



Ont collaboré à ce projet, le **CERFO**, le **Cégep de Sainte-Foy**; **André Vézina**, M.Sc., spécialiste en agroforesterie ainsi que **Arbre-Évolution**.

## Séquestration du carbone dans des systèmes agroforestiers multifonctionnels

Le marché du carbone créé en 2013 au Québec dans le but de forcer les grandes entreprises qui polluent à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre (GES) est en train de se structurer. L'un des défis pour les rendre admissibles au volet des crédits compensatoires québécois est la détermination des quantités de carbone séquestrées en fonction des conditions naturelles.

Arbre-Évolution, une entreprise spécialisée en reboisement social et en aménagement agroforestier depuis 2010 est convaincue que les besoins écologiques des bandes riveraines ne sont pas comblés et qu'un important enjeu de conscientisation et surtout de financement en est à l'origine. En effet, peu nombreux sont les propriétaires de terres privées qui décident spontanément de faire des plantations en bordure de cours d'eau, car ces aménagements sont souvent vus comme une perte d'espace cultivable et de revenus.

Arbre-Évolution est persuadé que l'ajout du paramètre « carbone » dans la planification des aménagements de bandes riveraines peut offrir une excellente opportunité de financement alternatif et un incitatif sérieux pour convaincre certains producteurs de passer à l'action et de réaliser des plantations dans ces sites sensibles.

### Objectifs du projet

L'objectif principal du projet vise à évaluer le potentiel de séquestration en carbone de plusieurs systèmes agroforestiers, afin de déterminer les plus performants et les plus intéressants financièrement pour la vente de crédits carbone potentiels. Les objectifs spécifiques sont :

- **Établir le bilan carbone** des systèmes agroforestiers à l'étude autant dans les parties aériennes que racinaires.
- **Établir les coûts/bénéfices** des systèmes agroforestiers, en intégrant l'ensemble des coûts d'installation, d'entretien et de récolte des plantations ainsi que tous les revenus potentiels, en incluant ceux issus de la séquestration du carbone.
- **Permettre à Arbre-Évolution d'avoir un meilleur positionnement stratégique**, en répondant à la demande de ses clients qui souhaitent trouver la meilleure façon de compenser leurs émissions de GES dans la collectivité et optimiser la séquestration de carbone dans leurs plantations riveraines.

Pour davantage d'information sur le projet, vous pouvez consulter le rapport technique disponible sur [www.cerfo.qc.ca](http://www.cerfo.qc.ca) (Boulfroy et al. 2019).

### Localisation

L'évaluation du carbone séquestré a été réalisée dans des plantations localisées dans les environs (20 km) de La Pocatière, dans le Bas-Saint-Laurent (figure 1).

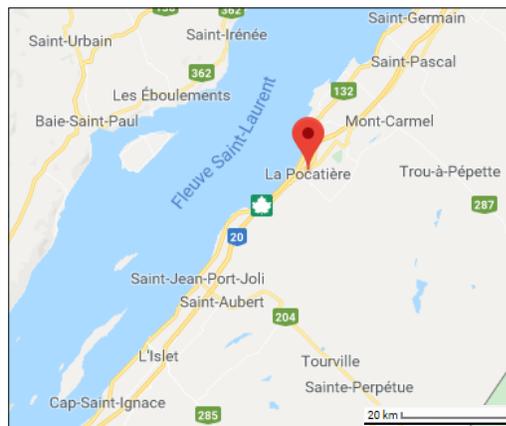


Figure 1 : Localisation des sites à l'étude autour de La Pocatière



Figure 2 : Haie brise-vent de peupliers hybrides à la ferme La Pocatoise

## Méthodologie

Dans cette étude, les arbres et les arbustes ont été traités séparément.

