseau routier résilient au climat optimisant les tracés afin de minimiser les coûts, pour réduire les impacts environnementaux et pour améliorer la performance à long terme dans un contexte de changement climatique.

Le résultat de cette recherche est un outil d'aide à la décision qui aide plusieurs parties prenantes à concevoir des réseaux routiers résilients au climat et rentables. Cette étude aidera le secteur forestier québécois à réduire les risques opérationnels, à améliorer la stabilité de la chaîne d'approvisionnement et à soutenir la gestion durable des forêts dans un contexte d'incertitude climatique.

## DESIGNING RESILIENT ROADS FOR THE FOREST SUPPLY CHAIN

Forest roads are essential for carrying out management activities, including timber harvesting, and for providing access to multiple users who rely on forests for their livelihood and recreation. However, forest road networks are increasingly being affected by climate change. An increase in temperature, precipitation, and frequent freeze-thaw cycles accelerates road degradation, thereby threatening environmental quality. This increase also leads to forest operation disruption and increases wood delivery costs, undermining economic viability in the forest sector.

Broadly, this project will enhance forest supply chain resilience in the context of climate change. The main objectives will be to (i) evaluate the impact of climate change on the physical deterioration of forest roads, (ii) assess the impacts of climate change conditions on construction and maintenance costs, and (iii) design a resilient road network capable of withstanding future climate scenarios.

Based on a comprehensive literature review, a model will be developed to predict road degradation rates under a variety of climate scenarios. A cost model will be developed to estimate the life cycle cost of forest roads. This model will integrate construction and maintenance activities with climate projections to assess how they will affect costs. To design a climate-resilient road network and optimize routes to keep costs down, reduce environmental impacts, and improve long-term performance in a context of climate change, a heuristic approach will be applied.

The outcome of this research will be a decision support tool to help multiple stakeholders design climate-resilient and cost-effective road networks. This study will help the Quebec forestry sector reduce operational risks, improve supply chain stability, and support sustainable forest management amid climate uncertainty.



**Nischal Sedhai**

Étudiant au doctorat  
Doctoral Student  
nischal.sedhai.1@ulaval.ca

## CONCEPTION ET PLANIFICATION DE RÉSEAUX DE CHEMINS FORESTIERS : OUTIL DE GESTION TACTIQUE

À l'échelle du Québec, les chemins forestiers s'inscrivent dans le paysage comme de vastes réseaux d'infrastructures orientant notamment les activités socioéconomiques, l'accès au territoire et l'organisation des écosystèmes. Toujours en expansion, ces corridors s'étendent aujourd'hui sur plus de 485 000 kilomètres en forêt publique nécessitant ainsi une gestion exhaustive et intégrée auprès d'un multitude de parties prenantes telles que les compagnies forestières, les villégiateurs et les Premières Nations. Faute de plan établi au niveau des PAFIT et PAFIO, la plupart des décisions liées au développement des chemins reposent encore sur l'expérience et l'intuition des ingénieurs forestiers. Bien qu'une multitude d'outils de gestion existent à cet effet, ils se limitent souvent à des paramètres économiques et leur utilisation s'avère particulièrement technique.

Dans un contexte multiusage, la gestion des chemins ne peut plus être envisagée comme un simple défi technique, mais comme un enjeu complexe intégrant des dimensions économiques, environnementales et sociales. À cet effet, le projet propose (i) d'identifier les usages prioritaires sur une ou plusieurs régions forestières au Québec, (ii) de développer un outil d'aide à la décision, intuitif et applicable sur un horizon de planification tactique allant de 5 à 15 ans et (iii) d'intégrer des indices de vulnérabilité des chemins fournis par un autre projet de maîtrise en collaboration.

Une revue de littérature est en cours de rédaction pour recenser les méthodes de conception et de planification de réseaux routiers. La suite du projet s'entamera cet automne, en partenariat avec le ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF) et le Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy (CERFO) pour définir la région d'étude et affiner la méthodologie. Les données mobilisées incluront la localisation des scieries, les droits octroyés sur le territoire ainsi que des informations pertinentes à l'approvisionnement forestier et l'état actuel du réseau.

Ultimement, l'outil développé constituera un levier décisionnel pour maximiser la valeur des forêts publiques selon divers usages, dans une perspective de gestion intégrée, de rendement soutenu et d'aménagement écosystémique.

