

Combien de carbone peuvent emmagasiner les plantations d'épinette blanche et de pin rouge établies sur friche dans le sud du Québec?

Sylvie Tremblay, Rock Ouimet, Catherine Périé et Guy Prigent

Direction de la recherche forestière, ministère des Ressources naturelles et de la Faune

Problématique

D'ici la fin du siècle, on prévoit au Canada un réchauffement climatique de 1 à 6°C, causé à 75 % par l'utilisation des combustibles fossiles (gaz naturel, charbon et pétrole) et dont le principal responsable est le parc automobile (GIEC 2001). Pour ralentir ce phénomène, le Canada s'est engagé à réduire ses émissions de gaz à effet de serre (CO₂ essentiellement), de sorte que sa moyenne annuelle entre 2008 et 2012 soit de 6 % inférieure à celle de 1990 (Protocole de Kyoto 1997). Pour atteindre cet objectif, le Canada peut soustraire de ses émissions la quantité de CO₂ emmagasinée dans certains puits de carbone (C), notamment les superficies non forestières boisées depuis 1990. Cette quantité de CO₂ correspond au C accumulé, entre 2008 et 2012, dans la biomasse des arbres, dans la litière et dans la matière organique des sols des plantations de 22 ans et moins, établies sur des terres agricoles abandonnées (changement d'affectation des terres, article 3.3 du Protocole). La prise en compte des plantations est d'autant plus importante que les forêts naturelles canadiennes seront probablement une source de carbone pour l'atmosphère en 2008-2012, puisqu'elles ont déjà été identifiées comme source de CO₂ dans les années 1990 (Kurz et Apps 1999).

Étant donné que 67 % du reboisement des terres privées canadiennes effectué entre 1990 et 2002 a eu lieu au Québec (White et Kurz 2005) et que la majorité de ce reboisement au Québec s'est fait avec de l'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss; Parent 2003; Thiffault *et al.* 2003), il devenait impératif d'étudier les plantations d'épinette blanche établies sur friches comme puits de CO₂. Des plantations de pin rouge (*Pinus resinosa* Ait.) établies sur friches ont aussi été étudiées, parce qu'un grand nombre de données de sol étaient déjà disponibles (Brazeau 1983) et que le pin rouge est l'essence résineuse indigène la plus productive en plantation (Bolghari et Bertrand 1984).

Objectifs

L'objectif de l'étude est de déterminer, à l'aide de chronoséquences de 40-50 ans, l'accumulation de C dans des plantations d'épinette blanche et de pin rouge, établies sur friches, dans le sud du Québec (Canada) (Tremblay *et al.* 2006; Ouimet *et al.* 2006). Une attention particulière est portée au stock de C du sol, car ce réservoir de C est non seulement peu connu, mais aussi plus grand et plus stable que celui de la végétation.

Méthode

Zones d'étude

L'étude est effectuée dans le sud du Québec: les plantations d'épinette blanche sont dans le sous-domaine de la sapinière à bouleau jaune de l'est, celles de pin rouge dans les sous-domaines

de l'érablière à caryer cordiforme, l'érablière à tilleul de l'est et l'érablière à bouleau jaune de l'est (Saucier *et al.* 1998). La durée de la saison de croissance est de 160 à 170 jours pour les plantations d'épinette blanche et de 170 à 200 jours pour celles de pin rouge (Wilson 1971).

Approche par chronoséquence

La chronoséquence de l'épinette blanche est de 50 ans, soit 57 plantations, réparties dans 7 classes d'âge (0, 2, 5, 10, 22, 35 et 50 ans) avec 4 à 14 plantations par classe d'âge. La chronoséquence du pin rouge est de 40 ans, soit 280 plantations, réparties dans 7 classes d'âge de 5 ans, à l'exception de la dernière classe qui est de 31 à 50 ans. Chaque classe d'âge comprend de 40 à 100 plantations, à l'exception des classes 0-5 et 31-50 lesquelles en comprennent respectivement 5 et 10. L'âge moyen des plantations de la classe 0-5 ans est de 4 ans, tandis que celui de la classe 31-50 ans est de 40 ans.

