

Estimation des stocks de carbone dans les mangroves de la région Pantanos de Centla au Mexique



Les écosystèmes de carbone bleu du Sud-Est du Mexique figurent parmi les plus importants de tous les écosystèmes mondiaux ayant fait l'objet de mesures.

Chercheurs principaux

Boone Kauffman, Ph. D. (président et scientifique principal, Illahee Sciences International, Inc.), **Humberto Hernández Trejo, Ph. D.** (Universidad Juárez Autónoma de Tabasco), **María del Carmen Jesús García** (Universidad Juárez Autónoma de Tabasco), **Chris Heider** (Watershed Professionals Network LLC) et **Wilfrido M. Contreras Sánchez, Ph. D.** (Universidad Juárez Autónoma de Tabasco).



Mangrove estuarienne Sabalo, région Pantanos de Centla.

Ce projet de recherche a été réalisé avec le soutien financier du projet *Le carbone bleu de l'Amérique du Nord : Évaluation du rôle des habitats côtiers dans le bilan du carbone sur le continent*, mis en œuvre par la Commission de coopération environnementale (CCE) en 2013–2014.

Des stocks de carbone considérables dans les mangroves mexicaines

Les mangroves de la région Pantanos de Centla (les Marais de Centla), dans le Sud-Est du Mexique — la plus vaste superficie de zones humides en Mésio-Amérique — contiennent des stocks de carbone exceptionnellement élevés; ils figurent parmi les plus importants écosystèmes de mangroves du monde et parmi les plus importants écosystèmes tropicaux planétaires, tous types confondus. Le défrichage de ces forêts marécageuses pour affecter les sols ou les rivages à d'autres fins se révèle donc très coûteux, car les utilisations de remplacement sont susceptibles de stocker une beaucoup plus petite fraction de carbone que les mangroves et peuvent même entraîner une libération du carbone stocké, sous la forme d'émissions de gaz à effet de serre, en plus de la perte d'autres services écosystémiques importants qui sont typiques des mangroves.

Ce projet a consisté à mener des recherches pour évaluer les stocks de carbone dans ces écosystèmes et, en particulier, les différences entre les taux de stockage des mangroves de la frange côtière et des mangroves des estuaires. Les chercheurs ont également examiné les stocks de carbone de pâturages pour le bétail situés à des emplacements auparavant occupés par des mangroves, et notamment les émissions potentielles engendrées par la conversion de mangroves en pâturages. Les résultats indiquent que les stocks de carbone des mangroves de la région Pantanos de Centla sont extrêmement élevés comparativement à ceux des forêts des hautes terres du Mexique et, de surcroît, que la conversion des mangroves en pâturages pour le bétail engendre des émissions considérables.

Cette recherche est la première à avoir quantifié les stocks de carbone dans la plus vaste zone de milieux humides de la Mésio-Amérique. C'est également la première fois que l'on a publié des mesures des stocks de carbone et des estimations des émissions causées par l'affectation de ces mangroves à d'autres modes d'utilisation.

Résumé du projet

Les mangroves sont des écosystèmes extrêmement productifs qui sont écologiquement et économiquement importants à l'échelle locale aussi bien que mondiale. La quantité exceptionnellement élevée de carbone qu'elles stockent laisse penser que leur conservation et leur restauration pourraient constituer un moyen appréciable de contribuer à l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre.

Il a été difficile de quantifier les émissions de carbone engendrées par la conversion des mangroves, en partie à cause de l'absence de données à grande échelle concernant la quantité de carbone stockée par ces écosystèmes, particulièrement dans le sol, et concernant les répercussions sur les stocks de carbone de l'affectation de ces terres à d'autres fins. Les données sur les pertes de carbone stocké et les émissions de gaz à effet de serre associées aux modes d'utilisation des terres sont à toutes fins utiles inexistantes. Cela empêche d'établir des valeurs écosystémiques liées aux activités de conservation ou de restauration des mangroves pouvant être incorporées dans des stratégies d'atténuation des changements climatiques ou d'adaptation à leurs effets.

Le premier objectif de ce projet était de quantifier les stocks de carbone des mangroves océaniques (situées sur la frange côtière) et des mangroves estuariennes dans la région mexicaine Pantanos de Centla. L'étude avait pour deuxième objectif d'examiner comment la conversion des mangroves en pâturages pour le bétail influe sur la structure et la taille des stocks de carbone, comparativement à la conversion de forêts des hautes terres en pâturages. Les questions de recherche précises étaient les suivantes : quels sont les stocks de carbone présents dans les mangroves de la région Pantanos de Centla? Quelles sont les différences entre les stocks des mangroves du littoral et ceux des mangroves des estuaires? Quels sont les stocks de carbone présents dans les pâturages pour le bétail qui ont été aménagés à des emplacements auparavant occupés par des mangroves? Quelles émissions peuvent être causées par la conversion des mangroves en

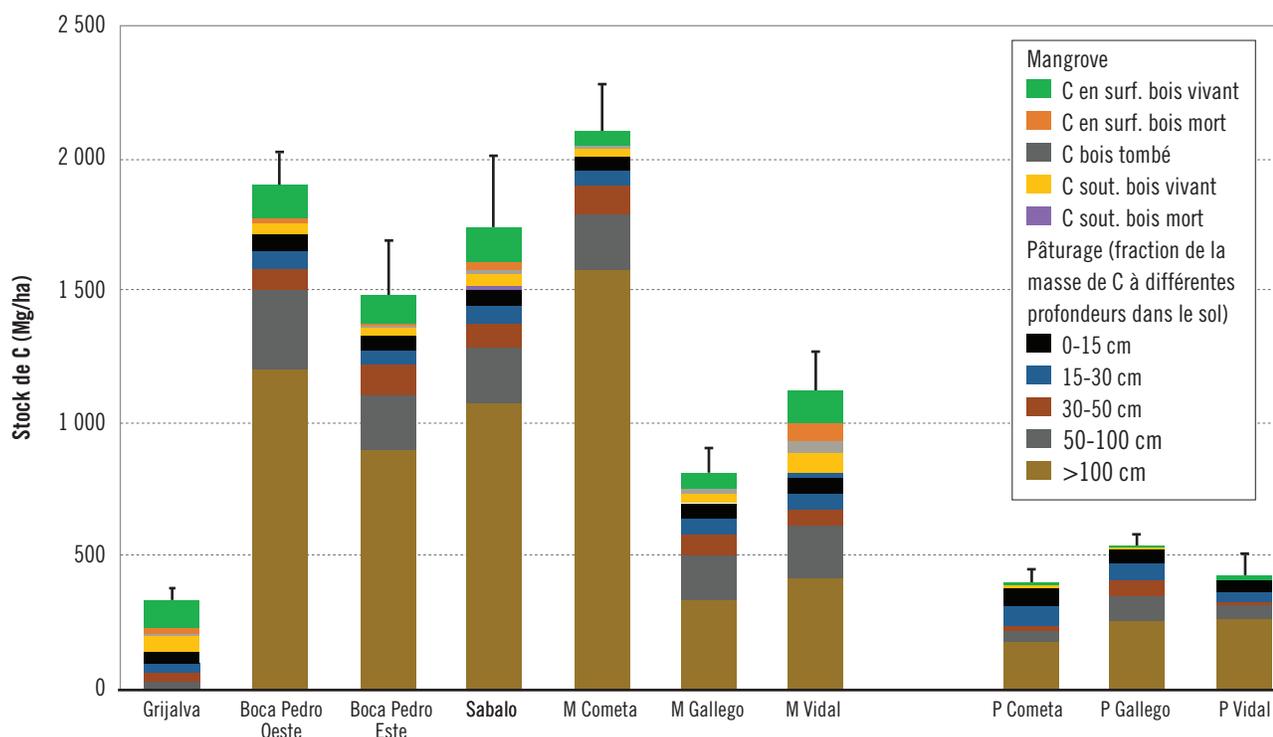
pâturages pour le bétail? Enfin, comment ces émissions se comparent-elles à celles qui sont associées à la conversion de forêts tropicales des hautes terres en pâturages?

Les stocks écosystémiques totaux pour les sites de mangrove variaient considérablement, allant d'un minimum de 342 Mg C/ha, au site Grijalva, à un maximum de 2 099 Mg C/ha, au site Cometa (figure 1). Le stock écosystémique moyen de carbone des mangroves s'élevait à 1 358 Mg C/ha, comparativement à 458 Mg C/ha dans le cas des pâturages pour le bétail. Les stocks écosystémiques de carbone des mangroves échantillonnées dans le cadre de cette étude étaient plus importants que la moyenne mondiale signalée pour toutes les mangroves (environ 965 Mg C/ha). De façon semblable aux bassins de carbone du sol, le site Grijalva présentait une différence considérable par rapport à tous les autres sites, à l'extrémité inférieure, alors que les sites Cometa, Boca Pedro Oeste et Boca Pedro Este présentaient une différence significative par rapport à tous les autres sites, à l'extrémité supérieure. Les bassins de carbone du sol représentaient en moyenne 86 % du bassin écosystémique total, sur une plage variant de 59 % à 97 %. Les sols représentaient plus de 98 % des stocks écosystémiques totaux de carbone dans les pâturages.

Les pertes de stocks de carbone attribuables à la conversion des mangroves en pâturages pour le bétail (1 464 mégagrammes d'équivalent de CO₂ par hectare, ou Mg CO₂e/ha) étaient sept fois plus élevées que les émissions correspondantes imputables à la conversion de forêts sèches et trois fois plus élevées que les émissions correspondantes causées par la conversion de superficies de forêt amazonienne en pâturages.