### CALCUL DE LA BIOMASSE AÉRIENNE

#### Cas des arbustes

Comme la littérature scientifique présente très peu de données de carbone séquestré chez les arbustes, il a été décidé de la déduire de la mesure de la biomasse aérienne suite à la récolte de plusieurs spécimens. Six espèces arbustives ont été retenues du fait qu'elles sont fréquemment utilisées dans les aménagements agroforestiers :

- Physocarpe à feuille d'obier (*Physocarpus opulifolius*) - PHY ;
- Viorne trilobée (*Viburnum trilobum*) - VIT ;
- Aronie noire (*Aronia melanocarpa*) - ARN ;
- Rosier rugueux (*Rosa rugosa*) - ROS ;
- Cerisier de Virginie (*Prunus Virginiana*) – CER ;
- Saule hybride - SAU.

Pour le saule, les données sont issues de récoltes passées, qui ont été confirmées par la littérature. La production de biomasse par des haies de saules en bandes riveraines varie beaucoup selon les sources dans la littérature. Les rendements varient principalement en fonction de la fertilité du site et de la qualité de l'entretien, mais aussi en fonction de la méthode de récolte. Dans le cadre du projet, il est proposé d'utiliser un intervalle de rendement de 2 à 10 tonnes métriques anhydres/ha/an (moyenne de 6), sur une période de croissance de 5 ans, basé sur les rendements obtenus par Biopterre et Gasser et al. (2013).

Pour les cinq autres arbustes, les données de biomasse proviennent de la récolte réalisée dans le cadre du présent projet, dans la région de La Pocatière. Tous les plants récoltés avaient été plantés en 2004 dans le cadre d'un projet de recherche visant à évaluer le potentiel en PFNL de 10 arbustes en haies brise-vent et en bandes riveraines (Lebel et DeRoy 2007). Les arbustes récoltés étaient donc âgés de 14 ans et étaient considérés à maturité. Les arbustes se trouvaient dans 2 types d'aménagements agroforestiers :

- Haie brise-vent (arbres feuillus plantés aux 4 m avec un arbuste intercalé entre 2 arbres) (figure 3) ;
- Bande riveraine (arbustes plantés aux 2 m) (figure 4).



Figure 3: Arbustes en haie brise-vent sur sol argileux



Figure 4 : Arbustes en bande riveraine sur loam sableux

La moitié des aménagements se situe dans des sols lourds (argiles et loams argileux) et l'autre moitié dans des sols légers (sables loameux). Entre un et deux sites présentant les mêmes conditions de sol et le même type d'aménagement agroforestier ont été sélectionnés selon la disponibilité sur le terrain. Dans chaque site, 10 arbustes par essence ont été coupés à la débroussailluse entre 5 et 10 cm du dessus du sol et déchiquetés (figures 5 et 6). La biomasse aérienne fraîche de chaque arbuste a ensuite été pesée à l'aide d'une balance électronique.

Un échantillon composite de copeaux d'une même espèce d'arbuste a été prélevé dans chaque site. Une fois séché à 100°C pendant au moins 48 heures, il a été possible de calculer le ratio biomasse sèche/biomasse fraîche de chaque échantillon et ensuite de convertir les valeurs de biomasse fraîche de chaque arbuste en biomasse aérienne sèche.



Figure 5 : Déchiquetage de la partie aérienne d'un arbuste (vue 1)



Figure 6 : Déchiquetage de la partie aérienne d'un arbuste (vues 2 et 3)

### Cas des arbres

Sept espèces arborescentes ont été ciblées par le projet parce qu'on les retrouve fréquemment dans des plantations en systèmes agroforestiers, elles couvrent une bonne diversité d'espèces (feuillues et résineuses) et on était en mesure de trouver des spécimens relativement âgés, s'approchant de l'âge cible établi à 40 ans. Il s'agit de :

- Peuplier hybride (*Populus X*) - PEH
- Érable à sucre (*Acer saccharum*) - ERS
- Frêne rouge (*Fraxinus Pennsylvanica*) - FRR
- Chêne rouge (*Quercus rubrum*) - CHR
- Mélèze laricin (*Larix laricina*) - MEL
- Épinette blanche (*Picea glauca*) - EPB
- Épinette de Norvège (*Picea abies*) - EPO

Dans le cas du peuplier hybride, une mesure de la biomasse aérienne sèche a été réalisée suite à la récolte de plusieurs spécimens. Pour les autres espèces, la biomasse aérienne a été calculée à partir d'équations allométriques issues de la littérature.

