



LA RECHERCHE
DANS LE RÉSEAU DE
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

L'ESPOIR À TRAVERS LES BRANCHES

La communauté scientifique tente de démultiplier les effets positifs de la forêt sur le climat.

IMAGE: SHUTTERSTOCK

3 UN AMÉNAGEMENT IDÉAL

6 PLANTER UNE FORÊT SUR LES TERRES ABANDONNÉES

8 QUESTION DE FORME

9 DANS L'ŒIL D'UN DRONE

10 INTÉGRER LA FORÊT BORÉALE AU MARCHÉ DU CARBONE

12 UN FERTILISANT NOUVEAU GENRE

13 DES PILES EN BOIS

14 ÉNERGIE NOUVELLE

QUE LA FORÊT NOUS GARDE

Existe-t-il un endroit plus agréable que la forêt? Sa beauté nous émerveille, ses parfums nous enivrent, son calme nous apaise.

Mais la forêt est également une porte de salut. Les ambitieux et nécessaires objectifs de réduction des gaz à effet de serre que se donnent les États partout dans le monde ne pourront être atteints sans sa contribution. Bref, nous avons besoin d'elle.

Nous le savons tous : des racines aux feuilles, les arbres absorbent et séquestrent du carbone présent dans l'atmosphère. Puis les produits du bois, comme ces planches qui font nos planchers, le stockent ensuite pour plusieurs décennies. Enfin, il est possible d'utiliser des ressources issues de la forêt pour remplacer des produits du pétrole, dont l'exploitation est polluante.

Ce cahier fait le tour des recherches les plus récentes qui ont cours dans le Réseau de l'Université du Québec sur le pouvoir des arbres. Bonne promenade dans les bois!

2

Coordination :

Mélissa Guillemette, Julie Martineau et Vincent Roy, en collaboration avec les 10 établissements du réseau de l'Université du Québec

Rédaction :

Rachel Hussherr, Annie Labrecque, Martine Letarte et Karl Rettino-Parazelli

Direction artistique :

Christine Charette

Révision-correction :

Pierre Duchesneau

Ce dossier est inséré dans le numéro de décembre 2022 du magazine *Québec Science (QS)*. Il a été financé par l'Université du Québec (UQ) et produit par le magazine *Québec Science*.

Les 10 établissements du réseau de l'Université du Québec ont pour mission de faciliter l'accessibilité à l'enseignement universitaire, en plus de contribuer au développement scientifique du Québec et au développement de ses régions.

UN AMÉNAGEMENT IDÉAL

Les forêts influencent les changements climatiques de façon parfois insoupçonnée. Des scientifiques se penchent sur le sujet.

PAR MARTINE LETARTE

Saviez-vous que les arbres qui perdent leurs feuilles en hiver sont utiles pour freiner le réchauffement de la planète ?

C'est que la forêt joue un grand rôle en ce qui concerne l'absorption et la réflexion de la chaleur, comme l'explique **Frédéric Doyon**, professeur au Département des sciences naturelles de l'Université du Québec en Outaouais (UQO). « Les couleurs pâles augmentent la réflectivité et les couleurs foncées absorbent la chaleur. Dans une forêt de feuillus, les arbres n'ont pas de feuilles l'hiver, donc, la neige au sol peut refléter efficacement l'énergie du soleil. » Exactement comme les toits blancs, qui réchauffent moins les villes que leurs versions foncées.

Ce type de facteurs plus « champ gauche » est étudié de près par la communauté scientifique : chaque détail compte à l'ère des changements climatiques. N'oublions pas que 30 % des terres émergées de la planète sont couvertes d'arbres !

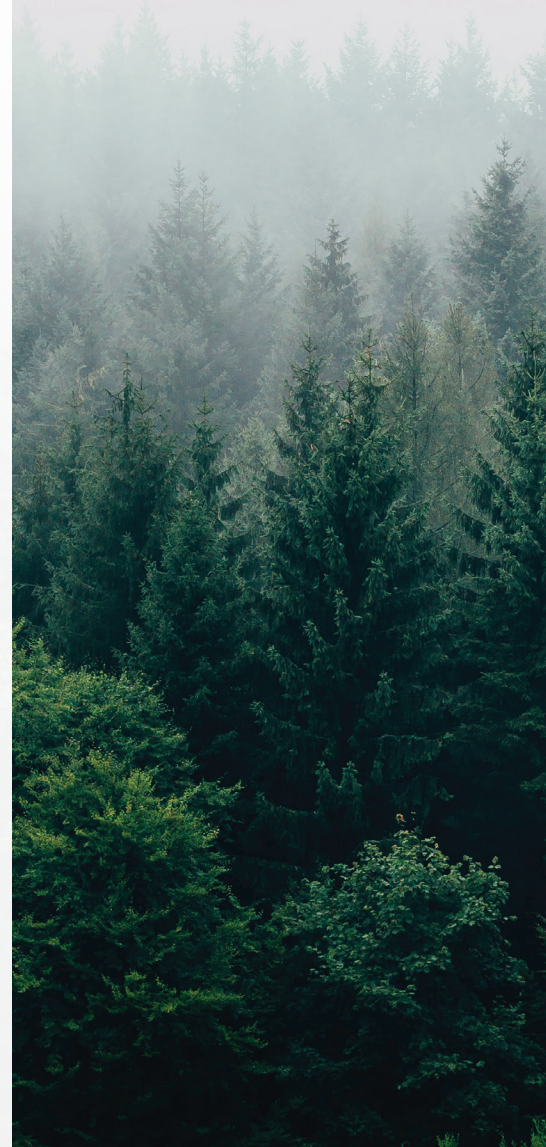
Frédéric Doyon fait partie de cette armée de scientifiques qui se penchent sur l'aménagement des forêts. Il participe à un grand projet de recherche entamé en 2021 et réalisé en collaboration avec le Bureau du Forestier en chef du Québec. Ces travaux touchent les trois grands types de forêts de la province : de feuillus, mixte et boréale.

Le chercheur travaille également sur la question du sol. Par exemple, dans la forêt boréale québécoise, la coupe dite « avec protection de la régénération et des sols » est la plus fréquente. Selon ce régime, « lorsque

les arbres sont rendus à maturité, ils sont quasiment tous récoltés, mais on protège la couche de végétation sous ces arbres matures », mentionne-t-il. Il poursuit : « Le sol devient alors soudainement très exposé à la lumière et à la chaleur. Les bactéries sont stimulées, elles respirent plus vite, se multiplient et émettent beaucoup de carbone dans l'atmosphère. Nous regardons s'il est possible de limiter cet effet avec des coupes partielles qui permettent de garder un couvert de protection. » Pas fou !