Les résultats ont montré les effets des modes d'utilisation sur les propriétés des sols pour l'ensemble du profil pédologique et jusqu'à des profondeurs de plus de 1 m. À ces profondeurs, les sols des pâturages présentaient une densité apparente plus élevée, mais des valeurs plus faibles pour la concentration, la densité et la masse du carbone. Étant donné les effets de la conversion et du mode d'utilisation sur

Figure 1. Stocks écosystémiques totaux de carbone dans les mangroves et d'anciennes forêts de mangroves converties en pâturages pour le bétail dans la région mexicaine Pantanos de Centla dans la région mexicaine Pantanos de Centla



les propriétés des sols, il faudrait faire des comparaisons avec des mangroves intactes à des profondeurs semblables en tenant compte des différences attribuables à l'affaissement, à la compaction et à l'érosion. Ces modifications des propriétés des sols rendent également plus difficile la tâche de déterminer les pertes causées par les changements dans la couverture terrestre. En raison de ces facteurs, les chercheurs ont calculé les pertes dans le sol en les comparant à celles d'une masse équivalente de sol minéral dans la couche pédologique supérieure de 1 m des mangroves plutôt que sur la profondeur totale (1 464 Mg CO₂e/ha). Cela a produit une estimation beaucoup plus modérée des pertes de carbone qu'une estimation calculée selon l'approche des changements dans les stocks, celle-ci combinant les bassins en surface et les bassins souterrains jusqu'à une profondeur de 3 m. Cette dernière approche produisait une estimation des émissions moyennes imputables à la conversion des mangroves en pâturages de 3 264 Mg CO₂e/ha (figure 2). Ainsi, limiter l'évaluation des pertes à celles du premier mètre sous la surface pourrait entraîner une sous-estimation des pertes dans les horizons plus profonds.

Il est clair que l'affectation des mangroves à d'autres fins s'accompagne de coûts élevés sous forme non seulement de quantités considérables d'émissions de gaz à effet de serre, mais aussi de perte d'autres services écosystémiques. Les vastes stocks de carbone séquestrés, les taux élevés de déboisement des mangroves et les émissions substantielles de gaz à effet de serre qui s'ensuivent mettent en évidence l'à-propos d'incorporer les mangroves dans des stratégies nationales appropriées d'atténuation des changements climatiques et d'adaptation à leurs effets.

Les mangroves de la région Pantanos de Centla : hautement prioritaires

Les changements d'affectation des terres tels que la conversion de milieux humides en pâturages entraînent d'importantes pertes de carbone écosystémique et des émissions substantielles de carbone dans l'atmosphère. Les pertes de carbone attribuables à la conversion des mangroves en pâturages sont extrêmement élevées comparativement aux autres modes d'utilisation des terres.

En raison de l'ampleur de leurs stocks de carbone, de leurs fortes émissions de gaz à effet de serre lorsque leur affectation est modifiée, des taux élevés de déboisement qu'elles subissent et des nombreux autres services écosystémiques qu'elles fournissent, les mangroves de la région Pantanos de Centla devraient être considérées comme hautement prioritaires aux fins de l'incorporation dans des stratégies d'atténuation des changements climatiques et d'adaptation à leurs effets.

Des scientifiques de l'Université d'État de l'Oklahoma et de la *Universidad Juárez Autónoma de Tabasco* ont formé une équipe solide pour la réalisation en collaboration de recherches importantes sur le carbone bleu le long de la côte méridionale du golfe du Mexique (Pantanos de Centla). Il existe de formidables possibilités de recherche, d'éducation et de sensibilisation à exploiter en ce qui concerne cette région cruciale et menacée.

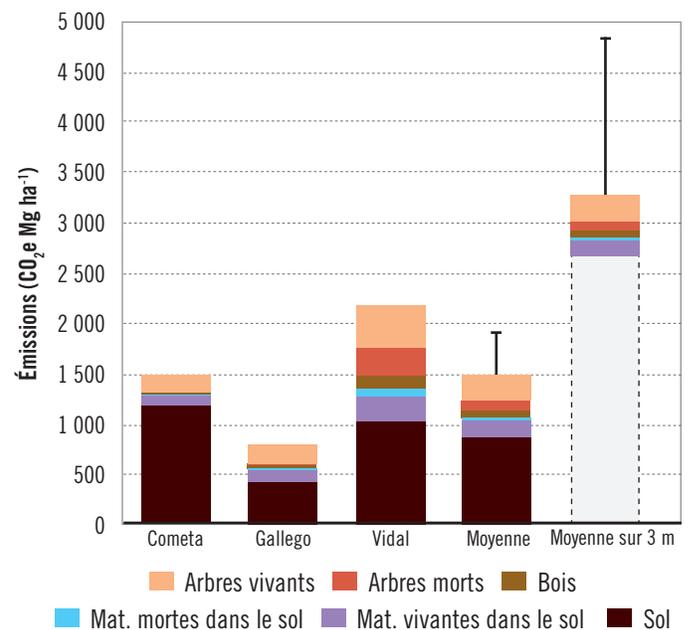
Étant donné l'importance continentale de la région Pantanos de Centla (ainsi que des régions côtières des États de Campeche, Tabasco et Veracruz), les menaces qui pèsent sur sa pérennité et les émissions libérées lors de la conversion de ces écosystèmes de carbone bleu, la réalisation d'études additionnelles sur leur écologie, leur gestion et leur conservation est justifiée.

Au nombre des besoins futurs en matière de recherche, on compte les suivants :

- échantillonner les sols dans les zones humides au-delà du premier mètre de profondeur afin d'étudier tous les effets de



Figure 2. Émissions prévues attribuables à la conversion des mangroves en pâturages, sur une profondeur de 1 m basées sur l'équivalence de biomasse, et de 3 m basées sur l'approche des changements dans les stocks



l'utilisation des terres, des changements d'affectation des terres et de la foresterie;

- mesurer les stocks de carbone d'autres écosystèmes de carbone bleu dans la région Pantanos de Centla, en particulier les marais salés et les forêts alluviales;
- quantifier les émissions attribuables à l'affectation à d'autres fins des mangroves et des autres écosystèmes côtiers (p. ex. les marais salés);
- déterminer les taux de séquestration du carbone découlant de la restauration de mangroves dégradées;
- offrir des possibilités de stages et de travaux des cycles supérieurs aux étudiants mexicains qui s'intéressent à la dynamique du carbone bleu.

Publication liée au projet

Kauffman, J.B., H. Hernández Trejo, M.C. Jesús García, C. Heider et W.M. Contreras. 2015. « Carbon stocks of mangroves and losses arising from their conversion to cattle pastures in the Pantanos de Centla, Mexico ». *Wetlands Ecology and Management*, août 2015.



Quantification du carbone organique des sols dans huit marais du réseau national de réserves de recherche estuarienne des États-Unis



Ces constatations ont des incidences sur la façon de calculer les bilans de carbone à l'échelle des marais individuels et de les incorporer dans des politiques concernant le carbone bleu.

Chercheurs principaux

Kristin Wilson Grimes, Ph. D. (professeure adjointe de recherche, University of the Virgin Islands; directrice du Virgin Islands Water Resources Research Institute) et **Erik Smith, Ph. D.** (coordonnateur de recherche, North Inlet-Winyah Bay National Estuarine Research Reserve; professeur adjoint de recherche, Université de la Caroline du Sud)



Wells NERR



Delaware NERR



Grand Bay NERR



Lake Superior NERR



San Francisco Bay NERR



North Inlet-Winyah Bay NERR

La variabilité des stocks de carbone dans les marais aux États-Unis

Le *National Estuarine Research Reserve System* (NERRS, Réseau national de réserves de recherche estuarienne) est un réseau de 28 sites protégés sur l'ensemble du territoire des États-Unis financé par la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, Administration nationale des études océaniques et atmosphériques); ce réseau est consacré à la protection et à la restauration des écosystèmes côtiers à l'aide de travaux de recherche intégrée, d'activités d'intendance, de mesures de sensibilisation et de partenariats communautaires. Ce projet de recherche a examiné la variabilité spatiale du stockage du carbone dans les réserves de recherche des États suivants : le Maine, le Delaware, la Caroline du Sud, la Floride, le Mississippi, la Californie, le Wisconsin et l'Ohio; il a quantifié le pourcentage de matière organique des sols, le pourcentage de teneur en carbone organique et la variabilité de la densité du carbone sédimentaire dans la couche supérieure de 20 cm des sols dans un groupe de marais différenciés sur le plan du contexte géomorphologique, de la végétation dominante et de la salinité. Les résultats aident à prédire les stocks de carbone dans les marais salés qui subissent des changements de conditions environnementales et des facteurs de stress d'origine anthropique, ainsi que dans les cas où l'accès à une technologie d'analyse et à une expertise plus coûteuses est impossible ou prohibitif.

Résumé du projet

Ce projet comble d'importantes lacunes dans la compréhension de la variabilité spatiale de la densité du carbone organique dans la couche supérieure de 20 cm du sol dans une série de sites du réseau NERRS situés dans les États suivants : Maine, Delaware,

Ce projet de recherche a été réalisé avec le soutien financier du projet *Le carbone bleu de l'Amérique du Nord : Évaluation du rôle des habitats côtiers dans le bilan du carbone sur le continent*, mis en œuvre par la Commission de coopération environnementale (CCE) en 2013–2014.

Caroline du Sud, Floride, Mississippi, Californie, Wisconsin et Ohio. Les sites sélectionnés aux fins de l'étude représentent collectivement un gradient allant des marais d'eau douce (Wisconsin, Ohio) aux marais salés (Delaware, Californie) et aux marais à grande salinité (Maine, Caroline du Sud, Floride, Mississippi); ils possèdent des caractéristiques variables sur le plan du contexte géomorphique et des communautés végétales dominantes. Les chercheurs ont délibérément inclus ces plages de variation afin d'améliorer les estimations de la densité du carbone sédimentaire dans tous les types de marais, ainsi que de mieux comprendre les possibilités d'extrapolation de la méthodologie de la perte par calcination ou perte au feu (PAF) à l'ensemble des habitats marécageux de l'Amérique du Nord.