### Peupliers hybrides

Quatre peupliers hybrides situés dans une haie brise-vent implantée en 1983 sur la ferme école La Pokita à La Pocatière, dans une argile de Kamouraska ont été récoltés, mesurés et pesés (figure 7). Les peupliers étaient espacés de 3 m. Ces résultats ont permis de documenter la biomasse non marchande qui est rarement couverte dans les études de biomasse d'espèces arborescentes. Une fois le bois marchand tronçonné, il a été possible de mesurer le volume marchand (à l'état vert) de chaque peuplier. Quelques rondelles de bois de chaque arbre ont ensuite été séchées à l'étuveuse jusqu'à constance des poids pendant au moins 48 heures à 100°C. Les mesures de la masse sèche et du volume de bois vert de ces rondelles ont permis de calculer la densité basale pour chaque arbre et d'en déduire leur biomasse marchande anhydre (BM) :

**Densité basale = masse anhydre / volume à l'état vert**

BM = Volume marchand X densité basale

La biomasse non marchande a été broyée et pesée pour chaque arbre individuellement, selon la même méthode que celle utilisée pour les arbustes.

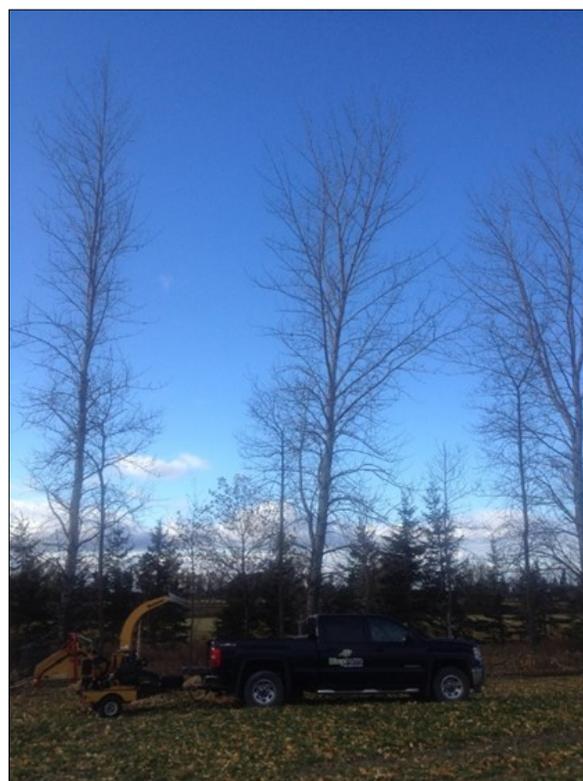


Figure 7 : Haie de peupliers ayant été récoltée

Note : après la récolte, il reste sur pied un peuplier sur deux.

## Autres espèces arborescentes

Dans le cas des six autres espèces, un inventaire a été réalisé en vue de recueillir des données non destructives : hauteur et DHP (diamètre à 1,3 m de hauteur de l'arbre) (figures 8 et 9). Ces données permettent de calculer la biomasse aérienne à l'aide d'équations allométriques. Seul le modèle de haie brise-vent a pu être inventorié. Les sites étaient localisés dans la région de La Pocatière, répartis sur deux types de sol (laom sableux majoritairement et parfois loam argileux ou argiles). Les espacements entre les arbres pouvaient varier de 2,5 à 8 mètres pour les essences feuillues et de 2 à 3 mètres pour les résineux. Dix mesures d'arbres par site et par essence étaient visées.

Les critères pour le choix des sites étaient les suivants :

- Avoir des plantations les plus âgées possibles et d'âge relativement similaire pour une même espèce, s'approchant de la cible visée de 40 ans.
- Avoir idéalement 3 sites par espèce et type de sol.