Opter pour la fabrication de produits forestiers à longue durée de vie est aussi une façon de maximiser le stockage de carbone relâché quand le produit est détruit. « Nos modèles permettent de comparer deux scénarios afin de voir lequel stockera le plus de carbone dans l'atmosphère, indique Frédéric Doyon. Par exemple, est-il mieux de couper une sapinière lorsque les arbres sont encore petits, après 30 ans — ce qui permettra seulement de faire de la pâte à papier [qui se dégradera rapidement et relâchera son carbone] —, ou d'attendre 70 ans pour que les arbres soient assez gros pour pouvoir faire du bois afin de fabriquer des maisons ? Le tout en tenant compte du fait qu'un arbre capte plus de carbone dans l'atmosphère pendant les 50 premières années de sa vie. »

Attention : ça continue de se corser. « Les 30 premières années après une coupe, le sol produit du carbone, souligne le professeur. Donc, si on coupe tous les 30 ans, on n'y stocke jamais de carbone, et si on coupe tous les 70 ans, on le stocke pendant 40 ans. Il reste à quantifier cela. »



« La biodiversité est très liée à l'âge de la forêt. Les jeunes arbres, les intermédiaires, les matures, les très vieux et ceux qui sont morts sur pied et au sol génèrent une diversité structurale qui crée des niches écologiques pour différentes espèces. »

Pierre Drapeau, professeur
au Département des sciences
biologiques de l'UQAM

Ce travail donnera au gouvernement des outils pour mieux utiliser le potentiel des forêts et réduire leur empreinte carbone. « Si chaque action peut avoir l'air petite, c'est considérable si on les additionne et qu'on les applique à toute la superficie des forêts du Québec », conclut Frédéric Doyon.

BOISER ET REBOISER

Au Québec, il y a aussi beaucoup de zones dénudées dans la forêt boréale; pas moins de 1,3 million d'hectares, pour être précis. Ces secteurs sont le résultat notamment d'« accidents de régénération » : c'est le cas si deux feux de forêt se produisent dans un court laps de temps, avant que les arbres n'aient eu le temps de produire des graines.

« L'industrie forestière souhaite planter sur ces sites, qui sont comme des territoires perdus », illustre **Jean-François Boucher**, professeur au Département des sciences fondamentales de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC).

Et cela tombe bien, car la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, qui oblige ses pays membres — dont le Canada — à comptabiliser et rapporter ses émissions de gaz à effet de serre, tient compte des efforts de boisement et reboisement de sites dénudés. Le bilan carbone collectif serait donc gagnant.

Or, quelles sont les meilleures stratégies pour planter des arbres sur ces sites ? C'est ce que Jean-François Boucher évalue avec son équipe au moyen de leurs travaux de modélisation. Déjà, le groupe estime que le stockage de carbone par les forêts québécoises pourrait passer du simple au double en procédant à plusieurs petits changements dans l'aménagement des forêts !

« Pour réduire les risques de feux de forêt, lesquels émettent beaucoup de carbone, on peut planter des feuillus qui brûlent beaucoup moins que les conifères, explique-t-il. Donc, par exemple, dans la forêt boréale — où il y a beaucoup d'épinettes blanches et noires, de pins gris et de mélèzes, soit des conifères très vulnérables au feu —, on peut planter des feuillus qui poussent bien dans le Nord, comme du bouleau blanc et du peuplier. »

Son équipe se penche également sur l'approche très répandue, en aménagement forestier, qui consiste à laisser la forêt se régénérer par elle-même après une coupe. « Dans 80 % du temps, on ne plante pas, mais on tente de voir s'il ne serait pas mieux de faire différemment pour augmenter la séquestration de carbone », précise Jean-François Boucher.

Le chercheur fait valoir que, lorsqu'on ne reboise pas, la forêt revient habituellement à l'état dans lequel elle était avant. Néanmoins, y a-t-il moyen d'arriver à un plus fort taux d'arbres par hectare ?

« Par exemple en plantant une certaine quantité d'arbres, répond-il. Aussi, en gardant quelques arbres matures pour qu'ils produisent des graines tout en donnant un minimum de préparation au sol pour qu'elles aient de bonnes chances de s'y enraciner. » C'est là toute l'idée des « coupes partielles ».

L'IMPORTANCE DU COUVERT FORESTIER

Pierre Drapeau, professeur au Département des sciences biologiques de l'Université du Québec à Montréal (UQAM), s'intéresse lui aussi au couvert forestier. Par contre, son but est tout autre : maintenir une plus grande biodiversité dans les forêts.

« La coupe sous couvert forestier, communément appelée coupe partielle, signifie qu'on ne récolte pas tous les arbres matures comme dans la coupe avec protection et régénération des sols, nuance-t-il. On en récolte seulement une partie, puis on revient périodiquement pour en récolter d'autres, par exemple tous les 30 ans. Plusieurs travaux ont montré que le couvert forestier maintient beaucoup mieux la biodiversité que lorsqu'on passe d'un coup d'un milieu fermé à un milieu ouvert. »

Le chercheur réfère ici autant aux végétaux qu'aux animaux. « La biodiversité est très liée à l'âge de la forêt, dit-il. Les jeunes arbres, les intermédiaires, les matures, les très vieux et ceux qui sont morts sur pied et au sol génèrent une diversité structurale qui crée des niches écologiques pour différentes espèces. »

Pierre Drapeau propose depuis plusieurs années d'aller vers un aménagement forestier plus durable en diversifiant les types de coupes. « En diminuant les écarts entre la forêt naturelle et la forêt aménagée, on souhaite assurer à long terme le maintien des multiples biens et services rendus par la forêt, comme la création d'habitats pour la faune, la filtration de l'eau qui se retrouve dans les bassins versants et la séquestration de carbone, tout en réalisant des bénéfices économiques avec la récolte du bois, précise-t-il. Bien qu'on ait réalisé quelques progrès, il reste encore beaucoup à faire pour aménager la forêt de façon plus durable. C'est toute la société qui en sortira gagnante. » ●

Un nouvel observatoire

La création de l'observatoire régional de recherche sur la forêt boréale a été annoncée en mai 2022 à l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC). Son objectif : analyser les enjeux forestiers propres au Saguenay-Lac-Saint-Jean et à ses écosystèmes pour un aménagement durable. Il est dirigé par **André Pichette**, professeur au Département de sciences fondamentales de l'UQAC et directeur du Centre de recherche sur la Boréale, qui réunit des scientifiques actifs dans le domaine des ressources renouvelables de la forêt boréale.

L'observatoire permet de réunir des expertises de différentes disciplines pour permettre aux spécialistes de se pencher sur plusieurs questions qui touchent notamment à l'exploitation de la forêt, aux Premières Nations, aux changements climatiques et à la biodiversité. Il effectue aussi un travail de veille, de diffusion et de transfert des connaissances.

Le gouvernement du Québec a investi 900 000 \$ dans la création de cet observatoire.



PLANTER UNE FORÊT SUR LES TERRES ABANDONNÉES

Les friches, soit les terres abandonnées notamment dans le secteur agricole, sont peu intéressantes d'un point de vue environnemental. Et si on y plantait des arbres ?