À l'intérieur d'une chronoséquence, les plantations sont les plus similaires possibles, afin de minimiser les sources de variation autres que l'âge de la plantation, telle la variabilité spatiale du C du sol. Par conséquent, les sols d'une chronoséquence sont semblables du point de vue de l'ordre du sol (Podzols), du régime hydrique (rapide à modéré) et de la texture du sol (sable à loam sableux). De plus, les plantations sélectionnées n'ont pas fait l'objet d'éclaircies. Par contre, le type de culture effectué avant le boisement reste inconnu la plupart du temps pour les plantations des deux types d'essence.

Compartiments étudiés

La partie épigée des arbres, la litière et les 30 premiers centimètres du sol sont étudiés. Toutefois, la définition de chaque compartiment, ainsi que la méthode pour en évaluer le contenu en C sont différentes selon les deux types d'essence. Dans les plantations d'épinette blanche, 1) le C de la partie épigée des arbres (plantés et non plantés) est estimé à partir d'un inventaire dendrométrique et de l'utilisation d'équations pour estimer la biomasse des arbres; cette biomasse est convertie en C organique en utilisant un facteur de 0,49 pour les essences feuillues et de 0,5 pour les essences résineuses, conformément à Matthews (1993), 2) la litière (horizons L et F et plantes herbacées) est échantillonnée à l'emporte-pièce, et 3) la couche 0-30 cm du sol est échantillonnée dans deux pédons, par tranches de 10 cm. De plus, les vingt premiers centimètres du sol d'une friche voisine non boisée sont échantillonnés à la tarière (échantillon pairé), afin de mettre en évidence l'effet du boisement sur le C du sol. Dans les plantations de pin rouge, 1) le C de la partie épigée des arbres (plantés seulement) est estimé par l'interpolation entre deux inventaires dendrométriques et par l'utilisation de tarifs de cubage pour estimer le volume des arbres au moment de l'inventaire des sols; le volume des arbres est converti en biomasse en utilisant un facteur de 1,454 (IPCC 1996) et une densité du bois de 0,381 g masse anhydre cm⁻³ (Ouellet 1983); 2) la litière (horizons L et F) est estimée avec une équation (Tremblay *et al.* 2002); et 3) la concentration en C est mesurée sur la moitié des horizons de la couche de sol 0-30 cm, tandis que le C de l'autre moitié est estimé avec une fonction de pédo-transfert. Dans les deux cas, le volume de pierres est évalué visuellement dans les pédons, afin d'être soustrait du volume de sol.

Les mesures dendrométriques et l'échantillonnage du sol sont effectués dans une parcelle de 400 m² pour chaque plantation. Les travaux se sont effectués à l'été 2004 pour l'épinette blanche, tandis que l'échantillonnage du sol s'est effectué de 1971 à 1978 et les mesures dendrométriques de 1970 à 2003 pour le pin rouge. La concentration en C des échantillons des plantations d'épinette blanche est analysée par combustion avec un appareil LECO CR-412, celles de pin rouge par la méthode de Walkley-Black (Allison 1965).

Analyses statistiques

Les données de stock de C (Mg C ha⁻¹) des trois compartiments de chaque type d'essence sont soumises à une analyse de variance afin de détecter les différences significatives attribuables à l'âge de la plantation. La variable stock de C des données sur l'épinette blanche est transformée avec un logarithme naturel pour rencontrer le critère d'homogénéité de la variance. Pour les données sur l'épinette blanche, les contrastes de Helmert sont utilisés afin de déterminer l'âge de la plantation à partir duquel le contenu en C d'un compartiment se stabilise, tandis que, pour les données sur le pin rouge, une décomposition polynomiale est effectuée afin d'analyser la tendance du stock de C de chaque compartiment en fonction de l'âge de la plantation.