Le choix des équations allométriques s'est arrêté sur deux modèles :

- **Le modèle de Kort et al. (1999)** a été retenu en priorité lorsqu'il était disponible (cas de l'épinette blanche et du frêne) puisqu'il a été développé spécifiquement avec des arbres en milieu ouvert et suivant une méthodologie semblable à la nôtre.

$$B = a * SSR$$

où B = Biomasse en kg, SSR = superficie section radiale à 1,3 m,

a = coefficient

- **Le modèle de Lambert et al. (2005)**, utilisant le DHP et la hauteur comme prédicteurs de biomasse, étant donné le niveau de précision supplémentaire qu'apportent l'ajout de la hauteur dans ce type de modèle. Le modèle de Lambert présente aussi l'avantage de couvrir toutes les essences à l'étude. Un facteur de 1,2 a ensuite été multiplié à la biomasse aérienne calculée pour tenir compte du fait que les équations de Lambert documentent la biomasse en milieu forestier et non ouvert (Zhou et al. 2014)

$$B = a_{\text{bois}} * (DHP)^{b_{\text{bois}}} * H^{c_{\text{bois}}} + a_{\text{écorce}} * (DHP)^{b_{\text{écorce}}} * H^{c_{\text{écorce}}} + a_{\text{branche}} * (DHP)^{b_{\text{branche}}} * H^{c_{\text{branche}}} + a_{\text{feuille}} * (DHP)^{b_{\text{feuille}}} * H^{c_{\text{feuille}}}$$

où B = biomasse en kg, DHP en cm, H = hauteur, a, b et c = coefficients

Une comparaison des résultats de biomasse produits sur la base des équations de Kort et al. (1999) et de Lambert et al. (2005) a confirmé des résultats quasi identiques pour le frêne et avec un écart de 20-30% pour l'épinette blanche.

Comme le carbone séquestré est évalué sur un cycle de vie des arbres de 40 ans, et que tous les individus mesurés n'avaient pas atteint cet âge, il a été décidé d'appliquer un facteur de correction sur le DHP et la hauteur, afin de calculer la biomasse à un âge théorique de 40 ans. Ce facteur de correction est de 0,5 m / année pour la hauteur et de 1 cm / année pour le DHP (Besnier et al.2015).

## CALCUL DE LA BIOMASSE RACINAIRE

La biomasse racinaire (BR) est obtenue en appliquant un ratio à la biomasse aérienne (BA). La revue de littérature identifie plusieurs valeurs de ratio selon les essences et les sources consultées. Selon les références consultées (Young et al, 1987 cités par Kort et Turnock, 1999), pour les arbustes, le ratio est évalué à 0,50. Pour les arbres, il varie généralement entre 0,20 et 0,35. Il a finalement été décidé de choisir un ratio BR/BA de

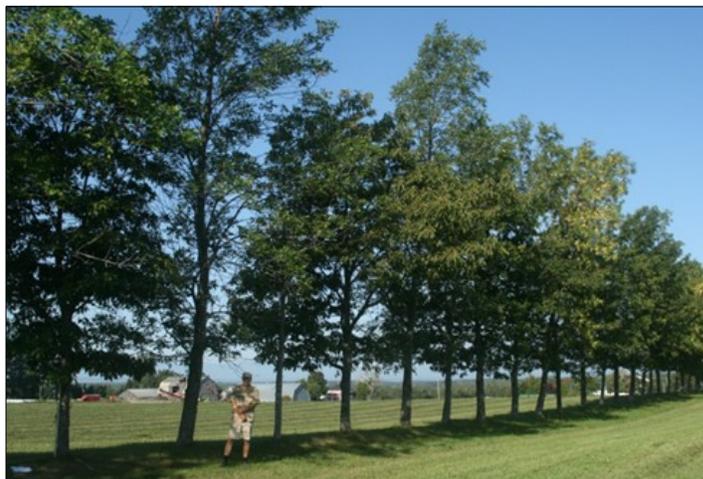


Figure 8 : Inventaire de chênes et frênes au site de Saint-Aubert



Figure 9 : Inventaire des épinettes blanches et de Norvège au site de Rivière-Ouelle