PAR MARTINE LETARTE

D'anciennes terres agricoles subsistent depuis l'été dernier une transformation extrême nouveau genre à Pike River, en Estrie.

« C'est une première au Québec et, à ma connaissance, dans le monde », affirme **Daniel Kneeshaw**, professeur au Département des sciences biologiques de l'Université du Québec à Montréal (UQAM).

Lorsqu'on reboise un terrain, on ne plante traditionnellement que des semis, soit des arbres de deux ou trois ans. On est très loin de la véritable forêt, où la diversité des tailles et des espèces est grande.

Pour accélérer le processus à Pike River, des arbres de quelques mètres de haut et des arbres matures ont également été plantés. C'est sans oublier les plantes herbacées et le dépôt d'arbres morts au sol. « Dans ces arbres, on trouve des champignons, des bactéries et d'autres organismes très différents de ce qu'on trouve dans les jeunes arbres », précise Daniel Kneeshaw.

Ce titulaire de la Chaire de recherche UQAM sur la résilience et les vulnérabilités des forêts tempérée et boréale aux changements climatiques a proposé ce projet audacieux au ministère des Transports du Québec (MTQ), qui s'était engagé à compenser la coupe d'arbres nécessaire à la construction du tronçon de près de 38 km qu'il manquait à l'autoroute 35 pour conclure le corridor Montréal-Boston. Et le MTQ a osé !

En 2020, un projet pilote a été lancé, et il s'est avéré un succès. Pas moins d'une qua-

rantaine d'arbres matures ont été transplantés grâce à une machine spécialisée.

« D'habitude, elle est utilisée pour transplanter des arbres en ville, indique le chercheur. En forêt, il y a beaucoup plus de défis; souvent, les racines de plusieurs arbres sont entremêlées, et si on en coupe trop, l'arbre a moins de chances de survie. On a donc choisi des arbres plus isolés. »

EXPÉRIENCE SUR 12 ANS

L'été dernier, l'équipe de Daniel Kneeshaw a signé un contrat de près de 7 millions de dollars sur 12 ans avec le MTQ pour commencer un projet de 25 hectares, toujours sur des friches. Cette initiative permettra aussi de faire des expérimentations avec différentes espèces.

« Par exemple, avec le réchauffement climatique, certains pensent qu'on pourra planter des arbres du sud dans le nord, mais il y a des gels tardifs et hâtifs dans le nord, remarque-t-il. Les arbres du sud ne sont pas habitués à ces extrêmes. On fera des tests avec des semis de différentes espèces des États-Unis et de l'Abitibi. »

L'objectif est de créer un écosystème. « On ne réussira sûrement pas à recréer tout ce qu'on trouve en nature, mais on s'en inspire pour avoir de meilleurs résultats que ceux qu'on a actuellement », fait valoir le chercheur.

Pour relever ce défi, il travaille notamment avec l'ornithologue Pierre Drapeau. « Le type d'espèces d'arbres plantées et la structure de la forêt ont des répercussions sur la venue des oiseaux », dit Daniel Kneeshaw.

Avec l'expertise du biologiste François Fabianek, l'équipe tentera aussi de créer des habitats, ou encore d'augmenter la quantité d'insectes, afin de favoriser la présence de chauves-souris menacées. Tanya Handa est quant à elle l'experte de la microfaune au sol, celle qui favorise la décomposition de la matière organique.

Les premiers arbres plantés seront à croissance lente, et l'équipe laissera des espaces pour y planter plus tard ceux qui sont à croissance rapide. « On verra si on réussit à recréer une forêt plus rapidement qu'avec la méthode traditionnelle et, si oui, à quel point, explique le professeur. Et est-ce que tous les organismes ou seulement certains répondront positivement à la méthode ? »

L'équipe prévoit obtenir des résultats d'ici cinq ans. « On apprendra beaucoup de ce projet et, ensuite, on pourra adapter notre méthode pour la rendre plus performante », conclut Daniel Kneeshaw.

Les friches agricoles sont nombreuses en Abitibi-Témiscamingue. Différents acteurs sont tentés d'y planter des arbres, question de rendre ces terres à nouveau productives. Néanmoins, avec les arbres qui poussent à une distance égale les uns des autres, les plantations ressemblent peu à une forêt naturelle et n'ont généralement pas une grande acceptabilité sociale.

C'est du moins ce que remarque **Annie DesRochers**, professeure à l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT), qui a développé une expertise dans les plantations à croissance rapide, lesquelles



Friche en cours de reboisement près de la ville d'Amos

peuvent facilement être aménagées sur des friches puisqu'on n'y trouve pas de gros débris forestiers.

Or, ces sites fournissent-ils moins de services environnementaux que les forêts naturelles ? Se pourrait-il, au contraire, qu'ils soient même plus efficaces à certains égards ?

La chercheuse, qui est également titulaire de la Chaire industrielle CRSNG [Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada] en sylviculture et production de bois, cherche d'abord à montrer et mesurer l'effet de la plantation d'espèces exotiques à croissance rapide sur la biodiversité végétale du sous-bois dans les plantations sur friche. « On plante souvent du peuplier hybride : du peuplier baumier indigène, qu'on mélange avec du peuplier japonais ou avec du peuplier noir de l'Ouest pour faire des arbres qui poussent plus vite », explique Annie DesRochers.

Son équipe s'intéresse de plus à l'origine des terres abandonnées. « Est-ce qu'on y cultivait du foin ? Ou est-ce une friche engendrée par une coupe mal faite où la forêt ne s'est pas régénérée ? Est-ce que le type de friche influence comment poussent les arbres à croissance rapide qu'on plante ? On regarde aussi l'effet sur la biodiversité végétale de même que sur le carbone dans le sol et le microbiome du sol », précise-t-elle.

PRÉCIEUX SOL

La séquestration du carbone dans le sol est d'ailleurs un autre élément qui est étudié de près par l'équipe de la chercheuse. Quand des plantes ou des arbres meurent et tombent au sol, ils forment de la matière organique qui enrichit ce dernier tout en conservant du carbone. « Plus le sol séquestre de carbone, plus on réduit l'effet de serre, indique Annie DesRochers. L'une des solutions évoquées est de faire plus de plantations d'arbres à croissance rapide, parce qu'ils séquestrent beaucoup de carbone dans l'atmosphère. Mais on ne sait pas s'ils séquestrent plus de carbone dans le sol. »

Lancée à la COP21 (Conférence des parties à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques) en 2015, l'initiative 4 pour 1000 soutient que si on augmentait le stock de matière carbone organique dans le sol de 0,4% par an, on réglerait le problème de l'augmentation du carbone dans l'atmosphère. « On regarde donc si on pourrait mieux gérer les plantations pour que le sol garde plus de carbone », résume la professeure DesRochers.