## DESIGNING AND PLANNING FOREST ROAD NETWORKS: TACTICAL MANAGEMENT TOOL

Forest roads are vast infrastructure networks that structure socioeconomic activities, territorial access, and ecosystem organization across Quebec. These increasingly expansive corridors are now spanning more than 485,000 kilometres in public forests, requiring an exhaustive and coordinated management by many stakeholders, including forestry companies, remote tourism, and First Nations. In the absence of a set plan by PAFIT and PAFIO, many road development decisions are still based on forest engineers' experience and intuition. Despite the availability of numerous management tools, their use remains limited to economic settings; that use is quite technical.

Road management can no longer be perceived as a purely technical challenge in a multiuse context; instead, it must be perceived as a complex matter involving economic, environmental, and social dimensions. This project aims to (i) identify priority uses in one or many forest areas in Quebec, (ii) develop an intuitive decision-making tool applicable to a five- to fifteen-year tactical planning horizon, and (iii) incorporate road condition indicators generated by another collaborative master's project.

A literature review is being drafted to point out network design and planning methods. In partnership with the MRNF (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts) and CERFO (Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy), the next phase, starting this fall, will define the study area and methodology. Many data sources will be required, including sawmill location, rights granted on the territory, and information relevant to forest supply and the current network.

The developed tool will be a decision-making vehicle to maximize public forest value for multiple uses in the context of integrated management, sustained yield, and ecosystem-based management.



**Benjamin Bergeron**

Étudiant à la maîtrise  
Master's Student  
benjamin.bergeron.2@ulaval.ca

# SUIVI D'UNE FLOTTE D'ENTREPRENEUR FORESTIER À L'AIDE D'UN TABLEAU DE BORD

## 1. Contexte / Context

La mécanisation a fortement accéléré la productivité des opérations forestières. Toutefois, ces travaux exigent désormais davantage de flexibilité, de prévisibilité et de rigueur pour gérer de multiples contraintes. Dans ce contexte, les entreprises doivent se doter d'outils de suivi permettant une gestion précise des approvisionnements. Les nouvelles technologies de collecte de données offrent en ce sens des occasions d'améliorer la planification et la prise de décision.

*Mechanization has significantly accelerated the productivity of forestry operations. However, these tasks now require greater flexibility, predictability, and rigor to manage multiple constraints. In this context, companies must equip themselves with monitoring tools that enable precise supply management. New data collection technologies offer opportunities to improve planning and decision-making.*

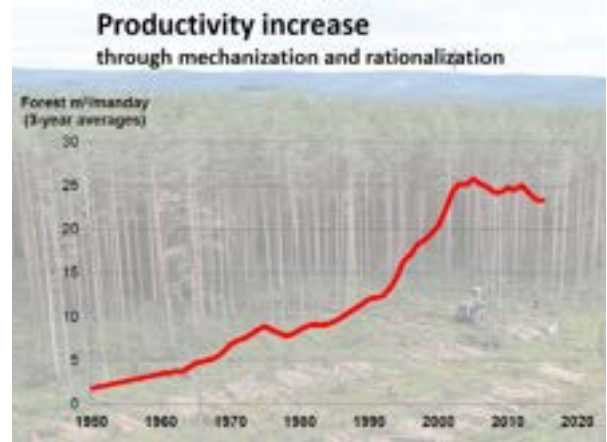
## 2. Problématique / Problematic

Certains flux de données restent complexes à interpréter et sont peu exploités. Le projet développe des outils pour valoriser les nouvelles sources de données et affiner la planification.

*Some data streams remain complex to interpret and are underutilized. The project develops tools to leverage new data sources and refine planning.*



# MONITORING A FOREST ENTREPRENEUR FLEET WITH A DASHBOARD



Skogforsk, 2025

## 3. Objectifs / Goals

Les objectifs sont d'intégrer des données d'ordinateurs de bord pour le suivi et la gestion, notamment pour mesurer l'effet des conditions écoforestières sur la productivité des abatteuses, et de développer une méthode permettant leur intégration pour un suivi de la flotte.

*The objectives are to integrate onboard computer data for monitoring and management, particularly to measure the impact of eco-forestry conditions on harvester productivity, and to develop a method enabling their integration for fleet tracking.*

## 4. Méthode / Method

La méthodologie mise en place met à contribution les données d'ordinateurs de bord de 20 équipes de récolte, reliées aux caractéristiques dendrométriques de peuplement, permettent d'identifier les facteurs influencent le plus la productivité au moyen de différentes analyses statistiques.