Vingt carottes de 7,62 cm de diamètre et de 20 cm de longueur ont été prélevées de façon aléatoire dans les quatre types de végétation dominante à chacun des huit sites. Les carottes ont été fendues et préparées de manière à produire des échantillons appariés pour l'analyse du pourcentage de matière organique sédimentaire selon la méthode de la perte au feu, ainsi que l'analyse du pourcentage de teneur en carbone organique selon la méthode d'analyse élémentaire, à des intervalles homogénéisés de 5 cm de profondeur. À partir des mesures du pourcentage de teneur en carbone et de la masse volumique apparente à sec, la densité du carbone sédimentaire a été calculée et comparée selon les sites, les types de zone marécageuse et les types de végétation.

Les résultats montrent qu'il existe une forte corrélation entre la matière organique sédimentaire calculée par perte au feu et la teneur en carbone organique sédimentaire (%), que la relation globale diffère de celle d'autres études publiées (p. ex. Craft et coll., 1991; Callaway et coll., 2012) (figure 1), et que les caractéristiques des sites individuels contribuent de façon significative aux variations dans cette relation globale. Sur de vastes échelles spatiales, une courbe unique capte adéquatement la majeure partie de la variabilité dans le carbone organique sédimentaire expliquée par la perte au feu. Les résultats de l'étude montrent cependant qu'à des échelles plus petites, dans certaines régions, la variabilité dans les propriétés des sédiments peut dicter le recours à des courbes d'étalonnage propres à chaque emplacement.

Les résultats d'une analyse du point de rupture ont révélé une modification de la relation entre la teneur en carbone organique et la masse volumique apparente à une teneur en carbone organique de 2,04 %. Au-delà de cette valeur, la relation était fortement significative et présentait une pente très semblable à celles observées dans les études antérieures. En deçà de cette valeur, la relation n'était pas statistiquement significative. Fait intéressant, les échantillons dont la teneur en carbone organique était inférieure à 2,04 % provenaient presque exclusivement du Sud-Est des États-Unis (Caroline du Sud, Floride et Mississippi) et étaient surtout confinés dans les zones de végétation des halophytes au milieu des marais et/ou de la variante courte de *Spartina alterniflora* (données non présentées).



La densité moyenne du carbone organique sédimentaire dans la couche supérieure de 20 cm variait de 0,001 à 0,061 g C cm⁻³, avec une grande moyenne de 0,030 ± 0,011 g C cm⁻³, et présentait des différences considérables d'un site à l'autre (figure 2). Les sédiments du Maine et de la Californie contenaient sensiblement plus de carbone organique par centimètre cube que ceux des autres sites échantillonnés. La densité moyenne du carbone organique sédimentaire présentait également des différences significatives entre les zones de marais supérieur et de marais inférieur en Caroline du Sud, au Mississippi et en Floride; toutefois, la structure de ces différences n'était pas uniforme. Au Mississippi, la zone de marais inférieur présentait une densité de carbone organique significativement plus grande que la zone de marais supérieur, alors qu'en Caroline du Sud et en Californie, la tendance opposée a été observée. Enfin, la densité moyenne

Figure 1. Teneur en carbone organique sédimentaire (%) et teneur en matière organique selon la perte au feu (PAF) (%)

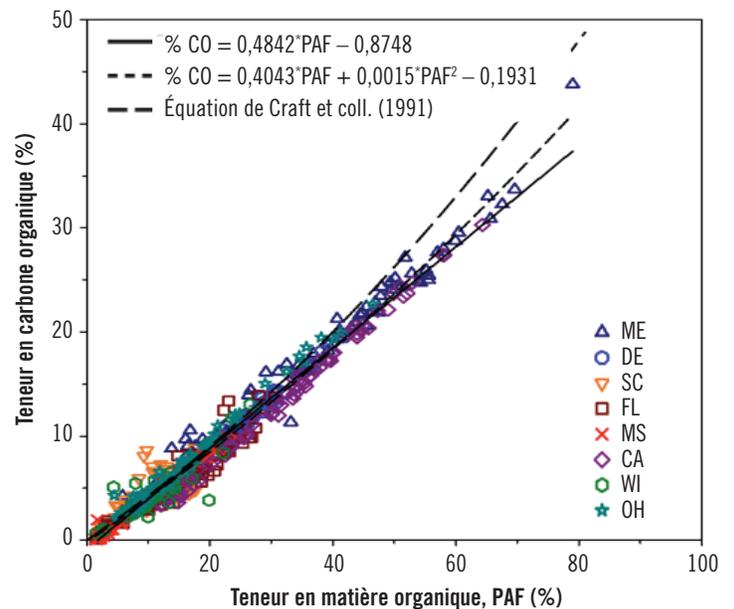
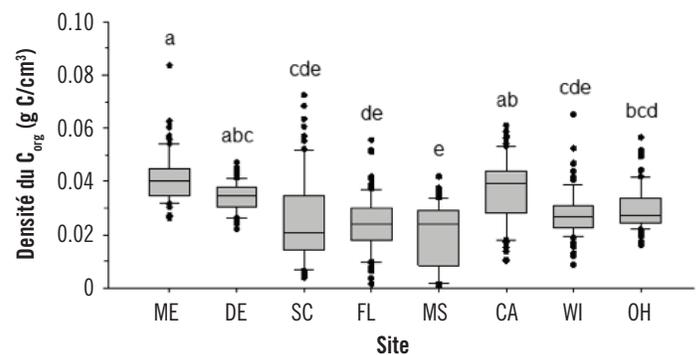


Figure 2. Répartition de la densité du carbone organique dans et entre huit sites de marais appartenant au réseau NERRS



Nota : les valeurs médianes sont indiquées par les lignes horizontales à l'intérieur des cases, les cases représentent l'intervalle entre le 25^e et le 75^e quartile, les traits horizontaux indiquent les 10^e et 90^e centiles et les points représentent les valeurs aberrantes. Les sites caractérisés par les mêmes lettres minuscules ne sont pas significativement différents les uns des autres ($p > 0,05$). Les abréviations sont celles des États américains où se trouvent les sites.

Figure 3. Carottes prélevées à cinq sites de marais du réseau NERRS échantillonnés

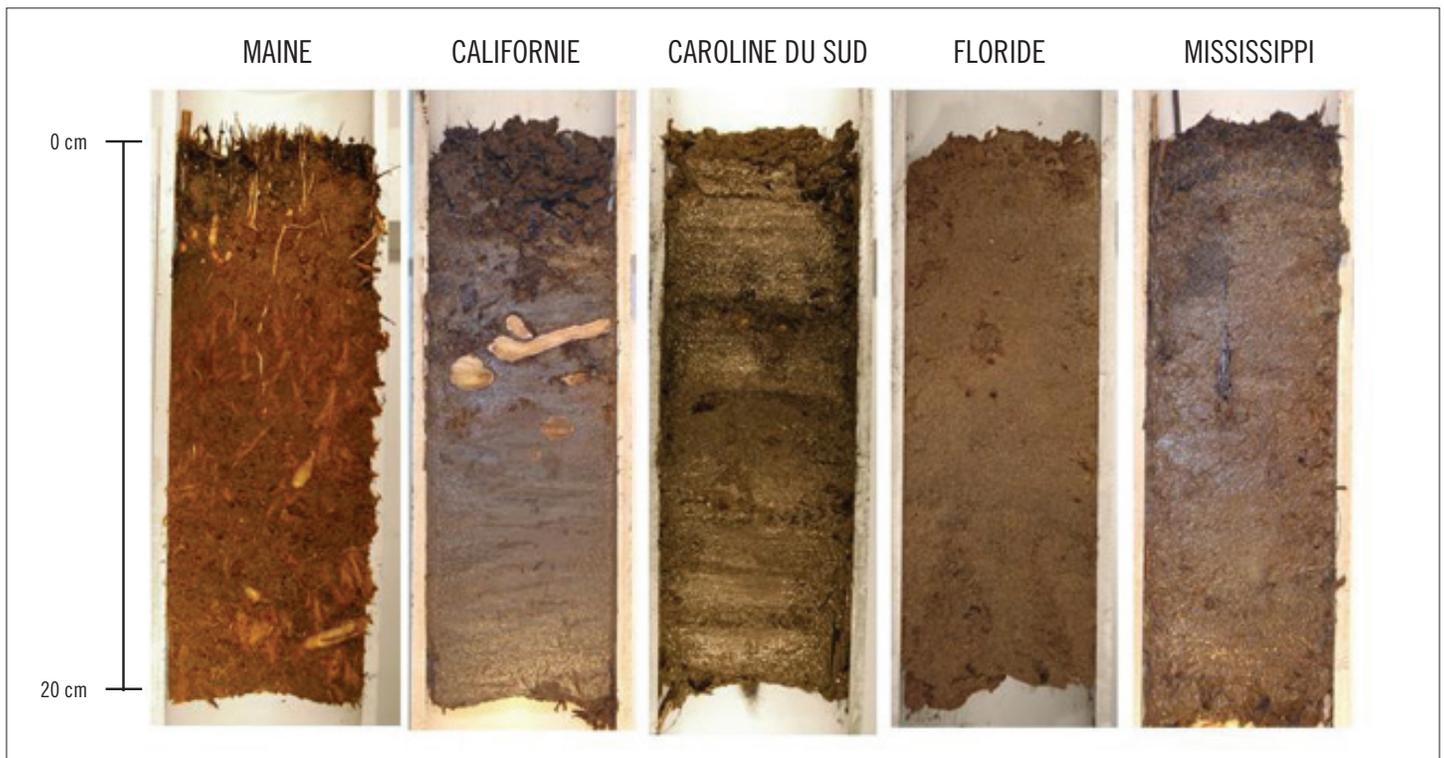


Photo : K. Wilson Grimes

du carbone organique sédimentaire différerait de façon significative en fonction de la végétation dans la moitié des sites échantillonnés (Maine, Mississippi, Californie et Caroline du Sud) (données non présentées). Ces résultats révèlent une variation spatiale considérable de la densité du carbone organique sédimentaire dans la couche supérieure de 20 cm à l'échelle des marais individuels. Superficiellement, ces différences peuvent être observées dans le montage photographique de la figure 3.