0,3 pour les résineux et de 0,25 pour les feuillus. C'est un compromis conservateur, s'approchant néanmoins des valeurs de Freedman et Keith (1996), que l'on souhaitait privilégier puisque leurs données sont basées sur des arbres inventoriés dans les conditions les plus proches de la région de la plaine du Saint-Laurent.

## CONVERSION DES BIOMASSES AÉRIENNES ET RACINAIRES EN QUANTITÉ DE CARBONE SÉQUESTRÉ

La quantité de carbone (kg) contenue dans chaque espèce de végétaux a été obtenue en utilisant un facteur de conversion  $F_c$ .

$$Q_{\text{carbone}} \text{ (kg)} = F_c * \text{biomasse sèche (kg)}$$

Les valeurs de  $F_c$  provenant de Lamloim et Savidge (2003) ont été privilégiées lorsque disponibles, car elles sont spécifiques pour certaines essences. Elles varient de 0,47 à 0,50 selon les espèces. Sinon, la valeur générique de 0,50 qui est couramment utilisée a été retenue (en particulier pour les arbustes).

La quantité de carbone en  $\text{CO}_2$  atmosphérique séquestré par le végétal s'obtient ensuite en multipliant la quantité de carbone par le facteur de conversion 3,67. Ce facteur correspond au ratio de la masse molaire du dioxyde de carbone par la masse molaire de C.

**ANALYSES STATISTIQUES**

Des analyses des données de carbone contenu dans la biomasse totale des cinq espèces d'arbustes ont été réalisées en considérant comme variables explicatives le type d'aménagement (plantation en bande riveraine ou en haie brise-vent) et le type de sol (sol argileux ou loam sableux). Pour chaque combinaison de site et arbuste, les valeurs aberrantes (>3 fois écarts types) ont été retirées des analyses. Ensuite, différents modèles à effets aléatoires ont été produits, testant plusieurs facteurs (essence, type de sol et type d'aménagement) ainsi que leurs interactions. Le site a été utilisé comme facteur aléatoire. Les analyses ont été réalisées avec la procédure « proc mixed » dans SAS 9.4.

Dans le cas des sept espèces d'arbres, la compilation des données de carbone contenue dans la biomasse totale a été réalisée en considérant comme variables explicatives le type d'aménagement (espacement entre les arbres) et le type de sol. Lorsque possible, des comparaisons ont été réalisées avec des analyses de variance, à l'aide des procédures Mixed dans SAS 9.4. Le site était considéré comme un facteur aléatoire.

**Résultats : bilan du CO<sub>2</sub> séquestré par différents végétaux**

Les valeurs moyennes estimées de CO<sub>2</sub> séquestrées par les différents arbustes et arbres à l'étude sont présentées dans les tableaux 1 et 2, en fonction du type de sol et d'aménagement, lorsque pertinent. La période d'accumulation de CO<sub>2</sub> est de 40 ans pour les arbres, 5 ans pour le saule et une dizaine d'années pour les arbustes indigènes.

Ces résultats mettent en lumière les faibles quantités de carbone séquestrées par les espèces d'arbustes comparativement aux arbres. Le peuplier hybride se distingue aussi par sa plus grande capacité de séquestration, qui est presque le double des autres espèces d'arbres.