*The methodology implemented uses onboard computer data from 20 harvesting teams, linked to stand dendrometric characteristics, to identify the factors that most influence productivity through various statistical analyses.*

## 5. Résultats statistiques / Statistical results

Parmi l'ensemble des facteurs étudiés, le diamètre à hauteur de poitrine, le volume par tige, la hauteur et les volumes de bouleau et de SEPM demeurent les facteurs les plus liés à la productivité. Des indicateurs fiables pour le suivi des opérations peuvent être intégrés à un tableau de bord.

*Among all the factors studied, diameter at breast height, volume per stem, height, and the volumes of birch and SEPM remain the most closely linked to productivity. Reliable indicators for monitoring operations can be integrated into a dashboard.*

## Principales variables explicatives de la productivité selon la régression Elastic Net / Top Five Most Influential Variables According to Elastic Net Regression

Variables	Coefficients
Diamètre hauteur de poitrine / Diameter at breast height (cm)	7.663
Volume par tige de bouleau/ Stem volume per tree – birch (dcm <sup>3</sup> /ti)	4.395
Volume par tige SEPM / Stem volume per tree – SEPM (dcm <sup>3</sup> /ti)	3.475
Volume bouleau blanc / White birch volume (m <sup>3</sup> /ha)	2.703
Nombre de tiges bouleau / Number of birch stems (ti)	2.627

## 6. Le suivi de la flotte / Fleet tracking

Le tableau de bord permet le suivi de la performance des entrepreneurs forestiers via des indicateurs clés. Il démontre son utilité par une méthode de suivi à l'échelle de la flotte, intégrant l'impact des conditions forestières, les planifications et les objectifs d'approvisionnement.

*The dashboard enables monitoring the performance of forestry contractors through key indicators. It demonstrates its usefulness by providing a fleet-level tracking method that integrates the impact of forest conditions, planning, and supply objectives.*



## 7. Impacts / Impacts

Ce projet offre aux gestionnaires d'approvisionnement un guide pour exploiter les données disponibles afin d'anticiper et d'améliorer la performance de leur flotte.

*This project provides supply managers with a guide to leverage available data to anticipate and improve fleet performance.*



**Julien St-Louis**

Étudiant à la maîtrise  
Master's Student  
julien.st-louis@forac.ulaval.ca

## OPTIMISER LES POIDS DE PRODUCTIONS DES MACHINES DE SCIAGE

Le sciage génère un panier de produits déterminé par les caractéristiques de la matière première et le réglage des machines. Afin de privilégier certains produits, les planificateurs de production règlent les poids de production en considérant les prix du marché et le rendement matière. Pour une bille donnée, la machine décidera du patron de coupe à utiliser en fonction de ces poids.

Bien que la rentabilité reste un objectif central, les planificateurs sont soumis à une pression croissante pour aligner la production à la demande et minimiser les niveaux de stocks. Les approches conventionnelles, fondées soit sur la maximisation du rendement matière, soit sur l'utilisation des prix de marché comme poids de production, ne tiennent pas compte des contraintes d'inventaire ni de l'évolution de la demande.

L'objectif de ce projet est de déterminer les poids optimaux en tenant compte des fluctuations hebdomadaires des prix du marché ainsi que la dynamique de la demande. À cette fin, nous développons un cadre de type Empirical Model Learning (EML) qui intègre un réseau de neurones dans un modèle linéaire mixte en nombres entiers. Le réseau de neurones a été entraîné pour reproduire le comportement d'une scierie et formule la relation entre les poids et les volumes de production, permettant l'optimisation des poids de production.

Notre étude de cas montre que, lorsque les ventes sont contraintes par la demande, notre approche surpasse l'utilisation de poids basés sur les prix de vente ou le rendement matière. Nos résultats récents montrent qu'au prix d'une augmentation de 5 % des pertes en matière, l'optimisation des poids conduit à un gain de 5 % en revenus, à une amélioration de 8 % de la satisfaction de la demande et à une réduction de 11 % du volume total de stocks.

## OPTIMIZING PRODUCT WEIGHTS IN SAWING MACHINES

Sawing is a coproduction process in which each log yields a basket of products determined by raw material characteristics and machine settings. To prioritize some products, production planners set product weights by considering market prices and material yield. The sawing machine will decide the log's sawing pattern depending on those weights.