La biomasse sur pied des communautés végétales n'a pas permis d'expliquer les différences dans la densité de carbone organique sédimentaire de ces communautés; il n'y avait cependant pas de lien significatif entre les mesures de la densité de carbone organique sédimentaire et la biomasse aérienne totale, que ce soit dans les sites ou entre eux.

Cette étude a permis d'augmenter considérablement le nombre de sites aux États-Unis pour lesquels il existe des mesures de la densité du carbone sédimentaire et d'améliorer notre compréhension des méthodologies reposant sur la perte au feu comme valeur substitut du carbone organique sédimentaire. Les résultats laissent penser que des courbes d'étalonnage propres à une région qui relierait la matière organique sédimentaire et la teneur en carbone sédimentaire sont nécessaires dans certaines régions et qu'il existe des différences significatives dans la densité du carbone organique des 20 cm supérieurs selon le site, la zone et le type de végétation. Facteur important, les différences significatives dans la densité du carbone sédimentaire à l'intérieur d'un même marais et entre les marais ont des incidences sur la façon de calculer les bilans de carbone à l'échelle des marais individuels et de les incorporer dans des politiques concernant le carbone bleu.

Approfondissement des travaux sur le carbone bleu dans les milieux humides nord-américains

Les travaux ultérieurs devraient viser à accroître le nombre d'emplacements pour lesquels il existe des mesures de la densité du carbone sédimentaire et à examiner si des courbes d'étalonnage régionales additionnelles sont nécessaires. Les études à venir devraient également examiner les changements dans la densité du carbone sédimentaire en fonction de la profondeur par le prélèvement de carottes plus longues afin d'améliorer les calculs des bilans de carbone à l'échelle des marais. Les 28 réserves du réseau national américain de réserves de recherche estuarienne (NERRS) sont d'excellents partenaires potentiels pour la réalisation de travaux plus poussés sur le carbone bleu dans un groupe de zones humides protégées, aux États-Unis, englobant un éventail varié de type de marais, de régimes de gestion et d'agents stressants naturels et anthropiques. On pourrait aussi étudier les changements dans la densité du carbone sédimentaire selon la profondeur (> 20 cm) en prélevant des carottes plus longues afin d'améliorer les calculs des bilans de carbone à l'échelle des marais individuels. Ces travaux additionnels sur la variabilité spatiale des mesures de la densité du carbone pourraient ensuite être reliés à des cartes à haute résolution des habitats marécageux.

Références

- Callaway, J.C., E.L. Borgnis, R.E. Turner et C.S. Milan. 2012. « Carbon sequestration and sediment accretion in San Francisco Bay tidal wetlands ». *Estuaries and Coasts* 35 : 1163–1181.
- Craft, C.B., E.D. Seneca et S.W. Broome. 1991. « Loss on ignition and Kjeldahl digestion for estimating organic carbon and total nitrogen in estuarine marsh soils : calibration with dry combustion ». *Estuaries* 14(2) : 175–179.



Quantification des stocks de carbone dans des herbiers du golfe du Mexique, de la pointe de la Floride jusqu'à VeraCruz au Mexique



Cette étude a montré que les stocks de carbone bleu du golfe du Mexique sont substantiels, particulièrement dans les sites restaurés.

Chercheurs principaux

Anitra Thorhaug, Ph. D. (présidente, Greater Caribbean Energy and Environment Foundation), **Helen Poulos, Ph. D.** (adjointe à l'enseignement postdoctoral, Université Wesleyan) et **Jorge López-Portillo Guzmán** (Inecol, Xalapa, Mexique).



Partie supérieure de la carotte de l'herbier restauré, montrant la pénétration de *Thalassia testudinum* au sommet, des rhizomes pénétrant dans la carotte et l'abondance de hachis de *Halimeda* dans l'horizon supérieur de la carotte.

Ce projet de recherche a été réalisé avec le soutien financier du projet *Le carbone bleu de l'Amérique du Nord : Évaluation du rôle des habitats côtiers dans le bilan du carbone sur le continent*, mis en œuvre par la Commission de coopération environnementale (CCE) en 2013–2014.

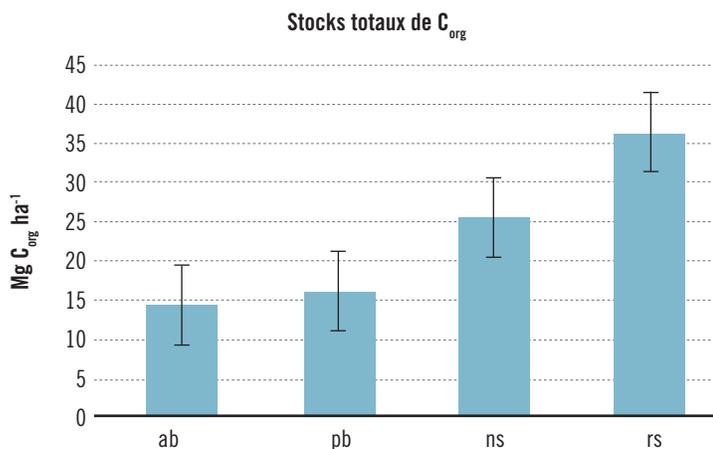
Les pertes et gains de carbone organique dans les herbiers du golfe du Mexique

Cette étude avait pour objet de comparer les stocks de carbone (matière organique, teneur en carbone organique et densité du carbone) d'herbiers : i) naturels et ii) restaurés, pour un éventail d'emplacements géographiques et d'âges de restauration, dans la couche supérieure de 20 cm des sédiments. Des prélèvements additionnels : iii) dans des sites pollués stériles où se trouvaient auparavant des herbiers, mais qui n'ont jamais été remis en état, et iv) dans des sites ayant toujours été stériles, ont permis de quantifier les pertes de carbone totales et annuelles imputables à la pollution ainsi que les gains de carbone organique provenant de la restauration des herbiers dans le golfe du Mexique. Les résultats constituent le premier ensemble exhaustif de valeurs mesurées concernant les pertes de carbone organique des herbiers causées par la pollution dans le golfe du Mexique et les gains de carbone obtenus grâce à la restauration des herbiers. Les résultats sont d'importance parce qu'ils portent sur un vaste bassin marin régional, celui de la grande mer des Caraïbes.

Résumé du projet

Les chercheuses ont mesuré le carbone organique séquestré autour du golfe du Mexique dans neuf anciens sites de restauration dans l'une des régions les plus riches en carbone de l'Amérique du Nord, contenant 45 % du bilan de carbone continental (Hofmann et coll., 2011; Herrmann et coll., 2015). Des mesures sur place des composantes du carbone bleu des herbiers montrent des quantités élevées de carbone séquestré tant dans les herbiers naturels que dans les herbiers restaurés le long du golfe du Mexique, depuis la pointe sud-est extrême de la Floride jusqu'à l'État mexicain de Veracruz. Les échantillons ont été extraits de carottes de 7,5 cm sur 20 cm

Figure 1. Stocks totaux de carbone organique estimés à partir de carottes de 20 cm dans des herbiers des côtes du golfe du Mexique



Nota : Les stocks de carbone pour les sites stériles depuis toujours (ab), les sites rendus stériles par la pollution (pb), les herbiers naturels (ns) et les herbiers restaurés (rs) seront représentés selon la moyenne + l'erreur type.

prélevés en quatre exemplaires le long d'une ligne de 30 m dans des sites stériles, des sites rendus stériles par la pollution, des sites d'herbiers restaurés et des sites d'herbiers naturels (à une distance maximale de 650 m des herbiers restaurés). Les échantillons ont constamment été maintenus au froid durant le traitement afin de retarder la dégradation microbiologique. Des sections des carottes ont été préparées et analysées pour la détermination de la teneur en carbone organique (C_{org}), du $CaCO_3$ (une importante composante de l'habitat des herbiers et une source de carbone inorganique provenant des débris de coquillages), du ratio C/N ainsi que de la texture des sédiments, et aux fins de comparaison statistique. Les premiers résultats globaux basés sur des estimations fines, à l'échelle des sites, de la diminution des stocks de carbone dans les carottes de 20 cm ainsi que sur les dates des incidents de pollution indiquent que la destruction des herbiers et la mort de *Thalassia testudinum* et *Halodule wrightii* entraînent une libération moyenne de carbone de $1,13\ Mg\ C_{org}\ ha^{-1}\ an^{-1}$. Ces pertes de carbone