Les friches seront donc un terrain d'étude, et de plantation, pour plusieurs années encore! ●

QUESTION DE FORME

Il y a des arbres coniques, des cylindriques... Certains poussent très rapidement; d'autres, lentement. Comment ces éléments, influencés par les changements climatiques, ont-ils un effet sur la capacité de la forêt à séquestrer le carbone ?

PAR MARTINE LETARTE

Traditionnellement, pour estimer le volume de biomasse forestière d'un arbre — laquelle est directement liée à sa capacité à stocker le carbone —, on mesure son diamètre à hauteur de poitrine et sa hauteur. Puis on prend la densité moyenne de l'espèce pour terminer le calcul. Un jeu d'enfant !

Or, cette façon traditionnelle de faire les choses risque de devenir désuète en raison des changements climatiques. C'est le genre de questions sur lesquelles travaille **Robert Schneider**, professeur au Département de biologie, chimie et géographie de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR).

Son équipe a montré qu'avec un même diamètre à hauteur de poitrine et une même hauteur, le volume peut varier de plus de 5 % d'un arbre à l'autre lorsqu'on inclut dans la modélisation les variables climatiques et celles qui sont associées au type d'aménagement de la forêt. « C'est parce que la forme de l'arbre est affectée par ces facteurs; ainsi, le volume de la biomasse varie aussi », explique-t-il.

Le chercheur travaille également à évaluer l'effet du climat et du type d'aménagement sur la densité du bois, et ce, à l'échelle du Québec. Ses collègues et lui font ces calculs grâce aux cernes de croissance à l'aide d'un appareil de tomodensitométrie, communément appelé *CT scanner*, comme ceux qu'on trouve dans les hôpitaux.

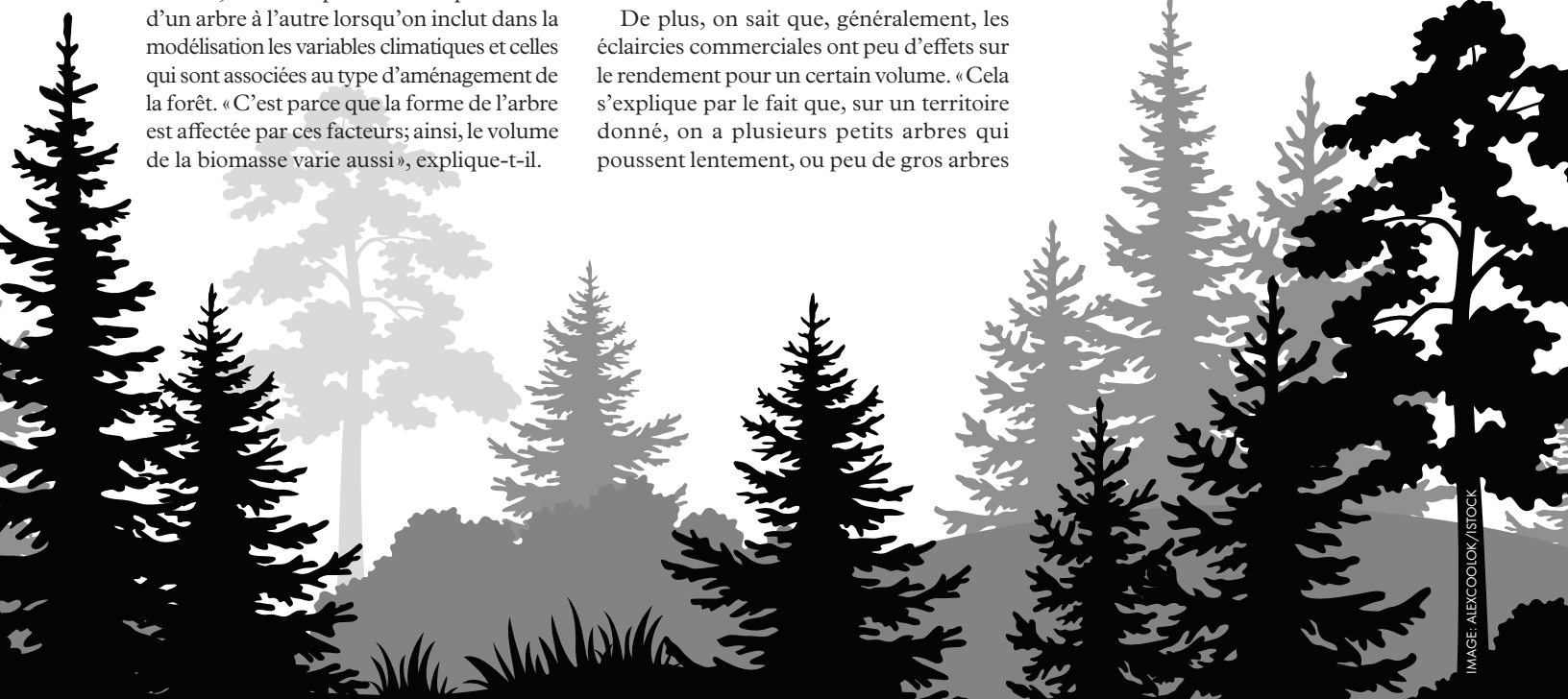
« Plusieurs études ont montré que la densité varie avec le climat, mais ces études reposent sur des jeux de données qui ont une très faible étendue géographique, indique-t-il. Nous avons accès à un jeu de données couvrant la forêt boréale québécoise et de Terre-Neuve, nous donnant ainsi une grande variabilité géographique et climatique pour établir les liens entre la croissance, le climat et la densité du bois. »

De plus, on sait que, généralement, les éclaircies commerciales ont peu d'effets sur le rendement pour un certain volume. « Cela s'explique par le fait que, sur un territoire donné, on a plusieurs petits arbres qui poussent lentement, ou peu de gros arbres

qui poussent rapidement; le volume est quasiment le même », précise le chercheur.

Néanmoins, les coupes forestières affectent-elles la densité des arbres qui restent, et, par conséquent, leur captation du carbone ? « Si les cernes des arbres deviennent plus larges à la suite d'une éclaircie commerciale — donc, que la densité du bois diminue —, la quantité de carbone qu'ils stockent pourrait varier », dit Robert Schneider.

En résumé, il y a pour le moment plus de questions que de réponses. « Il faut faire ces études alors que la société commence à parler de stockage de carbone par les forêts, affirme le chercheur. Voudra-t-on changer les paradigmes d'aménagement des forêts en conséquence ? Ce sera un autre débat. » ●



DANS L'ŒIL D'UN DRONE

Un projet expérimental combine la puissance des algorithmes et l'agilité d'un drone pour recenser les arbres en un rien de temps.

PAR ANNIE LABRECQUE

Régulièrement, un drone prend son envol au-dessus d'une plantation de peupliers hybrides dans la région de Sherbrooke. En quelques minutes, le petit engin recueille une multitude d'images couvrant une superficie de plusieurs hectares. Après son retour au sol, les données sont analysées par ordinateur.