Although profit remains central, planners face growing pressure to align production with market demand and minimize inventories. Conventional approaches based on maximizing material yield or using market prices as product weights do not account for inventory constraints or demand fluctuations.

The objective of this research is to determine optimal product weights considering weekly market price fluctuations and demand dynamics. To this end, we have developed an Empirical Model Learning (EML) framework, embedding neural network within a Mixed Integer Linear Program (MILP). The neural network was trained to replicate sawmill behaviour and explicitly formulate the relationship between product weights and production volumes, enabling a direct optimization of the product weights.

Our case study has shown that when sales are constrained by demand, our approach outperforms the use of weights based on selling prices or prioritizing material yield. At the cost of a 5% increase in material losses, our recent results have shown that optimizing weights leads to a 5% gain in revenues, an 8% improvement in demand satisfaction, and an 11% reduction in total stock volume.



**Louis Duhem**

Étudiant au doctorat  
Doctoral student  
louis.duhem@polymtl.ca



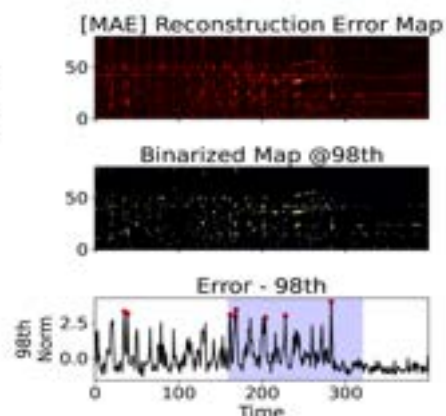
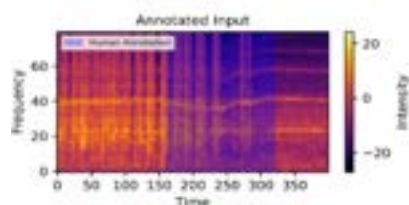
## INTERPRÉTABILITÉ DE LA DÉTECTION DES ANOMALIES ACOUSTIQUES INDUSTRIELLES

La détection d'anomalies est essentielle pour le suivi des machines industrielles afin d'améliorer sécurité et productivité. Dans l'industrie du bois, les raboteuses nécessitent un calibrage manuel et de subtils changements sonores peuvent révéler des défauts difficiles à détecter dans un environnement bruyant.

Les autoencodeurs profonds sont des modèles qui peuvent détecter des anomalies en s'entraînant uniquement sur des données normales. Lorsque confrontés à un nouvel échantillon sonore, l'erreur de reconstruction signale des motifs anormaux. Toutefois, le caractère de boîte noire des autoencodeurs limite la confiance des utilisateurs. Dans ce travail, nous montrons comment les cartes d'erreur de reconstruction expliquent visuellement les zones sonores qui influencent les décisions du modèle.

Nous avons entraîné deux modèles sur de vrais sons de raboteuse : un autoencodeur standard (AE) et un autoencodeur masqué (MAE). Tel que présenté dans la figure ci-dessous, les cartes d'erreur montrent les zones de plus forte différence entre entrée et reconstruction. Comparées aux annotations d'experts, les cartes des MAE correspondent mieux aux anomalies. Leur courbe d'erreur temporelle, obtenue en sommant les erreurs sur les fréquences, présente aussi plus de pics dans les intervalles annotés que l'AE.

Nous concluons que les cartes d'erreur des MAE localisent les anomalies plus précisément que celles des AE ce qui pourrait améliorer la compréhension et la confiance des utilisateurs dans le modèle.



## INTERPRETABILITY IN INDUSTRIAL ACOUSTIC ANOMALY DETECTION

Anomaly detection is essential for monitoring industrial machines to improve safety and productivity. In wood manufacturing, planers require manual calibration; subtle sound changes can indicate defects that are hard to detect in noisy environments.

Deep learning autoencoders are models that can detect anomalies by training only on normal data. The reconstruction error highlights abnormal patterns when autoencoders are confronted with a new sound sample. However, the autoencoder black-box nature limits user trust. In this work, we have shown how reconstruction error maps can visually explain sound areas driving the model's decisions.