Résultats obtenus

Chronoséquence de l'épinette blanche

Le stock de C des compartiments des plantations d'épinette blanche varie de façon significative en fonction de l'âge de la plantation, mais différemment selon le compartiment ($p < 0,001$; Figure 1). Le stock de C de la partie aérienne des arbres augmente en moyenne de 1 (0,9-1,3 Mg C ha⁻¹) à 97 Mg ha⁻¹ (72-129 Mg C ha⁻¹) de 0 à 35 ans, puis se stabilise entre 35 et 50 ans. Le taux d'accumulation maximal de la partie aérienne de l'arbre est entre 10 et 35 ans et le taux d'accumulation annuel moyen sur 50 ans est de 1,9 Mg C ha⁻¹ an⁻¹. Le taux d'accumulation de C dans la litière est quasi nul de 0 à 22 ans, passe de 5 (4-7 Mg C ha⁻¹) à 9 Mg ha⁻¹ (7-12 Mg C ha⁻¹) de 22 à 35 ans, puis se stabilise de 35 à 50 ans. Le taux d'accumulation annuel moyen de la litière sur 50 ans est de 0,06 Mg C ha⁻¹ an⁻¹. Le stock de C de la couche 0-30 cm du sol diminue de 74 (62-89 Mg C ha⁻¹) à 47 Mg C ha⁻¹ (36-60 Mg C ha⁻¹) de 0 à 22 ans, puis se stabilise de 22 à 50 ans. Cela équivaut à une perte annuelle sur 50 ans de 0,42 Mg C ha⁻¹ an⁻¹ ou de 0,8 % du contenu en C du sol. Le stock total de C des trois compartiments augmente de 79 (66-95 Mg C ha⁻¹) à 142 Mg ha⁻¹ (109-183 Mg C ha⁻¹) de 0 à 35 ans, puis se stabilise de 35 à 50 ans (Figure 2). Le taux d'accumulation annuel moyen des trois compartiments sur 50 ans est de 1,5 Mg C ha⁻¹ an⁻¹ ou de 5,5 Mg CO₂ ha⁻¹ an⁻¹, ce qui équivaut environ à l'émission annuelle moyenne de deux voitures intermédiaires roulant 20 000 kilomètres par année. L'accumulation totale de C à 22 ans, l'âge des plantations les plus vieilles prises en compte lors de la première période d'engagement au Protocole de Kyoto (2008-2012), est de 12 Mg C ha⁻¹.

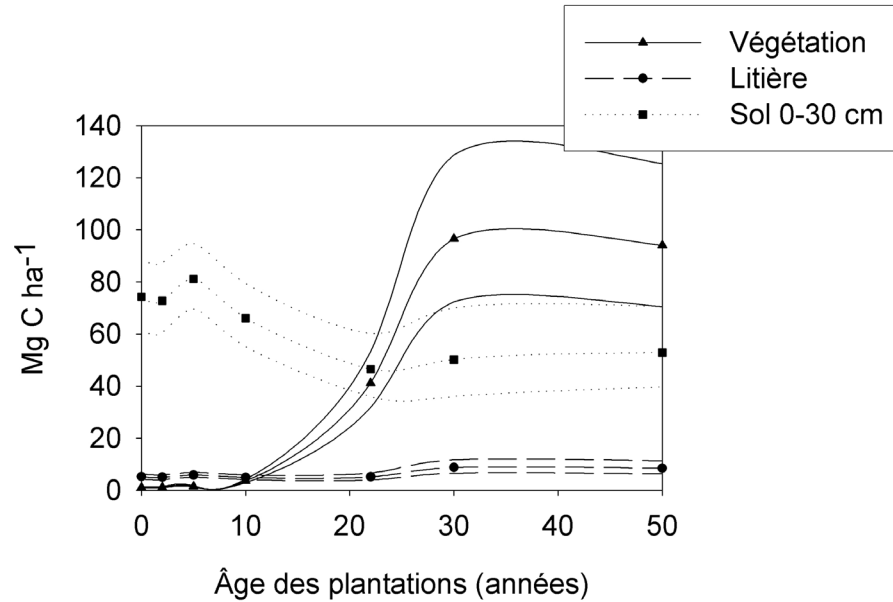


Figure 1. Évolution du stock de carbone en fonction de l'âge dans trois compartiments des plantations d'épinette blanche.