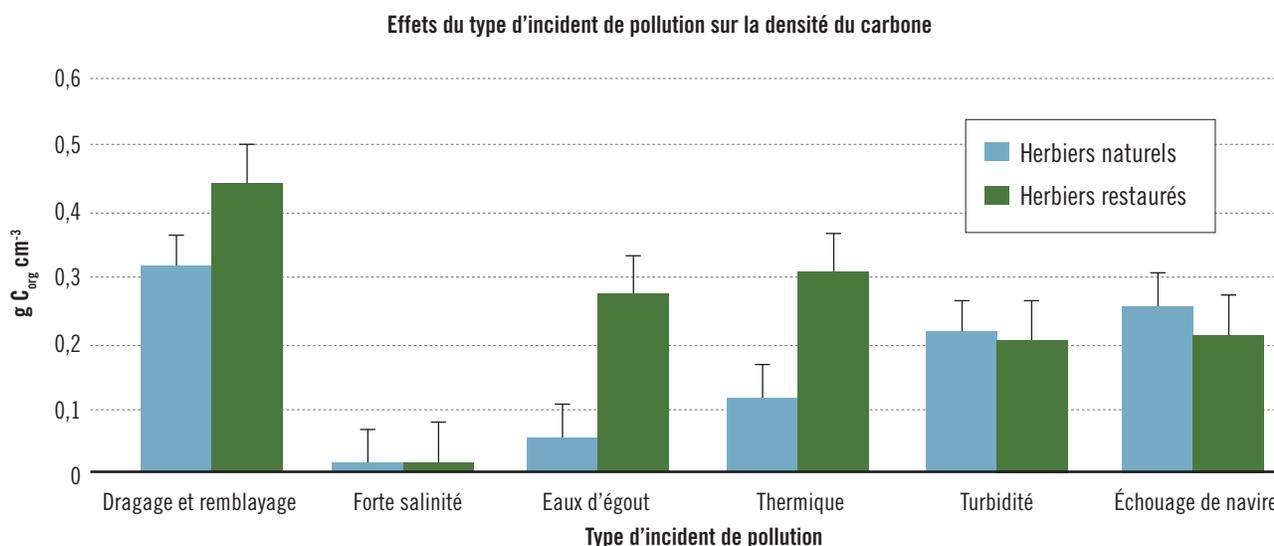
commencent immédiatement à s'inverser lors de la restauration des herbiers et, pour les deux principales espèces, *Thalassia testudinum* et *Halodule wrightii*, la restauration engendre un gain moyen de carbone organique de $6,4\ Mg\ C_{org}\ ha^{-1}\ an^{-1}$; cette moyenne est établie sur l'ensemble des âges de restauration à partir d'estimations annuelles des pertes propres à chaque site, basées sur la différence entre la teneur en C_{org} des herbiers restaurés et des herbiers naturels divisée par le nombre d'années depuis la restauration. La séquestration moyenne de C_{org} dans les sites restaurés au Texas après 15 ans était inférieure à la sédimentation annuelle des sites restaurés à l'extrémité sud de la Floride, lesquels avaient accumulé du carbone pendant 35 à 42 ans après la restauration.

La masse du stock de carbone sur pied à partir de l'extrémité sud-est de la Floride jusqu'à la frontière du Rio Grande a été approximativement établie, à partir de diverses mesures d'étendue effectuées aux échelons étatique et fédéral, à $24,3\ Tg\ C_{org}$. Le stock sur pied estimé dans les États du Mexique jusqu'à l'extrémité sud de l'État de Veracruz s'élève à $1\ 765\ Mg\ C_{org}$, d'après des données limitées sur la répartition des herbiers, ce qui est de beaucoup inférieur au stock sur pied, par exemple, des estuaires adjacents du Texas ($1\ 765\ Gg$ par opposition à $24\ 300\ Gg$). La perte jusqu'à la frontière du Rio Grande à partir de l'extrémité sud-est de la Floride a été estimée (également au moyen de mesures et d'approximations de l'étendue aux échelons fédéral et étatique) à environ $17,9\ Tg\ C_{org}$. Les résultats du projet révèlent qu'environ 33 % du carbone originalement présent dans les prairies d'herbiers marins de la partie américaine du golfe du Mexique a été éliminé sous l'effet des activités humaines au cours des 75 dernières années.

Valeurs mesurées pour les sites naturels, pollués, restaurés et stériles

Les stocks moyens de carbone organique total étaient de $36,8\ Mg\ C_{org}\ ha^{-1}$ dans les herbiers restaurés et de $24,9\ Mg\ C_{org}\ ha^{-1}$ dans les herbiers naturels, pour une profondeur de carottage de 20 cm (valeurs obtenues par l'addition des valeurs pour chaque carotte sur l'ensemble du profil de profondeur). Dans les sites restaurés, le pourcentage de carbone organique augmentait de pair avec l'âge de la restauration (figure 1). Les incidents de pollution des herbiers ont entraîné une perte moyenne de $20,0\ Mg\ C_{org}\ ha^{-1}$, ce que l'on a estimé en soustrayant la séquestration de carbone dans les herbiers naturels, à chaque site, de la différence

Figure 2. Effets du type d'incident de pollution sur la densité du carbone organique dans les herbiers échantillonnés



Nota : Densité de carbone organique moyenne (+ erreur type) dans les herbiers naturels par opposition aux herbiers restaurés, selon le type d'incident de pollution et de perturbation dans le golfe du Mexique. Les valeurs sont présentées sous forme de moyennes pour toutes les profondeurs d'échantillonnage.



entre la séquestration de carbone dans les sites stériles depuis toujours et dans les sites rendus stériles par la pollution (les valeurs annuelles ont été divisées par le nombre d'années depuis l'incident de pollution). La restauration a entraîné un gain moyen de $20,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ de carbone organique ($6,43 \text{ Mg C}_{\text{org}} \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$), qui a été évalué sous forme de différence, à chaque site, entre le C_{org} des herbiers restaurés et le C_{org} des sites rendus stériles par la pollution (valeurs annuelles divisées par l'âge de la restauration).

Des déversements d'eaux d'égout, des opérations de dragage et remblayage et de la pollution thermique ont conduit à une densité significativement plus élevée de carbone organique dans les sites restaurés par rapport aux herbiers naturels (figure 2).

D'après ces conclusions expérimentales sur les pertes, les chercheuses ont estimé que les pertes de carbone imputables à la mort des herbiers dans la partie américaine du golfe du Mexique s'élevaient à approximativement $16,61 \text{ Tg C}_{\text{org}}$ (d'après les pertes ajustées moyennes de carbone dans les herbiers) pour la période écoulée depuis la Seconde Guerre mondiale. Il y a eu des pertes de $8,3 \text{ Tg C}_{\text{org}}$ en Floride, $8,3 \text{ Tg C}_{\text{org}}$ au Texas, $0,05 \text{ Tg C}_{\text{org}}$ en Louisiane, $0,02 \text{ Tg C}_{\text{org}}$ au Mississippi et $0,02 \text{ Tg C}_{\text{org}}$ en Alabama. Proportionnellement (au stock sur pied original), les pertes ont été plus importantes dans des zones comme la Louisiane et l'Alabama (ayant des côtes beaucoup moins étendues) parce qu'il y a eu une destruction massive des herbiers dans ces États au cours des deux dernières décennies, même si des politiques environnementales étaient en vigueur.

Importance de la restauration des herbiers pour l'atténuation des changements climatiques

Les résultats indiquent que la restauration des herbiers constitue une importante stratégie d'atténuation des changements climatiques qui peut compenser les vastes flux de carbone organique causés par la pollution des herbiers dans l'ensemble du golfe du Mexique. L'étude a montré que les stocks de carbone bleu du golfe du Mexique sont considérables, particulièrement dans les sites restaurés. Même si l'on a inconsidérément laissé se produire des pertes de carbone séquestré dans les herbiers au cours du dernier siècle dans toutes les régions du golfe du Mexique, de même qu'ailleurs, cette tendance est réversible.

Priorités de recherche pour la mesure du carbone organique dans les herbiers

À l'avenir, on pourrait prélever des carottes plus longues (1 m) afin d'améliorer les calculs des bilans de carbone à l'échelle des herbiers individuels. Des mesures additionnelles du carbone des herbiers pourraient être effectuées sur la côte Ouest canadienne et la côte Ouest des

États de la Californie et de l'Oregon. En outre, on pourrait procéder à un échantillonnage d'un éventail varié de sites pour mesurer le carbone dans les herbiers estuariens de la côte Ouest du Mexique (de la mer de Cortés jusqu'à la frontière guatémaltèque), ainsi que dans plusieurs importants estuaires du Nord de la péninsule du Yucatán. Des recherches plus poussées sur le carbone bleu dans les parties Nord et Nord-Est du golfe du Mexique sont également nécessaires.

Des recherches additionnelles pourraient évaluer l'apport des diverses composantes du carbone organique dans les herbiers, le plancton et les mangroves à la séquestration du carbone organique et inorganique dans diverses régions de l'Ouest et de l'Est du golfe du Mexique ainsi que sur la côte de l'Atlantique, à l'est, et la côte du Pacifique, à l'ouest. Il faut mieux définir les composantes de la séquestration dans les herbiers et améliorer les comparaisons régionales dans le golfe du Mexique, d'autant plus qu'il y a vraisemblablement une variabilité spatiotemporelle considérable dans les stocks et les flux de carbone dans cette région. Enfin, il faudrait s'attacher à déterminer des zones stables pour la restauration d'herbiers susceptibles d'atteindre à long terme les résultats durables voulus.

Des collaborations mexicaines supplémentaires en vue de mesurer le carbone dans les régions Sud-Ouest et Ouest du golfe du Mexique sont également justifiées. Ces collaborations tireraient profit d'un transfert de technologies de restauration ainsi que d'essais de restauration, particulièrement dans les estuaires ayant subi de fortes perturbations, de même que de mesures du carbone séquestré et de la recolonisation par les espèces aquatiques.

Des analyses des composantes du cycle du carbone bleu dans les herbiers ainsi que des comparaisons du carbone bleu des herbiers et des mangroves dans l'ensemble du golfe du Mexique — et, de façon plus générale, dans l'ensemble de l'Amérique du Nord — contribueraient à faire progresser les connaissances scientifiques sur le carbone bleu et les politiques connexes. La restauration des herbiers est un outil rentable de séquestration du carbone qui pourraient être utilisé dans le cadre de programmes où l'industrie, les fondations et les pouvoirs publics seraient des partenaires potentiels.