C'est qu'une équipe scientifique utilise ce terrain appartenant à la papetière Domtar pour mieux apprendre à compter les arbres! «Des techniques d'apprentissage profond et de traitement d'images sont en mesure de détecter et de localiser les arbres. On détermine ainsi la hauteur de chacun et son diamètre», dit avec enthousiasme **Wassim Bouachir**, professeur en vision par ordinateur à l'Université TÉLUQ.

L'intelligence artificielle qui est à l'œuvre derrière cet outil est entraînée pour reconnaître un arbre et le distinguer de tout autre objet ayant une apparence, une couleur ou une texture similaire. Elle sait ainsi différencier un toit vert d'un feuillage, par exemple.

Habituellement, les gestionnaires de plantations doivent déployer plusieurs travailleurs forestiers sur une partie du terrain pour effectuer des mesures et obtenir un inventaire des arbres. «C'est un travail qui peut être difficile et ardu selon la géographie du terrain, et donc difficile à répéter au cours du cycle de vie de la plantation. L'imagerie aérienne n'a pas ces inconvénients», fait valoir Wassim Bouachir.

Les images aériennes permettent de déterminer le succès ou non d'un effort de reboisement. Dans le cas de cette plantation d'arbres à croissance rapide située en Estrie, par exemple, un suivi serré peut se faire. «On est en mesure de comparer la croissance de la biomasse sur plusieurs années pour déterminer si l'on doit intervenir en utilisant des fertilisants en cas de croissance anormale», explique le chercheur.

SOUS BONNE GARDE

Si les entreprises forestières ont un intérêt pour cette sentinelle technologique, celle-ci a aussi le potentiel de séduire d'autres acteurs qui ont à cœur la santé de la forêt. Bien que cet outil soit encore au stade expérimental, il détecte les arbres qui sont malades ou qui ont des problèmes de développement. «On pourrait notamment dresser le portrait des régions où il est possible de récolter des arbres et celles où l'on doit empêcher les coupes pour protéger la forêt», avance Wassim Bouachir.

Avec les drones semeurs qui sont utilisés dans certaines régions du monde pour rétablir la biodiversité, ceux qui surveillent les incendies de forêt, ceux qui décèlent les maladies sur la cime des arbres et ceux qui surveillent leur croissance, on a assurément affaire à des anges gardiens nouveau genre! ●



INTÉGRER LA FORÊT BORÉALE AU MARCHÉ DU CARBONE

D'un côté : la forêt boréale québécoise, un immense réservoir de carbone. De l'autre : des industriels qui cherchent à compenser leurs émissions de gaz à effet de serre (GES). Comment arrimer les deux ?

PAR KARL RETTINO-PARAZELLI

La spécialité de **Xavier Cavard**, c'est la biologie. Néanmoins, les résultats de ses recherches pourraient avoir d'importantes répercussions sur l'économie québécoise.

C'est que le professeur de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT) est titulaire de la Chaire de recherche sur la gestion du carbone forestier, établie à Sept-Îles. Lancée en 2019, cette chaire est appuyée non seulement par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, mais aussi par plusieurs entreprises, dont Aluminerie Alouette, le producteur d'acier ArcelorMittal et Produits forestiers Résolu.

Celles-ci suivent les travaux de Xavier Cavard et de son équipe avec attention, puisqu'ils pourraient leur être fort utiles dans un avenir rapproché. Le scientifique cherche à comprendre la façon dont la forêt boréale québécoise et le sol sur lequel elle est implantée captent le carbone, avec un objectif double : trouver des manières d'exploiter et d'aménager la forêt qui maximisent la captation du carbone, pour ensuite permettre à des industriels comme Aluminerie Alouette et ArcelorMittal de compenser leurs émissions de GES grâce au pouvoir d'absorption de la forêt québécoise.

«Le but, c'est de réussir à accumuler des connaissances pour permettre une meilleure

gestion du carbone forestier», résume Xavier Cavard. De précieuses informations qu'il a hâte de fournir à ses partenaires industriels pour leur permettre de tendre vers la carboneutralité.

VASTE RÉSERVOIR

La forêt boréale est un objet d'étude particulièrement intéressant en raison de son étendue — elle couvre près du tiers de la superficie du Québec —, mais surtout de sa capacité d'absorption du carbone. «À l'échelle mondiale, la forêt boréale n'est pas la plus productive qui soit, ce qui veut dire que ce n'est pas celle qui va capter le carbone le plus rapidement, explique le professeur Cavard. Par contre, pour ce qui est des stocks de carbone dans les sols, c'est la championne.»

Les travaux de recherche de Xavier Cavard et des étudiants qu'il supervise se divisent essentiellement en deux axes. Le premier concerne l'adaptation de la forêt boréale aux changements climatiques, afin de savoir comment des épisodes météorologiques extrêmes, comme des périodes de sécheresse, affectent la croissance des arbres ou la décomposition du sol et, par conséquent, la captation du carbone.

Le second axe porte sur l'effet de différents traitements sylvicoles : les chercheurs

Plantation de peupliers hybrides près de la ville de New Liskeard, en Ontario

s'attardent à certaines manières d'exploiter ou d'aménager la forêt pour voir comment elles influencent l'absorption et la rétention du carbone.

L'équipe s'intéresse par exemple au scarifiage, une méthode qui consiste à remuer le sol mécaniquement. Cette pratique peut avoir des effets positifs sur la croissance des arbres, et donc sur leur captation du carbone, mais elle accélère également la décomposition de la matière organique, ce qui libère une certaine quantité de carbone contenue dans le sol. « Ça reste à étudier pour voir si, en fin de compte, on est gagnants ou perdants avec cette technique », souligne Xavier Cavard, qui compte par ailleurs mettre à l'essai l'épandage d'apatite ou de cendres.

« Je pense qu'on peut aller jusqu'à doubler l'absorption du territoire aménagé », soutient **Jean-François Boucher**, professeur à l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), lui aussi spécialiste de la gestion du carbone forestier.

POTENTIEL INUTILISÉ

En permettant à la forêt boréale de capter plus de carbone qu'elle le fait naturellement grâce à des techniques d'exploitation et d'aménagement bien précises, l'industrie forestière pourrait émettre ce qu'on appelle des « crédits compensatoires ». Dans le marché du carbone auquel participe le Québec, ces crédits sont associés à des projets qui permettent de réduire les émissions de GES. Ils peuvent être achetés par des entreprises qui participent au système de plafonnement et d'échange de droits d'émissions de GES pour compenser jusqu'à 8 % de leurs émissions polluantes.

Les entreprises forestières, comme Produits forestiers Résolu, pourraient ainsi générer des revenus grâce à la vente de ces crédits. Celles qui les achètent, comme Aluminerie Alouette ou ArcelorMittal,

auraient quant à elles un outil supplémentaire à leur disposition pour respecter leur plafond annuel d'émissions et atteindre la carboneutralité.