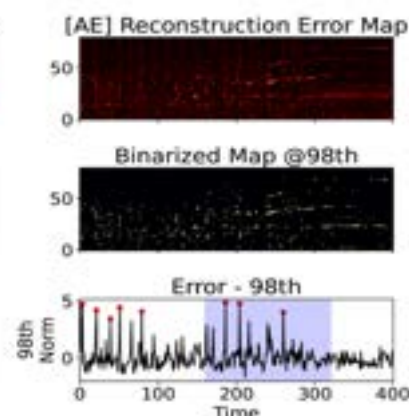
We trained a standard autoencoder (AE) and a masked autoencoder (MAE), two models on actual wood-planer sounds. As shown in the figure below, error maps highlight areas where input and reconstruction differ most. Compared to expert annotations, MAE maps better align with actual anomaly areas. Its temporal error curve, obtained by summing errors across frequencies, also shows more peaks within annotated intervals than AE.

We have concluded that MAE error maps localize the anomalies more precisely than AE maps, which can improve user understanding and trust in the model.



**Maab Elrashid**

Étudiante au doctorat  
Doctoral Student  
maab.elrashid.1@ulaval.ca



## FLEXIBILITÉ DE LA FLOTTE ET UTILISATION DES COURS DE TRANSIT DU BOIS POUR UNE LIVRAISON PRÉCISE

La chaîne d'approvisionnement en bois est confrontée à une variabilité saisonnière et logistique marquée qui compromet la fiabilité et accroît les coûts de livraison. Dans les régions nordiques, l'approvisionnement en bois est limité par le dégel printanier, les perturbations météorologiques et la productivité variable des opérations de récolte. Ces variations créent des déséquilibres entre la disponibilité du bois en amont et la demande des usines en aval. Dans ce contexte, les responsables de l'approvisionnement et les opérateurs d'usine doivent mettre en place des stratégies permettant de maximiser la rentabilité globale.

Cette recherche étudie comment une gestion flexible de la flotte de camions et l'utilisation des cours de transit peuvent équilibrer la capacité du système, améliorer la performance de livraison et accroître la rentabilité. Elle vise à (i) évaluer les effets des ajustements dynamiques de la flotte sur la stabilité des flux et (ii) analyser comment les stocks tampons des cours de transit contribuent à des livraisons d'assortiments fiables.

Un modèle de programmation linéaire en nombres entiers mixtes (MILP) a été développé afin d'optimiser les flux de bois entre les sites forestiers et les scieries en utilisant les cours de transbordement lorsque cela est approprié. Le modèle intègre les décisions de transport, d'inventaire et de production dans un horizon de planification glissant afin de tenir compte des variations hebdomadaires de la disponibilité du bois. L'étude de cas porte sur la région du Lac-Saint-Jean, au Québec, et couvre un réseau de sites forestiers, de cours et de scieries sur un horizon de 52 semaines divisé en trois saisons opérationnelles.

L'étude a testé le modèle d'optimisation proposé sur un réseau type. En tenant compte de différents scénarios saisonniers (accumulation, dégel et équilibre), les résultats préliminaires montrent que les ajustements dynamiques de la flotte et l'utilisation des cours de transbordement améliorent nettement la performance du système. Par rapport à une flotte non flexible, les profits augmentent de 43,30 % période d'accumulation, de 10,08 % en dégel et de 4,85 % en équilibre, confirmant la capacité du modèle à stabiliser les livraisons et à accroître la rentabilité.

## FLEET FLEXIBILITY AND WOOD TRANSIT YARD USE FOR PRECISE MILL DELIVERY

The wood supply chain is faced with seasonal and logistical variability that undermines reliability and increases delivery costs. In northern areas, wood procurement is constrained by spring thaw, weather disruptions, and fluctuations in harvesting operations. These variations create imbalances between upstream wood availability and downstream mill demand. It is in this context that supply managers and mill operators have to develop strategies that maximize global profits.

This research has investigated how flexible truck fleet management and the use of transshipment yards can balance system capacity, improve delivery performance, and increase profits. This research will (i) evaluate the impacts of dynamic fleet adjustments on flow stability and (ii) assess how inventory buffers at transshipment yards contribute to reliable assortment deliveries.

A Mixed-Integer Linear Programming (MILP) model was developed to optimize wood flow from forest sites to sawmills, using transshipment yards when appropriate. The model integrates transportation, inventory, and production decisions within a rolling planning horizon to account for weekly variations in wood availability. The case study has shed light on the Quebec area of Lac-Saint-Jean, covering a network of forest sites, yards, and sawmills over a 52-week horizon divided into three operational seasons.