Références

Herrmann, M., R.G. Najjar, W.M. Kemp, S.L. McCallister, R.B. Alexander, W.J. Cai, P. Griffith et R.A. Smith. 2015. « Net ecosystem production and organic carbon balance of US East Coast Estuaries ». *Global Biogeochemical Cycles*, à paraître.

Hofmann, E. E., B. Cahill, K. Fennel, M.A.M. Friedrichs, K. Hyde, C. Lee, A. Mannino, R.G. Najjar, J.E. O'Reilly, J. Wilkin et J. Xue. 2011. « Modeling the dynamics of continental shelf carbon ». *Annual Review of Marine Science* 3 : 93–122.



Effets de l'élévation du niveau de la mer sur les taux d'accumulation du carbone dans les sols des marais



Les marais pourraient séquestrer le carbone à un rythme encore plus rapide à l'avenir, ce qui accroît d'autant l'importance des mesures destinées à les protéger et à les restaurer.

Chercheur principal

Matthew Kirwan, Ph. D. (professeur adjoint, Virginia Institute of Marine Science).



Ce projet de recherche a été réalisé avec le soutien financier du projet *Le carbone bleu de l'Amérique du Nord : Évaluation du rôle des habitats côtiers dans le bilan du carbone sur le continent*, mis en œuvre par la Commission de coopération environnementale (CCE) en 2013–2014.

Méta-analyse de l'accumulation de carbone et des taux historiques d'élévation du niveau de la mer

Les marais sont déjà reconnus comme étant un écosystème d'une importance cruciale pour la séquestration du carbone. Toutefois, la séquestration dans ce type de milieu est dominée par une série de facteurs locaux, par exemple les matières nutritives et le climat, et il est donc difficile d'isoler les répercussions de l'élévation du niveau de la mer sur la séquestration à une vaste échelle géographique.

Résumé du projet

Dans le cadre de ce projet, le chercheur principal et son équipe ont procédé à une méta-analyse pour faire le lien entre les taux d'accumulation de carbone publiés dans la documentation relativement à 112 marais en Amérique du Nord et les taux historiques d'élévation du niveau de la mer sur les côtes atlantique et pacifique du Canada et des États-Unis. L'hypothèse de base était que le taux d'accumulation de carbone dans les marais devrait s'accroître avec l'élévation du niveau de la mer, et que cette élévation renforcerait la fonction de régulation du climat mondial de ces écosystèmes de carbone bleu. Pour vérifier cette hypothèse, ils ont compilé des données sur 88 estimations de taux d'accumulation dans des marais américains et canadiens exposés à des taux historiques spatialement variables d'élévation relative du niveau de la mer se situant approximativement entre 2 et 10 mm an⁻¹.

La base de données sur les taux d'accumulation de carbone dans le sol comptait 40 sites sur la côte atlantique du Canada, 24 sites sur la côte atlantique des États-Unis, 17 sites sur la côte américaine du golfe du Mexique et 7 sites sur la côte pacifique des États-Unis. Les taux d'accumulation du carbone variaient entre 21 et 928 g m⁻² an⁻¹. Les taux à long terme d'élévation relative du niveau de la mer à ces sites allaient de 2,00 à 9,65 mm an⁻¹. La plupart des marais



nord-américains inclus dans la base de données ont subi des taux historiques d'élévation du niveau de la mer se situant entre 2 et 4 mm an⁻¹. Toutefois, des sites à proximité du delta du fleuve Mississippi s'affaissent rapidement, de sorte que de nombreux marais de la côte du golfe ont affiché des taux relatifs d'élévation du niveau de la mer de 9 à 10 mm an⁻¹. Par conséquent, le taux relatif d'élévation du niveau de la mer est exposé à une forte influence géographique.

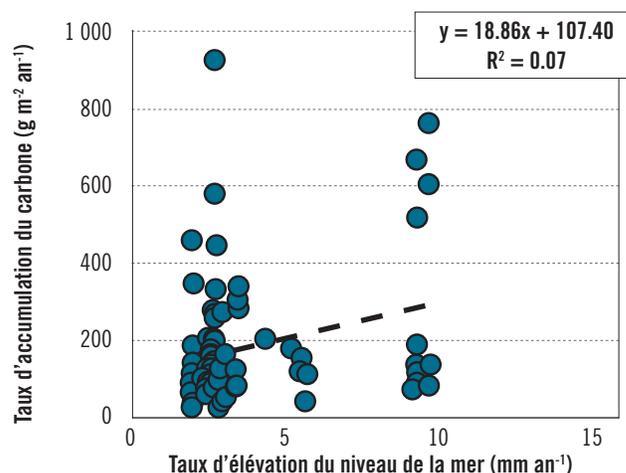
Une analyse simple de l'ensemble de la base de données indique qu'il n'y a pas de corrélation significative entre les taux d'accumulation du carbone dans le sol et les variations spatiales de l'élévation relative du niveau de la mer (figure 1). Même si la régression linéaire révèle une tendance légèrement positive, la relation est très variable ($R^2 = 0,07$) et statistiquement non significative ($p > 0,1$). La gamme complète des taux d'accumulation du carbone (de 21 à 928 g m⁻² an⁻¹) est survenue sur une plage étroite de taux d'élévation du niveau de la mer (de 2,75 à 2,82 mm an⁻¹). La variabilité au sein d'une même région géographique était également élevée. Par exemple, les taux d'accumulation du carbone se situaient entre 71 et 763 g m⁻² an⁻¹ dans 12 estimations concernant des sites situés dans la région du delta du Mississippi en Louisiane, alors que tous ces sites étaient exposés à des taux relatifs rapides d'élévation du niveau de la mer (de 9,24 à 9,65 mm an⁻¹). Ces résultats laissent penser que des facteurs autres que la hausse du niveau des océans ont une influence prépondérante sur les taux d'accumulation du carbone dans le sol des marais.

Il a déjà été observé que la fréquence des inondations et son effet sur le type de végétation influent sur les taux d'accumulation du carbone dans le sol à l'échelle des marais individuels. Par exemple, les taux d'accumulation dans les parties inférieures d'un marais, souvent inondées, sont habituellement plus considérables que dans les parties élevées, rarement inondées (Ouyang et Lee, 2014). Ces phénomènes peuvent être directement attribués à l'effet des inondations sur la production de racines, car la décomposition des matières organiques n'est pas très sensible aux inondations (Blum, 1993; Kirwan et coll., 2013). Même si l'analyse présentée ci-dessus indique que la variabilité entre les marais est forte, des différences dans la fréquence des inondations, inférées du type de végétation, peuvent expliquer en partie cette variation.

La limitation de l'analyse à des sous-ensembles de données constitués selon le type de végétation n'a pas produit de relation significative

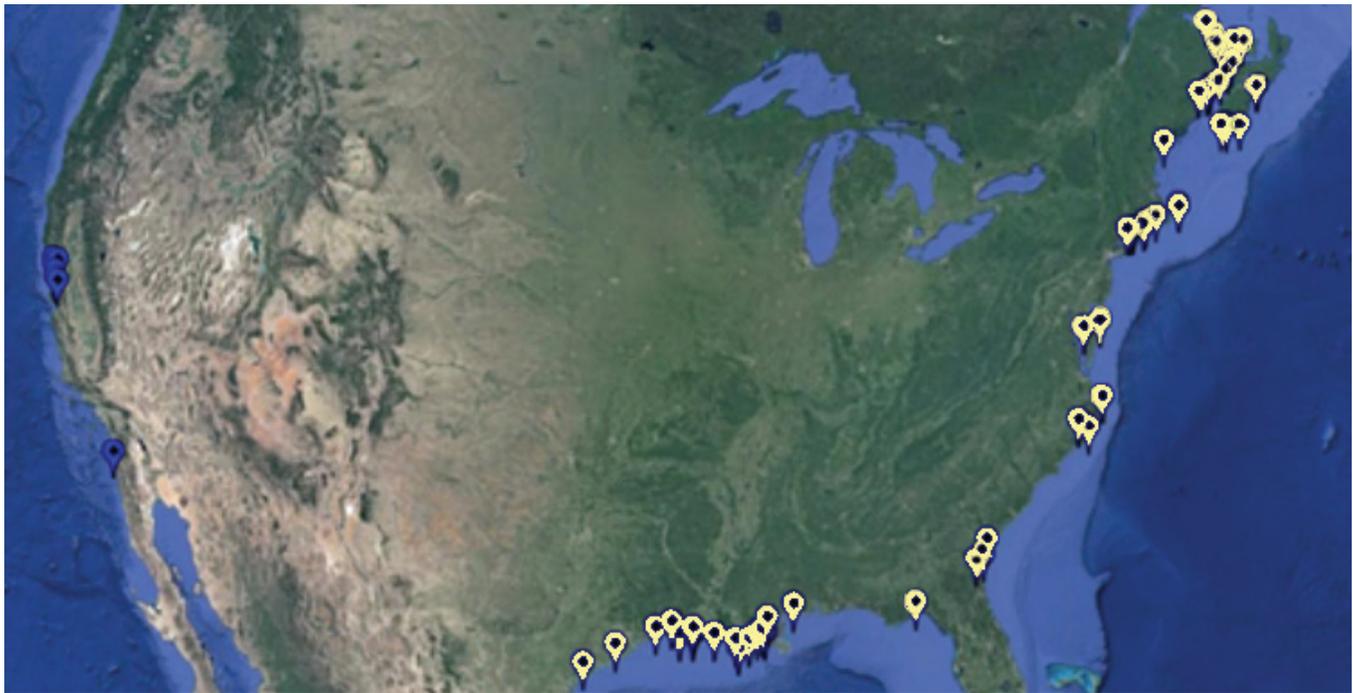
entre le taux d'accumulation du carbone dans le sol et le taux d'élévation du niveau de la mer (figure 2). Comme on peut l'observer à la figure 1, la plage des taux d'accumulation du carbone pour un même type de végétation (p. ex. *S. patens*) était aussi étendue à un taux donné d'élévation du niveau de la mer (environ 3 mm/an) que la plage observée sur l'ensemble du gradient des taux de hausse du niveau des océans. Ces résultats indiquent que la forte variabilité dans l'accumulation du carbone est liée à des mesures plus subtiles de la durée des inondations que ce que l'on peut déterminer en fonction du type de végétation, ou qu'elle reflète des processus qui ne sont pas liés aux inondations et à la hausse du niveau des océans (p. ex. matières nutritives, climat).