Pour être vendus, ces crédits compensatoires doivent cependant être encadrés par un protocole élaboré par le gouvernement du Québec. Et jusqu'à maintenant, malgré de nombreuses démarches entreprises auprès des responsables du système québécois pour les inciter à créer un protocole lié au carbone forestier, Jean-François Boucher n'a essuyé que des refus. « On a un grand potentiel et on est en train de le "snober". C'est dommage », déplore-t-il.

Le gouvernement du Québec a déposé l'an dernier un projet de règlement pour permettre l'émission de crédits compensatoires liés à des projets de boisement ou de reboisement sur des terres privées, lequel devrait entrer en vigueur d'ici la fin de 2022. Il ne vise cependant pas les terres publiques, où la vaste majorité de l'exploitation a cours, ni l'amélioration des pratiques de gestion forestière.

Le ministère de l'Environnement indique que les projets forestiers sont complexes, notamment en raison de la « dimension temporelle » : le carbone séquestré par un arbre est libéré dans l'atmosphère lorsqu'on le coupe et qu'il se décompose. Le Ministère ajoute cependant qu'un protocole concernant l'amélioration des pratiques forestières sur le territoire québécois est envisagé, grâce à une nouvelle approche de quantification du carbone.

Jean-François Boucher, lui, garde espoir : « On se dit que, tôt ou tard, le gouvernement n'aura pas le choix d'accepter l'idée de protocoles de crédits compensatoires qui incluent le secteur forestier d'une manière plus large. » Tout cela au bénéfice, selon lui, de l'industrie forestière et des industriels, mais aussi — et surtout — de l'environnement. ●





UN FERTILISANT NOUVEAU GENRE

Loin d'être inutiles, les résidus de bois profitent d'une deuxième vie en retournant fertiliser le sol des forêts.

PAR ANNIE LABRECQUE

12

Des effluves de bois séché se dégagent du laboratoire d'Ahmed Koubaa, professeur à l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT). Ici, le précieux matériau est étudié sous toutes ses formes : en examinant copeaux, morceaux d'écorce, bouts de bois et cendres avec divers instruments de laboratoire.

Ces données sont importantes pour comprendre comment utiliser les résidus de transformation du bois, en particulier les cendres obtenues après la combustion, qui possèdent une valeur ajoutée pour la fertilisation des forêts. Il s'agit d'un volet phare de la recherche de ce titulaire de la Chaire de recherche du Canada sur la valorisation, la caractérisation et la transformation du bois.

Le Québec génère plus de 300 000 tonnes de cendres par année. « Des usines qui utilisent le bois pour produire de la chaleur font face à un problème : elles accumulent des cendres après la combustion. Généralement, elles en donnent aux agriculteurs, mais elles ne

peuvent pas tout écouler », explique Ahmed Koubaa, précisant qu'une bonne partie de ces cendres prend le chemin des sites d'enfouissement.

Pourtant, les cendres de bois sont très riches en calcium et en magnésium, des minéraux nécessaires à la croissance des plantes. Ajoutées au sol, elles le fertilisent et réduisent sa teneur en acidité. Leur épandage, une pratique répandue dans les exploitations forestières d'Europe, est moins fréquent ici.

DEUXIÈME VIE

C'est que la pratique comporte des défis. « Les cendres seules peuvent s'éparpiller au vent », fait remarquer le chercheur. Elles ont aussi tendance à être rapidement lessivées par la pluie, d'où l'idée du professeur Koubaa de transformer ces poussières en granules, afin de faciliter l'épandage et le transport de la matière. Ces granules sont fabriqués après plusieurs étapes : humidification, durcissement, broyage, tamisage... Ils sont composés

de cendres et d'autres résidus de l'industrie forestière. On ajoute à ce mélange des boues secondaires de papeteries, riches en azote, qui servent à lier le tout ensemble, puis on l'analyse pour s'assurer de l'absence de substances dangereuses (comme le mercure).

« Les granules respectent les normes environnementales, et ils ne contiennent pas de produits chimiques », affirme le chercheur.

Les travaux d'une étudiante d'Ahmed Koubaa sur ces granules sont d'ailleurs prometteurs : l'équipe a constaté un effet positif sur « la croissance des arbres » et « la qualité du bois qui en résulte ».

Convaincu du potentiel des résidus de bois, le professeur imagine déjà un autre produit. « On est en train de développer des pots biodégradables avec ces résidus. Cela pourrait remplacer ceux en plastique qui viennent à l'achat d'un arbre en pépinière », espère-t-il. Ce contenant se dégraderait dans le sol, fournissant du même coup à l'arbre toutes sortes d'éléments nutritifs. Un véritable retour à la terre, pour ainsi dire ! ●

DES PILES EN BOIS

Le bois pourrait bien être à la base des piles du futur, plus performantes et plus vertes.

PAR RACHEL HUSSHERR

Ces temps-ci, les piles à hydrogène ont la cote. Il faut dire qu'elles produisent de l'électricité grâce à la simple mise en contact de l'hydrogène et de l'oxygène de l'air. La cerise sur le gâteau : elles ne rejettent que de l'eau.

Partout dans le monde, les parcs de voitures, de bus et de trains fonctionnant déjà grâce à ces piles ne cessent de croître. « Ils ne produisent pas de bruit et n'émettent pas de gaz d'échappement, et vous pourriez boire l'eau qui en ressort : elle est 100 fois plus pure que l'eau du robinet », précise **Samaneh Shahgaldi**, professeure au Département de chimie, biochimie et physique de l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR).

Cela dit, ces piles dites « à combustible » ne sont pas totalement vertes. Elles intègrent des composants fabriqués à partir de carbone issu de produits pétroliers. La chercheuse et son équipe veulent contourner le problème en utilisant... du bois. Et plus précisément de la lignine, l'un des principaux composants des plantes.

L'idée est de valoriser les déchets de l'industrie forestière, présents en quantité faramineuse au Québec. « On est d'ailleurs à la recherche d'entreprises intéressées par une collaboration ! » lance la chercheuse au passage, le but ultime étant de trouver un partenaire souhaitant se débarrasser de sa lignine (du côté de l'industrie des pâtes et papiers, par exemple).

Quels éléments de la pile exactement veut-elle remplacer ? « Tous », répond-elle en riant, même

si elle ajoute que les travaux en sont encore à un stade préliminaire. « La COVID-19 nous a énormément retardés, mais on espère avoir un prototype en janvier 2023 », explique la chercheuse, qui dirige la Chaire de recherche du Canada sur les piles à combustible à base de lignine.

S'il existe une dizaine de modèles de piles à combustible à l'heure actuelle, **Samaneh Shahgaldi** se concentre sur des modèles com-

diffusion des gaz, tous deux des éléments des électrodes (voyez l'encadré).