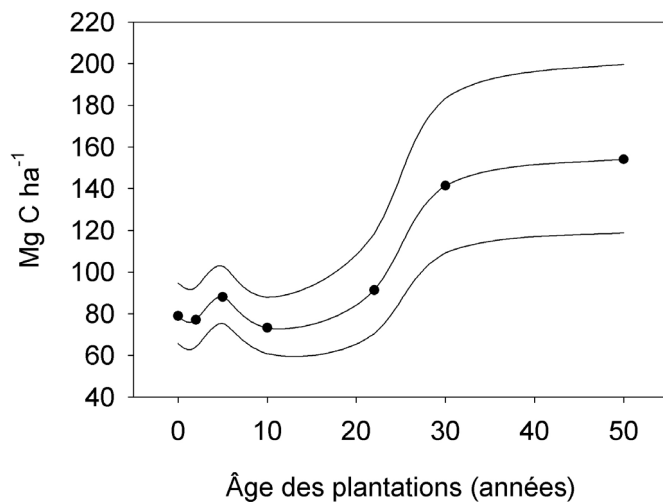


Figure 2. Évolution du stock total de C en fonction de l'âge des plantations d'épinette blanche.

Chronoséquence du pin rouge

Le contenu en C organique des trois compartiments des plantations de pin rouge varie aussi de façon significative en fonction de l'âge de la plantation ($p < 0,017$; Figure 3). L'accumulation de C organique dans la partie aérienne des arbres est de $54,9 \pm 6,9$ Mg C ha⁻¹ de 4 à 40 ans; elle suit une courbe cubique avec un taux d'accumulation maximal entre 12 et 28 ans. L'accumulation annuelle moyenne dans ce compartiment est de $1,5$ Mg C ha⁻¹ an⁻¹. La litière commence à apparaître environ 10 ans après la mise en terre : le C organique s'y accumule à un taux annuel moyen de $0,44 \pm 0,10$ Mg C ha⁻¹ an⁻¹, atteignant en moyenne $12,6 \pm 4,3$ Mg C ha⁻¹ (moyenne $\pm$ erreur-type) dans les plantations âgées de 40 ans. L'accumulation de C organique dans les 30

premiers centimètres du sol (y compris la litière lorsque présente) suit une courbe cubique : elle ralentit entre 12 et 28 ans, puis recommence à augmenter jusqu'à 40 ans, ce qui représente une accumulation dans le sol de $43,1 \pm 21,3 \text{ Mg C ha}^{-1}$ de 4 à 40 ans et une accumulation annuelle moyenne de $0,87 \pm 0,22 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$. En moyenne, l'accumulation totale de C organique dans la somme des trois compartiments suit une tendance linéaire, passant de 60 Mg C ha^{-1} dans les plantations âgées de 4 ans à 145 Mg C ha^{-1} dans celles âgées de 40 ans. L'accumulation annuelle moyenne totale de C organique dans les plantations est de $2,5 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$, en assumant que les friches contiennent en moyenne 45 Mg C ha^{-1} avant l'établissement de la plantation (interception de la courbe présentée à la figure 2 pour le stock de C total). Cela équivaut à une séquestration annuelle de CO_2 de $9,2 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ sur 40 ans, ou l'émission annuelle de trois voitures intermédiaires. L'accumulation totale de C dans les trois compartiment des plantations âgées de 22 ans est de 55 Mg C ha^{-1} , soit deux fois moins que l'accumulation calculée pour les plantations âgées de 40 ans.

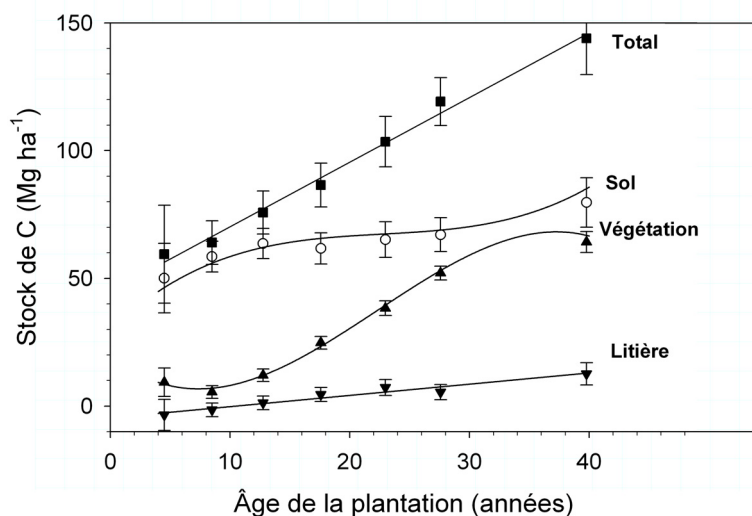


Figure 2. Évolution du stock de carbone en fonction de l'âge de la plantation dans trois compartiments des plantations de pin rouge. Le sol (0-30 cm) comprend la litière lorsque présente.