Figure 1. Taux d'accumulation du carbone dans des marais nord-américains soumis à une plage de taux historiques relatifs d'élévation du niveau de la mer



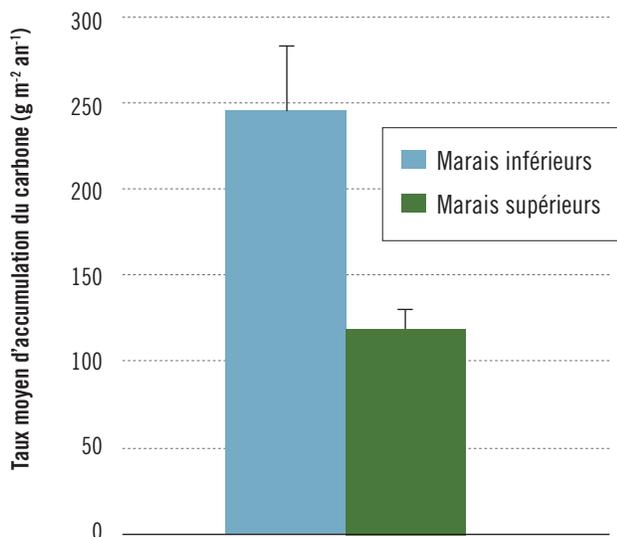
Source : Taux d'accumulation du carbone tirés de Ouyang et Lee, 2014. Taux relatifs d'élévation du niveau de la mer provenant de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, Administration nationale des études océaniques et atmosphériques) et du Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL, Service permanent d'étude du niveau moyen de la mer).

Effets de l'élévation du niveau de la mer sur les taux d'accumulation du carbone dans les sols des marais



Carte des marais nord-américains pour lesquels des taux d'accumulation de carbone ont été publiés.
Source : Image Google Earth © avec emplacements d'accumulation du carbone tirés de Ouyang et Lee, 2014.

Figure 2. Taux moyen d'accumulation du carbone dans des « marais inférieurs » souvent inondés et des « marais supérieurs » rarement inondés, le type de marais étant déterminé selon la végétation dominante (marais inférieurs = *Spartina alterniflora* ou *S. foliosa*; marais supérieurs = *S. patens*).



Nota : Les barres d'erreur représentent l'erreur type.

L'élévation du niveau de la mer améliore l'accumulation du carbone

Ce projet a constitué la première tentative d'établir un lien entre les taux de séquestration du carbone dans les milieux humides et l'élévation du niveau de la mer dans une perspective historique. La méta-analyse indique que des facteurs autres que la hauteur du niveau des océans ont des effets prédominants sur les taux d'enfouissement du carbone dans le sol des marais nord-américains. Cependant, des tendances apparentes qui relient la fréquence des inondations à la séquestration du carbone dans le sol laissent penser que l'accélération du taux d'élévation du niveau de la mer aura tendance à accroître l'importance du carbone bleu dans les écosystèmes de marais.

Les travaux effectués laissent entendre que les marais séquestreront le carbone à un rythme encore plus rapide à l'avenir, ce qui accroît d'autant l'importance des mesures destinées à les protéger et à les restaurer. Les données les plus abondantes sur la séquestration du carbone dans les marais ont été recueillies le long de la côte atlantique du Canada et des États-Unis. En revanche, on dispose de données limitées sur les régions où le taux d'élévation du niveau de la mer est relativement considérable, par exemple le golfe du Mexique. Par conséquent, les travaux futurs devraient être axés sur la collecte de données concernant les taux de séquestration du carbone dans les marais des régions à élévation rapide du niveau des océans le long du golfe du Mexique.

Références

- Blum, L.K. 1993. « *Spartina alterniflora* root dynamics in a Virginia marsh ». *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 102: 169-178.
- Kirwan et coll., 2013. « The impact of sea-level rise on organic matter decay rates in Chesapeake Bay brackish tidal marshes ». *Biogeosciences* 10: 1869-1876.
- Ouyang, X., et S.Y. Lee. 2014. « Carbon accumulation rates in salt marsh sediments suggest high carbon storage capacity ». *Biogeosciences* 11: 5057-5071.



Le carbone bleu dans les marais septentrionaux : évaluation des processus, des stocks et des taux dans des marais intacts, drainés et restaurés



Ces travaux aideront à établir des priorités parmi les initiatives de conservation, aujourd'hui et à l'avenir, en ce qui concerne la protection et la maximisation des stocks de carbone.

Chercheurs principaux

Gail Chmura, Ph. D. (professeure agrégée, Université McGill),
et **David Burdick, Ph. D.** (professeur agrégé de recherche,
Université du New Hampshire).



Ce projet de recherche a été réalisé avec le soutien financier du projet *Le carbone bleu de l'Amérique du Nord : Évaluation du rôle des habitats côtiers dans le bilan du carbone sur le continent*, mis en œuvre par la Commission de coopération environnementale (CCE) en 2013–2014.

Le devenir du carbone dans les marais salés septentrionaux

Ce projet a fourni de nouvelles données sur les stocks de carbone régionaux dans les marais salés du Nord-Est de l'Amérique du Nord et a étendu la couverture géographique du continent jusqu'à la latitude 48° N.

Résumé du projet

Cette recherche est basée sur des travaux intensifs sur le terrain dans les marais de la région Nord-Est de l'Amérique du Nord, soit dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent, le golfe du Saint-Laurent et le golfe du Maine, menés au cours de l'été 2014. S'appuyant sur plus de 3000 échantillons prélevés, l'étude fournit de nouvelles données sur la variabilité de la profondeur de la tourbe et de sa densité de carbone dans les marais salés — permettant l'évaluation des stocks de carbone, des prédicteurs des stocks et des taux d'accumulation, et servant à illustrer une nouvelle technique de mesure des taux. L'étude fournit également de premières données sur les pertes de carbone attribuables au drainage agricole dans les marais salés en climat froid (à gel hivernal).

La profondeur de la tourbe a été cartographiée dans des marais de la pointe Carron (dans le parc national Kouchibouguac) et de la plage Grants (sur la côte du golfe du Saint-Laurent) au Nouveau-Brunswick, de même qu'à la *National Estuarine Research Reserve* (NERR, réserve nationale américaine de recherche estuarienne) à Wells, dans l'État du Maine, sur la côte du golfe du Maine. Deux

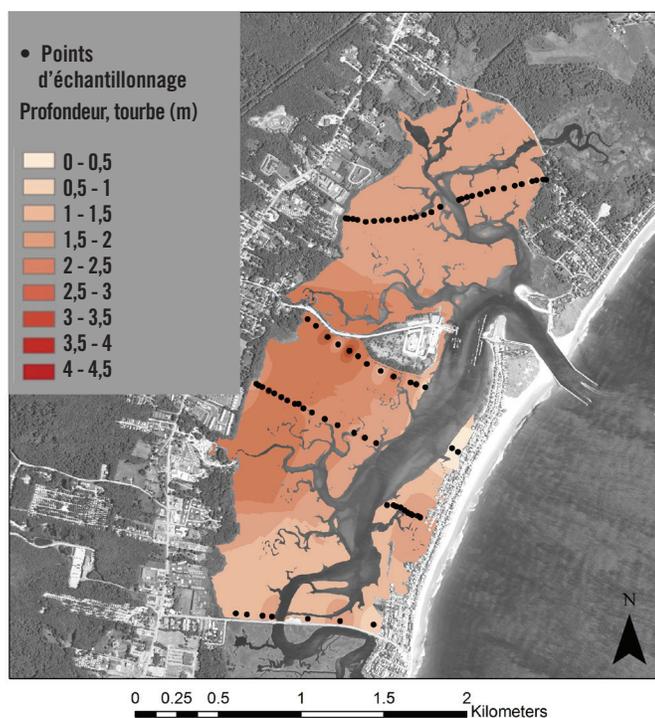
marais étaient associés à des flèches littorales de migration (pointe Carron et plage Grants) et deux étaient associés avec des lagunes intérieures (Kouchibouguac et Wells). Ils présentent tous des tendances qui pourraient être applicables ailleurs dans le même contexte géomorphique. Dans les deux premiers cas, la profondeur de la tourbe diminuait vers la fin de la flèche, où l'on peut supposer que le marais est plus jeune. Dans les deux marais situés dans des lagunes, la tourbe était plus profonde, la profondeur la plus grande ayant été observée à environ 500 m à l'intérieur des terres par rapport à la bordure de la lagune. La même conformation pourrait être applicable à d'autres marais lagunaires, mais cette question nécessite des recherches plus poussées. En dépit de la variabilité dans la densité du carbone, les chercheurs ont observé que la profondeur de la tourbe était un prédicteur significatif des stocks de carbone dans chaque marais. Lorsque les données relatives à tous les marais sont combinées, l'analyse de régression montre que la profondeur de la tourbe est un prédicteur significatif des stocks de carbone ($R^2 = 0,81$, $p < 0,001$). Une analyse de « sensibilité » ou d'optimisation a permis d'évaluer les cinq emplacements, dans chaque marais, qui présenteraient les valeurs les plus proches des stocks de carbone à l'échelle du marais entier, calculés à partir de toutes les combinaisons d'échantillons possibles pour chaque marais (c.-à-d. entre 126 et 11 628). Cette analyse montre que l'échantillonnage à partir de l'extrémité la plus ancienne et de l'extrémité la plus nouvelle des marais à cordon littoral constitue la meilleure stratégie. Un seul transect peut être suffisant dans un marais lagunaire, mais des études additionnelles sont justifiées pour déterminer le meilleur emplacement du transect. Dans l'ensemble, les résultats indiquent qu'il est possible de faire des

estimations raisonnables des stocks de carbone sans analyse approfondie de carottes. La densité du carbone dans la couche supérieure de 5 cm du sol ne varie pas significativement selon la zone de végétation ni l'amplitude des marées. Cependant, les modèles de régression montrent que la densité du carbone dans les 5 cm superficiels a une relation significative avec deux variables climatiques étudiées, à savoir la température annuelle moyenne et le nombre de degrés-jours $> 5^\circ\text{C}$ (cette dernière variable étant une mesure de la saison de croissance).