Lorsqu'elles sont fabriquées à partir de cette biomolécule, les minuscules nanofibres de carbone qui composent plusieurs des éléments de la pile coûtent moins cher à produire et sont plus performantes, d'après la professeure.

Il demeure un grave problème : 95 % de l'hydrogène est pour l'instant produit à

Pile à combustible 101

Les piles à hydrogène fonctionnent sur le principe d'une réaction électrochimique entre l'oxygène et l'hydrogène. Celle-ci se produit entre deux électrodes, l'anode et la cathode, qui contiennent du platine. Ce métal rare agit comme catalyseur : il facilite la réaction chimique. Du côté de l'anode, des électrons sont arrachés à l'hydrogène, qui devient H^+ . Du côté de la cathode, les électrons se recombinent avec les protons H^+ et de l'oxygène pour former de l'eau, H_2O . Entre les deux, une membrane très fine ne laisse passer que les ions chargés positivement. Les électrons, chargés négativement, doivent emprunter un détour, créant ainsi le courant électrique.

pacts particulièrement adaptés aux transports et aux ordinateurs portables. Leur nom : piles à hydrogène à membrane électrolytique polymère, ou PEM. C'est notamment cette membrane que la chercheuse et son équipe tentent de concevoir grâce au carbone tiré de la lignine. Mais tous les composants de la pile qui sont susceptibles de contenir du carbone sont visés : le support du catalyseur, ou encore la couche poreuse qui permet la

partir de gaz naturel ou de charbon dans le monde. Et qu'en est-il au Québec ? Le combustible nécessaire au fonctionnement de la pile serait produit de façon écologique en utilisant l'hydroélectricité, autre ressource accessible de la Belle Province. Le tout permettrait alors de créer une « boucle d'énergie verte et durable », espère la chercheuse, pour réduire l'empreinte carbone de notre système énergétique. La suite en 2023, donc ! ●





ÉNERGIE NOUVELLE

14

Un peu partout dans la province, des chercheurs s'intéressent à la biomasse forestière comme source potentielle d'énergie verte.

PAR RACHEL HUSSHERR

« **F**inis ton assiette! » Si on entend cette rengaine autour des tables pendant les repas, elle est moins fréquente dans d'autres contextes, comme celui de l'industrie forestière.

Pourtant, la gourmande engendre 6,8 millions de tonnes de résidus secs par année, selon un rapport commandé par le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec en 2021. Ces branches, feuillages et copeaux sont destinés à être enfouis ou à se décomposer sur le lieu des coupes. Des « restes de table » que l'industrie forestière classique, en somme, n'est pas adaptée à digérer dans ses chaînes de transformation.

Pourtant, ces mal-aimés de l'industrie du bois sont l'objet d'un intérêt croissant, autant du côté du gouvernement québécois que de celui de scientifiques. Les uns comme les autres y voient l'occasion de contrecarrer notre dépendance aux produits pétroliers et d'atténuer la crise climatique. C'est que les résidus forestiers peuvent être utilisés comme énergie brute : ils sont brûlés pour produire de l'électricité et de la chaleur, ou les deux en simultané. Autre option : la biomasse forestière peut être transformée en carburant ou en gaz, grâce à une transformation sous haute température ou à la fermentation, notamment.

Destinés de toute façon à se décomposer et à émettre du dioxyde de carbone (CO₂), ces résidus de bois pourraient donc être des

sources de bioénergie qui contribueraient à réduire l'empreinte carbone du Québec, surtout dans le secteur des transports, lequel engendre plus de 40% des émissions de gaz à effet de serre (GES) de la province.

DES BIOCARBURANTS PROMETTEURS

Plusieurs chercheurs et chercheuses ont bien compris l'intérêt de ce filon à ne pas négliger. Du lot, **Patrice Mangin** est professeur émérite à l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) et directeur général de l'organisme à but non lucratif BELT (Bioénergie La Tuque). Il travaille à implanter une bioraffinerie dans cette ville de la Mauricie avec l'aide d'investisseurs finlandais et de la communauté atikamekw.

IMAGE : MINNA AUTIO/UNSPASH.COM

L'endroit serait entièrement alimenté par les résidus forestiers disponibles dans la région. Ils y seraient chauffés à plus de 1 000 degrés Celsius en présence d'oxygène afin d'être transformés en gaz, lui-même converti en carburant liquide au bout du compte.

Pour concrétiser ce projet — parti de zéro en 2010 —, Patrice Mangin estime qu'il faudra de 15 à 17 ans. Or le jeu en vaut la chandelle! À plein régime, l'usine pourrait produire plus de 275 millions de litres de biocarburant par an, soit à peu près le volume de 90 piscines olympiques. Il s'agit là d'un coup de pouce non négligeable quand on sait que l'objectif québécois est d'augmenter la production de bioénergie de 50 % d'ici 2030.

Si le diesel était le biocarburant privilégié au départ, l'évolution récente des législations européennes sur les moteurs à essence a incité les instigateurs du projet à se tourner davantage vers le kérosène. Après tout, ce dernier sera encore indispensable dans l'aviation pour les 50 à 100 prochaines années, selon le professeur: «Autant faire en sorte qu'il soit le plus vert possible.»

Tandis que le projet de Patrice Mangin s'appuie sur une chaîne de transformation du bois en biocarburant grâce à une transformation à haute température, **Kokou Adjallé**, de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS), s'intéresse de son côté aux services que peut rendre la biologie dans ce domaine. Dans son laboratoire établi à Québec, il possède un véritable arsenal de cuves et de bioréacteurs qui lui permettent de tester différents procédés de mise en valeur des résidus. Les bactéries, les champignons et même les larves de mouches sont ses alliés!

L'un des projets sur lesquels planche le chercheur — également professeur associé à l'Université de Sherbrooke — consiste à optimiser la production de bioéthanol à partir de résidus forestiers. La magie opère en trois étapes. D'abord, il s'agit de séparer la lignine de la cellulose, deux des principaux composants du bois, car «la lignine empêche la valorisation de la cellulose dans la suite du procédé», explique M. Adjallé. Une fois la cellulose isolée, la molécule devient accessible pour l'étape de la digestion. Elle est transformée en sucres par une réaction appelée hydrolyse enzymatique, au cours de laquelle des enzymes «coupent» les molécules de cellulose. Enfin, un processus de fermentation permet d'obtenir le fameux bioéthanol.



Sur un parterre de coupe de la région de La Tuque, les bilots de bois ont été sortis par l'industrie, qui a laissé sur place ces résidus. Ces derniers pourraient être utilisés pour produire des biocarburants.