The research study tested the proposed optimization model using a case network. By considering various seasonal supply scenarios (accumulation, spring thaw, and equilibrium), preliminary results have shown that dynamic fleet adjustments and the use of transshipment yards significantly enhance system performance. Compared to non-flexible operations, profits increased by 43.30% during the accumulation season, 10.08% during spring thaw, and 4.85% under equilibrium conditions. These findings have confirmed the model's capacity to stabilize deliveries and increase overall profitability.



**Niloofar Jahani**

Étudiante au doctorat  
Doctoral Student  
niloofar.jahani.1@ulaval.ca

## ÉVALUATION DE L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES CHAÎNES D'APPROVISIONNEMENT

Les changements climatiques pourraient perturber l'approvisionnement en bois en modifiant la composition forestière, en réduisant la productivité et en augmentant la fréquence des perturbations naturelles. Les feux de forêt représentent l'une des menaces les plus importantes, car des superficies brûlées plus étendues peuvent entraîner des pertes substantielles de bois, des changements rapides dans la structure forestière et une diminution de l'accessibilité pour les opérations de récolte. Les gestionnaires forestiers font face à une incertitude croissante pour maintenir des flux de bois vers les usines rendant nécessaire l'intégration des effets des changements de croissance et de l'activité du feu dans la planification de l'aménagement forestier.

Ce projet vise (i) à développer un cadre de planification stochastique afin d'évaluer comment le risque d'incendie lié aux changements climatiques influence l'approvisionnement en bois des usines au Québec, (ii) à optimiser les stratégies d'aménagement forestier en évaluant différentes options sylvicoles pour maximiser la performance économique tout en maintenant l'approvisionnement sous changements climatiques et (iii) à analyser comment différents scénarios influencent la résilience de la chaîne d'approvisionnement forestière québécoise.

L'étude, menée en collaboration avec le Bureau du forestier en chef (BFEC), s'appuiera sur leur modèle stratégique permettant d'intégrer des paramètres stochastiques de feux de forêt. Des courbes de rendement ajustées au climat et des données régionales des usines seront utilisées pour estimer comment les perturbations influencent les flux de bois entre les installations. L'analyse sera ensuite élargie afin d'évaluer l'effet de traitements sylvicoles alternatifs sur la disponibilité à long terme du bois et la performance économique. Enfin, une analyse par scénarios servira à mettre à l'épreuve la chaîne d'approvisionnement sous différentes conditions futures afin d'améliorer sa résilience.

Les résultats de recherche permettront de mieux comprendre les vulnérabilités des chaînes d'approvisionnement forestières du Québec face aux changements climatiques et soutiendront des stratégies de gestion visant à mieux équilibrer performance économique et réduction des risques.

## ASSESSING THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON SUPPLY CHAINS

Climate change is expected to disrupt wood supply dynamics by altering forest composition, reducing productivity, and increasing the frequency of natural disturbances. Forest fires are one of the most critical threats, as more widely spread burned areas can lead to substantial timber loss, rapid changes in stand structure, and reduced access for harvesting operations. Consequently, forest managers increasingly face uncertainty in maintaining stable wood flows for mills, making it necessary to integrate the combined impacts of climate-driven growth changes and shift fire activity into strategic forest management planning.

This project will (i) develop a stochastic planning framework to assess how climate-driven wildfire risk affects wood supply to mills across Quebec, (ii) optimize forest management strategies by evaluating alternative silvicultural treatment to maximize NPV while maintaining wood supply under climate change, and (iii) analyze how a variety of scenarios affect resilience in the Quebec forest supply chain.

Carried out in close collaboration with the BFEC (Bureau du forestier en chef), the study will build on its strategic level model to link stochastic forest fire parameters. Climate-adjusted yield curves and regional mill data will subsequently be used to predict how disturbances impact wood flows to a variety of facilities. This analysis will be extended to evaluate the impact of alternative silvicultural treatments on long-term wood availability economic performance. Finally, a scenario-based analysis will be conducted to stress-test the supply chain under multiple future conditions to increase its resilience.

Research results will provide a better understanding of vulnerabilities in Quebec's forest supply chains under climate change and support management strategies that better balance economic performance and risk reduction.