Les taux d'accumulation de tourbe, déterminés au moyen de profils du plomb d'origine anthropique, variaient à l'intérieur des marais. L'analyse de régression multiple avec les paramètres de l'élévation de surface, de la distance par rapport à la zone supérieure et de la distance par rapport à la bordure de la crique ou du marais, ainsi que les variables nominales de la zone de végétation et du marais, n'a révélé aucun prédicteur significatif de taux d'accumulation de tourbe.

Lorsque la valeur prédictive des paramètres géomorphiques susmentionnés a été évaluée pour la détermination des taux d'accumulation de carbone dans les données combinées des quatre marais, seule l'élévation de surface s'est avérée un prédicteur significatif ($R^2 = 0,31$, $p < 0,026$). Pour trois des quatre marais, la relation entre les paramètres géomorphiques et les taux d'accumulation du carbone est plus forte lorsque les paramètres géomorphiques sont appliqués individuellement à chaque marais (ce qui indique d'importantes différences entre les marais). L'élévation de surface a un pouvoir prédictif significatif à la plage Grants. À Kouchibouguac et à Wells, l'élévation de surface, la distance par rapport à la zone supérieure et la distance par rapport à la crique sont, en conjonction, des prédicteurs significatifs.

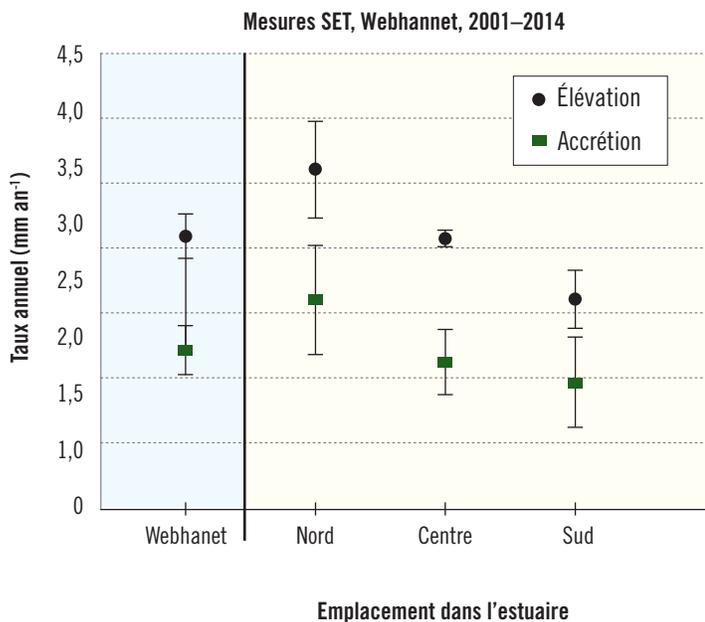
Figure 1. Isopaques de la tourbe dans le marais salé Webhannet, réserve nationale de recherche estuarienne de Wells (Maine), États-Unis



Nota : Les points noirs indiquent les lieux de carottage ou de sondage.



Figure 2. Changements dans l'élévation de surface et l'accrétion sédimentaire superficielle dans le marais Webhannet (Wells)



Les horizons repères et les *Surface Elevation Tables* (SET, dispositifs tabulaires de mesure de l'élévation de surface) sont largement utilisés dans les marais du monde entier pour mesurer les changements de niveau de la surface. À Wells, les taux d'accumulation de tourbe mesurés par SET (de 50 à 92 g C m⁻²an⁻¹) étaient comparables aux taux déterminés par analyse du plomb 210. Les analyses du carbone dans la tourbe au-delà et en deçà des horizons repères montrent que la combinaison de cette mesure et des mesures de la profondeur selon la méthode SET et les horizons repères constitue une technique commode et peu coûteuse d'évaluation des taux d'accumulation du carbone.

Au site le plus méridional — le marais Webhannet, à Wells (Maine) — les résultats des mesures SET laissent penser que l'élévation du niveau de la mer améliore l'accumulation du carbone au fil du temps, ce qui, d'après les modélisations, se poursuivra avec le maintien de taux actuels d'élévation du niveau de la mer, mais que des taux plus élevés de hausse du niveau des océans menaceront les stocks de carbone. Dans ce site, l'accrétion et l'augmentation de l'élévation de la tourbe dans le sous-sol ont été estimés à l'aide de mesures SET et d'horizons repères. L'accrétion sédimentaire (les sédiments déposés au-dessus des horizons repères) a représenté en moyenne 2,2 mm an⁻¹ au cours des 13 dernières années. L'élévation de surface a augmenté en moyenne de 3,1 mm an⁻¹, ce qui indique que la tourbe s'est accumulée à un taux d'environ 0,9 mm an⁻¹ au-dessous des horizons repères (figure 2). Des données additionnelles sur la densité du carbone fournissent une estimation des taux annuels de stockage du carbone dans le marais.

Des pertes de carbone dans les marais littoraux causées par le drainage agricole ont été signalées en Californie, en Australie et en Italie; toutefois, avant la présente étude, aucune mesure n'avait été effectuée dans les marais drainés du Canada atlantique, qui sont soumis à un régime climatique différent et où la « récupération » aux fins d'exploitation agricole a été intensive. Les chercheurs ont comparé les marais drainés et les marais inondés de l'estuaire du fleuve Saint-Laurent afin de déterminer les pertes, qui variaient de

8,6 à 18,5 kg m⁻², soit de 18 à 39 % du stock de carbone original. Ces résultats ont indiqué qu'un modèle antérieurement mis au point surestimait les pertes, mais il faudra mener des recherches chronologiques additionnelles pour pouvoir effectuer l'étalonnage de ce modèle. Facteur plus important, ce taux de perte est supérieur au taux de gain de carbone du marais de Wells, ce qui met en évidence que la restauration des marais drainés du Saint-Laurent devrait constituer une priorité en matière de conservation.

Les mesures de la profondeur de la tourbe (figure 1) révèlent une variabilité considérable à l'intérieur d'un marais et d'un marais à l'autre. Les lignes directrices du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) relatives à l'estimation des émissions de gaz à effet de serre des marais côtiers (Kennedy et coll., 2014) recommandent cependant que les calculs des stocks de carbone soient basés sur une valeur par défaut de 1 m de profondeur pour les sols des marais littoraux et de 0,034 et 0,02 g cm⁻³ de densité du carbone pour les sols organiques et minéraux, respectivement. (La superficie du marais multipliée par la profondeur du sol ou de la tourbe fournira le volume de la tourbe. La multiplication de ce volume par la valeur de la densité du carbone fournira la valeur concernant le stock.) Des lignes directrices analogues sont incorporées dans les protocoles d'évaluation des stocks de carbone dans le contexte des marchés du carbone. Les résultats préliminaires de cette étude sur les marais septentrionaux fournissent déjà de solides indications du fait que les calculs du stockage du carbone en supposant une profondeur de 1 m produisent des surestimations des stocks dans certains marais, par exemple celui de la plage Grants, et des sous-estimations dans d'autres marais, par exemple celui de Wells. Par conséquent, l'évaluation des stocks de carbone dans les marais en se fondant uniquement sur la superficie pourrait être trompeuse et l'établissement de priorités quant à la protection ou à la gestion des milieux humides en fonction des stocks de carbone obligera à effectuer des mesures propres à chaque emplacement.

Évaluation du rôle des marais littoraux dans les bilans de carbone mondiaux

Il sera impossible d'évaluer adéquatement le rôle des marais littoraux dans les bilans de carbone mondiaux tant que l'on ne disposera pas de renseignements additionnels sur les stocks de carbone de ces marais et sur leur évolution chronologique. On ne peut pas encore déterminer nettement quelles variables sont les plus importantes pour la détermination de la variabilité des stocks de carbone entre les marais : le contexte géomorphique, l'âge ou le climat contribuent à la variabilité des stocks de carbone, mais il faudra prendre en compte des contextes géomorphiques additionnels (p. ex. les marais fluviaux) et étudier les marais sur une plage encore plus grande de latitudes (tant vers le nord que vers le sud).

Des dispositifs SET et des horizons repères sont utilisés dans un grand nombre de marais littoraux et de mangroves en Amérique du Nord et il serait possible de tirer parti de leurs résultats pour faire des comparaisons à l'échelle continentale des taux d'accumulation du carbone de l'époque actuelle.

Références

Kennedy, H.A., D.M. Alongi, A. Karim, G. Chen, G.L. Chmura, S. Crooks, J.G. Kairo, B. Liao et G. Lin. 2014. Chapitre 4, « Coastal Wetlands », dans *Supplement to the 2006 IPCC Guidelines on National Greenhouse Gas Inventories : Wetlands*. <www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/>.