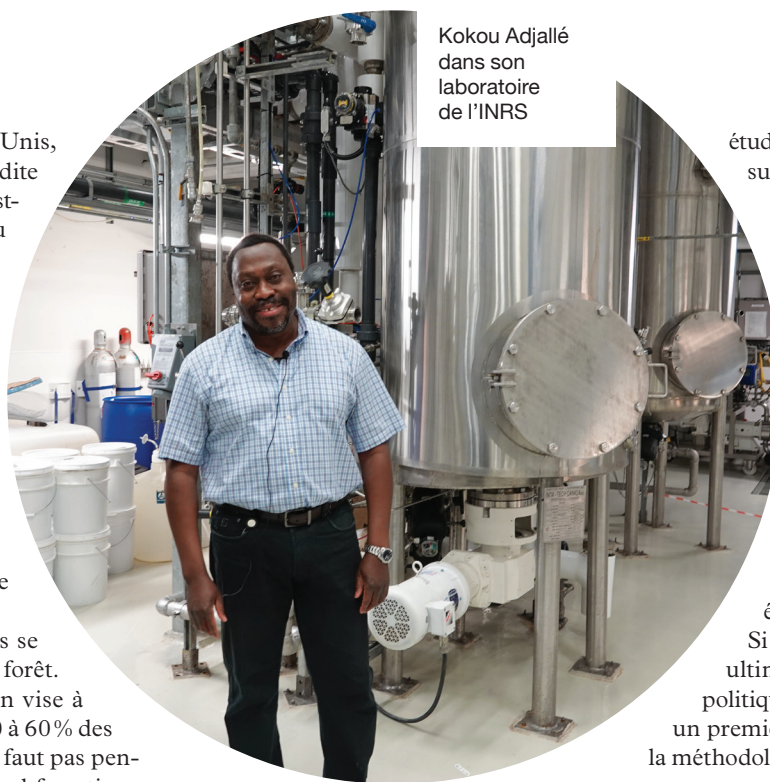
Voici de quoi a l'air la biomasse forestière après son passage dans un broyeur à marteaux.

Très répandue aux États-Unis, la production de bioéthanol dite de première génération — c'est-à-dire par la fermentation du maïs cultivé sur des terres qui pourraient autrement être réservées à la production alimentaire — a donné mauvaise presse aux biocarburants en général, de l'avis du professeur. Cependant, la situation au Québec est différente puisque le but est surtout de valoriser des déchets, donc de produire un carburant de seconde génération.

Tout cela doit néanmoins se faire sans mettre en péril la forêt. Sur les zones de coupe, « on vise à récupérer en moyenne de 40 à 60% des résidus qui sont au sol. Il ne faut pas penser qu'on va venir racler le sol forestier », ajoute de son côté Patrice Mangin. De plus, certains milieux sont d'emblée exclus du ramassage parce qu'ils sont considérés comme trop sensibles. Les résidus n'y seront pas prélevés pour préserver la santé des sols et la biodiversité. « Le gouvernement a fixé à 1% la proportion des sols fragiles exclus du ramassage; nous avons augmenté cette proportion à 10% pour notre projet », précise le professeur.

OPTIMISER LE CYCLE DU CARBONE

Le rendement de conversion des résidus forestiers en bioénergies dépend beaucoup de l'efficacité des technologies. Ainsi, les chercheurs mettent les bouchées doubles pour améliorer les procédés. Pour le projet BELT à La Tuque, la transformation du bois en biocarburant n'est pas optimale sans un apport supplémentaire d'hydrogène. « Du carburant, c'est essentiellement du carbone et de l'hydrogène. Mais pour 5 à 6% d'hydrogène contenu dans le bois, il y a 50 à 55% de carbone », expose Patrice Mangin. L'ajout d'hydrogène s'avère donc nécessaire, et ce dernier est souvent produit indirectement grâce à des combustibles fossiles. Malgré tout, le professeur compte, à terme, utiliser un hydrogène vert et local grâce à une future usine de production installée à Bécancour, dont il est d'ailleurs le vice-président.



Kokou Adjallé dans son laboratoire de l'INRS

étudier l'effet des activités humaines sur le climat.

Pour cette raison, la professeure Levasseur et ses collègues cherchent à établir « une vision holistique du carbone forestier » sur l'ensemble de son cycle de vie, grâce à des modèles numériques. Leur but : partir du tout début, quand le carbone est encore en forêt, et prendre en compte tous les aspects techniques et économiques des bioénergies qui en découlent, pour finalement les relier à leurs émissions de GES respectives.

Si le travail de la chercheuse vise ultimement à guider les décisions politiques, l'équipe se concentre dans un premier temps sur l'amélioration de la méthodologie des modèles.

BOUCLER LA BOUCLE

Pour atténuer la dette carbone liée aux bioénergies forestières, des stratégies combinent l'utilisation du bois d'œuvre et sa transformation ultérieure en bioénergie. « L'idée est de maximiser l'utilisation des produits de la forêt sur une longue durée : on se sert d'abord du bois comme matériau [pour la construction, notamment], puis on le transforme en bioénergie lorsqu'il est en fin de vie », dit Annie Levasseur. De cette manière, la dette carbone est remboursée avant même l'émission du CO₂ dans l'atmosphère, puisque de nouveaux arbres auront repoussé entre-temps et absorbé du carbone. Au contraire, le carbone issu des produits pétroliers mettra de 100 000 ans à plusieurs millions d'années pour retourner dans son réservoir d'origine, la lithosphère.

Selon Kokou Adjallé, aucun sous-produit résultant de la fabrication de bioénergie ne devrait être gaspillé; une autre manière d'alléger cette encombrante dette. Par exemple, la poudre de lignine obtenue pendant la production de bioéthanol dans son laboratoire a été réutilisée pour créer une mousse isolante destinée au secteur résidentiel, en collaboration avec une entreprise privée. Même les enzymes des champignons chargées de délignifier les résidus forestiers sont recyclées. Les restes de l'industrie forestière sont tombés dans la bonne assiette! ●

Du côté du bioéthanol de l'INRS, c'est la première étape de la chaîne de production qui pose problème. Le traitement visant à libérer la cellulose des résidus forestiers représente trop souvent une étape énergivore et peu écologique. C'est pourquoi Kokou Adjallé travaille à la remplacer par une action mécanique de compression qui briserait d'abord les liaisons du bois. Ensuite, des enzymes extraites de champignons se chargeraient de séparer la lignine de la cellulose.

Or, comment savoir si le choix d'une bioénergie est judicieux sur le plan environnemental? Tout est question d'équilibre entre les coûts — aussi bien environnementaux qu'économiques — et les bénéfices, souligne Annie Levasseur, professeure à l'École de technologie supérieure (ÉTS), à Montréal.

Qu'elles débouchent sur de la chaleur, de l'électricité ou des carburants, les bioénergies forestières viennent toujours avec une certaine « dette carbone ». Leur combustion ajoute du CO₂ dans l'atmosphère, le temps que celui-ci soit capturé à nouveau par les arbres en croissance. Le processus s'échelonne sur quelques dizaines d'années. « De plus, le transport et les chaînes de transformation émettent également du CO₂ », explique la chercheuse spécialisée dans le développement de modèles visant à