**Sara Ahmadi**

Étudiante au doctorat  
Doctoral Student  
sara.ahmadi.1@ulaval.ca

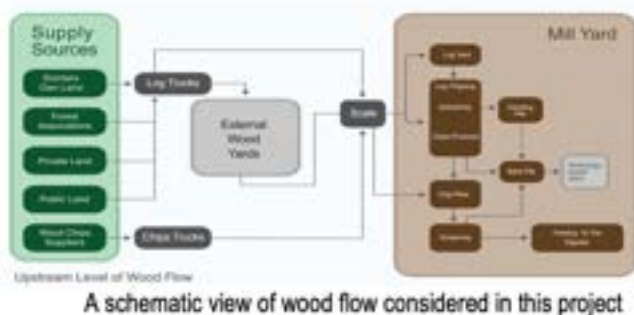
## OPTIMISATION DES LIVRAISONS DANS UNE CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT DE PÂTES ET PAPIERS

L'industrie des pâtes et papiers s'appuie sur un réseau d'approvisionnement complexe liant la récolte, le transport et la livraison du bois à l'usine. Les variations de disponibilité des matières premières, la diversité des fournisseurs, les contraintes de transport et les conditions saisonnières créent une forte incertitude dans la chaîne d'approvisionnement. Une coordination renforcée des activités d'approvisionnement, de transport et de stockage est donc essentielle pour garantir la fiabilité et la maîtrise des coûts.

Ce projet développe un modèle de programmation linéaire en nombres entiers mixte (MILP) multi-période (18 mois) visant à optimiser les décisions d'achat, de transport et de stockage tout en analysant l'impact de la variabilité saisonnière, de la disponibilité des ressources et des contraintes de capacité sur la planification tactique.

Le modèle mène à un système d'aide à la décision pour la gestion tactique de l'approvisionnement en fibres, déterminant les sources d'achat, les périodes de transport et les itinéraires optimaux qu'il s'agisse d'une livraison directe ou via un réseau de cours externes.

Les résultats permettent d'établir un plan d'approvisionnement en fibres rentable, résilient et flexible qui assure que les stocks répondent aux besoins de production tout en s'adaptant aux variations saisonnières. Le compromis entre résilience, flexibilité et coût s'explique par le fait qu'améliorer la fiabilité et la réactivité de l'approvisionnement nécessite de gérer les inventaires et de diversifier les fournisseurs. Ces mesures offrent aux gestionnaires des outils pour concilier fiabilité, adaptabilité et efficacité.



## OPTIMIZING FEEDSTOCK DELIVERIES IN A PULP AND PAPER SUPPLY CHAIN

The pulp and paper industry relies on a complex procurement network linking wood harvesting, transportation, and delivery to maintain continuous mill operations. Fluctuations in feedstock availability, supplier diversity, transportation constraints, and seasonal restrictions create major uncertainty across the supply chain. Addressing these challenges requires coordinated enhancements in procurement, transportation, and storage to guarantee reliability and cost control.

This project will develop a multi-period, 18-month Mixed Integer Linear Program (MILP) model to optimize procurement, transportation, and storage decisions while analyzing the impact of seasonal variability, feedstock availability, and capacity constraints on tactical planning performance.

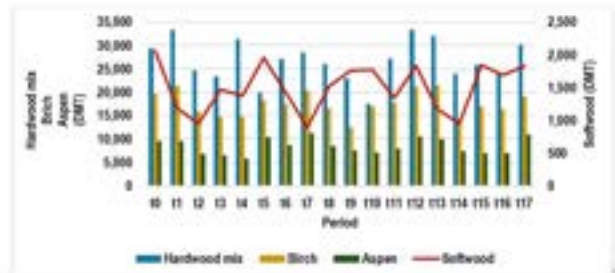
The model will deliver an optimization-based decision-support system for tactical fibre procurement. The model will determine procurement sources, transportation, and best planning periods, whether fibre will be delivered directly to the mill or via external yard networks.

Results will provide a cost-effective, resilient, and flexible fibre procurement plan to ensure inventory will meet production needs, all the while adapting to seasonal changes. The trade-off between resilience, flexibility, and cost occurs because enhancing supply reliability and responsiveness involves managing inventories and sourcing from multiple suppliers. These measures provide managers with tools to balance reliability, adaptability, and efficiency.