Retombées escomptées

Le boisement des friches avec de l'épinette blanche dans le sous-domaine de la sapinière à bouleau jaune de l'est et avec du pin rouge dans les sous-domaines de l'érablière à caryer cordiforme, l'érablière à tilleul de l'est et l'érablière à bouleau jaune de l'est génère un puits de C, puisque ces plantations accumulent 75 Mg C ha^{-1} en 50 ans et 100 Mg C ha^{-1} en 40 ans respectivement. Cela correspond à une accumulation annuelle de C organique de $1,5$ et $2,5 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ et équivaut aux émissions annuelles de CO_2 de deux à trois voitures intermédiaires roulant 20 000 kilomètres par année. Cette accumulation serait un peu plus élevée si l'on prenait en compte les racines. La majorité de cette accumulation se produit dans la végétation entre 10 et 30 ans pour les deux essences.

La couche 0-30 cm du sol est une source de CO₂ dans les plantations d'épinette blanche (-22 Mg C ha⁻¹ en 50 ans), surtout durant les 22 premières années, tandis que cette couche (y compris la litière lorsque présente) est un puits de CO₂ dans les plantations de pin rouge (0,87 ± 0,22 Mg C ha⁻¹ an⁻¹ sur 40 ans).

L'accumulation totale de C dans les trois compartiments est beaucoup moins importante dans les plantations âgées de 22 ans que dans celles âgées de 40 et 50 ans. Ces résultats indiquent que les plantations d'épinette blanche et pin rouge âgées de 22 ans ou moins, soit la limite d'âge retenue pour la première période d'engagement au Protocole de Kyoto (2008-2012), seront de faibles puits de C dans le sud du Québec. En revanche, ceux-ci deviendront beaucoup plus importants lors des périodes subséquentes.

Références

Allison, L.E., 1965. in C.A. Black, editor. Methods of soil analysis. Am. Soc. Agron. Inc., Madison, WI. **Bolghari, H.A. et R. Bertrand, 1984.** Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche. Mémoire n° 79. **Brazeau, M., 1983.** Gouv. du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche forestière, Rapport interne n° 234. **Groupe d'Experts Intergouvernemental sur les Changements Climatiques, 2001.** Rapport de synthèse du GIEC. **IPCC, 1996.** Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. **Kurz, W.A. and M.J. Apps, 1999.** Ecol. Appl. **9**: 526-547. **Mattews, G., 1993.** For. Com. Tech. Paper. 4(21). **Ouellet, D., 1983.** Inf. Rep. LAU-X-62E, Environ. Can., Can. For. Serv., Laurentian For. Res. Cent., Québec. **Ouimet, R., S. Tremblay, C. Périé and G. Prément, 2006.** Can. J. For. Res. (soumis). **Parent, B., 2003.** Portrait statistique. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers, Québec. **Saucier, J.-P., J.-F. Bergeron, P. Grondin and A. Robitaille, 1998.** Supplément de l'Aubelle numéro 124, Québec. **Thiffault, N., V. Roy, G. Prément, G. Cyr, R. Jobidon and J. Ménétrier, 2003.** Nat. Can. **127**: 63-80. **Tremblay, S., C. Périé and R. Ouimet, 2006.** Can. J. For. Res. (sous presse). **Tremblay, S., R. Ouimet and D. Houle, 2002.** Can. J. For. Res. **32**: 903-914. **White, T.M. and W.A. Kurz, 2005.** For. Chron. **81**: 491-497. **Wilson, C. V., 1971.** Études climatologiques 11, Service météorologique du Canada, Ottawa.