Sol	Aménagement	ARN	CEV	PHY	ROS	VIT	SAU
Argile	Bande riveraine	4	7	18	22	13	44
	Haie brise-vent	10		50			
Loam sablonneux	Bande riveraine	12	36	18			
	Haie brise-vent	44		50			

**Tableau 1 : Valeurs estimées du CO<sub>2</sub> total séquestré par arbuste à maturité (5 ans pour le saule hybride, 10 ans pour les arbustes indigènes) (kg) en fonction du type de sol et de l'aménagement**

Type de sol	Espacement (m)	Feuillus					Résineux			
		PEH	FRR	CHR	ERS	Moy. CHR-ERS	EPB	EPN	MEL	Moy. EPB-EPO
Loam argileux	3	2580					1472	1486		1486
	2								1501	
Loam sableux	2 - 2,5		708			1758		962		1231
	3 - 4		998	1758	1596	1677				

**Tableau 2 : Valeurs estimées du CO<sub>2</sub> total séquestré par arbre (kg) à 40 ans en fonction du type de sol et de l'espacement des arbres**

**UN SIMULATEUR POUR ÉVALUER LA RENTABILITÉ DES AMÉNAGEMENTS AGROFORESTIERS**

Les haies brise-vent et les bandes riveraines boisées sont les systèmes agroforestiers les plus répandus dans l'est du Canada. En 2007, l'équipe de Biopterre ainsi que plusieurs partenaires ont mis au point un simulateur économique permettant aux conseillers agricoles d'évaluer la rentabilité à long terme (40 ans) de différents modèles de haies brise-vent ou de bandes riveraines. **En 2019, ce simulateur a été grandement amélioré, notamment en intégrant les données de carbone séquestrées dans différents types de végétaux.**

La rentabilité s'exprime en fonction de deux facteurs, soit la période de retour sur l'investissement (PRI) et la valeur nette actualisée sur une période de 40 ans (VAN). **La valeur actualisée nette est calculée dans ce simulateur en soustrayant les coûts des revenus anticipés provenant des systèmes agroforestiers.**

Les coûts sont liés :

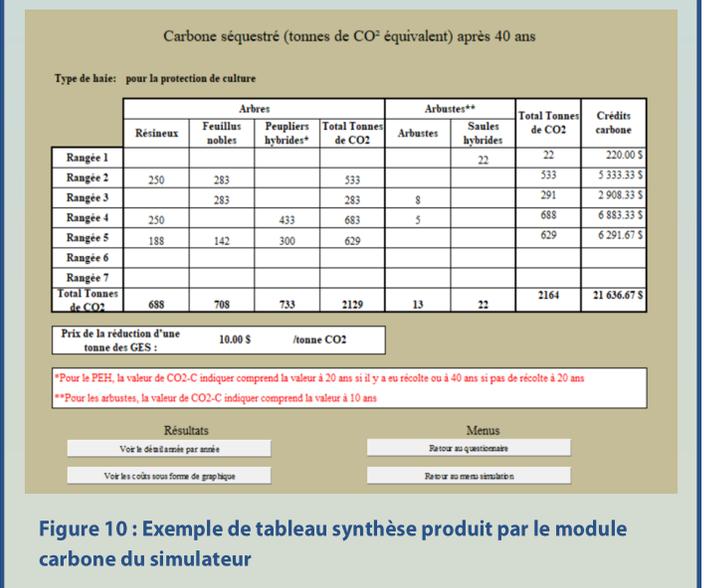
- l'implantation du système;
- son entretien (débroussaillage, taille de formation, élagage);
- la perte d'espace cultivable.

Les revenus peuvent provenir, dépendamment des cas, de :

- l'augmentation de rendements des cultures mitoyennes;
- la réduction de l'érosion des sols;
- la réduction des coûts de chauffage dans le cas de systèmes implantés à proximité de bâtiments d'élevage;
- la réduction des coûts de déneigement dans le cas de systèmes implantés à proximité de routes;
- la vente de petits fruits;
- la vente de bois;
- la quantité de CO<sub>2</sub> séquestrée par les végétaux (équivalent aux crédits carbone) (figure 10).