**Zahra Homayouni**

Étudiante au doctorat  
 Doctoral Student  
 zahra.Homayouni.1@ulaval.ca



## RÉSULTATS DU PROJET PILOTE OTN FORAC ID

Entre octobre 2023 et décembre 2024 s'est déroulé le projet pilote FORAC ID OTN. Le projet, rendu possible grâce à une étroite collaboration entre Domtar (anciennement Produits forestiers Résolu), le consortium de recherche FORAC et FPIinnovations, a permis de faire l'automatisation et l'intégration des données provenant des ordinateurs d'une flotte complète d'abatteuses. Les données ainsi recueillies permettent à Domtar et à ses entrepreneurs forestiers une meilleure visibilité sur la performance des opérations de récolte.

Réalisé dans le cadre de l'offensive de transformation numérique mise en place par le gouvernement du Québec, le projet avait pour objectif d'outiller l'industrie afin qu'elle valorise pleinement les données générées par ses équipements de récolte. Grâce au système SIPAD de FPIinnovations, les données ont été collectées des ordinateurs de bord des abatteuses et acheminées automatiquement au système FORAC ID. Avec la technologie de la plateforme Web FORAC ID, il a été possible d'automatiser l'intégration des données des fichiers provenant des têtes d'abatteuses ainsi que de générer différents rapports de production et de calibration.

La dynamique de collaboration s'appuyait sur une séquence de codéveloppements itératifs afin de produire rapidement un système opérationnel et pleinement adapté aux besoins des utilisateurs. Par exemple, des fonctionnalités clés telles que la détection automatique d'erreur de données et le support de nouveau format de fichiers entrants ont émergé en cours de projet et furent développées de façon agile.

Les résultats de ce projet offrent à Domtar une meilleure visibilité sur ses opérations forestières et contribuent à offrir une meilleure compréhension des facteurs pouvant expliquer les rendements sur le terrain. Pour FORAC, ce projet a été l'occasion d'améliorer les capacités de sa plateforme FORAC ID à agréger efficacement de grandes quantités de données réelles.

Le projet pilote OTN a atteint ses objectifs et la collaboration se poursuit. Domtar et d'autres partenaires de FORAC utilisent régulièrement les fonctionnalités de la plateforme FORAC ID et continuent de guider le développement de la plateforme. Somme toute, le projet est un bel exemple de co-développement agile, ancré dans la réalité opérationnelle de l'industrie.

## FORAC ID OTN PILOT PROJECT RESULTS

The FORAC ID OTN pilot project took place between October 2023 and December 2024. Through close collaboration among Domtar (formerly Resolute Forest Products), the FORAC Research Consortium, and FPIinnovations, the project automated and integrated data coming from the onboard computers of an entire fleet of forest harvesters. The data collected now provides Domtar and its forestry contractors with greater exposure to the performance of harvesting operations.

Carried out in the context of the digital transformation initiative launched by the Quebec government, the project was to equip the industry with tools to fully harness data generated by its harvesting equipment. With the help of FPIinnovations SIPAD systems, data was collected from the harvesters' onboard computers and automatically transferred to the FORAC ID system. Because of FORAC ID web platform technology, it was possible to automate the integration of data files coming from harvester heads and generate various production and calibration reports.

To quickly produce an operational system fully adapted to user needs, the collaborative dynamic relied on an iterative codevelopment sequence. For instance, key features such as automatic data error detection and support for new incoming file formats emerged during the project and were developed in an agile manner.

Project results give Domtar better exposure to its forest operations and provide a better understanding of factors illustrating on-the-ground performance. This project was an opportunity for FORAC to enhance FORAC ID platform capacity and efficiently aggregate large volumes of real-world data.

The OTN pilot project has achieved its goals; collaboration is continuing. Domtar and other FORAC partners are using the platform features regularly and continuing to guide its ongoing development. Overall, the project is an excellent example of agile codevelopment rooted in the industry's operational reality.



**Alexandre Morneau** ing., M.Sc.A.

Professionnel de recherche  
Research Professional  
alexandre.morneau@forac.ulaval.ca



CONSORTIUM DE RECHERCHE FORAC

Pavillon Adrien-Pouliot  
1065, avenue de la Médecine  
Université Laval  
Québec (Québec) G1V 0A6  
[www.forac.ulaval.ca](http://www.forac.ulaval.ca)