**N'hésitez pas à évaluer la rentabilité de vos aménagements agroforestiers sur :**

<http://wbvecan.ca/francais/coutspdf.html>



**Figure 10 : Exemple de tableau synthèse produit par le module carbone du simulateur**

Devant ces écarts importants, il est proposé d'utiliser dans les calculs futurs les ordres de grandeur généraux suivants :

<b>Résineux</b> (épinettes blanche et de Norvège, mélèze laricin)	<b>1,5 tonnes de CO<sub>2</sub> / arbre<sup>1</sup></b>
<b>Feuillus durs</b> (chêne rouge, érable à sucre)	<b>1,7 t / arbre<sup>2</sup></b>
<b>Peuplier hybride</b>	<b>2,6 t / arbre</b> (horizon de 40 ans) <b>1,2 t / arbre</b> (horizon de 20 ans)
<b>Saule hybride</b>	<b>0,04 t / arbuste</b>
<b>Autres arbustes</b>	<b>0,02 t / arbuste</b> en bande riveraine <b>0,03 t / arbuste</b> en haie brise-vent <sup>3</sup>

## Recommandations

### Systèmes agroforestiers recommandés

Dans un contexte de lutte aux changements climatiques et de volonté d'augmenter la séquestration du carbone en milieu agricole, **les haies brise-vent constituées d'essences arborescentes représentent l'option la plus intéressante** (ex. espacement aux 3 m pour les résineux et aux 4 m pour les feuillus). Le peuplier hybride stockant près de deux fois plus de CO<sub>2</sub> que les autres essences, il est recommandé l'inclure dans les aménagements agroforestiers.

**Une plantation d'arbustes seuls ne constitue pas une source importante de carbone séquestré.** Par contre, l'ajout d'arbustes dans une haie constituée d'arbres (ex. arbres aux 4 m et un arbuste entre deux arbres) peut apporter une petite contribution supplémentaire en carbone séquestré, en plus des autres avantages liés à la présence des arbustes, dont l'amélioration de la biodiversité dans le site planté.

### Amélioration des connaissances

#### Mesures du carbone

- **Régionaliser les données de carbone séquestrées.** Les résultats de cette étude proviennent de la région du Bas-Saint-Laurent et sont directement liés à la croissance des arbres et arbustes. Ces données ne peuvent donc pas être extrapolées à des sites localisés dans des régions où la croissance des végétaux est très différente ;
- **Continuer les mesures de suivi des aménagements agroforestiers :**
  - \* Faire un suivi temporel des accroissements des différentes espèces d'arbres pour valider et bonifier les valeurs extrapolées à 40 ans ;
  - \* Ajouter des suivis localisés sur différents types de sol ;
  - \* Quantifier la biomasse racinaire des arbres et arbustes à partir de mesures terrain ;
- **Intégrer la quantité de carbone présente dans le sol** dans le calcul global du carbone séquestré par divers types d'aménagement agroforestier. Des gains en carbone sont en effet anticipés dans le sol avec le changement de fonction du sol (de l'agricole à la plantation d'espèces ligneuses) ;
- **Intégrer dans le bilan global du carbone séquestré, l'utilisation qui sera faite des produits de la récolte des arbres et des arbustes**, car certaines peuvent assurer un stockage du carbone à très

long terme (ex. matériaux de construction) et d'autres des émissions de carbone (ex. bois de chauffage). Par contre, cet élément est très difficile à considérer, car il est quasiment impossible de connaître avec certitude l'usage que fera le propriétaire des produits de la récolte anticipés dans quelques décennies ;

### Amélioration du simulateur

- **Adapter en continu le simulateur selon les commentaires reçus des utilisateurs ;**
- **Rendre le simulateur disponible pour une utilisation sur tablette.**

## Conclusion

Cette étude a permis de documenter des données jusqu'alors peu voire non disponibles : la quantité de carbone séquestrée dans plusieurs arbustes indigènes du Québec, basée sur des mesures réelles de biomasse aérienne. Elle constitue aussi une synthèse comparative des apports en carbone provenant d'une variété de végétaux (arbustes et arbres, indigènes et à croissance rapide). L'apport supplémentaire des espèces à croissance rapide est indéniable. Et la contribution des arbustes dans le bilan d'un aménagement constitué à la fois d'essences arbustives et arborescentes est somme toute assez minimale.

Étant intégré dans un simulateur permettant d'évaluer la rentabilité des aménagements agroforestiers, il est maintenant possible de chiffrer les bénéfices financiers que peuvent apporter ces aménagements en termes de séquestration de carbone et de revenus liés à la vente éventuelle de crédits carbone. Les résultats obtenus montrent que les quantités de carbone séquestrées par les arbres sont suffisantes pour générer des revenus substantiels aux propriétaires, ce qui pourrait les encourager à planter davantage d'aménagements agroforestiers.

## Références et crédits photos

- Besnier, C., Anel, B. et Bernier-Leduc, M. 2015.** Modélisation de la croissance et de la production de bois du chêne à gros fruits et du frêne de Pennsylvanie en conditions agrosylvicoles. *Régénérons l'Avenir, St-Godefroy*. 38 pages.
- Bouffroy, E., D. Babin, A. Vézina, G. Joannisse et D. Blouin. 2019.** Optimisation de scénarios de plantation dans des bandes riveraines pour la séquestration du carbone. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO) et Cégep de Sainte-Foy. Rapport 2019-09. 82 pages + 3 annexes.
- Freedman, Bill et Todd Keith. 1996.** « Planting Trees for Carbon Credits: A Discussion of Context, Issues, Feasibility, and Environmental Benefits ». *Environmental Reviews* 4(2):100-111.
- Gasser, M. O., C. Dufour-L'Arrivée, M. Grenier, et M. H. Perron. 2013.** « Bandes végétatives de saule et de graminées en baissières pour réduire les charges polluantes diffuses et produire de la biomasse dédiée. Rapport final déposé au MAPAQ - Programme de soutien à l'innovation en agroalimentaire, IRDA (Institut de recherche et de développement en agroenvironnement), 54 p. et annexes, Québec. »
- Kort, J. et R. Turnock. 1999.** « Carbon Reservoir and Biomass in Canadian Prairie Shelterbelts ». 12.
- Lambert, M. C., C. H. Ung, et F. Raulier. 2005.** « Canadian National Tree Aboveground Biomass Equations ». *Canadian Journal of Forest Research* 35(8):1996-2018.
- Lamloom, S. H. et R. A. Savidge. 2003.** « A Reassessment of Carbon Content in Wood: Variation within and between 41 North American Species ». *Biomass and Bioenergy* 25(4):381-388.
- Lebel, Frédéric et Luc-Martin DeRoy. 2007.** « Introduction de produits forestiers non ligneux dans des bandes riveraines et des haies brise-vent ». Sghaier, Tahar et Youssef Ammari. 2012. « Croissance et production du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Tunisie ». 19.
- Zhou, Xinhua, Michele M. Schoeneberger, James R. Brandle, Tala N. Awada, Jianmin Chu, Derrel L. Martin, Jihong Li, Yuqiang Li, et Carl W. Mize. 2015.** « Analyzing the Uncertainties in Use of Forest-Derived Biomass Equations for Open-Grown Trees in Agricultural Land ». *Forest Science* 61(1):144-161.

**Crédits photos :** CERFO

Ce projet a été réalisé dans le cadre du programme d'aide à la recherche technologique (PART) du ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. Il a également obtenu une aide financière du ministère de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques.

<sup>1</sup> Les données correspondant à un espacement de 3 m ont été privilégiées pour les résineux, comme cela est généralement recommandé dans les aménagements agroforestiers.

<sup>2</sup> Les données correspondant à un espacement de 3-4 m ont été privilégiées pour les feuillus durs, comme cela est généralement recommandé dans les aménagements agroforestiers.

<sup>3</sup> Une valeur moyenne a été calculée avec les données de tous les arbustes sur les 2 types de sol. Une distinction a été maintenue concernant le type d'aménagement car pour 2 essences, de nettes différences étaient remarquables.